

Aus dem Zentrum der Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit  
der Universität Würzburg

Poliklinik für Kieferorthopädie  
Direktorin: Professorin Dr. med. dent. Stellzig-Eisenhauer

---

**Untersuchung der Melodiestructur in spracherwerbsrelevanten  
Vokalisationen von Säuglingen mit und ohne familiäre Disposition  
für eine spezifische Spracherwerbsstörung**

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

vorgelegt von  
Karolin Anna Myrcik  
aus Zürich

Würzburg, Juni 2016



Referentin: Professorin Dr. rer. nat. Kathleen Wermke  
Korreferentin: Professorin Dr. med. Wafaa Shehata-Dieler  
Dekan: Professor Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 2.06.2017  
Die Promovendin ist Zahnärztin

Für meine Eltern

## Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>X</b>
<b>1 Einleitung und Zielstellung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Material und Methoden .....</b>	<b>6</b>
2.1 Studiendesign der Ausgangsuntersuchung (GLAD-Studie) .....	6
2.2 Auswahl der Probanden .....	9
2.2.1 Sprachtests.....	9
2.2.1.1 Sprachtest SETK 3-5.....	9
2.2.1.2 Sprachtest SETK-2.....	12
2.2.1.3 Sprachtest ELFRA-2.....	14
2.2.2 Einteilung der Probanden in FH <sup>+</sup> - und FH <sup>-</sup> -Gruppen.....	14
2.2.3 Zuordnung der FH <sup>+</sup> - und FH <sup>-</sup> -Probanden in die Sprachleistungsgruppen ...	17
2.3 Finale Gruppenbildung .....	19
2.4 Datengrundlage .....	21
2.5 Datenanalyse .....	23
2.5.1 Analyse spektraler und melodischer Eigenschaften der Säuglingsschreie zur Identifizierung der 2B- und 1S-Strukturen .....	23
2.5.2 Klassifizierung der Säuglingsschreie basierend auf strukturellen Merkmalen als 2B- und 1S-Strukturen .....	27
2.5.2.1 Merkmale zur Klassifizierung von 2B-Lauten.....	28
2.5.2.2 Merkmale zur Klassifizierung von 1S-Strukturen .....	29
2.6 Quantitative Analyse melodischer und zeitlicher Parameter der 2B- und 1S- Strukturen.....	31
2.7 Statistische Verfahren .....	32
<b>3 Ergebnisse .....</b>	<b>34</b>
3.1 Analyse der 2B- und 1S-Schreistrukturen von Kindern aus allen vier Untersuchungsgruppen .....	34
3.1.1 Auftrittshäufigkeit der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen in den vier Probandengruppen über den gesamten Untersuchungszeitraum.....	35

3.1.2	Auftrittshäufigkeit der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen in den vier Probandengruppen in monatlichen Intervallen .....	36
3.2	Temporale Eigenschaften der Schreimelodien mit 2B- und 1S- Strukturen.....	40
3.2.1	Auswertung der Gesamtsignallänge der 2B- und 1S -Vokalisationen der Probanden aus allen Untersuchungsgruppen in monatlichen Intervallen ....	42
3.2.1.1	Analyse der Gesamtsignallänge der 2B-Vokalisationen der Probanden in monatlichen Intervallen .....	42
3.2.1.2	Analyse der Gesamtsignallänge der 1S-Vokalisationen der Probanden in monatlichen Intervallen .....	46
3.2.2	Auswertung der einzelnen Melodiebogenlängen in monatlichen Intervallen .....	50
3.2.2.1	Auswertung der Melodielänge des ersten und des zweiten Bogens der 2B-Strukturen in monatlich Intervallen .....	51
3.2.2.2	Auswertung der Bogenlänge des ersten und des zweiten Bogens der 1S-Struktur in monatlichen Intervallen.....	55
3.2.3	Untersuchung der F0max der 2B- und 1S-Melodie in monatlichen Intervallen .....	59
3.2.3.1	Untersuchung der F0max der 2B-Melodien in monatlichen Intervallen .....	59
3.2.3.2	Untersuchung der F0max der 1S-Melodien in monatlichen Intervallen .....	63
3.2.3.3	Auswertung der Länge der Segmentierungspause bei 1S-Strukturen in monatlichen Intervallen .....	66
3.3	Betonungsanalyse .....	70
3.3.1	Untersuchung des Bogenlängenquotienten der 2B-Struktur in monatlichen Intervallen .....	71
3.3.2	Untersuchung des Bogenlängenquotienten der 1S-Struktur bei allen vier Untersuchungsgruppen in monatlichen Intervallen.....	75
3.3.3	Untersuchung von F0max der 2B Melodie in monatlichen Intervallen .....	79
3.3.4	Untersuchung von F0max der 1S-Melodie in monatlichen Intervallen .....	84
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>89</b>
4.1	Auswertung der relativen Auftrittshäufigkeit von 1S- und 2B- Strukturen.....	90
4.2	Auswertung der Parameter der Zeitorganisation von 2B- und 1S- Strukturen.....	91
4.2.1	Auswertung der Signallänge .....	91
4.2.2	Auswertung des Frequenzmaximums (F0max) .....	93
4.3	Auswertung des Betonungsmusters von 2B- und 1S-Struktur .....	94
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>98</b>

<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>101</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>106</b>
<b>Lebenslauf .....</b>	<b>108</b>

## Abbildungsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>Abbildung 1:</b> Finale Gruppenbildung modifiziert nach Denner (2008, S. 15) (FH <sup>+</sup> -Norm-, FH <sup>+</sup> -SES-, FH <sup>-</sup> -SES- und FH <sup>-</sup> -Norm-Gruppe). .....	20
<b>Abbildung 2:</b> Beispiel eines Schmalbandspektrogramms von einem Säuglingsschrei mit 2B-Melodiestructur sowie nachfolgenden Inspirationsgeräuschen (KayPENTAX CSL). .....	24
<b>Abbildung 3:</b> Darstellung der Grundfrequenzkontur (Melodie) (blau) und des Intensitätsverlaufs (rot) des Schreilautes, dessen Spektrogramm in Abbildung 2 dargestellt ist (CDAP-System). Auftragung der Werte der Grundfrequenz (F0) [Hz] und Intensitätsverlaufs (Intensity) [dB] auf der y-Achse und der korrespondierender Zeitwerte [ms] auf der x-Achse. ....	24
<b>Abbildung 4:</b> Beispiel für einen Säuglingsschrei mit Subharmonischen und Rauschanteil im zweiten Bogen (KAY-CSL). .....	26
<b>Abbildung 5:</b> Beispiel für einen Säuglingsschrei mit Rauschanteil und ausgeprägten Subharmonischen (KAY-CSL). .....	26
<b>Abbildung 6:</b> Beispiel für einen Säuglingsschrei mit einer F0 > 1000 HZ sowie stark instabilem F0-Verlauf und F0-Sprung am Ende (KAY-CSL). .....	27
<b>Abbildung 7:</b> a-c: Beispiele für Varianten des 2B-Melodiestructurtyps. ....	29
<b>Abbildung 8:</b> a-b: Beispiele für Segmentierungen in 1S-Melodiestructuren. ....	30
<b>Abbildung 9:</b> Quantitative Analyse des F0max-Wertes, der Segmentierungspause und der Bogendauer (Quelle: Grafik nach Denner modifiziert 2008, S. 34) Dargestellt sind der Melodie-(blau)/ Intensitätsverlauf (rosa) eines Säuglingsschreies der Strukturkategorie 1S. Die maximale Grundfrequenz F0max der beiden Bögen wurde markiert. Die roten Balken markieren die Länge des 1. Bogens, die Pausenlänge und die Länge des 2. Bogens. ....	32
<b>Abbildung 10:</b> Relative Häufigkeiten der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen sowie der restlichen Strukturtypen im gesamten Untersuchungsraum. ....	36
<b>Abbildung 11:</b> Relative Häufigkeiten der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen sowie der restlichen Strukturtypen im 1. Untersuchungsmonat. ....	38
<b>Abbildung 12:</b> Relative Häufigkeiten der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen sowie der restlichen Strukturtypen im 2. Untersuchungsmonat. ....	39
<b>Abbildung 13:</b> Relative Häufigkeiten der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen sowie der restlichen Strukturtypen im 3. Untersuchungsmonat. ....	39

<b>Abbildung 14:</b> Vergleich der Melodielänge von 2B-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 1. Monat. ....	44
<b>Abbildung 15:</b> Vergleich der Melodielänge von 2B-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 2. Monat. ....	45
<b>Abbildung 16:</b> Vergleich der Melodielänge von 2B-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 3. Monat. ....	46
<b>Abbildung 17:</b> Vergleich der Melodielänge von 1S-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 1. Monat. ....	48
<b>Abbildung 18:</b> Vergleich der Melodielänge von 1S-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 2. Monat. ....	49
<b>Abbildung 19:</b> Vergleich der Melodielänge von 1S-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 3. Monat. ....	50
<b>Abbildung 20:</b> Längen der beiden Melodiebögen im 1. Lebensmonat.....	52
<b>Abbildung 21:</b> Längen der beiden Melodiebögen im 2. Lebensmonat.....	53
<b>Abbildung 22:</b> Längen der beiden Melodiebögen im 3. Lebensmonat.....	54
<b>Abbildung 23:</b> Längen der beiden Melodiebögen im 1. Lebensmonat.....	56
<b>Abbildung 24:</b> Längen der beiden Melodiebögen im 2. Lebensmonat.....	57
<b>Abbildung 25:</b> Längen der beiden Melodiebögen im 3. Lebensmonat.....	58
<b>Abbildung 26:</b> Vergleich des F0max des ersten und zweiten Bogens der 2B-Melodien im 1. Lebensmonat. ....	60
<b>Abbildung 27:</b> Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 2B-Melodien im 2. Lebensmonat. ....	61
<b>Abbildung 28:</b> Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 2B-Melodien im 3. Lebensmonat. ....	62
<b>Abbildung 29:</b> Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 1S-Melodien im 1. Lebensmonat. ....	64
<b>Abbildung 30:</b> Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 1S-Melodien im 2. Lebensmonat. ....	65
<b>Abbildung 31:</b> Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 1S-Melodien im 3. Lebensmonat. ....	66
<b>Abbildung 32:</b> Vergleich der Segmentierungslänge im 1. Lebensmonat. ....	68
<b>Abbildung 33:</b> Vergleich der Segmentierungslänge im 2. Lebensmonat. ....	69

<b>Abbildung 34:</b> Vergleich der Segmentierungslänge im 3. Lebensmonat. ....	70
<b>Abbildung 35:</b> Vergleich des Quotienten aus Bogenlänge B1/Bogenlänge B2 in 2B-Melodien im 1. Monat (Hilfslinie mit Quotient = 1).....	73
<b>Abbildung 36:</b> Vergleich des Quotienten aus Bogenlänge B1/Bogenlänge B2 in 2B-Melodien im 2. Monat (Hilfslinie mit Quotient = 1).....	74
<b>Abbildung 37:</b> Vergleich des Quotienten aus Bogenlänge B1/Bogenlänge B2 in 2B-Melodien im 3. Monat (Hilfslinie mit Quotient = 1).....	75
<b>Abbildung 38:</b> Vergleich des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 1. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1). ....	77
<b>Abbildung 39:</b> Vergleich des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 2. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1). ....	78
<b>Abbildung 40:</b> Vergleich des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 3. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1). ....	79
<b>Abbildung 41:</b> Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 1. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).....	82
<b>Abbildung 42:</b> Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 2. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).....	83
<b>Abbildung 43:</b> Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 3. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).....	84
<b>Abbildung 44:</b> Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 1. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).....	86
<b>Abbildung 45:</b> Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 2. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).....	87
<b>Abbildung 46:</b> Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 3. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).....	88

## Tabellenverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>Tabelle 1:</b> Untertests des SETK 3-5 (Grimm, 2001).....	10
<b>Tabelle 2:</b> Aufbau des SETK 3-5 für beide Altersgruppen (Grimm, 2001).....	11
<b>Tabelle 3:</b> Aufbau des SETK-2-Test. ....	13
<b>Tabelle 4:</b> Aufbau des Elternfragebogens ELFRA-2 für Kinder im Alter von 24 Monaten.....	14
<b>Tabelle 5:</b> Probanden der FH <sup>+</sup> - und FH <sup>-</sup> -Gruppe mit Angaben des Geschlechts.....	16
<b>Tabelle 6:</b> FH <sup>-</sup> - und FH <sup>+</sup> -Probanden der Norm-Gruppe mit jeweils verwendetem Test und mit Ergebnissen der Untertests (0 - unauffälliger Untertest, 1 - auffälliger Untertest und / - nicht durchgeführter Untertest) Bei ELFRA wurde im Klammern die Anzahl der gesprochenen Wörter aufgelistet. ....	17
<b>Tabelle 7:</b> FH <sup>-</sup> - und FH <sup>+</sup> -Probanden der SES-Gruppe mit jeweils verwendetem Test und mit Ergebnissen der Untertests (0 - unauffälliger Untertest, 1 - auffälliger Untertest und / - nicht durchgeführter Untertest) Bei ELFRA wurde im Klammern die Anzahl der gesprochenen Wörter aufgelistet. ....	19
<b>Tabelle 8:</b> Angabe der Anzahl aller aufgenommenen Laute und Anzahl der 2B-Melodien und 1S- Melodien in den ersten drei Lebensmonaten für jeden Probanden.....	22
<b>Tabelle 9:</b> Anzahl aller erzeugten Laute vom Typ 2B und 1S sowie Angabe aller Laute für jede Gruppe im gesamten Untersuchungszeitraum. ....	36
<b>Tabelle 10:</b> Anzahl der erzeugten Laute vom Typ 2B und 1S sowie Angabe der Gesamtzahl der Laute in einzelnen Monaten. ....	38
<b>Tabelle 11:</b> Anzahl der vermessenen Laute vom Typ 2B und 1S in den ersten drei Untersuchungsmonaten pro Gruppe und für alle Gruppen zusammen. ....	41
<b>Tabelle 12:</b> Gesamtzahl der aufgenommenen Laute (N) von 2B- und 1S-Strukturen sowie der jeweils vermessene Anteil bei 2B- und 1S-Strukturen absolut (gelb) und relativ (grün).....	42
<b>Tabelle 13:</b> Deskriptive Analyse der Melodielänge der 2B-Strukturen der vier Untersuchungsgruppen im 1. Lebensmonat. ....	44
<b>Tabelle 14:</b> Deskriptive Analyse der Melodielänge der 2B-Strukturen der vier Untersuchungsgruppen im 2. Lebensmonat. ....	45
<b>Tabelle 15:</b> Deskriptive Analyse der Melodielänge der 2B-Strukturen der Untersuchungsgruppen im 3. Lebensmonat. ....	46

<b>Tabelle 16:</b> Deskriptive Analyse der Melodielänge der 1S-Strukturen der Untersuchungsgruppen im 1. Lebensmonat. ....	48
<b>Tabelle 17:</b> Deskriptive Analyse der Melodielänge der 1S-Strukturen der Untersuchungsgruppen im 2. Lebensmonat. ....	49
<b>Tabelle 18:</b> Deskriptive Analyse der Melodielänge der 1S-Strukturen der Untersuchungsgruppen im 3. Lebensmonat. ....	50
<b>Tabelle 19:</b> Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 2B-Strukturen im 1. Lebensmonat. ....	52
<b>Tabelle 20:</b> Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 2B-Strukturen im 2. Lebensmonat. ....	53
<b>Tabelle 21:</b> Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 2B-Strukturen im 3. Lebensmonat. ....	54
<b>Tabelle 22:</b> Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 1S-Strukturen im 1. Lebensmonat. ....	56
<b>Tabelle 23:</b> Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 1S-Strukturen im 2. Lebensmonat. ....	57
<b>Tabelle 24:</b> Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 1S-Strukturen im 3. Lebensmonat. ....	58
<b>Tabelle 25:</b> Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens aus der 2B-Melodie im 1. Monat. ....	60
<b>Tabelle 26:</b> Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens aus der 2B-Melodie im 2. Monat. ....	61
<b>Tabelle 27:</b> Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens aus der 2B-Melodie im 3. Monat. ....	62
<b>Tabelle 28:</b> Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens der 1S-Melodie im 1. Monat. ....	64
<b>Tabelle 29:</b> Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens der 1S-Melodie im 2. Monat. ....	65
<b>Tabelle 30:</b> Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens der 1S-Melodie im 3. Monat. ....	66
<b>Tabelle 31:</b> Deskriptive Analyse der Segmentierungslänge der 1S-Melodie im 1. Lebensmonat. ....	68
<b>Tabelle 32:</b> Deskriptive Analyse der Segmentierungslänge der 1S-Melodie im 2. Lebensmonat. ....	69

<b>Tabelle 33:</b> Deskriptive Analyse der Segmentierungslänge der 1S-Melodie im 3. Lebensmonat. ....	70
<b>Tabelle 34:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus Bogenlänge B1 und Bogenlänge B2 in 2B-Melodien im 1. Monat. ....	73
<b>Tabelle 35:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus Bogenlänge B1 und Bogenlänge B2 in 2B-Melodien im 2. Monat. ....	74
<b>Tabelle 36:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus Bogenlänge B1 und Bogenlänge B2 in 2B-Melodien im 3. Monat. ....	75
<b>Tabelle 37:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 1. Monat. ....	77
<b>Tabelle 38:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 2. Monat. ....	78
<b>Tabelle 39:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 3. Monat. ....	79
<b>Tabelle 40:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 1. Monat. ....	82
<b>Tabelle 41:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 2. Monat. ....	83
<b>Tabelle 42:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 3. Monat. ....	84
<b>Tabelle 43:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 1. Monat. ....	86
<b>Tabelle 44:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 2. Monat. ....	87
<b>Tabelle 45:</b> Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 3. Monat. ....	88

## Abkürzungsverzeichnis

APGAR	Activity/ Pulse/ Grimace/ Appearance/ Respiration (Punkteschema zur klinischen Zustandserfassung von Neugeborenen)
B	Melodiebogen
BL	Melodiebogenlänge bzw. Melodiebogendauer
CDAP	Cry-Data-Analysis-Program
ELFRA-2	Elternfragebogen für zweijährige Kinder (Grimm 2000b)
E <sub>max</sub>	maximale Intensität (Energie)
FH <sup>-</sup>	negative Familienanamnese bezüglich spezifischer Spracherwerbsstörung
FH <sup>+</sup>	positive Familienanamnese bezüglich spezifischer Spracherwerbsstörung
F <sub>0max</sub>	maximale Grundfrequenz
F <sub>0</sub>	Grundfrequenz
KG	Kontrollgruppe
KL	Kurzlaut
BL1/BL2	zeitliche Länge des ersten bzw. des zweiten Melodiebogens
L <sub>ges</sub>	zeitliche Länge der gesamten expiratorischen Lautäußerung
MDVP	Multi-Dimensional-Voice-Program
S	Segmentierung
SES	spezifische Spracherwerbsstörung
SETK-2	Sprachentwicklungstest für zweijährige Kinder (Grimm 200a)
SETK-3-5	Sprachentwicklungstest für drei- bis fünfjährige Kinder (Grimm 200a)
QSS	quantitative Signalstruktur
ZVES	Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen
2B	zwei Melodiebögen (Vokalisation mit zwei aufeinander folgenden Melodiebögen)
1S	eine Segmentierung (Vokalisation mit zwei Melodiebögen, die durch eine Vokalisationspause getrennt sind)

## 1 Einleitung und Zielstellung

Sprache ist ein wesentliches Merkmal des Menschen. Sie ist eine komplexe Kommunikationsform, die sich über Millionen von Jahren aus primitiven Lauten entwickelt hat und uns von anderen Lebewesen im Tierreich unterscheidet.

Sprachwissenschaftler sind sich einig, dass der Erwerb von Muttersprache bereits vor der tatsächlichen Wortbildung beginnt (Jusczyk 1997, Nazzi et al. 1998, Wermke/Friederici 2004). Bevor das Kind in die Phase der Wortproduktion kommen kann, muss es bestimmte prosodische Eigenschaften, wie z. B. Rhythmus, Intonation und Betonung seiner Muttersprache erlernt haben. Der Lernprozess beginnt bereits im Mutterleib. Im letzten Drittel der Schwangerschaft ist das Gehör vollständig ausgebildet, und das Ungeborene kann Melodie und Rhythmus seiner Muttersprache wahrnehmen und erkennen. Wie sich die Satzmelodie der Muttersprache anhört, wie Wörter betont werden und welche Laute in der Muttersprache vorkommen, sind Eigenschaften, die ein Säugling sehr schnell erlernt (DeCasper/Fifer 1980, DeCasper/Spence 1986, Eimas et al. 1987, Mattys/ Jusczyk 2001). Neugeborene kommen mit einem relativ ausgereiften auditiv-akustischen System zur Welt und haben die Fähigkeit zur Differenzierung von melodisch-rhythmischen Eigenschaften (Eimas et al. 1971, Kuhl et al. 1992).

Bereits das Weinen junger Säuglinge ist der erste Versuch der akustischen Interaktion mit der Umwelt und der Beginn des Lernprozesses, der auf den Erwerb der Zielsprache hinsteuert. In den ersten Wochen und Monaten erfolgt die vorsprachliche Entwicklung des Säuglings in charakteristischen Phasen: Weinen, Gurren, primitives Babbeln, kanonisches Babbeln, Jargon-Babbeln, Wortproduktion. Die ersten zwei Phasen, Weinen und Gurren, dominieren im Zeitraum ab der Geburt bis zum vierten Lebensmonat. Eine Reihe von Untersuchungen zeigten, dass die frühen Entwicklungsphasen für die spätere Sprachleistung des Kindes von großer Bedeutung sind (Wermke/Mende 2011). Bereits die anfänglichen Laute, das Weinen, scheinen Rückschlüsse auf potentielle Risiken für die nachfolgende Sprachentwicklungen zuzulassen (Wermke 2002, Denner 2007, Wermke et al. 2007, Wermke/Mende 2011).

Vor allem die Arbeiten von Wermke und Mende am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) belegten, dass schon die Säuglingsschreie einen konzertierten und wohl organisierten Reifungsprozess reflektieren. In ihrer Studie an monozygoten Zwillingen klassifizierte Wermke (2002) die Laute der Säuglinge erstmals

anhand ihrer Melodie in einfache, einbögige und komplexe, doppelte, drei- und mehrbögige Strukturen und stellte dabei fest, dass im Laufe der vorsprachlichen Entwicklung die Melodiestrukturen komplexer wurden.

Inzwischen ist gut belegt, dass die Veränderung der Weinlaute in den ersten Monaten in direktem Zusammenhang mit der Sprachentwicklung steht (Wermke 2002, Denner 2007, Wermke et al. 2007, Wermke/Mende 2011). In der Interaktion mit seinen Pflegepersonen erkennt der gesunde Säugling relativ schnell den Zusammenhang zwischen seinen akustischen Stimmungsausdrücken und den darauf folgenden Reaktionen der Umwelt. Er übt sich in der frühen Kommunikation, indem er seine Bedürfnisse laut und deutlich zu erkennen gibt und dabei die phonatorischen Kontrollfähigkeiten trainiert. Die vorsprachliche Entwicklung verläuft im Zusammenspiel mit diesen Trainingsvorgängen sowie mit den anatomisch-morphologischen und neurophysiologischen Reifungsprozessen.

Obwohl die meisten Kinder die Muttersprache problemlos erlernen, leiden etwa 7 % jedes Jahrgangs unter einer genetisch bedingter spezifischen Spracherwerbsstörung (SES), die erst im frühen Kindesalter erkennbar wird (Leonard 1998, Robinson 1987, Tomblin 1996). Davon sind mehr Jungen als Mädchen betroffen (Tallal et al. 1989 b). Diese Kinder (SES-Kinder) weisen einen unauffälligen kognitiven Entwicklungsprozess auf und besitzen keine medizinischen Primärbeeinträchtigungen, wie neurologische Störungen, Hörschäden oder mentale Retardierung. Ihr Spracherwerbsprozess ist jedoch anfänglich verlangsamt und später von der altersgemäßen Norm abweichend (Grimm 1999).

Nach Grimm (1999) können die Merkmale einer Spracherwerbsstörung vielfältig sein. SES-Kindern kann es unter anderem schwerfallen, die Bedeutung von Wörtern und Sätzen zu erlernen. In vielen Fällen ist die Anzahl der erlernten Wörter deutlich geringer als die der Gleichaltrigen. Bei der Bildung von Sätzen können Wörter oder ganze Satzteile ausgelassen, Silben falsch ausgesprochen bzw. durch andere ersetzt werden. All diese Sprachstörungen können dazu führen, dass ein SES-Kind Schwierigkeiten hat, seine Bedürfnisse bzw. das Erlebte seiner Umwelt mitzuteilen (Grimm 1999).

Trotz intensiver Forschung konnte die genaue Ursache der spezifischen Spracherwerbsstörung bisher nicht geklärt werden. Man vermutete als Ursache u. a. eine begrenzte Konzentrationsfähigkeit sowie eine Schwäche des Kurzzeitgedächtnisses (Badcock 2012, Girbau-Massana 2014, Reader et al. 2014). Jedes neue Wort, das Kinder hören, ist für sie

anfänglich eine Lautfolge, die zunächst im Kurzzeitgedächtnis gespeichert wird. Wenn bereits die Speicherung der Lautfolge im Kurzzeitgedächtnis scheitert, kann dieses Wort nicht wieder aufgerufen werden. Diese Theorie würde erklären, dass ein SES-Kind einen geringeren Wortschatz aufweist als ein gleichaltriges Kind (Toumainen 2015). Dazu passt auch der Befund, dass Kinder mit einer Spracherwerbsstörung eine Schwäche in der Verarbeitung schnell aufeinanderfolgender Laute aufweisen (Tallal et al. 1985, Benasich/Tallal 2002). Vor allem die auditive Unterscheidung zwischen kurzen Konsonanten wie z.B. p und b fällt ihnen viel schwerer als normalen Kindern.

Für das Erlernen der Sprache ist die Verarbeitung aufeinanderfolgender perzeptiver Reize notwendig, um Wörter und Wortendungen zu erkennen und zu verarbeiten. Als Ursache für eine SES wird daher auch eine auditiv-perzeptive Verarbeitungsstörung diskutiert (Benasich/Tallal 2002, Park et al. 2015).

Ein wichtiger Ansatzpunkt in der Erforschung der spezifischen Spracherwerbsstörung ist die Suche nach genetischen Ursachen (Reader et al. 2014). Die familiäre Veranlagung für eine SES wurde in den letzten Jahren eingehend untersucht. Kinder mit Familienangehörigen, bei denen bereits eine Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, erkranken häufiger an SES als Kinder mit unauffälliger Familienanamnese bezüglich SES (Bishop et al. 1995, Tallal et al. 1991, Spitz et al. 1997). Diese Forschungsergebnisse zeigen, dass Schwächen in der Informationsverarbeitung, im Kurzzeitgedächtnis sowie Defizite im Unterscheiden von aufeinander folgenden Lauten durchaus genetisch bedingt sein können.

Auch die Zwillingsforschung konnte die Annahme stützen, dass genetische Faktoren bei der Spracherwerbsstörung eine wichtige Rolle spielen. Tomblin und Buckwater (1998) fanden heraus, dass bei monozygoten Zwillingen die Konkordanz bezüglich einer Spracherwerbsstörung 96 % betrug. Dagegen zeigte sich bei dizygoten Zwillingen eine Wahrscheinlichkeit für eine SES beider Kinder von nur 69 %.

Die beispielhaft aufgeführten Befunde bekräftigen die Annahme, dass man ein potentielles Risiko für ein SES bereits im Säuglingsalter identifizieren sollte. Geeignete Frühindikatoren zu finden, ist Gegenstand der Forschung in vielen Ländern – in Deutschland war es Ziel der DFG-geförderten GLAD-Studie. Hier nicht genannte, weiterführende Details zu diesem interdisziplinären Projekt finden sich auf der Webseite der Forschergruppe (<http://glad-study.cbs.mpg.de/>). Das frühzeitige Erkennen von Kindern mit einem Risiko für eine

spezifische Spracherwerbsstörung hätte den Vorteil, dass bereits im vorsprachlichen Alter mit gezielten Therapien das Ausmaß der sprachlichen Entwicklungsstörung eingedämmt werden könnte. Besonders sinnvoll wäre eine Frühdiagnose bei Säuglingen, die ein hohes Risiko für eine sprachliche Entwicklungsstörung tragen. Das sind z. B. Kinder mit orofazialen Spaltenbildungen (Krause 2012, Steck-Walter 2007) oder Kinder mit cranialen Malformationen, die ein zusätzliches Risiko durch eine genetische Disposition für SES haben können (Korpilahti et al. 2012).

Die vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag zur Suche nach Frühindikatoren für eine SES. Sie untersucht Vokalisationen in den ersten drei Lebensmonaten von gesunden Säuglingen mit bzw. ohne familiäre Disposition für SES. Dabei wird der Fokus auf die bereits reife Phonation gelegt. Die zeitliche Veränderung der Grundfrequenz, die Melodie, ist Grundbaustein für die spätere muttersprachliche Prosodie (Wermke/Mende 2011). Daten der Glad-Studie von ausgewählten Vokalisationen während der ersten drei Lebensmonate von einer gesunden Kontrollgruppe (Kinder ohne spezifische Spracherwerbsstörung) und einer SES-Gruppe (Kinder mit spezifischer Spracherwerbsstörung) wurden retrospektiv untersucht. Dabei wurden die Probanden bezüglich ihrer positiven ( $FH^+$ ) und negativen ( $FH^-$ ) familiären Disposition für eine spezifische Spracherwerbsstörung in Gruppen unterteilt.

In der vorliegenden retrospektiven Untersuchung sollen neben dem Fokus auf der Suche nach geeigneten vorsprachlichen Risikomarkern gleichzeitig erstmalig Referenzwerte von gesunden Kindern im vorsprachlichen Alter ermittelt werden. Diese Referenzwerte können eine Grundlage für Forschungsprojekte sein, die Risikokinder mit orofazialen Spalten und Kraniosynostosen im Säuglingsalter betrachten.

In der vorliegenden Arbeit wurden gezielt Daten von Vokalisationen analysiert, die eine melodisch-rhythmische Ähnlichkeit zu späteren zweisilbigen Wörtern aufweisen. Das sind sogenannte 2B-Strukturen (zweibögige Melodien) und 1S-Strukturen (zweibögige Melodien, die durch eine Pause unterbrochen sind) (Kap. 2.5.2). Dabei wurden die relative Auftrittshäufigkeit (Kap. 3.1.), Parameter der Zeitorganisation (Kap. 3.2) sowie melodische Eigenschaften (Kap. 3.3) dieser Strukturen im Untersuchungszeitraum ausgewertet. Besonders viel Wert wurde in dieser Arbeit auf die Eigenschaften gelegt, die die zeitliche Organisation der oben genannten Strukturen reflektierten. Dies waren die Gesamtlänge der Vokalisationen, die Länge des ersten und des zweiten Melodiebogens sowie die Länge der

Segmentierungspausen. Auch die melodischen Eigenschaften wie z. B die Betonung des ersten und zweiten Melodiebogens wurden in dieser Arbeit genau untersucht.

Analysiert wurden die oben genannten Strukturen mit Hilfe von signalanalytischen Methoden im Babylabor des Zentrums für Vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen an der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg (Kap. 2.6).

Die Hypothesen, die der Auswertung zugrunde liegen, lauten:

Hypothese 1: Säuglinge, bei denen anhand des Sprachtestes im Alter von 3-5 Jahren eine Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, zeigten im Alter von ein bis drei Monaten eine zeitlich verzögerte Produktion von komplexeren Lauten wie 2B- und 1S- Strukturen.

Hypothese 2: Probanden, die eine Spracherwerbsstörung entwickelten, hatten bereits im Säuglingsalter Schwierigkeiten, klare (wohlgeformte) Laute zu produzieren. Der Anteil von phonatorisch verrauschten und daher bezüglich der Grundfrequenzeigenschaften nicht auswertbaren Schreie ist dadurch bei SES-Kindern höher als bei unauffälligen Probanden.

Hypothese 3: Beim Erlernen der deutschen Prosodie ist die Betonung der ersten Silbe in zweisilbigen Wörtern, ein sogenannter Trochäus, wichtig. Es wird erwartet, dass bei Kindern, bei denen die Sprachentwicklung normal verlief (FH<sup>-</sup>-Norm) und (FH<sup>+</sup>-Norm) die Werte für die prosodisch relevanten Merkmale, Bogenlänge und Frequenzmaximum des ersten Bogens, bei den Vokalisationen mit doppelböiger Melodie (2B- und 1S-Strukturen) größer sind als die des zweiten Bogens. Es wird angenommen, dass Kinder mit einer später diagnostizierten Spracherwerbsstörung bereits im Säuglingsalter in den 2B- und 1S-Strukturen eine Entwicklungsverzögerung des trochäischen Betonungsmusters zeigen.

Bei allen Vergleichen, Analysen und Auswertungen diente die FH<sup>-</sup>-Norm-Gruppe, die aus Probanden besteht, die keine familiäre Disposition für SES aufwiesen und deren sprachliche Entwicklung ungestört verlief, als Referenzgruppe. Die Werte dieser Gruppe wurden zur Deutung der Befunde der anderen drei Probandengruppen herangezogen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Studiendesign der Ausgangsuntersuchung (GLAD-Studie)

In der vorliegenden Arbeit wurden spezielle Aspekte der vorsprachlichen Lautproduktion von Säuglingen, die Teilnehmer an der interdisziplinären DFG-geförderten Langzeitstudie „Deutsche Sprachentwicklungsstudie“ (GLAD-Studie) waren, analysiert. Im Rahmen dieser Studie wurden Säuglinge in der Kinderklinik Lindenhof, Berlin-Lichtenberg untersucht um vorsprachliche Prädiktoren für eine spätere Spracherwerbsstörung zu finden. Die Studie war in sieben Teilprojekte gegliedert, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft<sup>1</sup> und dem Max-Planck Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften Leipzig gefördert wurden.

In den verschiedenen Teilprojekten wurden ausgewählte Leistungen von Säuglingen in den Bereichen Sprachproduktion und Sprachperzeption im Rahmen einer Langzeitstudie dokumentiert und analysiert.

Für die Aufnahme in die Studie mussten die untersuchten Säuglinge medizinisch unauffällig sein und folgende Kriterien erfüllen<sup>2</sup>:

- mindestens 5 Vorsorgeuntersuchungen während der Schwangerschaft;
- keine längeren gravierenden Erkrankungen während der Schwangerschaft auch bei postnatal zunächst gesundem Kind;
- Spontangeburt, keine Zangengeburt;
- bei Sectio nur aufgrund mütterlicher Indikation und Fehllage;
- Ein- und Mehrlingsgeburten;
- Gestationsalter zwischen 37+0 und 41+6 SSW;
- eutroph (Grenzen 10. und 90. Perzentile nach Voigt et al. 1996);
- Apgar 5' > 8, 10' > 9;
- Nabelschnur pH > 7,20;

---

<sup>1</sup> DFG-Projekt „Frühkindliche Sprachentwicklung und spezifische Sprachentwicklungsstörungen“, DFG Forschergruppe 381 (<http://glad-study.cbs.mpg.de/>)

<sup>2</sup> Die Daten der gesundheitlichen Entwicklung der Probanden wurden freundlicherweise von Prof. Dr. med. Volker Hesse, ehemaliger Chefarzt der Kinderklinik am Krankenhaus Lindenhof, Berlin-Lichtenberg, zur Verfügung gestellt. Besonderer Dank richtet sich an Dr. med. Phantina Belouli und Dr. med. Jan Hinkel, die die Untersuchungen durchgeführt haben.

- Bilirubinkonzentration  $< 360 \mu\text{mol/l}$ ;
- kein Verdacht auf Syndrom mit Intelligenzdefekt (Einzelfallentscheidung);
- Säure-Basen-Exzess (ABE)  $> -10$  und  $< 10$ ;
- keine symptomatische Hypoglykämie;
- TSH-Werte  $< 20 \text{ mU/l}$  (Ausschluss einer Schilddrüsenunterfunktion);
- otoakustische Emission (OAE) beidseits unauffällig;
- neurologische Erstuntersuchung nach Prechtel und Beintema (1976) unauffällig;
- Deutsch als einzige zu Hause gesprochene Sprache.

Diese Kriterien sollten sicherstellen, dass eine weitgehend homogene Gruppe gesunder Säuglinge untersucht wurde. Im Rahmen des medizinischen Teilprojekts der Studie wurden regelmäßig Kontrolluntersuchungen durchgeführt, um zu gewährleisten, dass sich alle Säuglinge auch postnatal unauffällig entwickelten und keine medizinischen Risikofaktoren auftraten, die den Erwerb der Sprache beeinflussen könnten. Neben der neurologischen Erstuntersuchung nach Prechtel/Beintema (1976), die in den ersten fünf Tagen erfolgte, wurden auch entwicklungs-neurologische Untersuchungen in Anlehnung an Michaelis (1999) im Alter von 1, 3, 6, 9, 12 sowie 18 Monaten bei den Probanden durchgeführt. Die Bewegungsqualitäten wurden auf der Grundlage der Kriterien nach Touwen (1982) bewertet, und die Entwicklungsdiagnostik erfolgte anhand der Griffith-Entwicklungsskalen (deutsche Bearbeitung nach Brandt und Sticker, 2001). In den ersten fünf Tagen wurden von den Säuglingen ebenfalls die morphologische und die neuromuskuläre Reife mit Hilfe der Skalen des neuen Ballard Scores (1991) erfasst.

Die Hörleistung der untersuchten Probanden wurde im Alter von 1, 2, 4, 6, 8, 12, 13 und 18 Monaten überprüft.<sup>3</sup> Dabei wurden die otoakustischen Emissionen (OAE) gemessen sowie die Ableitung akustisch evozierter Hirnstammpotentiale (BERA) beurteilt. Da die OAE bei normalem Innenohr (äußere Haarzellen) und bei normaler Schallleitungsfunktion (äußerer Gehörgang, Trommelfell, Gehörknöchelchenkette) nachgewiesen werden können, ist die Messung wichtig, um eventuell vorliegende passagere Hörstörungen, wie Otitis media oder Paukenerguss, zu diagnostizieren. Persistierende Hörstörungen wurden anhand der Ableitung der BERA ausgeschlossen.

---

<sup>3</sup> In dem Teilprojekt „Pädaudiologische Basisdiagnostik“ wurden die Daten in Bezug auf die Hörleistung erhoben und freundlicherweise von Prof. Dr. med. Manfred Gross und Dr. med. Karsten Nubel, Klinik für Audiologie und Phoniatrie an der Charite, CBF, Berlin, zur Verfügung gestellt.

Nur Kinder, die in allen medizinischen Untersuchungen unauffällig waren, wurden in die Studie aufgenommen bzw. verblieben in der Studie. Nur anonymisierte Daten dieser Kinder wurden in der vorliegenden Arbeit retrospektiv analysiert.

Die vorsprachliche Lautproduktion der Probanden wurde im Rahmen der „Deutschen Sprachentwicklungsstudie“ in der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin Lindenhof in Berlin erhoben und im Archiv am ZVES gespeichert. Im Teilprojekt „Sprachproduktion-Schreianalyse“ (Leitung Prof. Dr. K. Wermke) wurden die Lautaufnahmen im 1. Lebenshalbjahr der Probanden analysiert. Die vorliegende Arbeit basierte u. a. auf anonymisierten Daten aus diesem Teilprojekt der GLaD-Studie.

Da sich die Arbeit mit der Analyse vorsprachlicher Laute von gesunden Kindern und von Kindern, bei denen im Alter von 3-5 Jahren eine spezifische Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, beschäftigt, ist die Kenntnis der Familienanamnese bezüglich einer Spracherwerbsstörung (SES) interessant. Das Auftreten einer solchen Störung in der Familie, z. B. bei Vater, Mutter, Geschwistern oder auch bei den Großeltern, wurde durch die Linguisten der GLAD-Studie anhand eines speziellen Fragebogens und anhand nachgeschalteter Sprachtests ermittelt.<sup>4</sup>

Als Sprachtest zur Einschätzung des Sprachentwicklungsstandes der Kinder diente der SETK 3-5 (Grimm 2001). Die Kinder wurden im Alter von drei bis fünf Jahren in den Sprachbereichen Sprachverstehen, Sprachproduktion und Sprachgedächtnis untersucht (Grimm, 2001, S. 5) und anhand der Ergebnisse als auffällig bzw. unauffällig eingestuft. Da der SETK 3-5<sup>5</sup> in Bezug auf die Sprachkompetenz sehr aussagekräftig ist, wurden die Ergebnisse dieses Tests zur Einstufung der SES-Kinder in der vorliegenden Arbeit bevorzugt verwendet.

Bei einigen Probanden lagen die Ergebnisse des SETK 3-5 nicht vor. Der Sprachentwicklungsstand dieser Kinder wurde anhand des SETK-2-Tests beurteilt. Der SETK-2 ist ein Sprachtest, der im Rahmen des Teilprojekts „Sprachproduktion und

---

<sup>4</sup> Die Daten hinsichtlich der positiven Familienanamnese der Probanden wurden freundlicherweise von PD Dr. Zvi Penner und Prof. Dr. Petra Schulz, von dem Teilprojekt „Sprachproduktion und Sprachverständnis“ an der Charité- Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Audiologie und Phonatrie, geleitet von Prof. Dr. M. Gross, zur Verfügung gestellt.

<sup>5</sup> Die Daten hinsichtlich der SETK-Kategorien der Probanden wurden freundlicherweise von PD Dr. Zvi Penner und Prof. Dr. Petra Schulz, von dem Teilprojekt „Sprachproduktion und Sprachverständnis“ an der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Audiologie und Phoniatrie, geleitet von Prof. Dr. M. Gross, zur Verfügung gestellt.

Sprachverständnis“ zur Beurteilung des Spracherwerbs bei Kindern im Alter von zwei Jahren erfolgt (Grimm 2000). Die Probanden wurden von den Projektmitarbeitern in den Kategorien Verstehen von Worten, Produktion von Worten, Verstehen von Sätzen und Produktion von Sätzen befragt, analysiert und anschließend anhand der Ergebnisse als unauffällig oder auffällig eingestuft.

Für zwei Probanden (AJ, FR) lagen weder Ergebnisse des SETK 3-5 noch des SETK-2 vor. Bei diesen Kindern erfolgte die Beurteilung der sprachlichen Entwicklung mit Hilfe des Elternfragebogens (ELFRA-2)<sup>6</sup>. Dieser standardisierte Test wird bei Kindern im Alter von zwei Jahren von den Eltern durchgeführt und dient ebenfalls der Beurteilung der erreichten Sprachkompetenz (Grimm/Doil 2000).

## **2.2 Auswahl der Probanden**

Für die vorliegende Arbeit wurden Probanden aus dem GLAD-Studienarchiv ausgesucht, von denen in den ersten 12 Lebenswochen möglichst viele Lautaufnahmen vorlagen und bei denen Sprachstatusangaben im Alter von drei Jahren (SETK 3-5) oder mindestens zwei Jahren (SETK-2) vorhanden waren. Zusätzlich wurden die Vokalisationen von zwei Kindern (AJ, FR), bei denen keine SETK-Testung im Rahmen der GLAD-Studie durchgeführt wurde und nur ein Elternfragebogen (ELFRA-2) (Grimm/Doil 2000) vorlag, ausgewertet. Diese Kinder wurden trotzdem einbezogen, da sie sehr viele auswertbare Laute der hier analysierten Melodiestrukturen aufwiesen.

### **2.2.1 Sprachtests**

#### **2.2.1.1 Sprachtest SETK 3-5**

Mit Hilfe des Sprachtests SETK 3-5 kann das rezeptive und produktive sprachliche Wissen der Kinder im Alter von drei bis fünf Jahren untersucht werden. In diesem Zeitraum spielt die Sprachfähigkeit eine zentrale Rolle. Damit ein Kind in der Schule den Lernstoff aufnehmen, verarbeiten und wiedergeben kann, sollte es nach Untersuchungen von Grimm (Grimm, 2001) die Sprache bereits im Vorschulalter in seinen wesentlichen Merkmalen beherrschen.

---

<sup>6</sup> Die Daten hinsichtlich des Wortschatzumfangs der Probanden wurden freundlicherweise von PD Dr. Zvi Penner und Prof. Dr. Petra Schulz, von dem Teilprojekt „Sprachproduktion und Sprachverständnis“ an der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Audiologie und Phoniatrie, geleitet von Prof. Dr. M. Gross, zur Verfügung gestellt.

In zahlreichen Studien konnte nachgewiesen werden, dass Kinder mit Sprachdefiziten im Alter von drei bis fünf Jahren in der Schule erhebliche Leseschwierigkeiten herausbilden und insgesamt intellektuelle Probleme aufweisen (Godfrey et al. 1981, Snowling et al. 1986, Werker/Tees 1987, Elliot et al. 1989). Eine Störung des Spracherwerbs stellt deshalb ein Risiko für die Gesamtentwicklung des Kindes dar.

In dieser Arbeit wurde der Sprachtest SETK 3-5 aufgrund seiner vergleichsweise guten Eignung als „erste Wahl“ für die Unterteilung der Probanden in eine Norm-Gruppe und eine SES-Gruppe herangezogen, da er folgende Kriterien erfüllt (Grimm 2001). Der Test

- wird an Kindern im Vorschulalter durchgeführt,
- misst die für die untersuchten Altersbereiche typischen Merkmale,
- weist eine hohe prognostische Validität auf.

Der Sprachtest SETK 3-5 wurde von Mitarbeitern des Teilprojekts „Sprachproduktion und Sprachverständnis“ durchgeführt. Der SETK 3-5 lässt sich in Untertests gliedern, die Tabelle 1 zu entnehmen sind.

**Tabelle 1:** Untertests des SETK 3-5 (Grimm, 2001).

Skala zu	Untertest	Abkürzung
Sprachverstehen	– Verstehen von Sätzen	– VS
Sprachproduktion	– Enkodierung semantischer Relation	– ESR
	– morphologische Regelbildung	– MR
Sprachgedächtnis	– phonologisches Arbeitsgedächtnis für Nichtwörter	– PGN
	– Gedächtnisspanne für Wortfolgen	– GW
	– Satzgedächtnis	– SG

Da die Sprachentwicklung von Dreijährigen nicht dem gleichen Niveau entspricht wie dem der Fünfjährigen, wurden zwei altersspezifische Sprachtests verwendet, die sich in ihrem Aufbau leicht voneinander unterscheiden. Tabelle 2 zeigt, aus welchen Untertests sich der SETK 3-5 für dreijährige Kinder und der für vier- bis fünfjährige Kinder zusammensetzt. Die Reihenfolge der Untertests ist in den einzelnen Altersgruppen gleich.

**Tabelle 2:** Aufbau des SETK 3-5 für beide Altersgruppen (Grimm, 2001).

SETK 3-5	1. Untertest	2. Untertest	3. Untertest	4. Untertest	5. Untertest
Dreijährige	VS	ESR	PGN	MR	-
Vier- bis Fünfjährige	VS	SG	PGN	MR	GW

Im ersten Untertest wird das Verstehen von Sätzen (VS) untersucht. Einem dreijährigen Kind werden nach einem vorgesprochenen Satz Bilder gezeigt. Das Kind muss das Bild aussuchen, das am besten den Satzinhalt widerspiegelt. Die Manipulationsaufgaben, die den zweiten Teil dieses Untertests ausmacht, werden sowohl den Dreijährigen als auch den Vier- bis Fünfjährigen gestellt. Dabei wird mit einfachen Sätzen eine Aufgabe beschrieben. Die Manipulationsaufgaben beginnen mit einfachen Sätzen. Im Verlauf des Tests werden die Sätze immer komplexer.

Der Untertest „Enkodierung semantischer Relation“ (ESR) erfasst Aspekte der Sprachproduktion und wird nur mit dreijährigen Kindern durchgeführt. Drei der in dieser Arbeit untersuchten Probanden (HH, AA und BX) waren zum Zeitpunkt der SETK 3-5-Testung genau drei Jahre alt, mit ihnen wurde der Untertest ESR durchgeführt. Dem Kind wird ein Bild gezeigt, das es beschreiben soll. Hierbei wird erfasst, wie präzise das Kind die Situation auf dem Bild beschreiben kann.

Ebenfalls mit Aspekten der Sprachproduktion beschäftigt sich der Untertest zu morphologischen Regelbildung (MR). Den Kindern werden Wörter vorgesprochen. Zu jedem vorgegebenen Wort sollen die Kinder die richtige Pluralform bilden. Die vier- bis fünfjährigen Kindern bekommen zusätzlich unbekannte Wörter (Nonsense-Wörter) zu hören, wie z. B. Ribane, zu denen sie die Pluralform bilden sollen.

Der nächste Untertest, der sich mit dem Sprachgedächtnis (PGN) beschäftigt, untersucht die Fähigkeit der Kinder, noch nie gehörte Lautäußerungen, sogenannte Nichtwörter, z. B. Maluk, im phonologischen Gedächtnis zu speichern und wiederzugeben. Dieser Untertest wird als sehr aussagekräftig angesehen, da zahlreiche Untersuchungen eine enge Beziehung zwischen dem phonologischen Arbeitsgedächtnis für Nichtwörter und der Sprachentwicklung belegen. Daher wurden in dieser Arbeit alle Probanden, die in diesem Untertest auffällig waren, in die

Risk-Gruppe eingestuft, auch wenn alle anderen Untertests keinen pathologischen Befund lieferten.

Der nächste Untertest des SETK 3-5 beschäftigt sich mit der Gedächtnisspanne von Wortfolgen (GW). Den Kindern werden Wortfolgen von Lautäußerungen, die inhaltlich nicht zusammengehören, vorgesagt, und sie sollen diese unmittelbar nachsprechen. Dieser Untertest wird mit Kindern im Alter zwischen vier und fünf Jahren durchgeführt, da in diesem Altersbereich ein deutlicher Leistungszuwachs zu verzeichnen ist.

Der Untertest, der sich mit dem Satzgedächtnis (SG) beschäftigt, wird ebenso bei Kindern im Alter zwischen vier und fünf Jahren angewendet. Den Kindern werden Sätze mit sinnvollem Inhalt vorgesprochen und Sätze, die keinen Sinn ergeben. Die Kinder sollen die Sätze unmittelbar nachsprechen.

Durch das Addieren der Punkte, die die Kinder für das Erfüllen der Untertests bekamen, werden Rohwerte ermittelt. Diese Rohwerte können anhand einer Tabelle in T-Werte umgewandelt werden. Ein T-Wert, der kleiner 40 ist, bedeutet, dass sich das Kind in diesem Untertest sprachauffällig verhielt. Ein T-Wert über 40 zeigt, dass sich das Kind bezüglich der sprachlichen Leistungen dieses Untertests im Normbereich befindet.

### **2.2.1.2 Sprachtest SETK-2**

Der SETK-2 (Grimm, 2000) ist ein Sprachentwicklungstest, der produktive und rezeptive Sprachverarbeitungsfähigkeiten bei Zweijährigen erfasst. Dieser Test wurde in der vorliegenden Arbeit für die Zuordnung der Probanden in die Norm-Gruppe oder die SES-Gruppe verwendet, wenn der Sprachtest SETK 3-5 bei einem Probanden nicht durchgeführt werden konnte. SETK-2 ist in verschiedene Untertests (Tab. 3) unterteilt, die stets in der gleichen Reihenfolge durchgeführt werden.

**Tabelle 3:** Aufbau des SETK-2-Test.

Untertest	Erläuterung
Verstehen I	Verstehen von Wörtern
Verstehen II	Verstehen von Sätzen
Produktion I	Produktion von Wörtern
Produktion II	Produktion von Sätzen

Im ersten Untertest von SETK-2 wird das Verstehen von Wörtern geprüft. Dem Kind werden jeweils vier Bilder gezeigt und gleichzeitig ein Wort gesagt, z. B. Hase. Das Kind soll auf die Karte mit dem Hasen zeigen.

Der zweite Untertest beschäftigt sich mit dem Verstehen von Sätzen. Anders als im ersten Untertest werden dem Kind Sätze vorgesprochen. Das Kind muss von vier Bildern das Bild erkennen, das die Handlung in dem vorgegebenen Satz widerspiegelt.

Der vorletzte Untertest beschäftigt sich mit der Produktion von Wörtern. Dem Kind werden Bilder mit Gegenständen gezeigt und deren Namen erfragt.

Mit Hilfe des letzten Untertests wird die Produktion von Sätzen geprüft. Mittels bildlich dargestellter Szenen werden die Probanden zuerst danach gefragt, was sie sehen, und anschließend wird die produktive Verarbeitung spezifischer Satzkonstruktionen überprüft.

Da das Testalter der Kinder mit 30 Monaten im Grenzbereich zwischen zwei Altersnormen der Auswertetabellen des SETK-2 liegt, wurden von den Linguisten beide Normwerttabellen berücksichtigt. Daher wurden hinsichtlich der Leistung jedes Kindes zwei Evaluierungen realisiert, eine entsprechend der Norm für jüngere Kinder und eine entsprechend der Norm für ältere. In der vorliegenden Arbeit wurden diese beiden Einschätzungen berücksichtigt. Kinder, die bezüglich der Norm für jüngere Kinder in allen vier Untertests des SETK-2 unauffällig waren und bezüglich der Norm für ältere Kinder in maximal einem Untertest auffällig waren, wurden in der vorliegenden Arbeit der Norm-Gruppe zugeordnet. Dabei wurde nicht berücksichtigt, in welchem der Untertests eine Leistung unterhalb der höheren Altersnorm lag. Kinder, die diese Kriterien nicht erfüllten, wurden in die SES-Gruppe eingeordnet.

### 2.2.1.3 Sprachtest ELFRA-2

Von zwei Probanden (AJ, FR) lagen weder Ergebnisse des SETK 3-5 noch des SETK-2 Tests vor. Für die Einschätzung ihrer sprachlichen Entwicklung wurde in der vorliegenden Arbeit der Elternfragebogen ELFRA-2 (Grimm/ Doil 2000) verwendet (Tab. 4).

In Tabelle 6 ist die Anzahl der Wörter aufgelistet, welche die beiden Probanden AJ und FR im Alter von 24 Monaten beherrschten. Da der Wortschatz der Kinder mehr als 50 Wörter (cut-off Wert) betrug, wurden diese der Norm-Gruppe zugeordnet.

**Tabelle 4:** Aufbau des Elternfragebogens ELFRA-2 für Kinder im Alter von 24 Monaten.

Bewertung	Beschreibung	Auswertung
<b>Produktiver Wortschatz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 260 Wörter werden durch die Eltern abgefragt</li> <li>- Eltern geben an, wie viele Wörter ihr Kind beherrscht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Normwert – 200 Wörter</li> <li>- &lt; 50 Wörter – auffällig</li> <li>- &gt; 50 Wörter – unauffällig</li> </ul>

### 2.2.2 Einteilung der Probanden in FH<sup>+</sup>- und FH<sup>-</sup>-Gruppen

Um den Anteil von Probanden im Projekt zu erhöhen, die ein potentielles Risiko für die Entwicklung einer spezifischen Spracherwerbsstörung besitzen, wurden in der GLAD-Studie insbesondere Säuglinge aufgenommen, die eine positive Familienanamnese (FH für family history) bezüglich einer spezifischen Sprachentwicklungsstörung (SES) aufweisen. Die per Fragebogen von den Linguisten des Teilprojekts „Sprachproduktion und Sprachverständnis“ an der Charite – Universitätsmedizin in Berlin, Klinik für Audiologie und Phoniatrie, geleitet von Prof. Dr. M. Gross, erhoben wurden und zur Verfügung gestellt wurden. Die Kriterien, wie z. B. ein verspäteter Sprachbeginn, grammatikalische Fehler bei der Satzbildung oder eine Lese- und Rechtschreibschwäche in den ersten Schuljahren, wurden in der Kernfamilie (Geschwister, Eltern) sowie bei weiteren Verwandten (Großeltern, Tante oder Onkel) erfasst. Zusätzlich wurden von den Linguisten direkte Testungen diesbezüglich durchgeführt. Probanden mit einer positiven Familienanamnese bezüglich einer spezifischen Sprachentwicklungsstörung wurden der FH<sup>+</sup>-Gruppe zugeordnet, diejenigen mit unauffälliger Familienanamnese in die FH<sup>-</sup>-Gruppe. Die für die vorliegende Untersuchung ausgewählten FH<sup>+</sup>- und FH<sup>-</sup>-Probanden sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Für die vorliegende Arbeit konnten gespeicherte Längsschnittdaten von 22 Probanden (12 Mädchen und 10 Jungen) mit einer positiven Familienanamnese bezüglich einer spezifischen Spracherwerbsstörung aus allen 6 Rekrutierungsblöcken der GLAD-Studie verwendet werden. Für die FH-Gruppe standen entsprechende Daten von 34 Säuglingen (16 Mädchen und 18 Jungen), die den Auswahlkriterien genügten, zur Verfügung.

**Tabelle 5:** Probanden der FH<sup>+</sup>- und FH<sup>-</sup>-Gruppe mit Angaben des Geschlechts.

Gruppe FH <sup>+</sup>	
Code	Geschlecht
EX	Männlich
CB	Männlich
DX	Männlich
FT	Männlich
BT	Männlich
AW	Männlich
CD	Männlich
CX	Männlich
DA	Männlich
FS	Männlich
BH	Weiblich
BD	Weiblich
BV	Weiblich
CV	Weiblich
FF	Weiblich
AT	Weiblich
AU	Weiblich
AY	Weiblich
CU	Weiblich
DP	Weiblich
DJ	Weiblich
DG	Weiblich

Gruppe FH <sup>-</sup>	
Code	Geschlecht
AL	Männlich
BC	Männlich
BL	Männlich
BM	Männlich
BR	Männlich
BZ	Männlich
BU	Männlich
GK	Männlich
GF	Männlich
FR	Männlich
AF	Männlich
AQ	Männlich
CA	Männlich
HH	Männlich
AZ	Männlich
AP	Männlich
FN	Männlich
AV	Männlich
BE	Weiblich
AJ	Weiblich
AK	Weiblich
AX	Weiblich
AR	Weiblich
BF	Weiblich
BW	Weiblich
BI	Weiblich
BA	Weiblich
BS	Weiblich
GL	Weiblich
AA	Weiblich
HE	Weiblich
BX	Weiblich
AM	Weiblich
AE	Weiblich

### 2.2.3 Zuordnung der FH<sup>+</sup>- und FH<sup>-</sup>-Probanden in die Sprachleistungsgruppen

Für diese Arbeit wurden in erster Linie nur Daten von Kindern aus der GLAD-Studie ausgesucht, von denen die Beurteilung der sprachlichen Entwicklung im Alter von drei bis fünf Jahren vorlag (Kapitel 2.2). Bei sechs Kindern wurde der SETK 3-5 nicht durchgeführt. In diesen Fällen wurde zur Beurteilung des Spracherwerbs der Probanden der SETK-2 bzw. der ELFRA verwendet (Kapitel 2.2.1.2 und 2.2.1.3). Probanden, bei denen der Sprachtest auffällig war (vgl. Kap 2.2.1.1 bis 2.2.1.3), bildeten die SES-Gruppe. Kinder, bei denen der Sprachtest normgerechte Leistungen lieferte, bildeten die Norm-Gruppe.

In den Tabellen 6 und 7 sind unter anderem die Ergebnisse des SETK 3-5 dargestellt. Dabei repräsentiert jede 0, / oder 1 einen der Untertests, die in der Reihenfolge VS, ESR, PGN, MR bzw. GW (Tab. 2) wiedergegeben sind. Die 0 bedeutet, dass der Untertest unauffällig war. Die 1 gibt an, dass das Kind in diesem Untertest auffällig war. Der / gibt an, dass der Untertest nicht durchgeführt werden konnte. Sind entweder mindestens zwei der Untertests als auffällig bzw. nicht durchgeführt oder nur der Untertest PGN als auffällig diagnostiziert worden, so wurde das Kind der SES-Gruppe für die Sprachentwicklung zugeordnet. Alle anderen Probanden repräsentieren die Norm-Gruppe.

**Tabelle 6:** FH<sup>-</sup>- und FH<sup>+</sup>-Probanden der Norm-Gruppe mit jeweils verwendetem Test und mit Ergebnissen der Untertests (0 - unauffälliger Untertest, 1 - auffälliger Untertest und / - nicht durchgeführter Untertest) Bei ELFRA wurde im Klammern die Anzahl der gesprochenen Wörter aufgelistet.

Proband	FH-Status	Sprachtests		
		SETK 3-5	SETK-2	ELFRA
AL	FH <sup>-</sup>	00000		
BC	FH <sup>-</sup>	00000		
BL	FH <sup>-</sup>		0000	
BM	FH <sup>-</sup>	00000		
BZ	FH <sup>-</sup>	00000		
BU	FH <sup>-</sup>	00000		
GK	FH <sup>-</sup>	00000		
GF	FH <sup>-</sup>	00000		
FR	FH <sup>-</sup>			0 (114)
AF	FH <sup>-</sup>	00001		
CA	FH <sup>-</sup>	00000		

		Sprachtests		
Proband	FH-Status	SETK 3-5	SETK-2	ELFRA
AZ	FH-	00000		
AP	FH-		0100	
FN	FH-	10000		
AE	FH-	00000		
AJ	FH-			0 (158)
AK	FH-	00000		
AX	FH-	00000		
BF	FH-	00001		
BW	FH-		0000	
BI	FH-	00000		
BA	FH-	00000		
BS	FH-	00000		
GL	FH-	00000		
AR	FH-	00000		
HE	FH-	00000		
BE	FH-		0100	
CX	FH <sup>+</sup>	00000		
DA	FH <sup>+</sup>	00000		
FS	FH <sup>+</sup>	00000		
EX	FH <sup>+</sup>	10000		
AU	FH <sup>+</sup>	/0000		
CB	FH <sup>+</sup>	01000		
AY	FH <sup>+</sup>	00000		
DG	FH <sup>+</sup>	01000		
BV	FH <sup>+</sup>	10000		
CV	FH <sup>+</sup>	10000		

**Tabelle 7:** FH<sup>-</sup>- und FH<sup>+</sup>-Probanden der SES-Gruppe mit jeweils verwendetem Test und mit Ergebnissen der Untertests (0 - unauffälliger Untertest, 1 - auffälliger Untertest und / - nicht durchgeführter Untertest) Bei ELFRA wurde im Klammern die Anzahl der gesprochenen Wörter aufgelistet.

Proband	FH-Status	Sprachtests			
		SETK4-5	SETK-3	SETK-2	ELFRA
BR	FH <sup>-</sup>	00100			
AQ	FH <sup>-</sup>	00100			
HH	FH <sup>-</sup>		1010		
AV	FH <sup>-</sup>	11100			
AA	FH <sup>-</sup>		1111		
BX	FH <sup>-</sup>		1111		
AM	FH <sup>-</sup>	01001			
FT	FH <sup>+</sup>	10101			
BT	FH <sup>+</sup>	11100			
AW	FH <sup>+</sup>	00100			
CD	FH <sup>+</sup>	01111			
DX	FH <sup>+</sup>	00101			
AT	FH <sup>+</sup>	10/00			
CU	FH <sup>+</sup>	00100			
DP	FH <sup>+</sup>	00100			
DJ	FH <sup>+</sup>	00/01			
BH	FH <sup>+</sup>	11001			
BD	FH <sup>+</sup>	00101			
FF	FH <sup>+</sup>	10110			

### 2.3 Finale Gruppenbildung

In der vorliegenden Arbeit wurden neben der Familienanamnese für SES (Kapitel 2.2.2) auch die Ergebnisse der Sprachtests (Kapitel 2.2.3) berücksichtigt. Eine Vorarbeit zu dieser Thematik wurde bereits von Denner (2007) durchgeführt. Wie auch in der vorliegenden Arbeit hatte Denner eine Kontrollgruppe, die aus gesunden Säuglingen ohne familiäre Disposition für SES (FH<sup>-</sup>) gebildet wurde, mit Probanden verglichen, bei denen eine familiärer Disposition für SES (FH<sup>+</sup>) bekannt war. Dabei wurden die FH<sup>+</sup>-Probanden in zwei Gruppen unterteilt. Eine dieser Untergruppen bestand aus Säuglingen, bei denen retrospektiv

anhand von Sprachtests eine Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde (FH<sup>+</sup>-SES). Die andere Untergruppe setzte sich aus Probanden zusammen, bei denen retrospektiv der Sprachtest unauffällig war (FH<sup>+</sup>-Norm). Auch in der vorliegenden Arbeit wurden die drei Gruppen, wie bei Denner gebildet. Zusätzlich wurde eine weitere Untersuchungsgruppe erstellt. Diese besteht aus Kindern ohne familiäre Disposition für SES, bei denen der Sprachtest auffällig war (FH<sup>-</sup>-SES) (Abbildung 1).

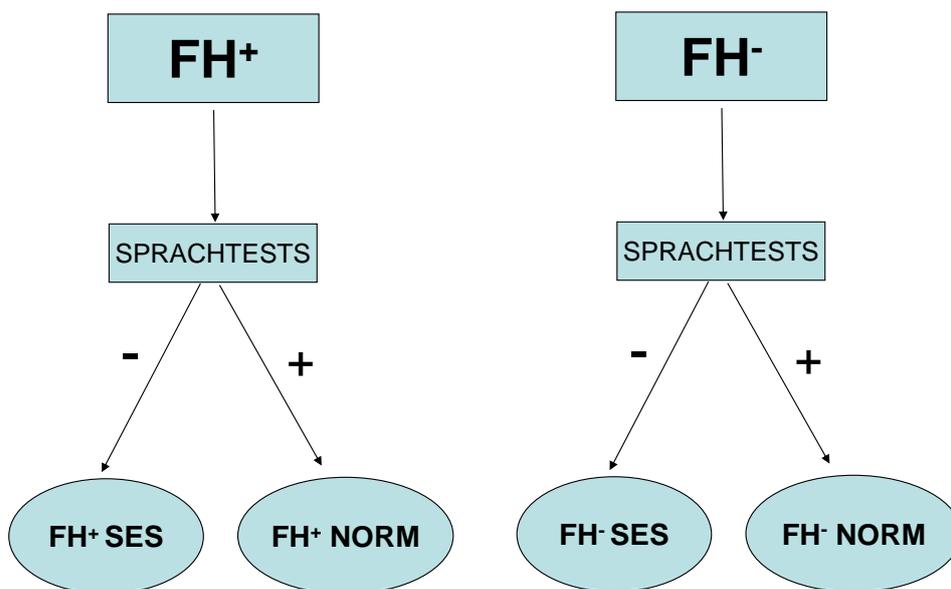
Demzufolge ergibt sich folgende finale Gruppeneinteilung der Probanden:

**FH<sup>-</sup>-NORM:** Säuglinge ohne familiäre Disposition für SES mit unauffälligem Sprachstatus,

**FH<sup>-</sup>-SES:** Säuglinge ohne familiäre Disposition für SES mit auffälligem Sprachstatus,

**FH<sup>+</sup>-NORM:** Säuglinge mit familiärer Disposition für SES mit unauffälligem Sprachstatus,

**FH<sup>+</sup>-SES:** Säuglinge mit familiärer Disposition für SES mit auffälligem Sprachstatus.



**Abbildung 1:** Finale Gruppenbildung modifiziert nach Denner (2007, S. 15) (FH<sup>+</sup>-Norm-, FH<sup>+</sup>-SES-, FH<sup>-</sup>-SES- und FH<sup>-</sup>-Norm-Gruppe).

Anhand der Ergebnisse der Sprachtests wurden in dieser Arbeit Probanden, die zur FH<sup>+</sup>-Gruppe gehörten und eine normgerechte Sprachentwicklung bis zum Testalter aufwiesen, als keine Risikokinder für die Entwicklung einer spezifischen Spracherwerbsstörung eingeschätzt. Sie bildeten die finale Gruppe FH<sup>+</sup>-Norm. Dagegen wurden die Kinder, die der FH<sup>+</sup>-Gruppe angehörten, aber eine auffällige Sprachentwicklung bis zum Testalter aufwiesen,

als Probanden mit hohem Risiko für die Entwicklung einer Spracherwerbsstörung angesehen. Sie bilden die finale FH<sup>+</sup>-SES Gruppe. Analog erfolgte die Einteilung der Kinder aus der FH<sup>-</sup> Gruppe. Die Gruppeneinteilung wird in Tabellen 6 und 7 gezeigt.

### **2.4 Datengrundlage**

Um Entwicklungseffekte in den Längsschnittdaten zu erkennen, war es wichtig, dichte Aufnahmeintervalle zugrunde zu legen. Die Mitarbeiter des Teilprojekts „Schreiproduktion und Schreianalyse“ haben deshalb zusätzlich zu den Untersuchungen in der Klinik Lautaufnahme Termine in häuslicher Umgebung wahrgenommen.

In vorliegender Arbeit wurden nur Daten von Säuglingen ausgewertet, von denen mindestens 17 Aufnahmen mit 2B- bzw. 1S-Struktur, die innerhalb der ersten 12 Lebenswochen aufgenommen worden waren, vorlagen (Tabelle 8).

**Tabelle 8:** Angabe der Anzahl aller aufgenommenen Laute und Anzahl der 2B-Melodien und 1S- Melodien in den ersten drei Lebensmonaten für jeden Probanden.

Code	Anzahl der Aufnahmen (1.-3. Monat)		
	2B	1S	alle Laute
AA	33	26	336
AE	61	18	420
AF	60	13	315
AJ	56	39	376
AK	47	27	261
AL	70	14	398
AM	31	18	225
AP	57	19	286
AQ	51	4	303
AR	14	11	173
AT	53	27	320
AU	62	64	396
AV	80	25	472
AW	43	12	358
AX	45	27	302
AY	77	16	399
AZ	20	17	326
BA	33	19	324
BC	71	50	446
BD	62	10	354
BE	34	20	228
BF	78	18	329
BH	36	7	160
BI	43	17	267
BL	15	4	196
BM	57	12	286
BR	34	11	269
BS	30	41	464

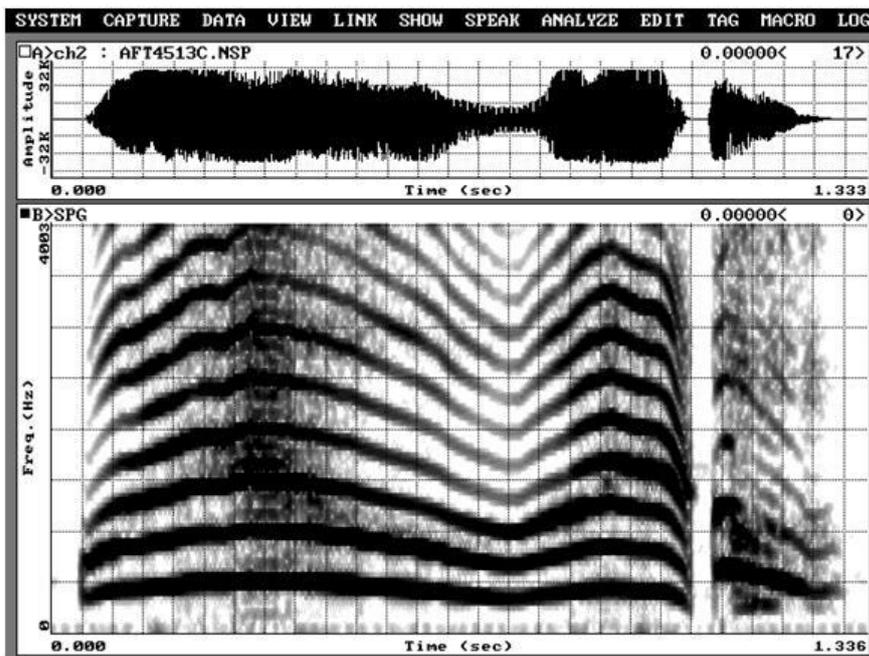
Code	Anzahl der Aufnahmen (1.-3. Monat)		
	2B	1S	alle Laute
BT	27	15	204
BU	34	12	226
BV	85	11	368
BW	78	10	273
BX	40	44	285
BZ	36	10	197
CA	40	1	202
CB	23	7	119
CD	89	52	463
CU	54	31	356
CV	107	21	500
CX	110	35	606
DA	48	20	209
DG	14	15	101
DJ	66	23	284
DP	44	16	216
DX	85	11	400
EX	96	46	553
FF	93	69	354
FN	65	18	441
FR	27	15	168
FS	204	67	838
FT	37	59	351
GF	25	24	156
GK	19	12	119
GL	21	8	131
HE	121	18	97
HH	19	8	87

## 2.5 Datenanalyse

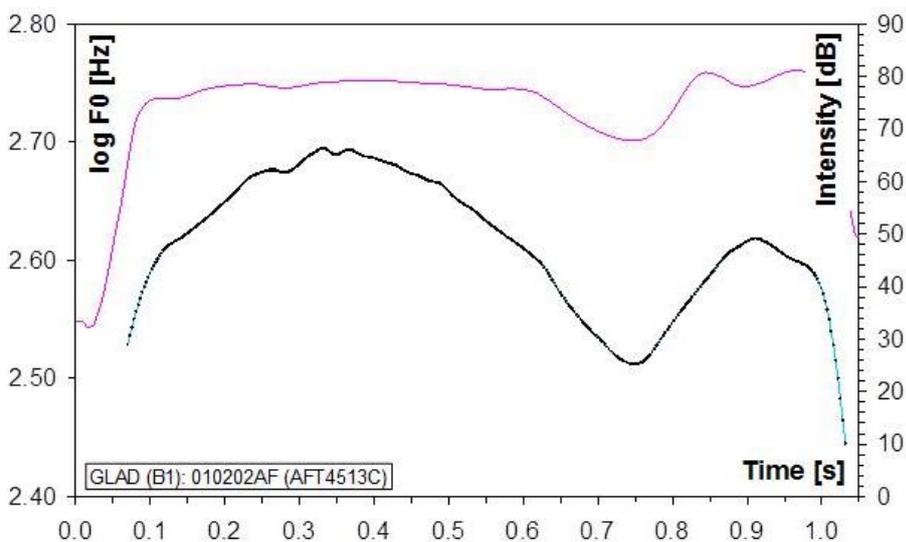
### 2.5.1 Analyse spektraler und melodischer Eigenschaften der Säuglingsschreie zur Identifizierung der 2B- und 1S-Strukturen

Der Variantenreichtum vorsprachlicher Laute kann durch geeignete Klassifizierung basierend auf strukturellen, spektralen und melodischen Merkmalen vereinfacht und quantitativ charakterisiert werden. Zur Spektralanalyse der Schreilaute diente das Sprachanalysesystem CSL-4300 B der Firma KayPENTAX (USA), ein in der Stimmanalyse gebräuchliches System (z. B. Boltezar et al. 1997; Campisi et al. 2000). Die Berechnung des Grundfrequenzverlaufs (Melodie) jedes Schreis erfolgte mit Hilfe des Programm-Moduls Multi-Dimensional-Voice-Program-Advanced (MDVP-Advanced). Die errechneten Grundfrequenzverläufe können mittels des für die Analyse von Säuglingsschreien entwickelten Programms CDAP (Firma pw-project) grafisch dargestellt und weiter bearbeitet werden (z. B. Tiefpass-Filterung).

In Abbildung 2 ist beispielhaft für einen Schrei das Zeitsignal und das korrespondierende Schmalbandspektrogramm veranschaulicht. Die x-Achse bildet den Zeitverlauf in Sekunden ab. Die Zeitskala richtet sich nach der Länge des zu analysierenden Signals und ist deshalb variabel. In der Abbildung ist zu sehen, dass auf der y-Achse die Frequenz in Hz aufgetragen ist. Die Energiedichte der Frequenzbereiche wird im Spektrogramm durch die Grauskalierung dargestellt. Der höchste Energiegehalt wird durch schwarze Färbung hervorgehoben. Die Grundfrequenzkontur (Melodie) wird im Spektrogramm durch die unterste Linie wiedergegeben. Die Linien, die darüber liegen, stellen die Harmonischen der Grundfrequenz dar. Sie befinden sich als ganzzahlige Vielfache über dem Zeitverlauf der Grundfrequenz. Zwischen den Harmonischen befinden sich oft weitere Frequenzbänder, die als Subharmonische bezeichnet werden.



**Abbildung 2:** Beispiel eines Schmalbandspektrogramms von einem Säuglingsschrei mit 2B-Melodiestructur sowie nachfolgenden Inspirationsgeräuschen (KayPENTAX CSL).



**Abbildung 3:** Darstellung der Grundfrequenzkontur (Melodie) (blau) und des Intensitätsverlaufs (rot) des Schreilautes, dessen Spektrogramm in Abbildung 2 dargestellt ist (CDAP-System). Auftragung der Werte der Grundfrequenz (F0) [Hz] und Intensitätsverlaufs (Intensity) [dB] auf der y-Achse und der korrespondierender Zeitwerte [ms] auf der x-Achse.

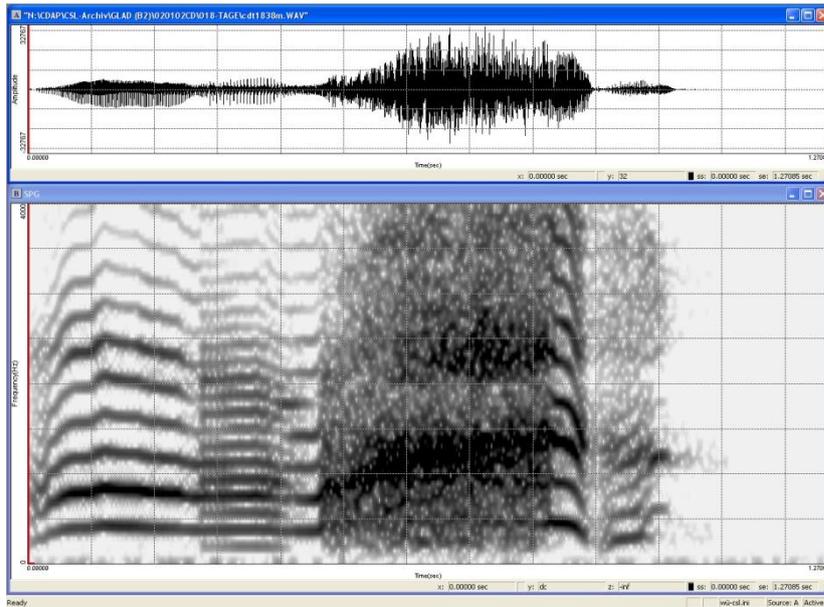
Die für die Arbeit erforderliche Melodie-Strukturanalyse erfolgte anhand der Spektrogramme und Melodie-/Intensitätsgrafiken. Letztere wurden mittels CDAP-System erstellt und zusammen mit den spektralen Eigenschaften der Schreie ausgewertet, um die Melodiestructur eines Schreies zu identifizieren.

In der vorliegenden Arbeit wurden final nur zweiböigige (2B) und zweiböigig-segmentierte Strukturen (1S) ausgewählt und vor ihrer finalen Vermessung mit einem Gauß-Filter der Filterordnung 5 (ca. 40 Hz Tiefpass) gefiltert. Dadurch entstanden prosodisch relevante Melodiekonturen. Die ermittelten Melodien der Säuglingsschreie zeigen häufig Artefakte, die aufgrund von Schwankungen der Messparameter entstehen. Mit Hilfe des Filtermoduls von CDAP können auch diese Artefakte eliminiert werden.

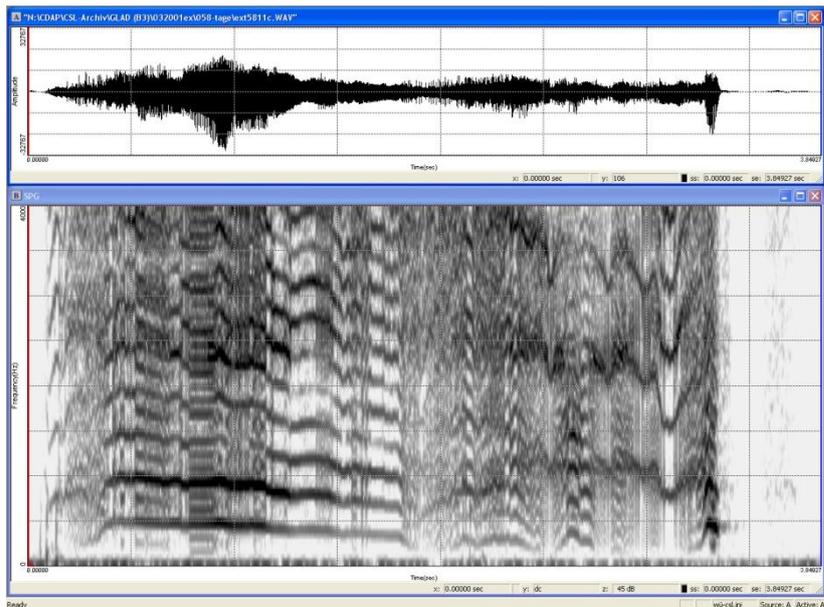
Von allen aufgezeichneten Lauten der vier Probandengruppen im Untersuchungszeitraum von drei Monaten wurden 2951 Vokalisationen als 2B-Strukturen und 1264 Vokalisationen als 1S-Strukturen identifiziert (Tab. 8).

Aufgrund ihrer Signaleigenschaften konnten nicht alle der identifizierten 2B- und 1S-Melodien vermessen werden. Dies bedeutet, dass die Probanden zwar 2B- und 1S Strukturen produziert haben, die man anhand der Spektrogramme erkannte. Aber die Ausführung war entweder nicht vollständig, instabil oder durch phonatorisches Rauschen gekennzeichnet (Abb. 4, 5 und 6), so dass eine Vermessung der Melodieeigenschaften nicht möglich war. Bei einigen Schreien, die phonatorische Rauschbanden, plötzliche Frequenzsprünge ( $> 1000$  Hz abweichend von  $F_0$ ) oder ausgeprägte subharmonische Strukturen aufwiesen, war die quantitative Melodiebestimmung methodisch nicht möglich. Mit dem verwendeten CSL-System können Grundfrequenzen über 1000 Hz nicht mehr analysiert werden. Somit waren derartige Signale nicht auswertbar.

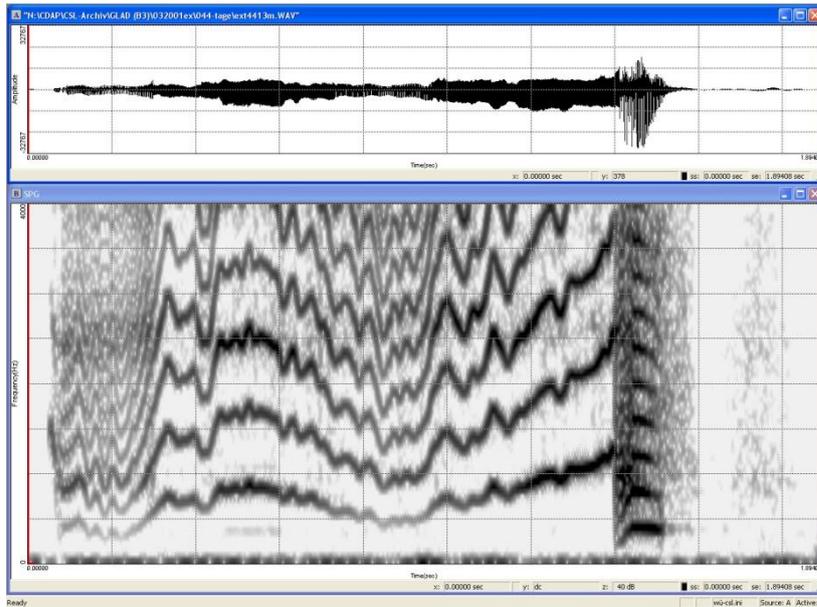
Abbildung 4, 5 und 6 geben Beispiele für Schreilaute wieder, die der Kategorie „nicht auswertbar“ zugeordnet wurden.



**Abbildung 4:** Beispiel für einen Säuglingsschrei mit Subharmonischen und Rauschteil im zweiten Bogen (KayPENTAX CSL).



**Abbildung 5:** Beispiel für einen Säuglingsschrei mit Rauschteil und ausgeprägten Subharmonischen (KayPENTAX CSL).



**Abbildung 6:** Beispiel für einen Säuglingsschrei mit einer  $F_0 > 1000$  HZ sowie stark instabilem  $F_0$ -Verlauf und  $F_0$ -Sprung am Ende (KayPENTAX CSL).

### 2.5.2 Klassifizierung der Säuglingsschreie basierend auf strukturellen Merkmalen als 2B- und 1S-Strukturen

Die für die Strukturanalyse im Rahmen der vorsprachlichen Diagnostik am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörung (ZVES) eingeführte Kategorisierung von Schreilaute (Wermke 2002, Wermke/Mende 2011, Wermke et al. 2007) wurde bereits in einer Reihe von Studien ausführlich getestet (Lind 2007, Denner 2007, Ostermann 2010, Dirauf 2010). Die Grundidee dieser Klassifizierung besteht in einer Unterscheidung zwischen strukturell einfachen und komplexen Lauten. „Einfach“ heißt dabei, dass die Melodie der Laute aus nur einem auf und absteigenden Melodiebogen besteht. Komplexe Laute setzen sich aus Melodiestructuren mit aus zwei oder mehreren solcher Bögen zusammen, die zusätzlich durch phonatorische Pausen segmentiert sein können. Während der ersten Lebenswochen werden die Schreimelodien zunehmend komplexer (Wermke 2002 und Wermke/Mende 2011). Die erste Stufe dieser Komplexifizierung stellt eine Duplikation einfacher Melodiebögen in Form von zwei aufeinander folgenden Bögen dar (Wermke 2002). Diese können entweder unmittelbar aufeinander folgen (2B-Struktur) oder durch eine Pause (ohne Inspiration) voneinander getrennt sein (1S-Struktur).

Die in den Abbildungen 4 bis 6 gezeigten Beispiele verdeutlichen, dass es bereits bei dieser relativ simplen Komplexitätsform verschiedene Variationsmöglichkeiten bezüglich der

Melodiehöhe (Frequenzhub) und/oder Melodielängen geben kann. Auch kann zwischen den beiden Melodiebögen eine Segmentierungspause eingebaut werden, deren Dauer variiert. Es war notwendig, zur Identifizierung der 2B- und 1S-Melodiestructuren spezifische Kriterien anzuwenden. Daher wurde die Vorgehensweise der vorsprachlichen Diagnostik am ZVES übernommen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Säuglingslaute mit diesen zweibögigen (2B) und zweibögig-segmentierten (1S) Melodiestructuren zu identifizieren und quantitativ zu analysieren. Typische Beispiele sind in Form von Schmalbandspektrogrammen und korrespondierenden Melodie-/Intensitätsgrafiken in Abbildungen 4 bis 8 dargestellt. Alle in der vorliegenden Arbeit abgebildeten Spektrogramme (KayPENTAX CSL) beinhalten eine lineare Frequenzskala bis 4 kHz. Die Zeitachse ist variabel, da sie sich automatisch nach der Länge des zu analysierenden Schreies richtet.

### **2.5.2.1 Merkmale zur Klassifizierung von 2B-Lauten**

In den Abbildungen 7a-c sieht man Beispiele für die Variabilität von 2B-Strukturen. Auf der linken Seite befinden sich jeweils die Schmalbandspektrogramme der Schreie (bis 4 kHz). Auf der rechten Seite sind die korrespondierenden Melodie-/ Intensitätskontur-Grafiken gezeigt. Man kann anhand der Abbildungen 7a-c erkennen, dass obwohl hier alle Laute zweibögige Strukturen aufweisen, sich diese jedoch durch die Länge der Bögen bzw. Höhe der Bögen voneinander unterscheiden können.

Zur Identifizierung der Schreie mit diesem Strukturtyp wurden die folgenden Merkmale verwendet:

- die Melodie besteht aus zwei auf- und absteigenden Einzelbögen;
- das Hubkriterium zur Definition eines Bogens beträgt  $> 2$  Halbtöne;
- eine Einzelbogenlänge ist  $> 150$  ms.

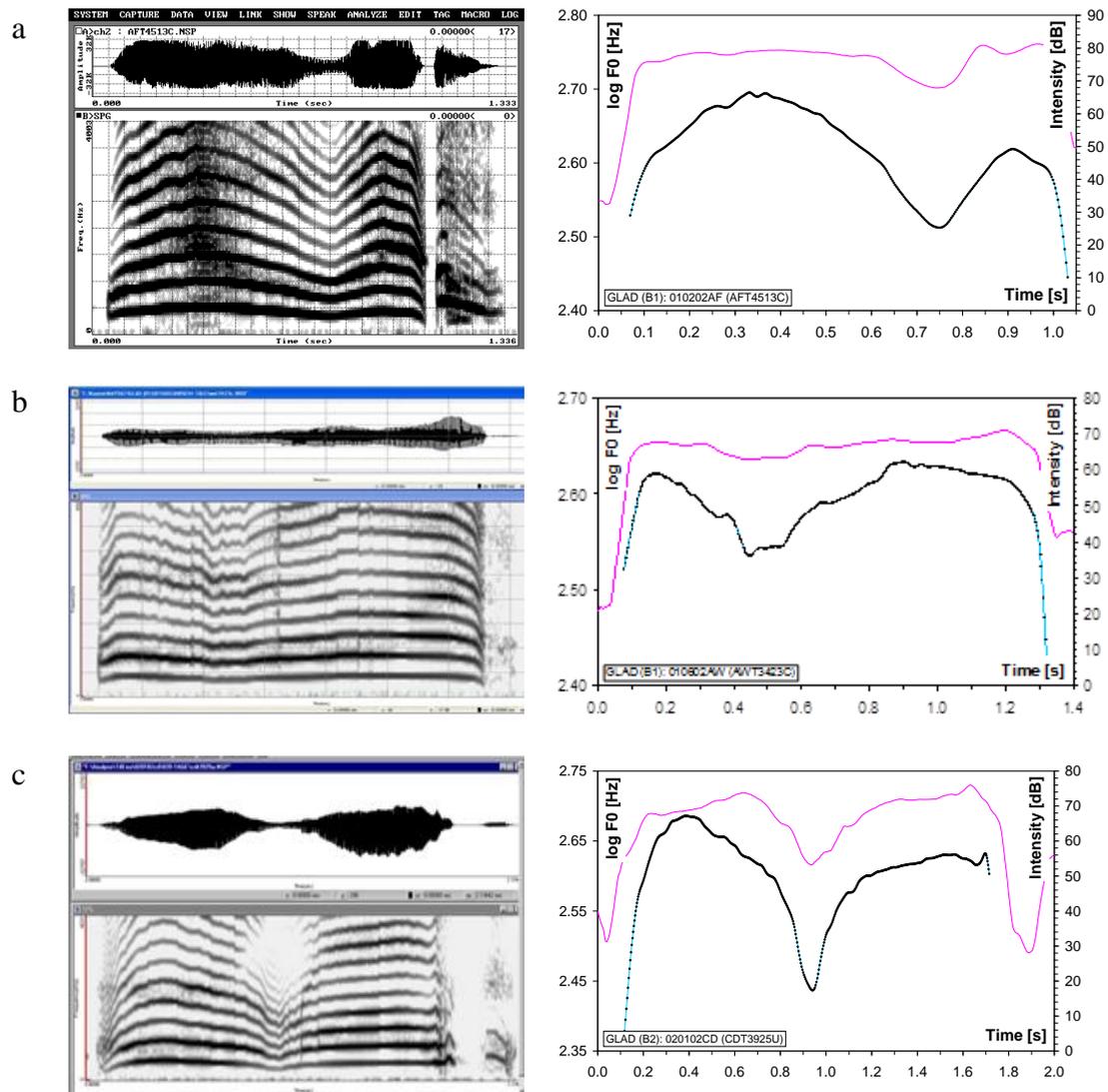


Abbildung 7: a-c: Beispiele für Varianten des 2B-Melodiestrukturtyps.

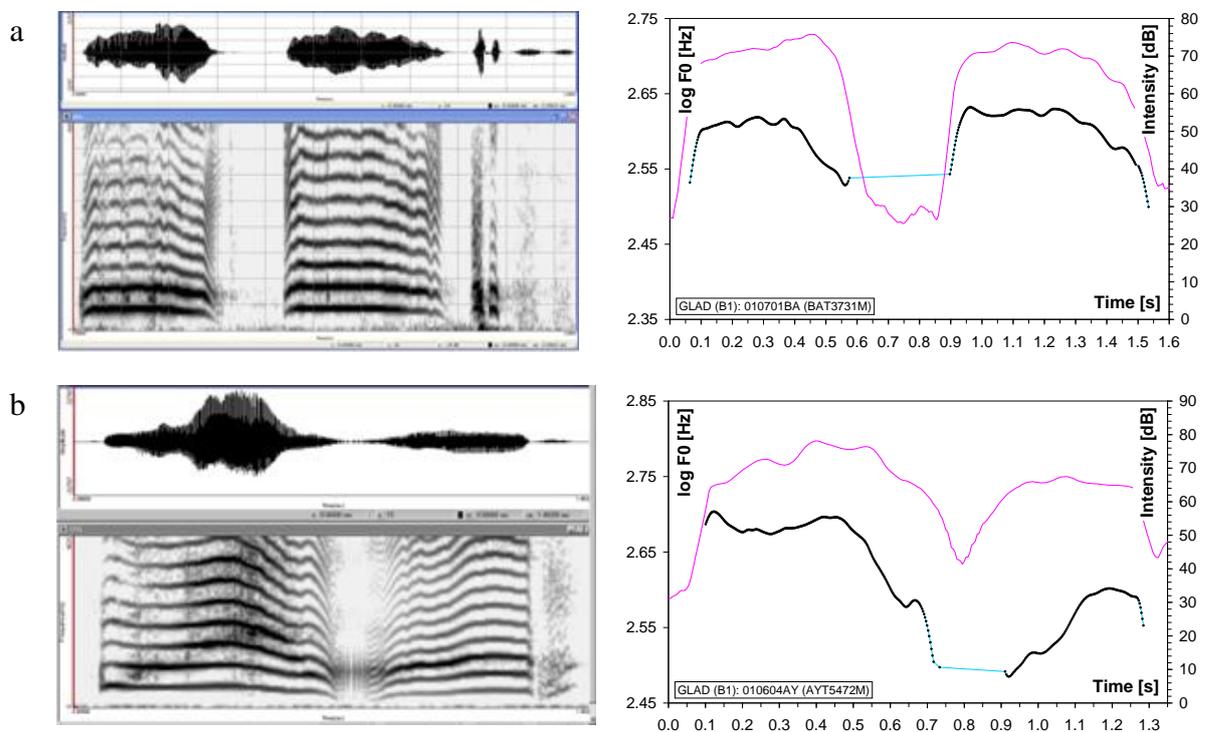
### 2.5.2.2 Merkmale zur Klassifizierung von 1S-Strukturen

Zur Identifizierung der Schreie mit diesem Strukturtyp wurden die folgenden Merkmale verwendet (Abb. 8 a-b):

- die Melodie setzt sich aus zwei auf- und absteigenden Einzelbögen zusammen, die durch eine Pause (ohne Inspiration) voneinander getrennt sind;
- die Pause kann aus einer vollständigen oder unvollständigen Segmentierung bestehen;
- das Hubkriterium zur Definition eines Bogens beträgt  $> 2$  Halbtöne.

Die Abbildungen 8 a-b zeigen die Variabilität von 1S-Strukturen. Obwohl es sich um zweiböige Strukturen handelt, die mit eine Pause voneinander getrennt sind, können die

beiden Bögen unterschiedlich hoch und lang sein und sich auch in Bezug auf Pausenlänge (Segmentierungslänge) voneinander unterscheiden. Die Segmentierungen der Melodien können in „vollständige“ und „unvollständige“ Segmentierungen unterteilt werden. Um eine vollständige Segmentierung handelt es sich dann, wenn im Spektrogramm keine Harmonischen oder andere Strukturen erkennbar sind (siehe Abbildungen 8a). Ein Intensitätsabfall  $> 9$  dB zwischen beiden Bögen definiert immer eine „vollständige“ Segmentierung. Bei „unvollständiger“ Segmentierung erkennt man im Pausenbereich zwischen beiden Bögen auf dem Spektrogramm noch Restharmonische Strukturen oder Rauschbanden (siehe Abbildungen 8b).



**Abbildung 8:** a-b: Beispiele für Segmentierungen in 1S-Melodiestructuren.

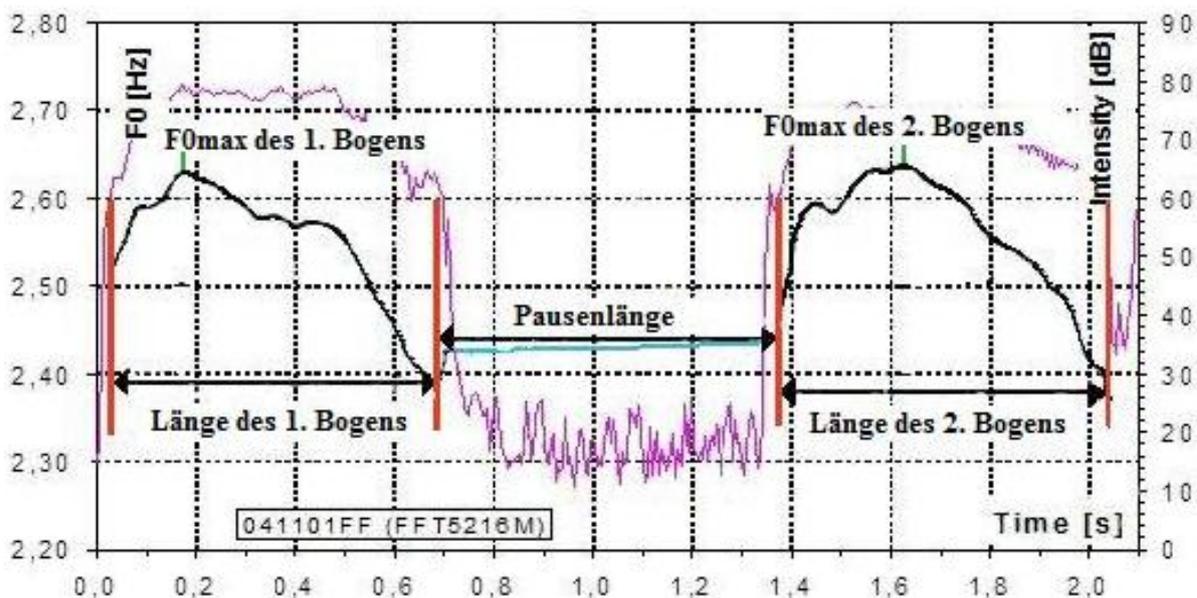
## 2.6 Quantitative Analyse melodischer und zeitlicher Parameter der 2B- und 1S-Strukturen

Die quantitative Analyse der Messgrößen zur Charakterisierung melodischer und zeitlicher Eigenschaften der 2B- und 1S-Strukturen erfolgte mit Hilfe des CDAP-Programms nach der am ZVES bei der Vorsprachlichen Diagnostik angewandten Vorgehensweise. Folgende Messgrößen wurden bestimmt:

- Melodiebogendauer (BL),
- Bogenlänge der beiden Einzelbögen einer Melodiestructur,
- maximaler F0-Wert eines Bogens bzw. Schreies (F0max),
- Länge der Segmentierungspausen in 1S-Strukturen.

Durch ein Cursorregime wurde ein Melodie-Punkt am Anfang (erster Melodiewert) und am Ende (letzter Melodiewert) der zu vermessenden Melodiestructur, wie z. B. eines Bogens, bestimmt. Cursorpositionen konnten wahlweise auf dem nächstgelegenen Melodie-Punkt, dem aktuellen Melodie-Punkt oder einem Melodie-Interpolationspunkt (Messpunkt genau in der Mitte zwischen zwei F0-Werten) bezogen werden. Nur so war eine genaue Ermittlung der Werte innerhalb des markierten Bereiches möglich. Mit Hilfe des CDAP-Programms wurden die oben genannten Messgrößen innerhalb des Cursorbereiches automatisch errechnet und gespeichert. Um die exakte Dauer von Säuglingsschreien zu vermessen, bei denen die Melodie aufgrund von Algorithmenbegrenzungen zur F0-Bestimmung nicht vollständig vorhanden war und somit einzelne F0-Daten insbesondere an den Rändern fehlten, konnte auch ein „Intensitätspunkt“ als Messpunkt genommen werden.

Die Abbildung 9 zeigt die Messgrößenbestimmung am Beispiel von 1S-Strukturen. Dargestellt sind der Melodie- (blau)/ Intensitätsverlauf (rot) eines Säuglingsschreies der Strukturkategorie 1S, also zwei Melodiebögen, die durch eine Segmentierungspause getrennt sind. Die Dauer der beiden Melodiebögen (LB1 bzw. LB2) ergibt sich aus der Differenz des Wertes zwischen den Cursorsen.



**Abbildung 9:** Quantitative Analyse des F0max-Wertes, der Segmentierungspause und der Bogendauer (Quelle: Grafik nach Denner modifiziert 2007, S. 34) Dargestellt sind der Melodie- (blau)/ Intensitätsverlauf (rosa) eines Säuglingsschreies der Strukturkategorie 1S. Die maximale Grundfrequenz F0max der beiden Bögen wurde markiert. Die roten Balken markieren die Länge des 1. Bogens, die Pausenlänge und die Länge des 2. Bogens.

## 2.7 Statistische Verfahren

Alle ausgewerteten Signale wurden in einer Excel-Tabelle (Microsoft-Excel) abgespeichert. Da die Anzahl der vorhandenen Laute der einzelnen Kinder variierte wurden die zu untersuchenden Daten zunächst im jeweiligen Untersuchungszeitraum kindgemittelt. Dadurch konnte man unterbinden, dass Probanden, die besonders viele 2B- bzw. 1S-Laute produzierten, nicht die gesamte Gruppe dominierten.

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware SPSS23. Hierfür wurden die in Excel-Tabellen gespeicherten Daten in SPSS transferiert. Für die Auswertung der Signale des gesamten Untersuchungsraums wurden alle Daten der drei Monate einbezogen. Die Analyse der Signale einzelner Monate berücksichtigte nur die Daten für den jeweiligen Monat. Zuerst wurden die Daten mittels des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung getestet. Erst bei einem Wert  $\geq 0,05$  handelte es sich um eine hinreichende Normalverteilung, und es konnten parametrische Tests für Gruppenvergleiche verwendet werden. Bei einer hinreichenden Normalverteilung wurde zuerst der Levene-Test durchgeführt, der die Homogenität der Varianzen untersucht. Erst wenn eine Varianzgleichheit vorlag, konnte die einfaktorielle ANOVA durchgeführt werden. Bei einer nicht hinreichenden Normalverteilung wurde der

nichtparametrische Kruskal-Wallis-Test für unabhängige Stichproben verwendet. War der Wert dieses Tests  $< 0,05$ , lag ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen vor. Um die signifikanten Unterschiede zwischen jeweils zwei Gruppen bezüglich einer bestimmten Variablen festzustellen, wurde nach  $\alpha$ -Korrektur der nichtparametrische Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Bei allen Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau von  $p = 0,05$  verwendet. Alle ausgewerteten Ergebnisse wurden in Form von Diagrammen graphisch dargestellt. Zusätzlich wurden die Werte in Tabellen aufgeführt. In der vorliegenden Arbeit wurde die Box in den Boxplotdiagrammen so dargestellt, dass die untere Begrenzung die 25- und die obere die 75-Perzentile anzeigt. Der Raum zwischen den beiden Werten war der Interquartilbereich. Die oberen Markierungen kennzeichnen das Maximum und die unteren Markierungen das Minimum. Die mittlere schwarze Linie stellt den Medianwert dar. Ein Kreis markierte Ausreißer, die 1,5 bis 3 Boxlängen vom oberen oder unteren Rand der Box lagen. Mit einem Stern wurden Extremwerte gekennzeichnet, die über drei Boxlängen vom oberen oder unteren Rand lagen.

### **3 Ergebnisse**

Die Analysen der vorliegenden Arbeit dienten dem Ziel, einen möglichen Zusammenhang zwischen strukturellen Schreimerkmalen in den ersten 12 Wochen und der späteren sprachlichen Leistung der Kinder zu untersuchen.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde ein potentieller Zusammenhang mit einem bestehenden Familienrisiko bezüglich einer spezifischen Spracherwerbsstörung (SES) überprüft. So wurden 2B- und 1S-Strukturen von Probanden, die eine negative Familienanamnese bezüglich einer spezifischen Spracherwerbsstörung (SES) aufwiesen und deren sprachliche Entwicklung normal verlief (FH<sup>-</sup>-Norm), mit 2B- und 1S-Strukturen von Kindern, die eine positive Familienanamnese bezüglich einer Spracherwerbsstörung besaßen und in ihrer sprachlichen Entwicklung gestört waren bzw. unter der Norm lagen (FH<sup>+</sup>-SES), verglichen. Die beiden Gruppen wurden mit der Gruppe (FH<sup>-</sup>-SES) verglichen, die sich aus Probanden zusammensetzte, die eine negative Familienanamnese bezüglich einer Spracherwerbsstörung aufwiesen und deren sprachliche Entwicklung gestört verlief. Die FH<sup>+</sup>-Probanden mit normal ablaufender sprachlicher Entwicklung (FH<sup>+</sup>-Norm) wurden ebenfalls in die Auswertung mit einbezogen.

Hinsichtlich der 2B- und 1S- Strukturen wird zuerst deren Auftrittshäufigkeit in den einzelnen Gruppen beschrieben (Kap. 3.1). Danach werden die Analyseergebnisse zu der Länge des Gesamtsignals (Kap. 3.2.1) sowie der Bogenlängen (Kap. 3.2.2) und der Melodiemaxima des ersten und zweiten Bogens (Kap. 3.2.3) vorgestellt und die beobachteten Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen präsentiert. Für die 1S-Strukturen werden auch die Ergebnisse der Analyse der Pausenlänge (Kap. 3.2.3.3) aufgeführt.

Die Analyse der Auftrittshäufigkeit erfolgte sowohl über den Gesamtzeitraum, d.h. für alle drei Lebensmonate zusammen, als auch in monatlichen Intervallen.

#### **3.1 Analyse der 2B- und 1S-Schreistrukturen von Kindern aus allen vier Untersuchungsgruppen**

Während die Laute eines Neugeborenen zunächst aus einfachen Melodiebögen bestehen, werden sie im Laufe der sprachlichen Entwicklung komplexer und setzen sich aus zwei und mehr aufeinanderfolgenden Bögen zusammen (Wermke 2002, Wermke/ Mende 2011). Die

2B- und 1S-Strukturen mit zwei Melodiebögen werden als komplexe Schreitypen klassifiziert.

Bei einem gesunden Probanden sollte die Auftrittshäufigkeit der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen während des Untersuchungszeitraumes steigen, am Ende des Untersuchungszeitraumes aber wieder fallen, wenn die 2B- und 1S-Schreitypen durch Typen mit komplexeren Strukturen, deren Melodie aus weiteren Bögen besteht, ersetzt werden.

Die Auswertung erfolgte sowohl für den Gesamtzeitraum als auch in monatlichen Intervallen, um die Entwicklung zu veranschaulichen.

### **3.1.1 Auftrittshäufigkeit der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen in den vier Probandengruppen über den gesamten Untersuchungszeitraum**

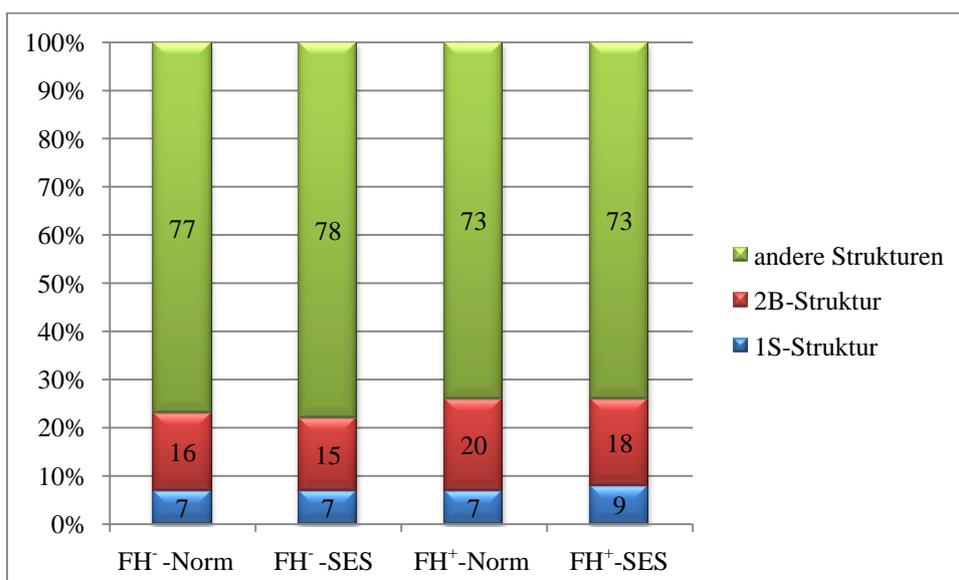
Die Gesamtzahl aller Laute umfasste neben den 2B- und 1S-Strukturen auch Laute mit anderen Melodiestructuren, die in dieser Arbeit nicht näher erläutert werden. Die Auswertung ergab, dass die Strukturtypen 2B und 1S in allen vier Probandengruppen vorkamen und sich bezüglich des prinzipiellen Auftretens gering unterschieden (Tab. 9). In Abbildung 10 sind die relativen Auftrittshäufigkeiten der 2B- und 1S-Strukturen für die vier Probandengruppen während des gesamten Untersuchungsraumes veranschaulicht.

Die Auswertung zeigte, dass bezüglich der relativen Auftrittshäufigkeit der 2B- und 1S-Strukturen über den gesamten Untersuchungszeitraum geringe Unterschiede bei den vier Probandengruppen existieren (Abb. 10). Die Auftrittshäufigkeit von 1S-Strukturen unterscheidet sich zwischen den Gruppen weniger als die der 2B-Strukturen, die bei den FH<sup>-</sup>-Gruppen etwas seltener beobachtet wurden (16 % und 15 % versus 20 % und 18 %) (Tab. 9).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es bezüglich der Auftrittshäufigkeit der 2B- und 1S-Strukturen über den gesamten Untersuchungszeitraum eine hohe Übereinstimmung gibt. Bei allen vier Gruppen war die Auftrittshäufigkeit der erzeugten 2B-Strukturen größer als die Auftrittshäufigkeit der erzeugten 1S-Strukturen. Auffällig war, dass korrespondierend zu dem erhöhten Anteil von 2B-Strukturen die beiden FH<sup>+</sup>-Gruppen mehr 2B-Laute bildeten als die beiden FH<sup>-</sup>-Gruppen. Während in der Untersuchungszeit keine Unterschiede in der relativen Auftrittshäufigkeit bezüglich der gebildeten 1S-Laute bei den beiden FH<sup>-</sup>-Gruppen und der FH<sup>+</sup>-Norm-Gruppe zu beobachten waren, lag die relative Auftrittshäufigkeit in der FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe um zwei Prozent höher (7% versus 9%) (Tab. 9).

**Tabelle 9:** Anzahl aller erzeugten Laute vom Typ 2B und 1S sowie Angabe aller Laute für jede Gruppe im gesamten Untersuchungszeitraum.

1.- 3. Monat					
Gruppe	N	2B		1S	
<b>FH<sup>-</sup>-Norm</b>	7407	1148	16 %	494	7 %
<b>FH<sup>-</sup>-SES</b>	1977	288	15 %	136	7 %
<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	4089	826	20 %	302	7 %
<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>	3820	689	18 %	332	9 %



**Abbildung 10:** Relative Häufigkeiten der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen sowie der restlichen Strukturtypen im gesamten Untersuchungsraum.

### 3.1.2 Auftrittshäufigkeit der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen in den vier Probandengruppen in monatlichen Intervallen

Um eine Aussage zu der Melodiestructur-Entwicklung der Probanden über den Untersuchungszeitraum treffen zu können, erfolgte die Auswertung der Auftrittshäufigkeiten bezüglich der 2B- und 1S-Strukturen in monatlichen Intervallen.

In den Abbildungen 11 bis 13 sind die relativen Auftrittshäufigkeiten der analysierten Strukturen für alle vier Probandengruppen über den Untersuchungszeitraum in monatlichen Intervallen dargestellt. Die dazugehörenden Daten sind in der Tabelle 10 angegeben.

Die Analyse der gebildeten 2B-Strukturen in einzelnen Monaten zeigte einen Unterschied zwischen den beiden  $FH^+$ - und  $FH^-$ -Gruppen. Sowohl die  $FH^+$ -Norm wie auch die  $FH^+$ -SES Gruppe wies einen erhöhten Anteil an der relativen Auftrittshäufigkeit der 2B-Strukturen auf. Der erhöhte Anteil korrespondierte mit dem kontinuierlichen Anstieg der relativen Häufigkeit von 2B-Strukturen der  $FH^+$ -Norm-Gruppe. So stieg die relative Auftrittshäufigkeit der gebildeten 2B-Strukturen der  $FH^+$ -Norm-Gruppe von 19 % im 1. Monat auf 20 % im 2. Monat und erreichte im 3. Monat mit 21 % den höchsten Anteil der gebildeten 2B-Strukturen aus allen vier Gruppen in der gesamten Untersuchungszeit (Tab. 10).

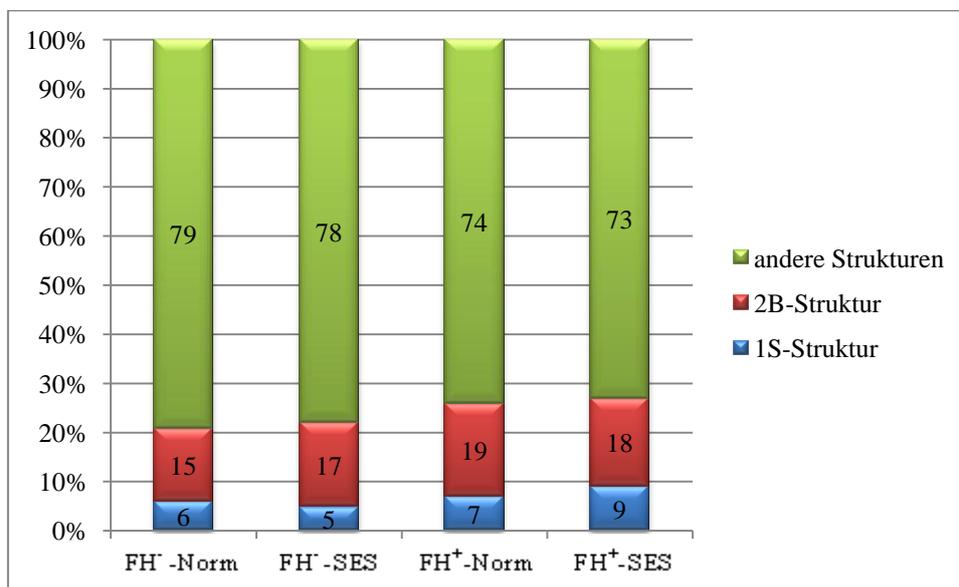
Bezüglich des Auftretens von 2B-Strukturen schienen sich die beiden  $FH^-$ -Gruppen nicht gravierend voneinander zu unterscheiden. Während der drei monatigen Untersuchungszeit schwankte der Anteil der relativen Auftrittshäufigkeit der 2B-Strukturen der beiden  $FH^-$ -Gruppen zwischen 17 % und 15 %. Nur im zweiten Monat fiel die relative Auftrittshäufigkeit der gebildeten 2B-Strukturen der  $FH^-$ -SES-Gruppe auf 13 % und erreichte den niedrigsten Anteil der relativen Auftrittshäufigkeit der gebildeten 2B-Strukturen aus allen vier Gruppen und während der gesamten Untersuchungszeit (Tab. 10).

Die Analyse der relativen Auftrittshäufigkeit der gebildeten 1S-Struktur ergab einen deutlich niedrigeren Anteil als die der 2B-Strukturen in allen vier Gruppen und einzelnen Monaten. Auffällige Unterschiede bezüglich der relativen Auftrittshäufigkeit der 1S-Struktur konnten bei dem Gruppenvergleich nicht gefunden werden.

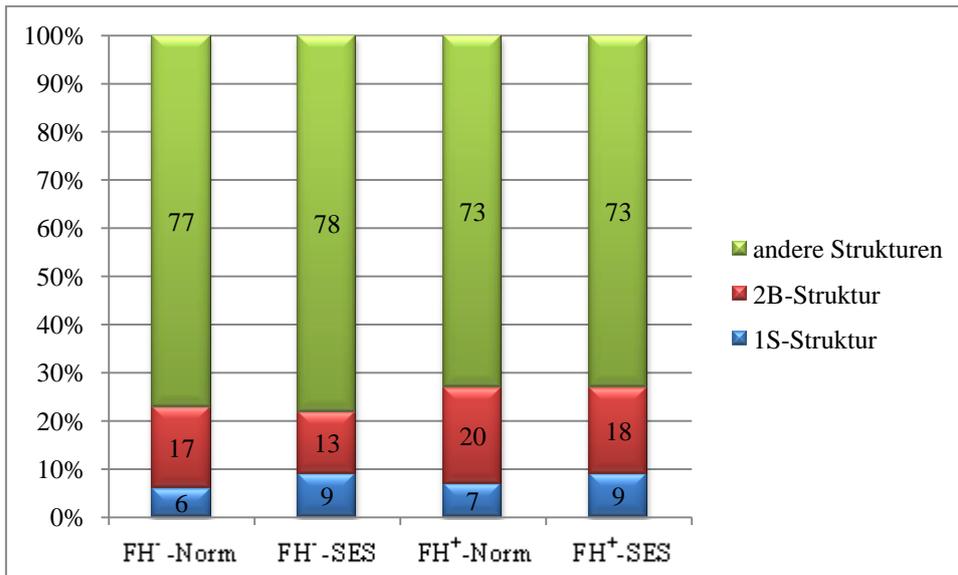
Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in allen vier Gruppen und einzelnen Monaten die Auftrittshäufigkeit der erzeugten 2B-Strukturen größer war als die Auftrittshäufigkeit der erzeugten 1S-Strukturen. Die Anzahl der 2B-Strukturen war in allen drei Monaten in den  $FH^+$ -Gruppen höher als in  $FH^-$ -Gruppen. Während des gesamten Untersuchungszeitraums war die  $FH^+$ -Norm-Gruppe die Gruppe, die die höchste Anzahl an 2B-Strukturen bildete. Auffällig war, dass die Anzahl der 2B-Strukturen dieser Gruppe während der Untersuchungszeit kontinuierlich wuchs (1. Monat = 19 %; 2. Monat = 20 % und 3. Monat = 21 %). Bei der Analyse der relativen Auftrittshäufigkeit der 1S-Struktur konnten keine relevanten Gruppenunterschiede gefunden werden (Tab. 10).

**Tabelle 10:** Anzahl der erzeugten Laute vom Typ 2B und 1S sowie Angabe der Gesamtzahl der Laute in einzelnen Monaten.

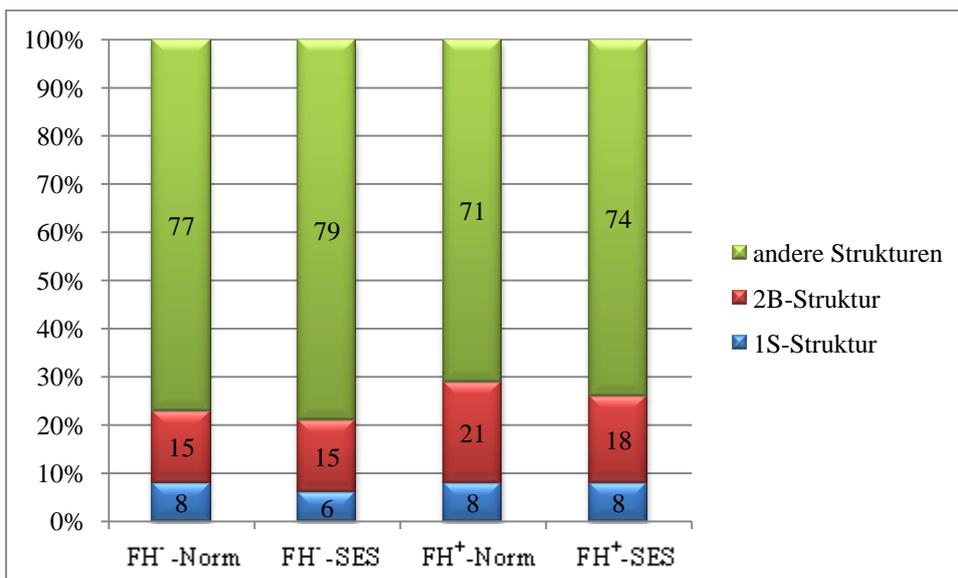
Gruppe	1. Monat					2. Monat					3. Monat				
	N	2B		1S		N	2B		1S		N	2B		1S	
<b>FH-Norm</b>	2641	394	15%	160	6%	2780	466	17%	180	6%	1986	288	15%	154	8%
<b>FH-SES</b>	476	80	17%	23	5%	799	102	13%	72	9%	702	106	15%	41	6%
<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	991	192	19%	71	7%	1578	313	20%	109	7%	1520	321	21%	122	8%
<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>	1269	228	18%	116	9%	1387	247	18%	119	9%	1164	214	18%	97	8%



**Abbildung 11:** Relative Häufigkeiten der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen sowie der restlichen Strukturtypen im 1. Untersuchungsmonat.



**Abbildung 12:** Relative Häufigkeiten der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen sowie der restlichen Strukturtypen im 2. Untersuchungsmonat.



**Abbildung 13:** Relative Häufigkeiten der erzeugten 2B- und 1S-Strukturen sowie der restlichen Strukturtypen im 3. Untersuchungsmonat.

### **3.2 Temporale Eigenschaften der Schreimelodien mit 2B- und 1S-Strukturen**

Neben der Auftrittshäufigkeit von 2B- und 1S-Strukturen wurden vor allem deren temporale Eigenschaften untersucht. Zu diesem Zweck wurden für jede untersuchte 2B- und 1S-Melodie, soweit es die Daten ermöglichten, die Melodiebogenlänge (BL) sowie das Melodiemaximum (F0max) des ersten und zweiten Bogens und die Dauer der Segmentierungspause vermessen und vergleichend ausgewertet.

Von allen aufgezeichneten Lauten der vier Probandengruppen im Untersuchungszeitraum von drei Monaten wurden 2951 Vokalisationen als 2B-Strukturen und 1264 Vokalisationen als 1S-Strukturen identifiziert (Tab. 11).

Aufgrund ihrer Signaleigenschaften (wie z. B. phonatorische Rauschbanden, plötzliche Frequenzsprünge oder ausgeprägte subharmonische Strukturen) konnten nicht alle der identifizierten 2B- und 1S-Melodien vermessen werden. Von insgesamt 2616 (2B: 2028, 1S: 588) Vokalisationen (Einzelschreie), die durch eine Melodie mit 2B- oder 1S-Struktur gekennzeichnet waren, konnten die temporären Eigenschaften quantitativ bestimmt werden. Tabelle 11 zeigt die Anzahl der ausgewerteten 1S- und 2B-Laute von jeder Gruppe in monatlichen Intervallen. Um das Verhältnis von vermessenen Lauten und nicht vermessenen Lauter verdeutlichen zu können, wurden die Werte in Tabelle 12 absolut und relativ dargestellt.

**Tabelle 11:** Anzahl der vermessenen Laute vom Typ 2B und 1S in den ersten drei Untersuchungsmonaten pro Gruppe und für alle Gruppen zusammen.

Strukturmerkmal	Alter	Gruppe	Anzahl der vermessenen Laute pro Gruppe	Summe der vermessenen Laute aller Gruppen
<b>2B</b>	1. Monat	FH <sup>-</sup> -Norm	306	651
		FH <sup>-</sup> -SES	42	
		FH <sup>+</sup> -Norm	130	
		FH <sup>+</sup> -SES	173	
	2. Monat	FH <sup>-</sup> -Norm	347	787
		FH <sup>-</sup> -SES	69	
		FH <sup>+</sup> -Norm	180	
		FH <sup>+</sup> -SES	191	
	3. Monat	FH <sup>-</sup> -Norm	190	590
		FH <sup>-</sup> -SES	70	
		FH <sup>+</sup> -Norm	180	
		FH <sup>+</sup> -SES	150	
<b>1S</b>	1. Monat	FH <sup>-</sup> -Norm	74	160
		FH <sup>-</sup> -SES	4	
		FH <sup>+</sup> -Norm	22	
		FH <sup>+</sup> -SES	60	
	2. Monat	FH <sup>-</sup> -Norm	97	254
		FH <sup>-</sup> -SES	41	
		FH <sup>+</sup> -Norm	47	
		FH <sup>+</sup> -SES	69	
	3. Monat	FH <sup>-</sup> -Norm	69	174
		FH <sup>-</sup> -SES	19	
		FH <sup>+</sup> -Norm	48	
		FH <sup>+</sup> -SES	38	

**Tabelle 12:** Gesamtzahl der aufgenommenen Laute (N) von 2B- und 1S-Strukturen sowie der jeweils vermessene Anteil bei 2B- und 1S-Strukturen absolut (gelb) und relativ (grün).

	1. Monat				2. Monat				3. Monat									
Gruppe	N	2B		N	1S		N	2B		N	1S							
<b>FH-Norm</b>	394	306	78%	160	74	46%	466	347	74%	180	97	54%	288	190	66%	154	69	45%
<b>FH-SES</b>	80	42	53%	23	4	17%	102	69	68%	72	41	57%	106	70	66%	41	19	46%
<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	192	130	68%	71	22	31%	313	180	58%	109	47	43%	321	180	56%	122	48	39%
<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>	228	173	76%	116	60	52%	247	191	77%	119	69	58%	214	150	70%	97	38	39%

### 3.2.1 Auswertung der Gesamtsignallänge der 2B- und 1S -Vokalisationen der Probanden aus allen Untersuchungsgruppen in monatlichen Intervallen

Die Analyse der Zeitorganisation der in dieser Arbeit behandelten Melodiestructuren beinhaltete die Auswertung der Gesamtlänge der Melodie, die die Dauer einer Lautäußerung innerhalb einer expiratorischen Phase reflektiert. Die Auswertung wurde getrennt für die Melodien der Strukturen 2B und 1S ausgeführt. Um die Entwicklung der Lautproduktion besser darstellen zu können, erfolgte die Analyse der Gesamtlänge der Signale in monatlichen Intervallen.

#### 3.2.1.1 Analyse der Gesamtsignallänge der 2B-Vokalisationen der Probanden in monatlichen Intervallen

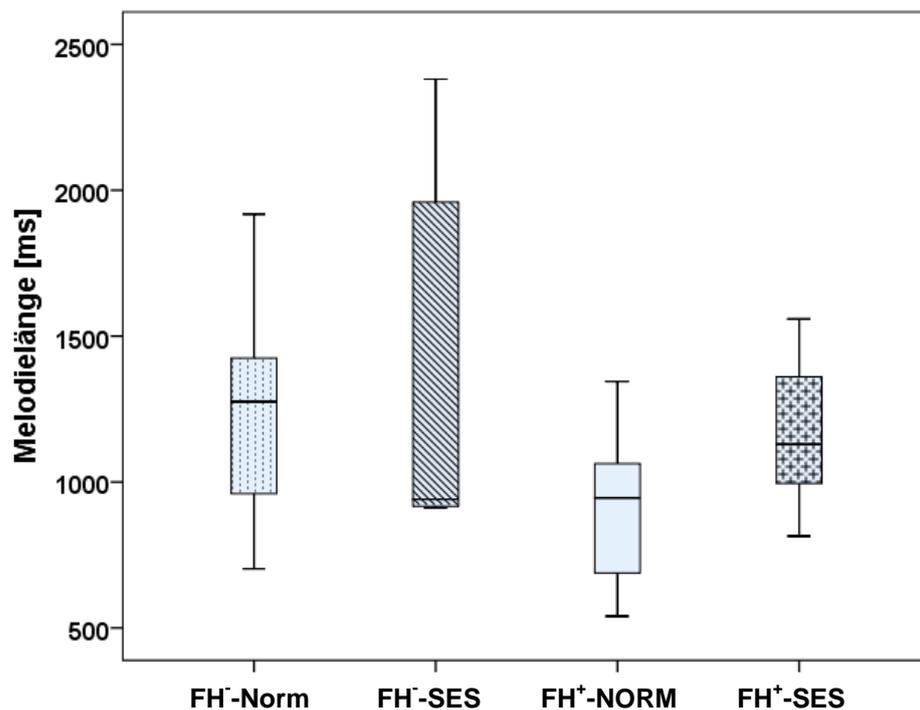
Die monatliche Auswertung der Länge von 2B-Melodien lieferte einige Unterschiede zwischen den vier Gruppen. In den Abbildungen 14 bis 16 ist die Länge des Gesamtsignals der 2B-Strukturen in Form eines Boxplotdiagramms für jede einzelne Gruppe in monatlichen Intervallen dargestellt. Die Ergebnisse der deskriptiven monatlichen Analyse der Länge des Gesamtsignals der 2B-Strukturen der vier Gruppen sind in den Tabellen 13 bis 15 für jeden Untersuchungsmonat wiedergegeben.

Die Mittelwerte der beiden  $FH^-$ -Gruppen mit 1343 ms bei der  $FH^-$ -Norm-Gruppe und 1422 ms bei der  $FH^-$ -SES-Gruppe lagen im 1. Untersuchungsmonat dicht beieinander (Abb. 14). Die beiden  $FH^+$ -Gruppen bildeten kürzere Melodielängen bezüglich der 2B-Strukturen. Es fiel auf, dass die  $FH^+$ -Norm-Gruppe (Mittelwert: 916 ms) kürzere 2B-Vokalisationen aufwies als die  $FH^+$ -SES-Gruppe (Mittelwert: 1155 ms) (Tab.13). Die Werte der Melodielänge waren entsprechend des Shapiro-Wilk-Tests für die  $FH^-$ -Norm ( $p < 0,0001$ ) und die  $FH^-$ -SES-Gruppe ( $p = 0,0046$ ) nicht hinreichend normal verteilt (auch nicht nach logarithmischer Transformation). Für die Testung der Gruppenunterschiede wurde daher der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Mit  $p = 0,121$  ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Im 2. Monat stimmten die Mittelwerte der beiden  $FH^-$ -Gruppen mit 1326 ms bei der  $FH^-$ -Norm-Gruppe und 1296 ms bei der  $FH^-$ -SES-Gruppe fast überein. Auch die beiden  $FH^+$ -Gruppen unterscheiden sich bezüglich ihrer Mittelwerte nur sehr gering voneinander ( $FH^-$ -Norm: 1055 ms und  $FH^+$ -SES: 1093 ms) (Tab. 14). Die Werte näherten sich denjenigen der beiden  $FH^-$ -Gruppen, zeigten jedoch auch im zweiten Monat kürzere 2B-Vokalisationen (Abb. 15). Die Messwerte der Melodielänge waren in allen vier Gruppen hinreichend normalverteilt ( $FH^-$ -Norm:  $p = 0,68$ ;  $FH^-$ -SES:  $p = 0,44$ ;  $FH^+$ -Norm:  $p = 0,57$ ;  $FH^+$ -SES:  $p = 0,89$ ; nach Shapiro-Wilk-Testung). Der Gruppenvergleich wurde mit dem Test auf Homogenität der Varianzen (Levene-Test), der einen p-Wert von  $p=0,13$  lieferte, begonnen. Die daraufhin durchgeführte einfaktorielle ANOVA lieferte mit  $p = 0,063$  keine signifikanten Gruppenunterschiede bezüglich der Melodielänge von 2B-Strukturen im 2. Monat.

Im 3. Monat waren die Mittelwerte der vier Gruppen sehr ähnlich (Tab. 15). Sie schwanken zwischen 1276 ms bei der  $FH^-$ -Norm-Gruppe und 1209 ms bei der  $FH^+$ -SES-Gruppe. Da die Testung auf Normverteilung in der  $FH^+$ -Norm-Gruppe nach Shapiro-Wilk keine hinreichende Normalverteilung ergab ( $p=0,049$ ), wurde ein nicht-parametrischer Test verwendet, um die Gruppen bezüglich der Melodielänge im 3. Monat zu vergleichen. Der Kruskal-Wallis-Test lieferte mit  $p = 0,502$  keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede.

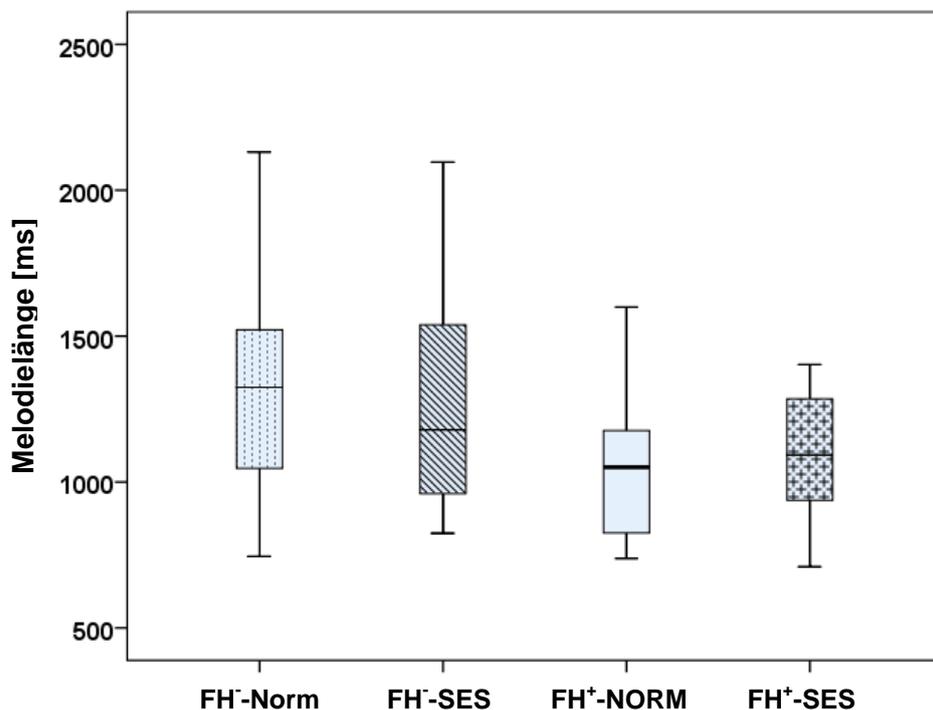
Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass sich zwar in den Boxplots (Abb 14-16) bezüglich der Verteilung der Werte der Melodielänge zwischen den vier Gruppen Unterschiede ergaben, die jedoch nicht statistisch signifikant waren. Auffällig war, dass sich im 2. Monat die Werte der beiden  $FH^-$ -Gruppen und  $FH^+$ -Gruppen angenähert hatten und im 3. Monat sich die Werte aller vier Gruppen stark ähnelten.



**Abbildung 14:** Vergleich der Melodielänge von 2B-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 1. Monat.

**Tabelle 13:** Deskriptive Analyse der Melodielänge der 2B-Strukturen der vier Untersuchungsgruppen im 1. Lebensmonat.

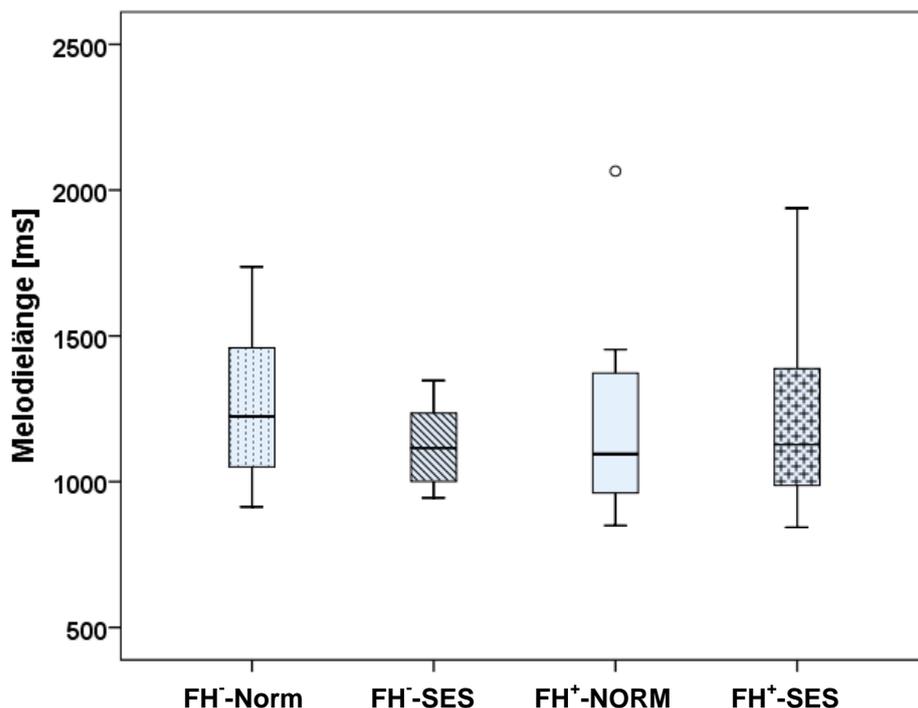
	<b>FH<sup>-</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>-</sup>-SES</b>	<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>
Mittelwert [ms]	1343	1422	916	1155
Standardabweichung [ms]	747	699	270	244
Medianwert [ms]	1275	941	945	1129
Minimum [ms]	702	911	540	815
Maximum [ms]	4725	2381	1344	1559



**Abbildung 15:** Vergleich der Melodielänge von 2B-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 2. Monat.

**Tabelle 14:** Deskriptive Analyse der Melodielänge der 2B-Strukturen der vier Untersuchungsgruppen im 2. Lebensmonat.

	<b>FH<sup>-</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>-</sup>-SES</b>	<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>
Mittelwert [ms]	1326	1296	1055	1098
Standardabweichung [ms]	330	474	269	212
Medianwert [ms]	1324	1178	1050	1093
Minimum[ms]	745	824	738	710
Maximum [ms]	2131	2097	1600	1403



**Abbildung 16:** Vergleich der Melodielänge von 2B-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 3. Monat.

**Tabelle 15:** Deskriptive Analyse der Melodielänge der 2B-Strukturen der Untersuchungsgruppen im 3. Lebensmonat.

	FH <sup>-</sup> -Norm	FH <sup>-</sup> -SES	FH <sup>+</sup> -Norm	FH <sup>+</sup> -SES
Mittelwert [ms]	1276	1126	1217	1209
Standardabweichung [ms]	256	148	364	323
Medianwert [ms]	1224	1115	1094	1127
Minimum [ms]	914	944	850	844
Maximum [ms]	1737	1347	2065	1938

### 3.2.1.2 Analyse der Gesamtsignallänge der 1S-Vokalisationen der Probanden in monatlichen Intervallen

Die Ergebnisse der Auswertung der zeitlichen Dauer (Länge) der 1S-Strukturen sind in den Tabellen 16 bis 18 wiedergegeben und in den Abbildungen 17 bis 19 in Form eines Boxplot-Diagramms dargestellt.

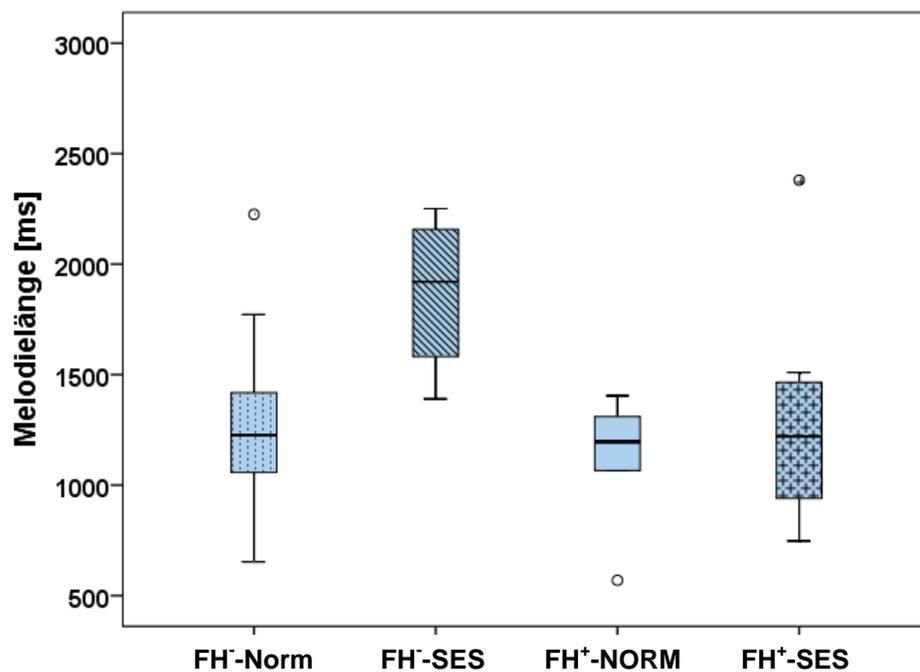
Im 1. Monat ähnelten sich die Melodielängen der beiden FH<sup>+</sup>-Gruppen (Mittelwerte: 1109 ms und 1256 ms) und die der FH<sup>-</sup>-NormGruppe (Mittelwert 1345 ms) (Tab. 16). Auffallend war, dass in der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe, mit einem Mittelwert von 1870 ms deutlich längere 1S-Vokalisationen auftraten als in den anderen Gruppen. Laut logarithmischer Transformation

waren alle Gruppenwerte hinreichend normal verteilt (Shapiro-Wilk-Test:  $FH^-$ -Norm  $p = 0,413$ ;  $FH^-$ -SES  $p = 0,71$ ;  $FH^+$ -Norm  $p = 0,09$ ;  $FH^+$ -SES  $p = 0,67$ ). Der Test auf Varianzhomogenität ergab einen p-Wert von  $p = 0,855$ . Die ANOVA lieferte einen p-Wert von  $p = 0,133$ . Damit lagen für die Melodielänge in 1S-Strukturen im 1. Lebensmonat keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede vor.

Während die Melodielängen der  $FH^-$ -SES-Gruppe im 1. Lebensmonat noch deutlich länger waren als die der übrigen drei Gruppen, hat sich dieser Unterschied im 2. Lebensmonat nicht mehr gezeigt (vgl. Abb. 18). Die Werte waren auffällig ähnlich. Die logarithmische Transformation lieferte eine hinreichende Normalverteilung für die Werte in allen vier Gruppen (Shapiro-Wilk-Test:  $FH^-$ -Norm  $p = 0,86$ ,  $FH^-$ -SES  $p = 0,9$ ;  $FH^+$ -Norm  $p = 0,051$ ,  $FH^+$ -SES  $p = 0,46$ ). Die ANOVA ergab mit  $p = 0,612$  auch im 2. Monat keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede für die Melodielänge in 1S-Strukturen (Levene-Test:  $p = 0,45$ ).

Im 3. Monat zeigten sich für die beiden  $FH^-$ -Gruppen und die  $FH^+$ -SES-Gruppe ähnliche Mittelwerte bezüglich der Melodielänge der 1S-Struktur. Auffallend war die  $FH^+$ -Norm-Gruppe, die im Vergleich zu den anderen drei Gruppen kürzere 1S-Vokalisationen aufwies (vgl. Abb. 19). Alle vier Gruppen besaßen normal verteilte Werte (Shapiro-Wilk-Test:  $FH^-$ -Norm  $p = 0,134$ ;  $FH^-$ -SES  $p = 0,42$ ,  $FH^+$ -Norm  $p = 0,812$ ;  $FH^+$ -SES  $p = 0,674$ ). Die ANOVA lieferte mit  $p = 0,095$  (Levene-Test:  $p = 0,565$ ) keine signifikanten Gruppenunterschiede.

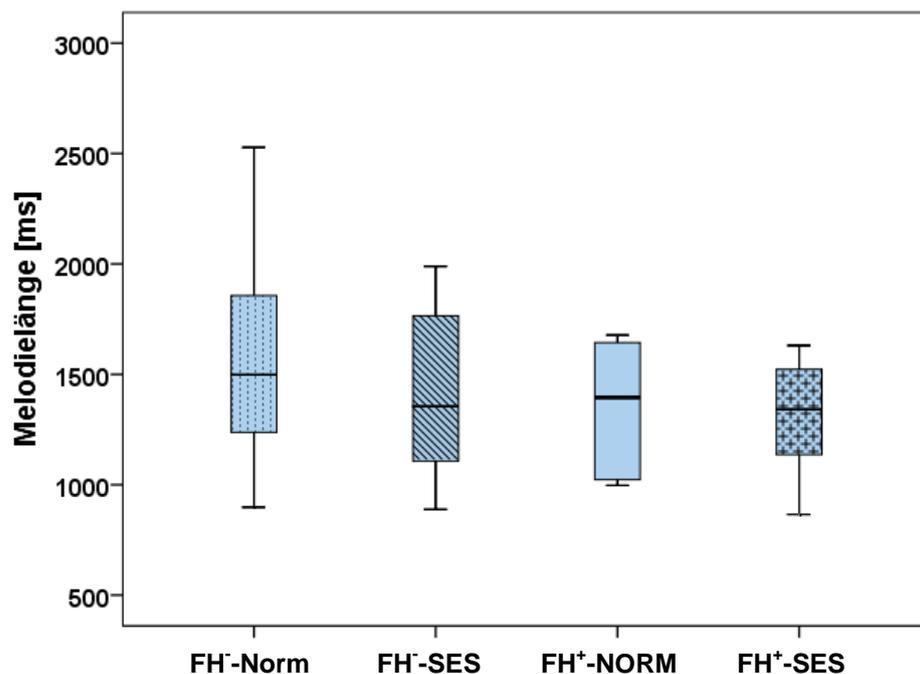
Analog zu den Auswertungen der 2B-Strukturen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass sich zwar in den Boxplots (Abb. 17-19) bezüglich der Verteilung der Werte der Melodielänge zwischen den vier Gruppen einige Unterschiede ergaben, diese jedoch statistisch nicht signifikant waren. Auffällig war die Ähnlichkeit der vier Gruppen bezüglich der Melodielänge der 1S-Strukturen im 2. Monat.



**Abbildung 17:** Vergleich der Melodielänge von 1S-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 1. Monat.

**Tabelle 16:** Deskriptive Analyse der Melodielänge der 1S-Strukturen der Untersuchungsgruppen im 1. Lebensmonat.

	<b>FH-Norm</b>	<b>FH-SES</b>	<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>
Mittelwert [ms]	1345	1870	1109	1256
Standardabweichung [ms]	577	375	327	479
Medianwert [ms]	1227	1920	1196	1220
Minimum [ms]	653	1390	569	747
Maximum [ms]	3305	2251	1405	2380



**Abbildung 18:** Vergleich der Melodielänge von 1S-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 2. Monat.

**Tabelle 17:** Deskriptive Analyse der Melodielänge der 1S-Strukturen der Untersuchungsgruppen im 2. Lebensmonat.

	<b>FH-Norm</b>	<b>FH-SES</b>	<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>
Mittelwert [ms]	1553	1410	1603	1323
Standardabweichung [ms]	415	408	889	246
Medianwert [ms]	1499	1355	1395	1342
Minimum [ms]	898	889	998	865
Maximum [ms]	2528	1989	3700	1630

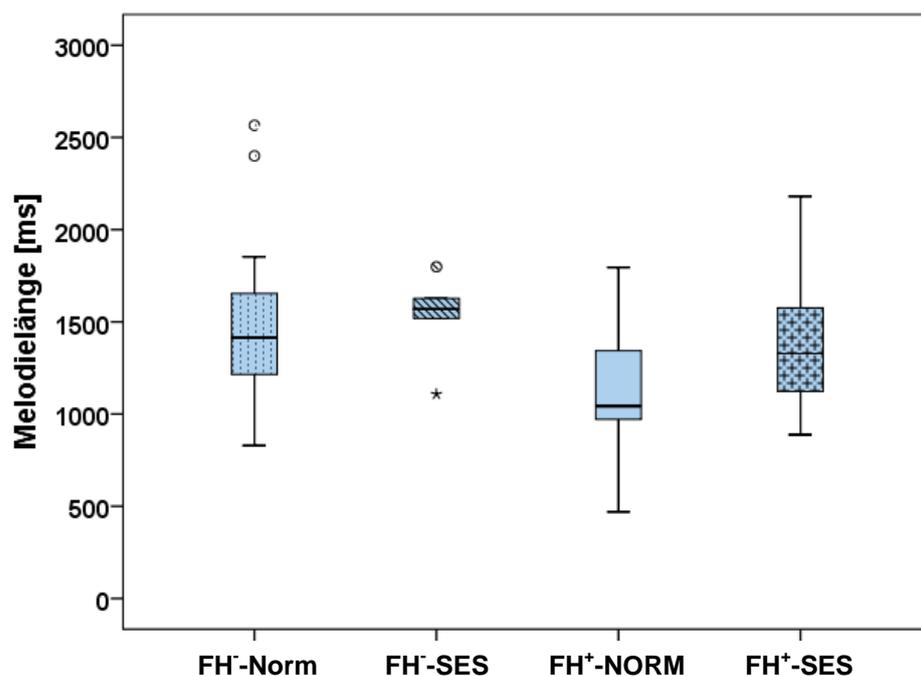


Abbildung 19: Vergleich der Melodielänge von 1S-Strukturen in Vokalisationen der vier Gruppen im 3. Monat.

Tabelle 18: Deskriptive Analyse der Melodielänge der 1S-Strukturen der Untersuchungsgruppen im 3. Lebensmonat.

	FH-Norm	FH-SES	FH <sup>+</sup> -Norm	FH <sup>+</sup> -SES
Mittelwert [ms]	1499	1524	1133	1378
Standartabweichung [ms]	467	256	409	373
Medianwert [ms]	1414	1570	1044	1328
Minimum [ms]	830	1108	469	888
Maximum [ms]	2566	1799	1795	2180

### 3.2.2 Auswertung der einzelnen Melodiebogenlängen in monatlichen Intervallen

In weiteren Analyseschritten wurde auch die Länge der beiden einzelnen Melodiebögen, aus denen sich 2B- und 1S-Strukturen zusammensetzten, berechnet, um im Sinne einer „Betonungsanalyse“ das Verhältnis beider sowohl graphisch als auch tabellarisch darzustellen. Die Betonungsanalyse beider Bögen der 2B- und 1S-Vokalisationen bezüglich ihrer Länge und Frequenzmaxima erfolgt im Kapitel 3.3. Bei der Bestimmung der Bogenlängen wurden die Einschwinglängen zu Signalbeginn (Anlaut) zur Dauer des 1. Bogens hinzugerechnet, während die Ausschwinglängen am Ende (Endlaut) zur Dauer des 2. Bogens hinzugerechnet wurden. Die Ergebnisse der Auswertungen für die Länge jedes

einzelnen Bogens der untersuchten Vokalisationen sind für die 2B-Strukturen in den Tabellen 19 bis 21 und in den Abbildungen 20 bis 22 graphisch dargestellt. Die Tabellen 22 bis 24 und die Abbildungen 23 bis 25 zeigen die ausgemessenen Bogenlängen der 1S-Strukturen für jeden Monat des Untersuchungsraumes.

### **3.2.2.1 Auswertung der Melodielänge des ersten und des zweiten Bogens der 2B-Strukturen in monatlich Intervallen**

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der Auswertung der Bogenlänge des 1. und 2. Bogens der 2B-Struktur dargestellt. Die Analysen wurden getrennt nach dem jeweiligen Untersuchungsmonat vorgenommen. Im 1. Monat war bei allen vier Gruppen der erste Bogen länger als der zweite Bogen. In den beiden  $FH^-$ -Gruppen und der  $FH^+$ -SES-Gruppe waren die Unterschiede zwischen den ersten Bogen und den zweiten Bogen einer 2B-Vokalisation ausgeprägter als bei der  $FH^+$ -Norm-Gruppe (Abb. 20).

Auch im 2. Monat waren bei allen vier Gruppen die ersten Bögen länger als die zweiten Bögen. Bezüglich der Mittelwerte für den zweiten und ersten Bogen glichen sich die beiden  $FH^+$ -Gruppen aneinander an. Auffallend war die Gruppe  $FH^-$ -SES, die im zweiten Monat aus allen vier Gruppen die längsten ersten Bögen (Mittelwert: 831 ms) (Tab. 20) und die kürzesten zweiten Bögen (Mittelwert: 465 ms) produzierte (Abb. 21).

Im 3. Monat wiesen die beiden  $FH^-$ -Gruppen und die  $FH^+$ -Norm-Gruppe längere erste Bögen als zweite Bögen auf, wobei die  $FH^-$ -Norm-Gruppe die längsten Bögen produzierte. Mit dem Mittelwert von 585 ms (Tab. 21) für den ersten Bogen und dem Mittelwert von 624 ms für den zweiten Bogen bildete die  $FH^+$ -SES-Gruppe 2B-Vokalisationen, die aus fast gleich langen Bögen bestanden (Abb. 22).

Zusammenfassen kann man sagen, dass bei allen vier Gruppe in den ersten beiden Monaten die untersuchten 2B-Vokalisationen einen längeren ersten als zweiten Bogen zeigten. Somit ließ sich in den zwei ersten Monaten bei allen vier Gruppen eine deutliche Tendenz zum trochäischen Muster feststellen. Lediglich im 3. Monat bildete die  $FH^+$ -SES-Gruppe mit fast ähnlichen Mittelwerten für beide Bögen, 2B-Vokalisationen, die aus vergleichbar langen Bögen bestanden.

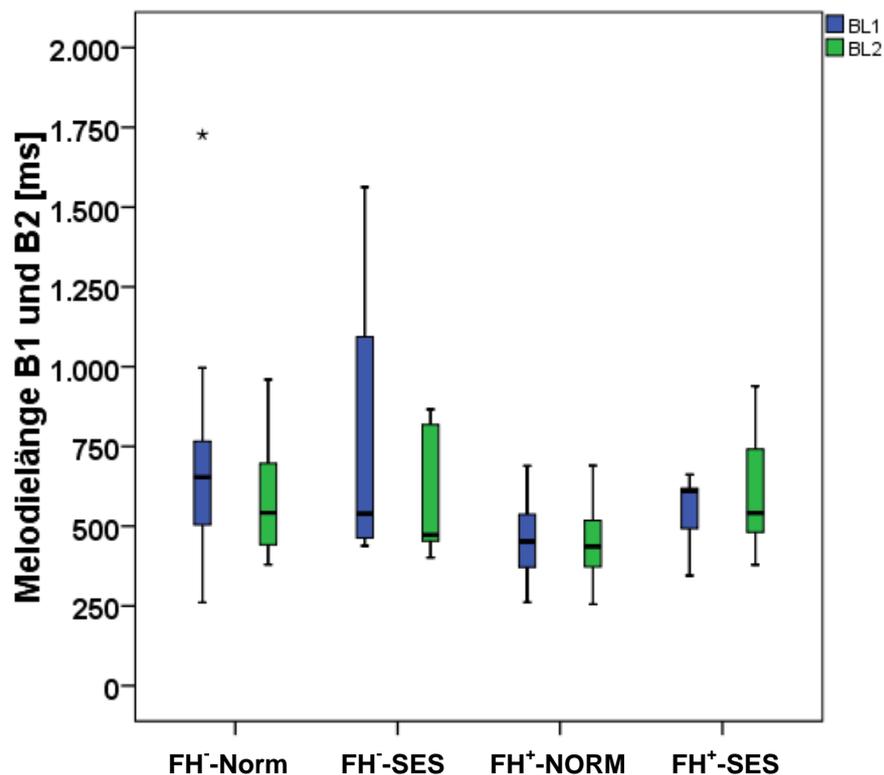


Abbildung 20: Längen der beiden Melodiebögen im 1. Lebensmonat.

Tabelle 19: Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 2B-Strukturen im 1. Lebensmonat.

	FH-Norm		FH-SES		FH <sup>+</sup> -Norm		FH <sup>+</sup> -SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [ms]	673	670	819	602	459	456	551	604
Standardabweichung [ms]	297	499	495	220	144	146	112	173
Medianwert [ms]	654	542	539	473	452	436	610	541
Minimum [ms]	260	379	438	402	261	255	345	379
Maximum [ms]	1727	2998	1563	866	689	690	662	939

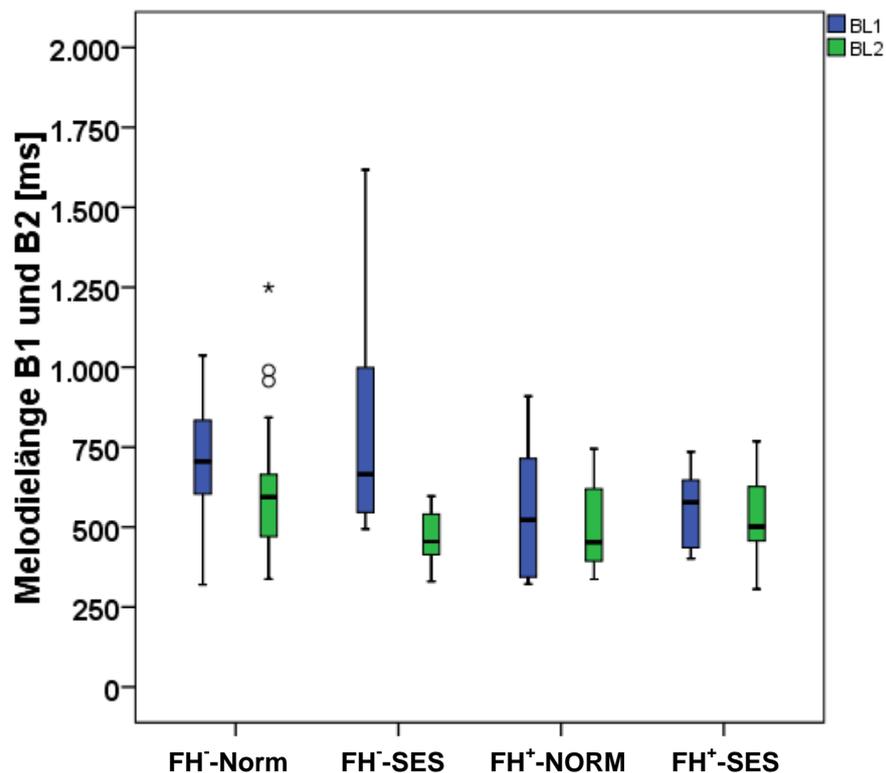


Abbildung 21: Längen der beiden Melodiebögen im 2. Lebensmonat.

Tabelle 20: Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 2B-Strukturen im 2. Lebensmonat.

	FH-Norm		FH-SES		FH+-Norm		FH+-SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [ms]	711	615	831	465	548	508	561	537
Standardabweichung [ms]	170	209	427	95	199	142	118	138
Medianwert [ms]	705	594	666	455	522	453	577	501
Minimum [ms]	320	337	494	330	322	337	402	306
Maximum [ms]	1037	1249	1618	597	910	745	735	768

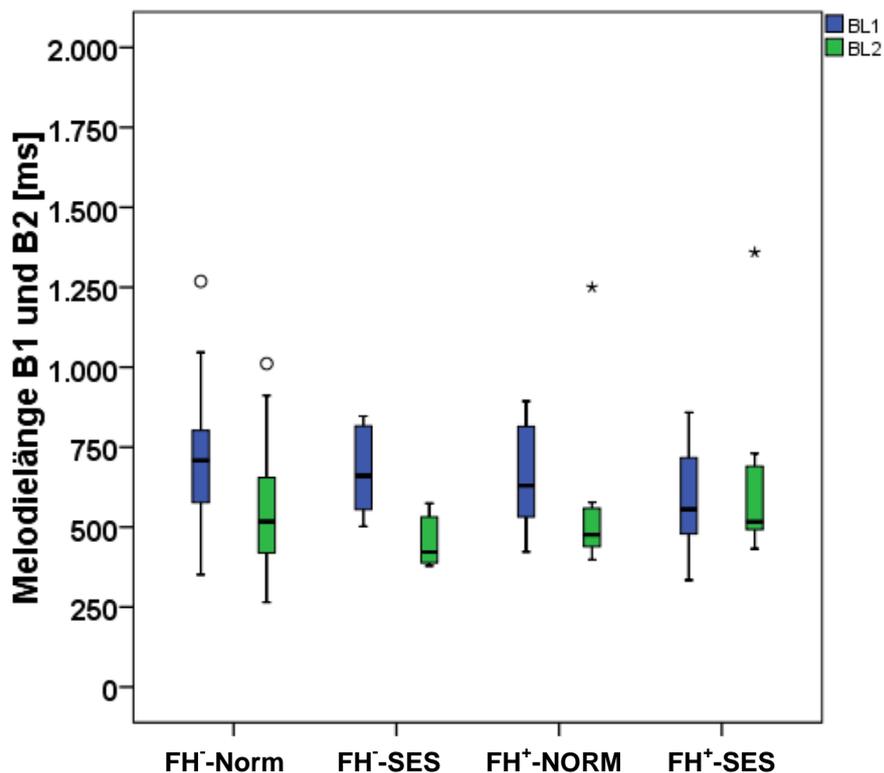


Abbildung 22: Längen der beiden Melodiebögen im 3. Lebensmonat.

Tabelle 21: Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 2B-Strukturen im 3. Lebensmonat.

	FH-Norm		FH-SES		FH <sup>+</sup> -Norm		FH <sup>+</sup> -SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [ms]	718	558	674	453	659	557	585	624
Standardabweichung [ms]	193	190	143	82	169	250	164	252
Medianwert [ms]	708	517	661	422	630	476	556	516
Minimum [ms]	351	265	502	379	423	398	334	432
Maximum [ms]	1269	1011	847	574	894	1250	858	1359

### **3.2.2.2 Auswertung der Bogenlänge des ersten und des zweiten Bogens der 1S-Struktur in monatlichen Intervallen**

Die Ergebnisse der Auswertung der Länge der einzelnen Bögen der 1S-Strukturen (Bogen-Pause-Bogen) sind in Tabellen 22 -24 und den Abbildung 23-25 dargestellt.

Im 1. Monat waren bezüglich des Medianwertes der 1S-Strukturen bei den  $FH^+$ -Gruppen und der  $FH^-$ -SES- Gruppe alle ersten Bögen länger als die zweiten Bögen. Auffallend war die  $FH^-$ -SES-Gruppe, die mit dem Mittelwert 1035 ms die längsten ersten Bögen von allen vier Gruppen zeigte (Abb. 23).

Im 2. Monat ähnelten sich die ersten und zweiten Bögen der 1S-Vokalisationen bei allen vier Gruppen. Dabei konnte beobachtet werden, dass die  $FH^+$ -SES-Gruppe, kürzere erste und zweite Bögen produziert (Abb. 24). Im 2. Monat war zu erkennen, dass bei allen vier Gruppen die ersten Bögen länger waren als die zweiten Bögen.

Wie im 1. Monat bildete auch im 3. Monat die  $FH^-$ -SES-Gruppe die längsten ersten Bögen aus allen vier Gruppen (Abb. 25). Bei allen vier Gruppen war im 3. Monat der erste Bogen länger als der zweite Bogen.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass beim Vergleich der Medianwerte und der Mittelwerte der Bogenlängen innerhalb der Gruppen während des 2. und 3. Monats die Medianwerte und Mittelwerte des 1. Bogens größer als die Medianwerte und Mittelwerte des 2. Bogens waren. Somit spiegelte sich bei allen vier Gruppen in der Lautbildung der 1S-Melodien im 2. und 3. Monat das trochäische Muster wieder. Lediglich im 1. Monat zeigte die  $FH^-$ -Norm-Gruppe bezüglich der Medianwerte das jambische Betonungsmuster.

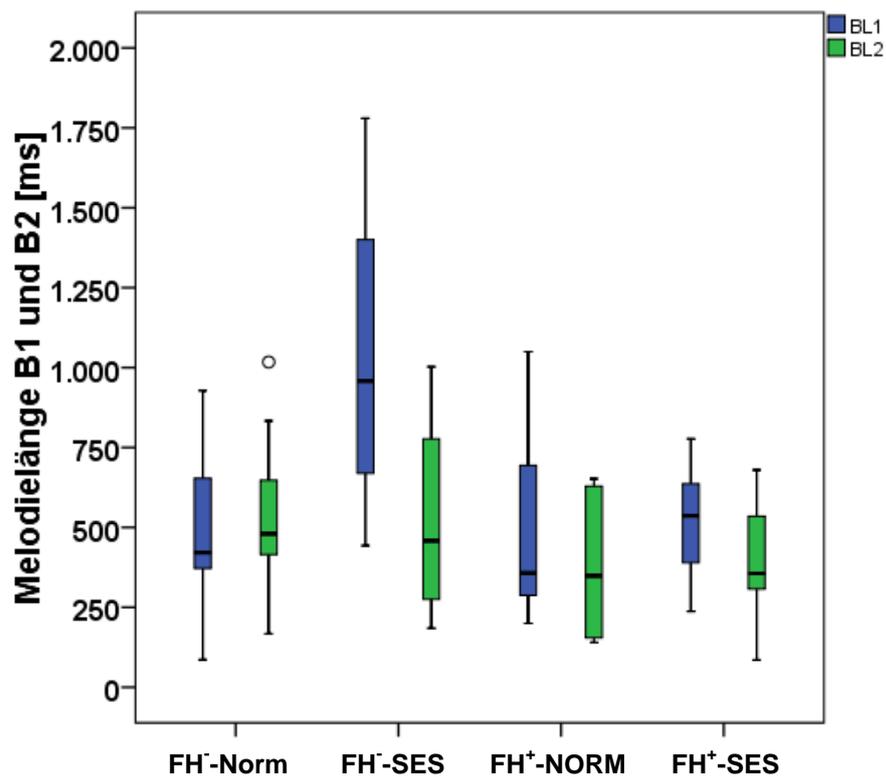


Abbildung 23: Längen der beiden Melodiebögen im 1. Lebensmonat.

Tabelle 22: Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 1S-Strukturen im 1. Lebensmonat.

	FH-Norm		FH-SES		FH <sup>+</sup> -Norm		FH <sup>+</sup> -SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [ms]	572	528	1035	526	518	385	516	395
Standardabweichung [ms]	467	212	555	351	351	248	169	187
Medianwert [ms]	422	480	958	458	357	348	537	356
Minimum [ms]	86	168	444	185	200	140	237	85
Maximum [ms]	2350	1018	1780	1002	1050	652	777	680

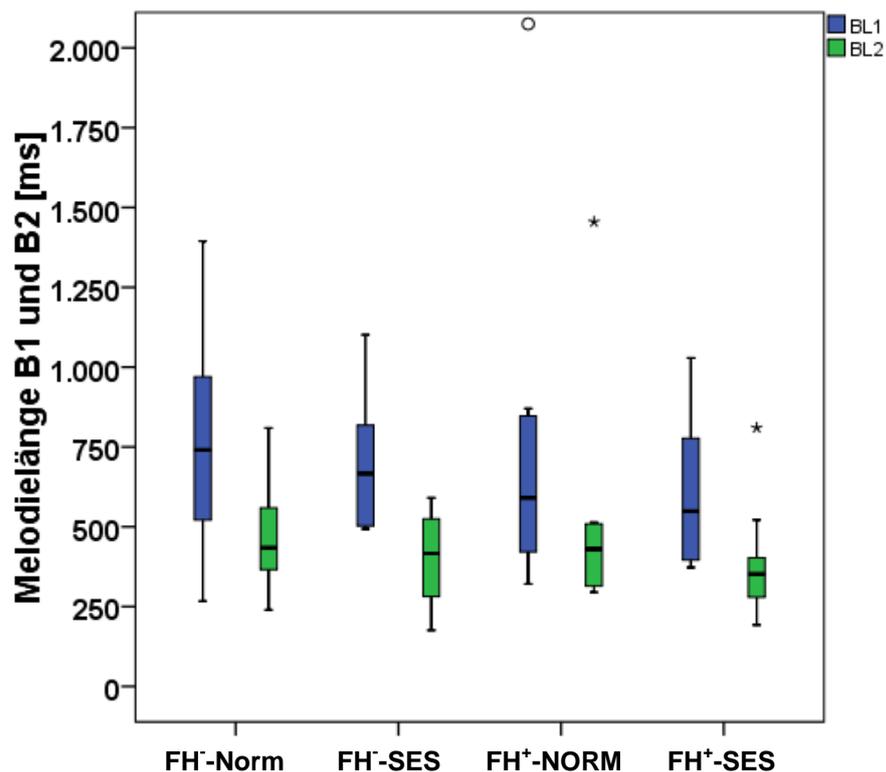


Abbildung 24: Längen der beiden Melodiebögen im 2. Lebensmonat.

Tabelle 23: Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 1S-Strukturen im 2. Lebensmonat.

	FH-Norm		FH-SES		FH+-Norm		FH+-SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [ms]	736	462	708	400	771	516	617	382
Standardabweichung [ms]	295	145	228	156	530	362	232	179
Medianwert [ms]	741	434	666	416	591	430	549	352
Minimum [ms]	267	240	493	176	321	295	372	192
Maximum [ms]	1395	810	1101	591	2075	1455	1028	810

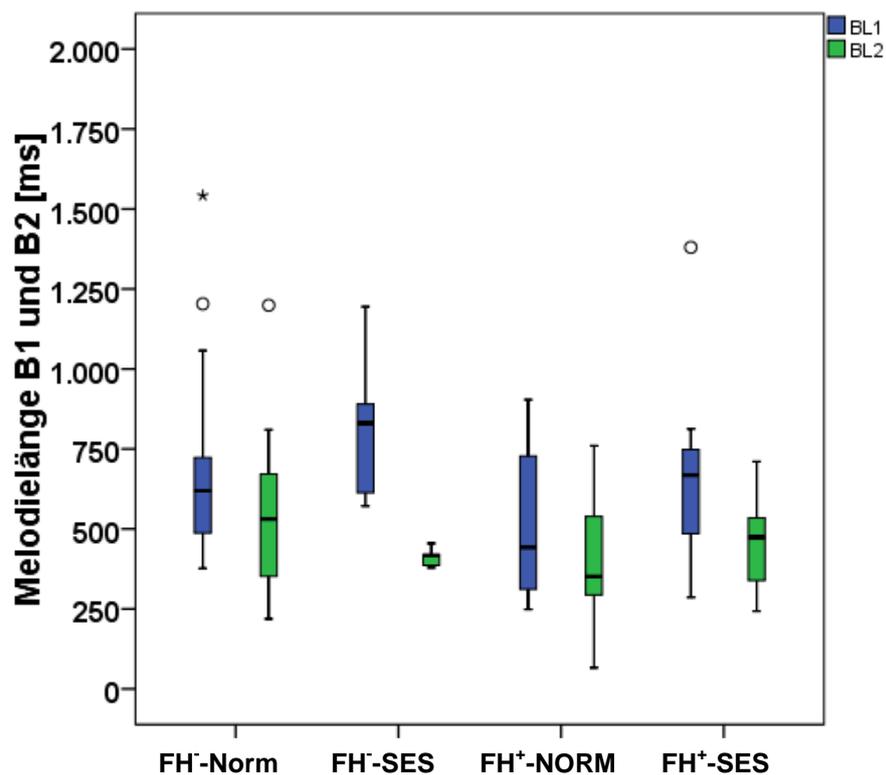


Abbildung 25: Längen der beiden Melodiebögen im 3. Lebensmonat.

Tabelle 24: Deskriptive Analyse der Dauer des ersten und zweiten Bogens in 1S-Strukturen im 3. Lebensmonat.

	FH-Norm		FH-SES		FH+-Norm		FH+-SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [ms]	706	548	820	411	509	409	663	455
Standardabweichung [ms]	311	243	250	30	241	230	291	159
Medianwert [ms]	620	531	830	417	443	351	668	474
Minimum [ms]	377	219	572	379	249	66	287	243
Maximum [ms]	1542	1199	1195	455	904	760	1380	711

### **3.2.3 Untersuchung der F0max der 2B- und 1S-Melodie in monatlichen Intervallen**

Anhand der Tabellen 25 bis 30 und der Abbildungen 26 bis 31 werden F0max vom ersten und zweiten Bogen der 2B- und 1S-Strukturen in monatlichen Intervallen für alle vier Gruppen dargestellt.

#### **3.2.3.1 Untersuchung der F0max der 2B-Melodien in monatlichen Intervallen**

Im 1. Monat wiesen die beiden FH<sup>-</sup>-Gruppen und die FH<sup>+</sup>-Norm-Gruppe höhere F0max bei den ersten Bögen als bei den zweiten Bögen auf (vgl. Abb. 26), wobei der Unterschied der F0max der beiden Bögen gering war. Lediglich die FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe erreichte bezüglich ihrer Medianwerte höhere F0max bei den zweiten Bögen (468 Hz) als bei den ersten Bögen (440 Hz) (Tab. 25). Auch in der FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe gab es einen geringen Unterschied bezüglich der F0max der beiden Bögen.

Im 2. Monat lagen in allen vier Gruppen die Medianwerte für die F0max-Werte der ersten Bögen höher als die der zweiten Bögen (Tab. 26). Auffallend war, dass sich die Medianwerte der ersten Bögen in den vier Gruppen nur gering unterscheiden. Bezüglich der F0max-Werte des zweiten Bogens im 2. Monat zeigte sich, dass die FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe niedrigere Bögen produzierte als die anderen Gruppen (vgl. Abb. 27).

Im 3. Monat wiesen alle vier Gruppen im ersten Bogen einen höheren F0max-Medianwert als im zweiten Bogen auf (vgl. Abb 28). Auch hier bildete die FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe bezüglich der F0max-Medianwerte niedrigere zweite Bögen als die anderen Gruppen. Die Medianwerte der ersten Bögen lagen in allen vier Gruppen dicht beieinander.

Die Untersuchung der F0max erbrachte folgende Erkenntnisse: Der Medianwert des ersten Bogens war bei allen Gruppen im 2. und im 3. Monat höher als der Medianwert des zweiten Bogens. Somit spiegelte sich bei allen vier Gruppen bei der Lautbildung der 2B-Melodien bezüglich F0max im 2. und 3. Monat ein trochäisches Muster wider. Lediglich die Gruppe FH<sup>+</sup>-SES zeigte in dem 1. Monat ein jambisches Betonungsmuster (vgl. Abb 26).

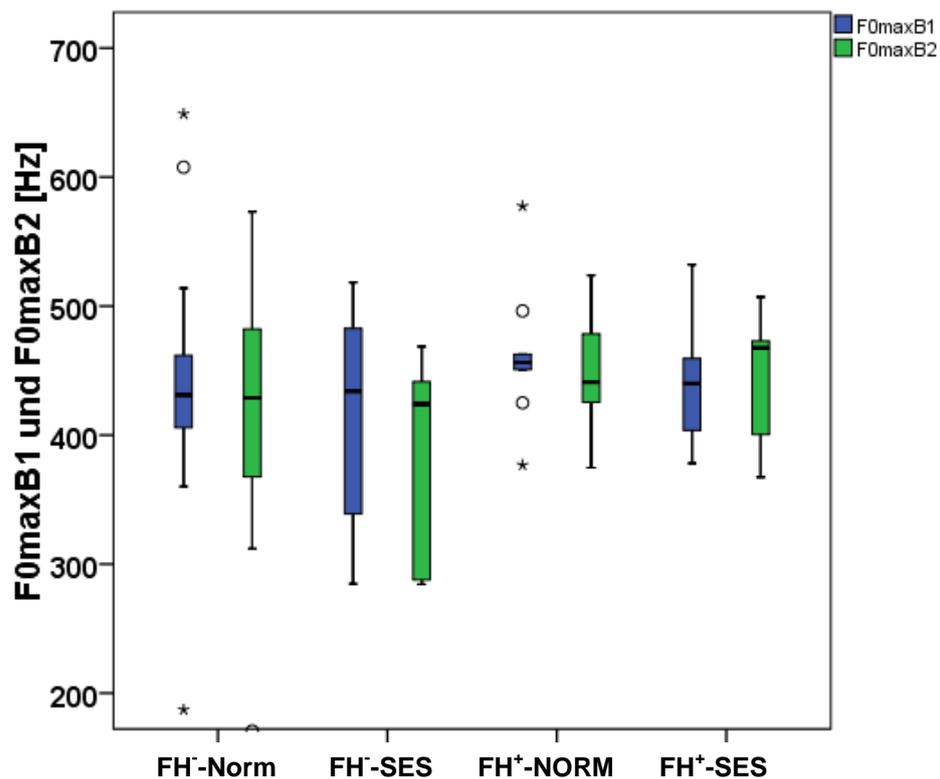


Abbildung 26: Vergleich des F0max des ersten und zweiten Bogens der 2B-Melodien im 1. Lebensmonat.

Tabelle 25: Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens aus der 2B-Melodie im 1. Monat.

	FH-Norm		FH-SES		FH+-Norm		FH+-SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [Hz]	436	417	412	381	462	449	441	439
Standardabweichung [Hz]	83	80	98	88	54	43	48	47
Medianwert [Hz]	431	429	434	424	456	441	440	468
Minimum [Hz]	187	170	285	284	377	375	378	367
Maximum [Hz]	649	573	518	469	577	524	532	507

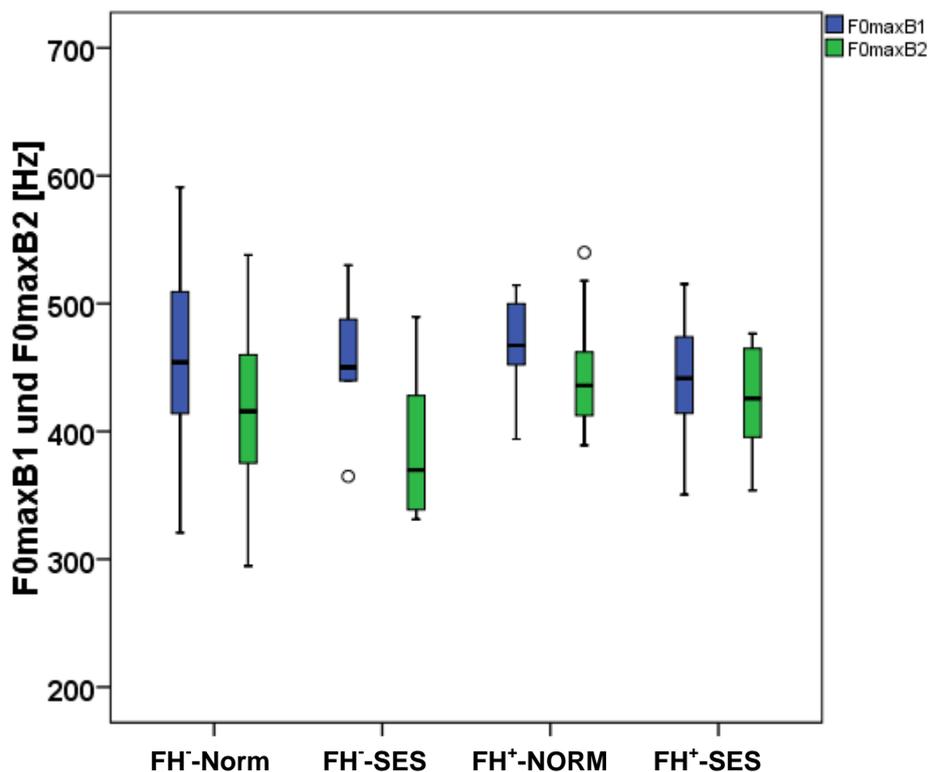


Abbildung 27: Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 2B-Melodien im 2. Lebensmonat.

Tabelle 26: Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens aus der 2B-Melodie im 2. Monat.

	FH-Norm		FH-SES		FH+-Norm		FH+-SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [Hz]	456	421	454	388	469	447	439	427
Standardabweichung [Hz]	68	64	55	62	35	48	43	41
Medianwert [Hz]	454	416	450	370	467	436	442	426
Minimum [Hz]	320	295	365	331	394	389	351	354
Maximum [Hz]	590	538	530	489	514	540	515	477

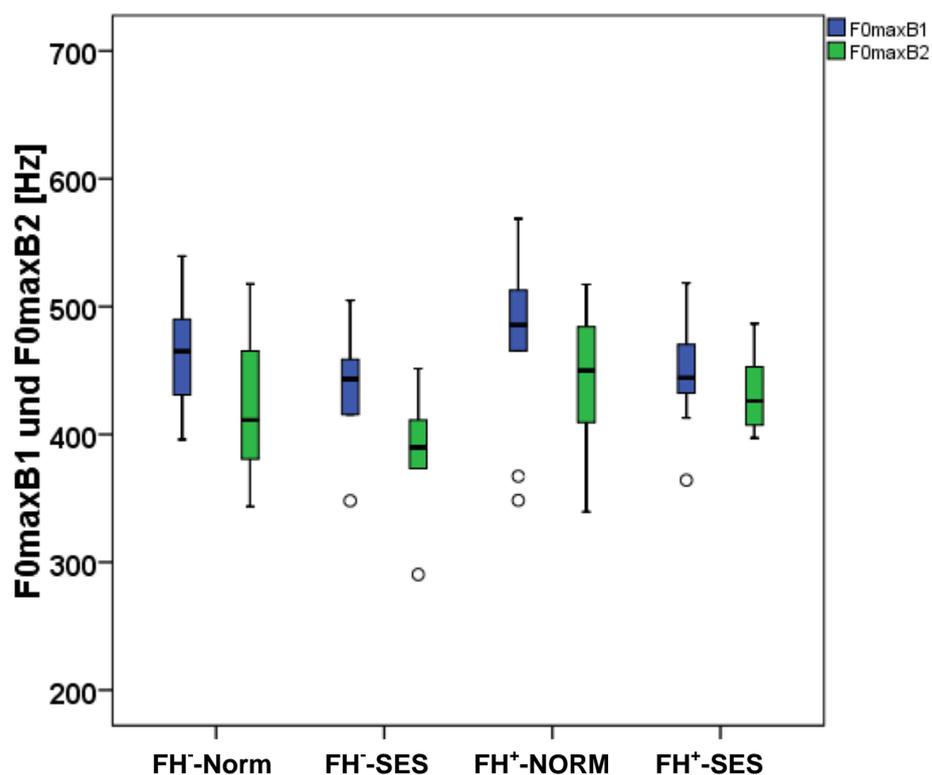


Abbildung 28: Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 2B-Melodien im 3. Lebensmonat.

Tabelle 27: Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens aus der 2B-Melodie im 3. Monat.

	FH-Norm		FH-SES		FH <sup>+</sup> -Norm		FH <sup>+</sup> -SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [Hz]	463	421	436	384	473	441	448	433
Standardabweichung [Hz]	41	50	52	53	69	60	41	31
Medianwert [Hz]	465	411	443	390	486	450	444	426
Minimum [Hz]	396	344	348	290	348	339	364	397
Maximum [Hz]	539	518	504	452	569	517	519	487

### 3.2.3.2 Untersuchung der F0max der 1S-Melodien in monatlichen Intervallen

Die Tabellen 28 bis 30 zeigen die Maxima des ersten und zweiten Bogens der 1S-Struktur von allen vier Gruppen in monatlichen Intervallen. Die Abbildungen 29 bis 31 stellen die Entwicklung graphisch dar.

Im 1. Monat wiesen die beiden FH<sup>-</sup>-Gruppen und die beiden FH<sup>+</sup>-Gruppe höhere F0max bei den ersten Bögen als bei den zweiten Bögen auf. Auffallend war, dass die FH<sup>+</sup>-Norm-Gruppe höhere F0max-Werte (Medianwert: 484 Hz) bei dem ersten Bogen besaß als die anderen Gruppen (vgl. Abb 29). Die Differenz der F0max-Werte der beiden Bögen war bei der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe in Vergleich zu den anderen Gruppen am größten. Bezüglich des F0max-Wertes des zweiten Bogens im 2. Monat zeigte sich, dass bei der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe niedrigere Bögen (Medianwert: 332 Hz ) zu beobachten waren als bei den anderen Gruppen.

Im 2. Monat besaßen alle vier Gruppen für den ersten Bogen einen höheren F0max-Medianwert als für den zweiten Bogen. Alle Probanden bildeten vorwiegend anfangsbetonte 1S-Vokalsiationen. Die Medianwerte der ersten und der zweiten Bögen ähnelten sich in allen vier Gruppen.

Im 3. Monat besaßen alle vier Gruppen für den ersten Bogen einen höheren F0max-Medianwert als für den zweiten Bogen. Auch hier bildete, wie auch schon in den 2B-Strukturen, die FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe bezüglich der F0max-Medianwertes niedrigere zweite Bögen als die anderen Gruppen (Abb. 31). Die Medianwerte der ersten Bögen ähnelten sich in allen vier Gruppen (Tab 30).

Die Untersuchung der F0max erbrachte folgende Erkenntnisse: Der Medianwert des ersten Bogens war bei allen Gruppen in allen Untersuchungsmonaten höher als der Medianwert des zweiten Bogens. Somit spiegelte sich bei allen vier Gruppen in der Lautbildung der 1S-Melodien bezüglich F0max das trochäische Muster wider.

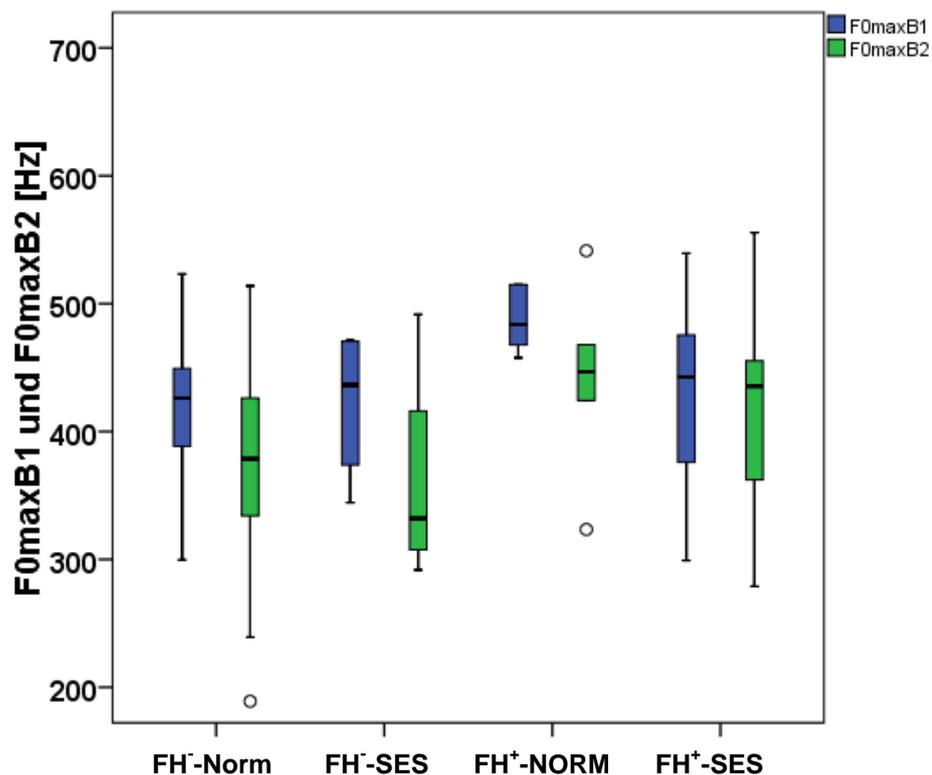
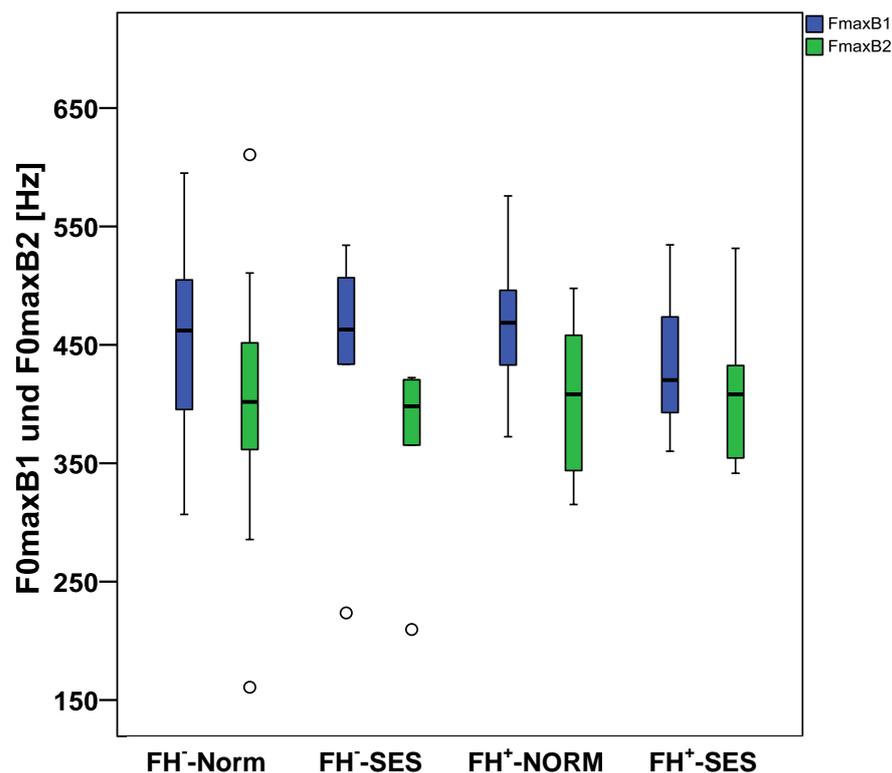


Abbildung 29: Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 1S-Melodien im 1. Lebensmonat.

Tabelle 28: Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens der 1S-Melodie im 1. Monat.

	FH-Norm		FH-SES		FH+-Norm		FH+-SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [Hz]	415	368	422	362	488	441	431	420
Standardabweichung [Hz]	58	77	61	89	26	79	74	83
Medianwert [Hz]	426	379	436	332	484	447	443	435
Minimum [Hz]	300	189	344	292	458	323	299	279
Maximum [Hz]	523	514	471	492	515	541	539	556



**Abbildung 30:** Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 1S-Melodien im 2. Lebensmonat.

**Tabelle 29:** Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens der 1S-Melodie im 2. Monat.

	FH <sup>-</sup> -Norm		FH <sup>-</sup> -SES		FH <sup>+</sup> -Norm		FH <sup>+</sup> -SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [Hz]	459	403	437	369	464	407	431	409
Standardabweichung [Hz]	77	90	111	81	66	65	56	57
Medianwert [Hz]	462	402	463	398	469	409	420	408
Minimum [Hz]	307	161	224	210	372	315	360	342
Maximum [Hz]	595	611	534	422	576	498	534	532

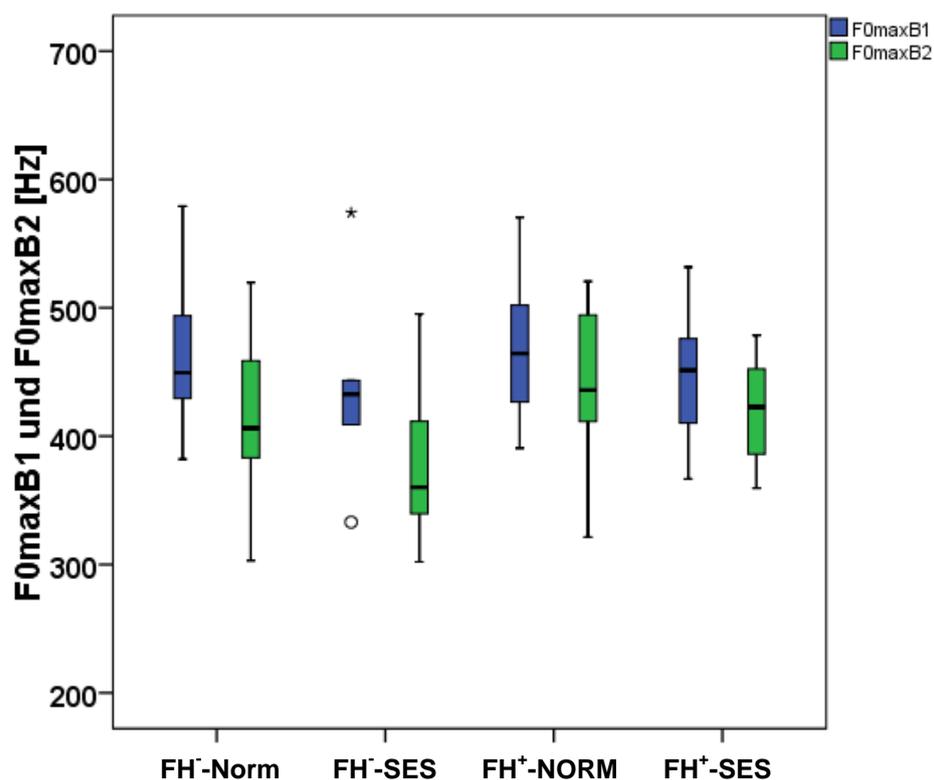


Abbildung 31: Vergleich des F0max des ersten Bogens und zweiten Bogens der 1S-Melodien im 3. Lebensmonat.

Tabelle 30: Deskriptive Analyse des F0max des ersten und zweiten Bogens der 1S-Melodie im 3. Monat.

	FH-Norm		FH-SES		FH <sup>+</sup> -Norm		FH <sup>+</sup> -SES	
	1B	2B	1B	2B	1B	2B	1B	2B
Mittelwert [Hz]	461	416	438	382	472	440	447	421
Standardabweichung [Hz]	50	60	87	74	66	64	52	40
Medianwert [Hz]	449	406	432	360	464	436	451	422
Minimum [Hz]	382	303	333	302	390	321	367	359
Maximum [Hz]	579	519	574	495	570	521	532	479

### 3.2.3.3 Auswertung der Länge der Segmentierungspause bei 1S-Strukturen in monatlichen Intervallen

Die Länge der Pause zwischen zwei Bögen innerhalb einer Vokalisation ist ein wichtiger Bestandteil der Zeitorganisation der 1S-Laute. Anhand der Tabellen 31 bis 33 und den Abbildungen 32 bis 34 werden für jeden Monat für alle vier Untersuchungsgruppen die Ergebnisse der Berechnung der Pausenlänge dargestellt.

Im 1. Monat lagen die Medianwerte für die Pausenlängen der FH<sup>-</sup>-Norm-Gruppe (Medianwert: 221 ms) und der beiden FH<sup>+</sup>-Gruppen (beide Medianwerte: 210 ms) dicht beieinander (Tab. 31). Die FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe bildete längere Pausen bei den 1S-Vokalisationen als die anderen Gruppen (Medianwert: 311 ms). Nach logarithmischer Transformation der Werte ergab sich eine hinreichende Normverteilung in allen vier Gruppen (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,73$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,68$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,47$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,86$ ). Die ANOVA lieferte keine signifikanten Gruppenunterschiede mit  $p = 0,861$  (Levene-Test  $p = 0,212$ ).

Im 2. Monat war der Medianwert für die Pausenlängen der 1S-Vokalisationen beider FH<sup>-</sup>-Gruppen mit 255 ms gleich groß (Tab. 32). Zwischen den beiden FH<sup>+</sup>-Gruppen gab es Unterschiede. So waren die Pausenlängen bezüglich des Medianwertes bei der FH<sup>+</sup>-Norm-Gruppe mit 182 ms kleiner als der Medianwert für die Pausenlängen der FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe (316 ms). Durch logarithmische Transformation konnte in allen vier Gruppen eine Normalverteilung erreicht werden (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,62$ , FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,32$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,98$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,65$ ). Es fanden sich auch im 2. Monat keine signifikanten Gruppenunterschiede (ANOVA  $p = 0,73$ ; Levene-Test  $p = 0,70$ ). Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass bezüglich der Pausenlänge im 2. Monat eine starke Angleichung innerhalb der Gruppen stattgefunden hatte.

Im 3. Monat ähnelten sich alle vier Gruppen bezüglich des Medianwertes für die Pausenlängen der 1S-Vokalisationen (vgl. Abb. 34). Lediglich die FH<sup>+</sup>-Norm-Gruppe bildete leicht kürzere Pausenlängen im Vergleich zu den anderen drei Gruppen. Die Werte in allen vier Gruppen waren hinreichend normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,145$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,38$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,067$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,89$ ). Die ANOVA ergab keine signifikanten Gruppenunterschiede ( $p = 0,65$ ). Der Levene-Test lieferte einen Wert von  $p = 0,49$ .

Die monatliche Analyse der Segmentierungspausen lieferte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den vier Gruppen. In den Abbildungen 32 bis 34 zeigen sich dennoch Veränderungen in der Pausenlänge in den ersten drei Lebensmonaten. Auffällig war die Verkleinerung des Interquartilsabstands in allen Gruppen mit zunehmendem Alter, der vor allem in den FH<sup>+</sup>-Gruppen beobachtet wurde.

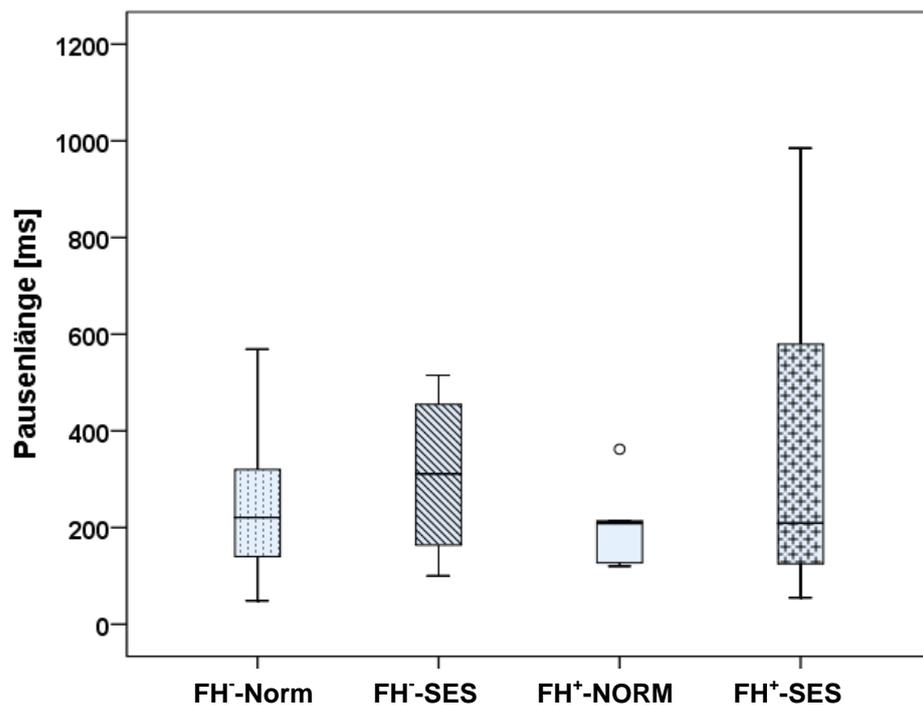


Abbildung 32: Vergleich der Segmentierungslänge im 1. Lebensmonat.

Tabelle 31: Deskriptive Analyse der Segmentierungslänge der 1S-Melodie im 1. Lebensmonat.

	FH-Norm	FH-SES	FH <sup>+</sup> -Norm	FH <sup>+</sup> -SES
Mittelwert [ms]	245	309	207	344
Standardabweichung [ms]	141	183	98	306
Medianwert [ms]	221	311	210	210
Minimum [ms]	49	100	120	55
Maximum [ms]	569	515	362	985

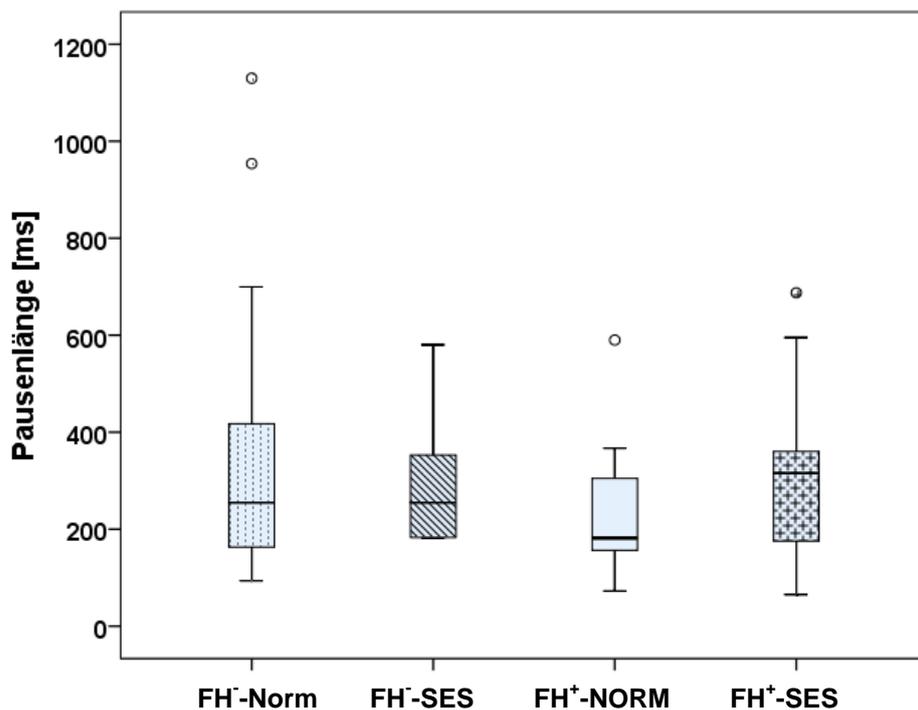


Abbildung 33: Vergleich der Segmentierungslänge im 2. Lebensmonat.

Tabelle 32: Deskriptive Analyse der Segmentierungslänge der 1S-Melodie im 2. Lebensmonat.

	<b>FH-Norm</b>	<b>FH-SES</b>	<b>FH+-Norm</b>	<b>FH+-SES</b>
Mittelwert [ms]	354	301	250	324
Standardabweichung [ms]	272	153	157	194
Medianwert [ms]	255	255	182	316
Minimum [ms]	94	182	73	65
Maximum [ms]	1130	580	590	688

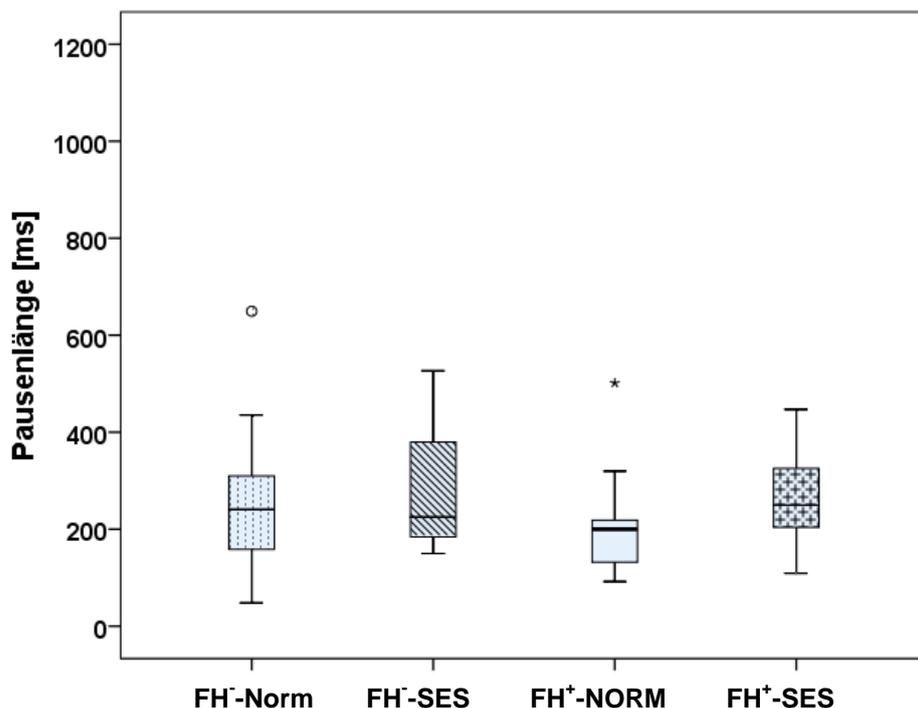


Abbildung 34: Vergleich der Segmentierungslänge im 3. Lebensmonat.

Tabelle 33: Deskriptive Analyse der Segmentierungslänge der 1S-Melodie im 3. Lebensmonat.

	FH <sup>-</sup> -Norm	FH <sup>-</sup> -SES	FH <sup>+</sup> -Norm	FH <sup>+</sup> -SES
Mittelwert [ms]	245	293	214	259
Standardabweichung [ms]	152	157	128	102
Medianwert [ms]	241	225	200	250
Minimum [ms]	48	150	92	109
Maximum [ms]	649	527	501	447

### 3.3 Betonungsanalyse

Bei den untersuchten 2B- und 1S-Strukturen handelte es sich um zweiböige Strukturen, die bezüglich ihrer „Betonung“ mit späteren zweisilbigen Vokalisationen korrespondieren. Um zu untersuchen, ob bereits bei frühen Vokalisationen das für die deutsche Sprache typische trochäische Muster (Friederici 2005) zu erkennen ist, wurde eine einfache „Betonungsanalyse“ durchgeführt. Bei einer trochäischen Lautbildung wird bei zweisilbigen Wörtern die erste Silbe betont. Die Betonungsanalyse erfolgte anhand der Parameter Bogenlänge und Frequenzmaximum. Dabei wurde immer der Quotient aus dem ersten und zweiten Bogen gebildet. Wenn der Quotient größer als 1 war, lag ein trochäisches

Betonungsmuster vor. War dagegen der Quotient kleiner als 1, konnte die Vokalisation einem jambischen Betonungsmuster zugeordnet werden. Die jambische Lautbildung ist bei französischen Kindern zu beobachten, die bei zweisilbigen Wörtern die letzte Silbe betonen (vgl. Kap. 4).

### **3.3.1 Untersuchung des Bogenlängenquotienten der 2B-Struktur in monatlichen Intervallen**

Die Werte der Analyse der Bogenlänge des ersten und zweiten Bogens (Kap. 3.2.2) und der daraus gebildete Quotient der 2B-Strukturen sind in monatlichen Intervallen für alle vier Gruppen in den Tabellen 34 bis 36 dargestellt und in den Abbildungen 35 bis 37 als Boxplotdiagramme veranschaulicht. Der Quotient mit dem Wert 1 (Länge 1. Bogen = Länge 2. Bogen) wurde in den graphischen Abbildungen als Orientierungslinie angegeben.

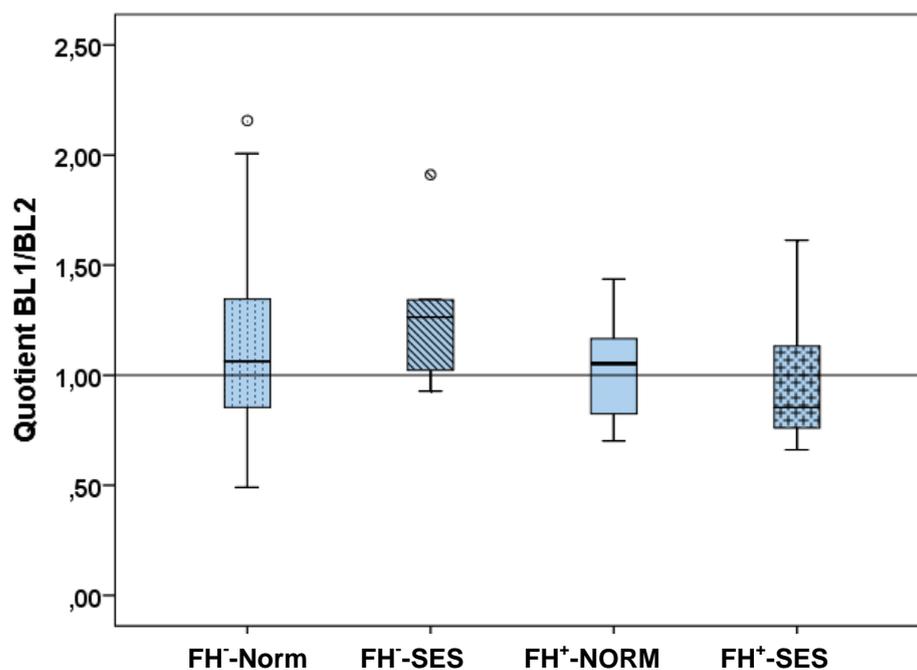
Der Medianwert des Quotienten betrug für die FH<sup>-</sup>-Norm-Gruppe im 1. Monat 1,06. Das bedeutete, dass erster und zweiter Bogen etwa gleich lang in 50 % der Vokalisationen waren. Jeweils etwa ein Viertel der Vokalisationen zeigte einen längeren ersten oder zweiten Bogen. Die Doppelbögen der Vokalisationen der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe waren fast ausschließlich anfangsbetont. Auffällig war der relativ hohe Anteil der Endbetonung in den FH<sup>+</sup>-Gruppen, insbesondere der FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe (Abb. 35). Die Werte in allen vier Gruppen zeigten eine hinreichende Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,167$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,422$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,71$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,62$ ). Da der Levene-Test einen Wert von  $p = 0,002$  lieferte, wurde anstelle der ANOVA der Welch-Test verwendet. Der Welch-Test ergab einen  $p$ -Wert von  $p = 0,351$ . Damit lagen im ersten Monat keine Betonungsunterschiede in doppelbögen Melodien bezüglich der Bogenlänge vor.

Im 2. Monat wurden von den Probanden aller vier Gruppen fast ausschließlich anfangsbetonte Vokalisationen gebildet. Auffällig war die FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe, die mit dem Medianwert 1,4 bezüglich der Bogenlänge den höchsten Quotienten von allen Gruppen bildete (Tab. 35). Die Differenz zwischen der Länge des 1. Bogens und des 2. Bogens war bei dieser Gruppe besonders hoch. Der Shapiro-Wilk-Test lieferte für die einzelnen Gruppen folgende Werte: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,178$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,006$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,759$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,219$ . Die logarithmische Transformation zeigte keine hinreichende Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,178$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,006$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,759$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,219$ ). Der Kruskal-Wallis-Test ergab mit  $p = 0,079$  keine signifikanten Gruppenunterschiede. Die

Boxplots zeigten eine Tendenz zum „Level-Stress“, d.h. zu einer Gleichbetonung beider Bögen bei den  $FH^+$ -Gruppen, während die  $FH^-$ -Gruppen ein deutliches trochäisches Muster zeigten.

Wie im 2. Monat wurden auch im 3. Monat von den Probanden aller vier Gruppen fast ausschließlich anfangsbetonte Vokalisationen gebildet. Der Medianwert war bei allen vier Gruppen größer als 1. Weiterhin bildete die  $FH^-$ -SES-Gruppe mit 1,51 den höchsten Quotienten. Im Vergleich mit 2. Monat war dieser etwas gestiegen. Die drei anderen Gruppen unterschieden sich bezüglich der Medianwerte nur gering voneinander (vgl. Tab. 36). Nach logarithmischer Transformation wurde eine Normalverteilung in allen vier Gruppen erreicht (Shapiro-Wilk-Test:  $FH^-$ -Norm  $p = 0,24$ ;  $FH^-$ -SES  $p = 0,85$ ;  $FH^+$ -Norm  $p = 0,28$ ;  $FH^+$ -SES  $p = 0,097$ ). Der Levene-Test ergab eine Varianzhomogenität ( $p = 0,58$ ), die ANOVA einen p-Wert von  $p = 0,092$ . Damit lagen im 3. Monat keine signifikanten Gruppenunterschiede vor. Die Boxplots zeigten eine deutliche Tendenz zur Betonung des ersten Bogens, d.h. zum trochäischen Muster, in allen vier Gruppen. Deutlich war jedoch der vergleichsweise hohe Anteil jambischer Muster in der  $FH^+$ -SES-Gruppe.

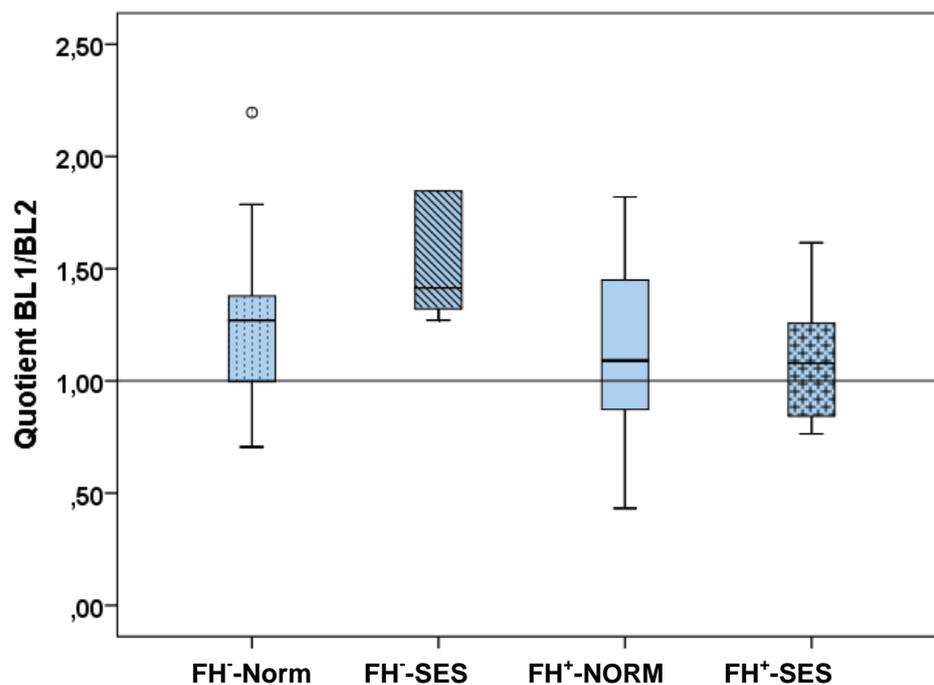
Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass sich zwar im Boxplot (Abb. 35-37) bezüglich der Verteilung des Quotienten aus Länge des ersten Bogens und Länge des zweiten Bogens zwischen den vier Gruppen einige Unterschiede ergaben, diese statistisch jedoch nicht signifikant waren.



**Abbildung 35:** Vergleich des Quotienten aus Bogenlänge B1/Bogenlänge B2 in 2B- Melodien im 1. Monat (Hilfslinie mit Quotient = 1).

**Tabelle 34:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus Bogenlänge B1 und Bogenlänge B2 in 2B-Melodien im 1. Monat.

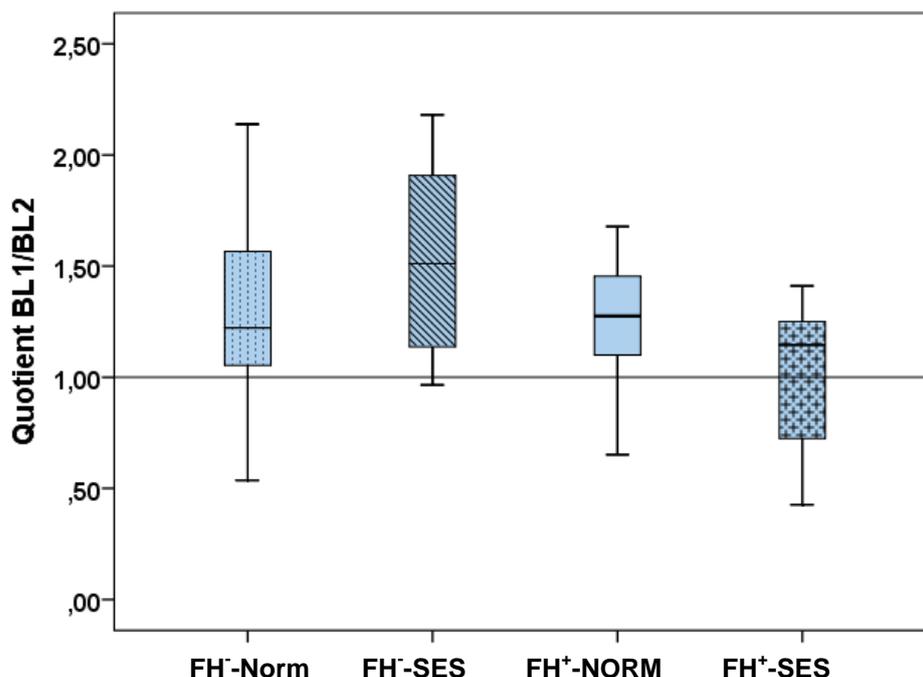
	FH-Norm	FH-SES	FH+-Norm	FH+-SES
Mittelwert	1,12	1,30	1,03	0,96
Standardabweichung	0,44	0,38	0,23	0,29
Medianwert	1,06	1,26	1,05	0,85
Minimum	0,49	0,93	0,70	0,66
Maximum	2,16	1,91	1,44	1,61



**Abbildung 36:** Vergleich des Quotienten aus Bogenlänge B1/Bogenlänge B2 in 2B- Melodien im 2. Monat (Hilfslinie mit Quotient = 1).

**Tabelle 35:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus Bogenlänge B1 und Bogenlänge B2 in 2B-Melodien im 2. Monat.

	FH-Norm	FH-SES	FH <sup>+</sup> -Norm	FH <sup>+</sup> -SES
Mittelwert	1,12	1,70	1,12	1,09
Standardabweichung	0,34	0,81	0,43	0,29
Medianwert	1,27	1,40	1,09	1,08
Minimum	0,71	1,27	0,43	0,76
Maximum	2,20	3,38	1,82	1,62



**Abbildung 37:** Vergleich des Quotienten aus Bogenlänge B1/Bogenlänge B2 in 2B- Melodien im 3. Monat (Hilfslinie mit Quotient = 1).

**Tabelle 36:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus Bogenlänge B1 und Bogenlänge B2 in 2B-Melodien im 3. Monat.

	FH-Norm	FH-SES	FH <sup>+</sup> -Norm	FH <sup>+</sup> -SES
Mittelwert	1,48	1,54	1,26	1,01
Standardabweichung	0,89	0,46	0,32	0,33
Medianwert	1,22	1,51	1,28	1,15
Minimum	0,54	0,97	0,65	0,43
Maximum	4,79	2,18	1,68	1,41

### 3.3.2 Untersuchung des Bogenlängenquotienten der 1S-Struktur bei allen vier Untersuchungsgruppen in monatlichen Intervallen

Für die Betonungsanalyse der 1S-Struktur wurde die Länge der Pause zu der Länge des ersten Bogens dazu gezählt. Der Quotient wurde gebildet, indem die Gesamtlänge des ersten Bogens und der Pause durch die Länge des zweiten Bogens dividiert wurde. Die Werte der Analyse der Bogenlänge des ersten und zweiten Bogens und der daraus gebildete Quotient der 1S-Strukturen sind in monatlichen Intervallen für alle vier Gruppen in den Tabellen 37 bis 39 dargestellt und in den Abbildungen 38 bis 40 als Boxplotdiagramme veranschaulicht. Der

Quotient mit dem Wert 1 (Länge 1. Bogen = Länge 2. Bogen) wurde in den graphischen Abbildungen als Orientierungslinie angegeben.

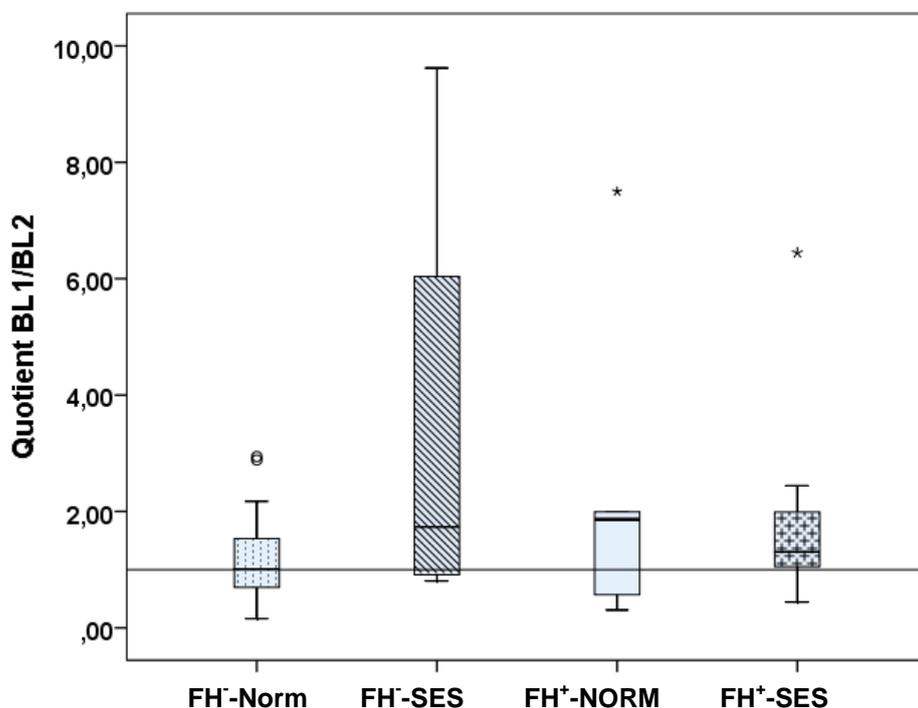
Wie bei den 2B-Strukturen lag auch bei den 1S-Strukturen der Medianwert der FH<sup>-</sup>-Norm-Gruppe bei 1 (Tabelle 37). Die anderen drei Gruppen zeigten im ersten Monat ein vorherrschend trochäisches Muster (Abb. 38) und bildeten fast ausschließlich anfangsbetonte Vokalisationen. Nach logarithmischer Transformation, die die Normalverteilung lieferte (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,31$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,46$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,81$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,83$ ), wurde eine NOVA durchgeführt (Levene-Test  $p = 0,36$ ). Diese zeigte mit dem Wert  $p = 0,295$ , dass es keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede bezüglich des Bogenlängenquotienten der 1S-Strukturen im 1. Monat gab.

Alle vier Gruppen zeigten im 2. Monat in den 1S-Strukturen ein trochäisches Muster (Abb. 39) und bildeten ausschließlich anfangsbetonte Vokalisationen. Wie schon bei der Analyse der 2B-Strukturen zu erkennen war, bildete die FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe mit 1,88 den höchsten Medianwert. Die anderen Gruppen unterscheiden sich bezüglich des Medianwertes nur gering voneinander (vgl. Tab. 38). Nachdem durch logarithmische Transformation eine hinreichende Normalverteilung der Werte in allen vier Gruppen hergestellt wurde (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,27$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,53$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,25$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,16$ ), wurde eine ANOVA durchgeführt (Levene-Test  $p = 0,21$ ). Der Test lieferte keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede ( $p = 0,805$ ).

Auch im 3. Monat zeigten sich nur geringe Unterschiede in Bezug auf den Bogenlängenquotienten, der bei allen vier Gruppen größer als 1 war (vgl. Abb 40). Somit war in allen vier Gruppen vorherrschend das trochäische Muster erkennbar. Wie im 2. Monat war auch im 3. Monat der Medianwert der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe am höchsten. Nachdem durch logarithmische Transformation eine hinreichende Normalverteilung der Werte in allen vier Gruppen erzielt wurde (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,13$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,58$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,53$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,09$ ), wurde eine ANOVA durchgeführt (Levene-Test  $p = 0,403$ ). Der Test zeigte keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede auf ( $p = 0,51$ ).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich zwar im Boxplot bezüglich der Verteilung des Quotienten aus der Länge des ersten Bogens und der Länge des zweiten Bogens zwischen den vier Gruppen einige Unterschiede ergaben, diese statistisch jedoch nicht signifikant waren. Bezüglich der 1S-Vokalisationen erzeugten die Probanden aller vier

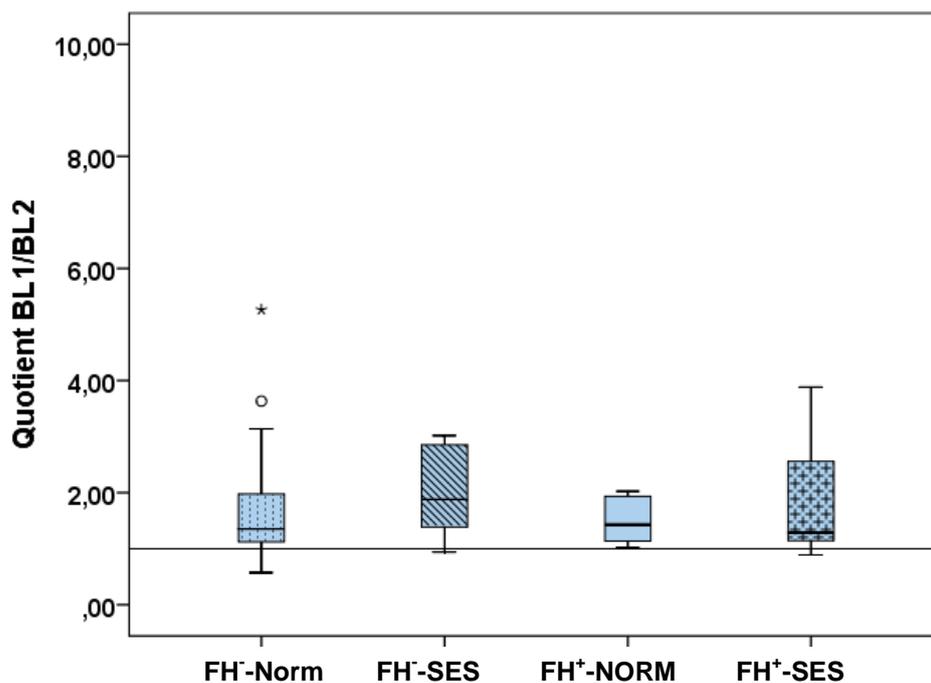
Gruppen während der gesamten Untersuchungszeit vorherrschend das trochäische Muster. Lediglich die FH-Norm-Gruppe bildete im 1. Monat gleich lange Bögen (Medianwert: 1).



**Abbildung 38:** Vergleich des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 1. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).

**Tabelle 37:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 1. Monat.

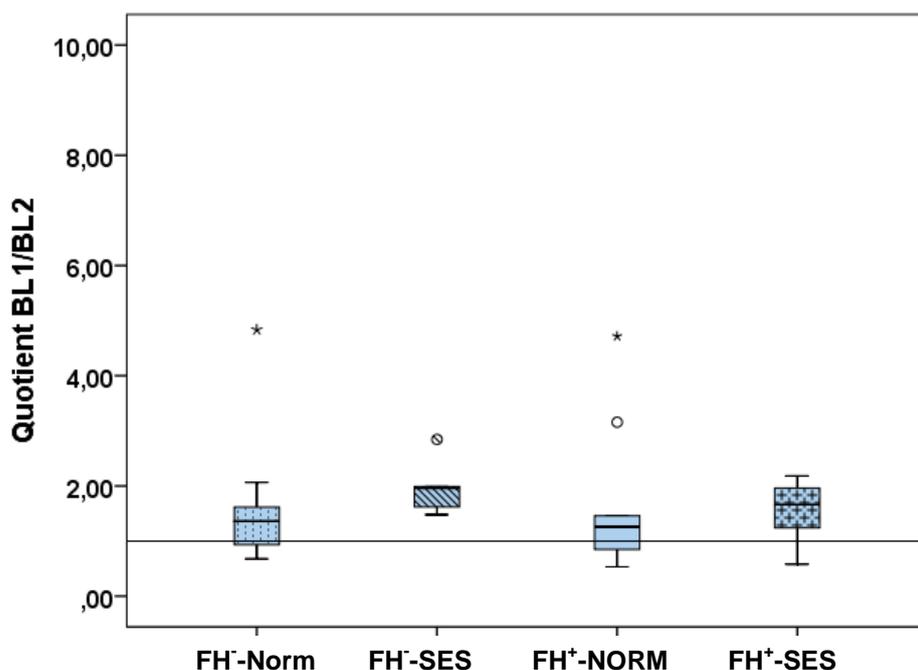
	FH-Norm	FH-SES	FH+-Norm	FH+-SES
Mittelwert	1,19	3,47	2,45	1,85
Standardabweichung	0,78	4,16	2,92	1,72
Medianwert	1,02	1,73	1,86	1,31
Minimum	0,16	0,80	0,31	0,44
Maximum	2,94	9,62	7,50	6,45



**Abbildung 39:** Vergleich des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 2. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).

**Tabelle 38:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 2. Monat.

	<b>FH-Norm</b>	<b>FH-SES</b>	<b>FH+-Norm</b>	<b>FH+-SES</b>
Mittelwert	1,76	1,99	1,51	1,89
Standardabweichung	1,09	0,85	0,40	1,06
Medianwert	1,35	1,88	1,43	1,29
Minimum	0,57	0,94	1,02	0,89
Maximum	5,26	3,02	2,02	3,88



**Abbildung 40:** Vergleich des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 3. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).

**Tabelle 39:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus der Summe Bogenlänge B1 plus Pausenlänge (Dividend) und Bogenlänge B2 (Divisor) der 1S-Melodie im 3. Monat.

	FH-Norm	FH-SES	FH+-Norm	FH+-SES
Mittelwert	1,49	1,99	1,70	1,53
Standardabweichung	0,98	0,53	1,36	0,54
Medianwert	1,36	1,96	1,26	1,66
Minimum	0,68	1,48	0,53	0,58
Maximum	4,84	2,84	4,72	2,18

### 3.3.3 Untersuchung von F0max der 2B Melodie in monatlichen Intervallen

Die Werte der Analyse des Bogenmaximums (F0max) des ersten und zweiten Bogens und der daraus gebildete Quotient der 2B-Strukturen sind in monatlichen Intervallen für alle vier Gruppen in den Tabellen 40 bis 42 dargestellt und in den Abbildungen 41 bis 43 als Boxplotdiagramme veranschaulicht. Die monatliche Untersuchung zeigte im Vergleich der Gruppen einige Unterschiede. Der Quotient mit dem Wert 1 (F0max 1. Bogen = F0max 2. Bogen) wurde in den graphischen Abbildungen als Orientierungslinie angegeben.

Im ersten Monat waren die Median-Werte des F0max-Quotienten in drei Gruppen (den beiden FH<sup>-</sup>-Gruppen und der FH<sup>+</sup>-Norm-Gruppe) größer als 1. Somit zeigte sich das trochäische Muster in diesen drei Gruppen (Abb. 41). Die FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe zeigte einen Medianwert des Quotienten der F0max von 1. In dieser Gruppe wurden das trochäische und das jambische Betonungsmuster gleich häufig gebildet. In allen vier Gruppen zeigten im 1. Monat die Werte eine hinreichende Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,13$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,74$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,19$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,49$ ). Die eine ANOVA (Levene-Test  $p = 0,925$ ) ergab mit  $p = 0,582$  keine signifikanten Unterschiede.

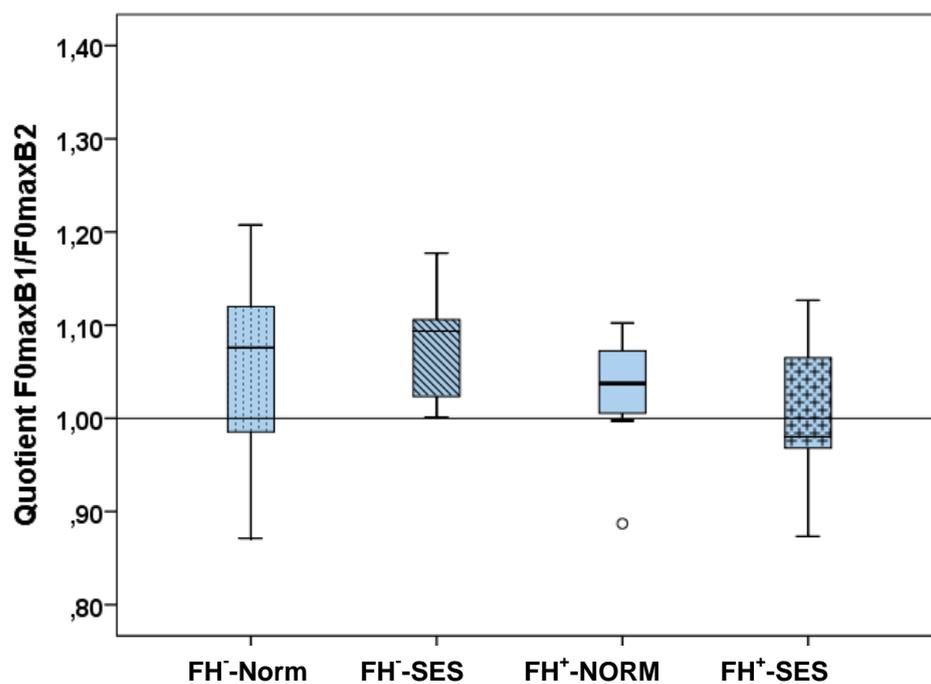
In allen vier Gruppen sind im 2. Monat die Medianwerte größer als 1 (vgl. Tab. 41). Wie die Abbildung 42 zeigt, war der Medianwert der beiden FH<sup>-</sup>-Gruppen größer als die der beiden FH<sup>+</sup>-Gruppen. Auffällig war die Gruppe FH<sup>-</sup>-SES, die den höchsten Medianwert (1,13) aufwies. In allen vier Gruppen zeigten die Werte im 2. Monat eine hinreichende Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,291$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,102$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,662$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,991$ ), Die ANOVA (Levene-Test  $p = 0,106$ ) ergab mit  $p = 0,001$  signifikante Gruppenunterschiede.

Die Signifikanz zeigte sich zwischen den SES-Gruppen. Probanden beider Gruppen wiesen in einem Alter zwischen 3-4 Jahren eine Spracherwerbsstörung auf. Die eine Gruppe bestand aus Probanden ohne familiäre Disposition für eine Spracherwerbsstörung. Diese Gruppe zeigte einen hohen Medianwert von 1,13 und die Probanden betonten vorwiegend die ersten Bögen bei den 2B-Lauten im 2. Monat. Dies entsprach dem trochäischen Betonungsmuster. Die zweite Gruppe setzte sich aus Probanden mit familiärer Disposition für eine Spracherwerbsstörung zusammen. Der zugehörige Medianwert des Quotienten der Bogenmaxima lag nahe 1 (1,02). In dieser Gruppe wurden beide Bögen nahezu gleich stark betont. Diesbezüglich könnten unterschiedliche Mechanismen für die Entstehung einer Spracherwerbsstörung diskutiert werden.

Im 3. Monat war, wie auch im 2. Monat, der Wert des Quotienten der F0max-Werten bei allen Gruppen größer als 1. Die Probanden aller Gruppen bildeten somit 2B-Laute mit trochäischem Betonungsmuster. Auch im 3. Monat war der Medianwert der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe (1,13) höher als der Medianwert der anderen Gruppen, die sich bezüglich ihres Medianwertes nur gering voneinander unterschieden. In allen vier Gruppen zeigten die Werte keine Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test: FH<sup>-</sup>-Norm  $p = 0,000$ ; FH<sup>-</sup>-SES  $p = 0,766$ ; FH<sup>+</sup>-Norm  $p = 0,618$ ; FH<sup>+</sup>-SES  $p = 0,489$ ). Der Kruskal-Wallis-Test lieferte mit  $p = 0,037$  den Indikator

für signifikante Gruppenunterschiede. Mit dem Mann-Whitney-Test wurden nach  $\alpha$ -Korrektur paarweise Gruppen auf ihre Signifikanz überprüft. Mit  $p = 0,078$  zeigten die Gruppen FH-Norm und FH<sup>-</sup>-SES keine signifikanten Gruppenunterschiede auf. Auch die Gruppen FH-Norm und FH<sup>+</sup>-Norm mit  $p = 0,89$  und die Gruppen FH-Norm und FH<sup>+</sup>-SES mit  $p = 0,09$  zeigten keine signifikanten Unterschiede. Der Vergleich der Gruppen FH<sup>-</sup>-SES und FH<sup>+</sup>-SES ließ mit  $p = 0,003$  signifikanten Gruppenunterschied erkennen. Ein weiterer Vergleich der Gruppen FH<sup>+</sup>-Norm mit FH<sup>+</sup>-SES mit  $p = 0,203$  und der Gruppen FH<sup>-</sup>-SES mit FH<sup>+</sup>-Norm mit  $p = 0,118$  ergab keine signifikanten Gruppenunterschiede. Auch nach einer Korrektur nach Bonferroni für das Signifikanzlevel (neues Signifikanzlevel:  $p = 0,008$ ) blieb der Gruppenunterschiede von FH<sup>-</sup>-SES und FH<sup>+</sup>-SES signifikant.

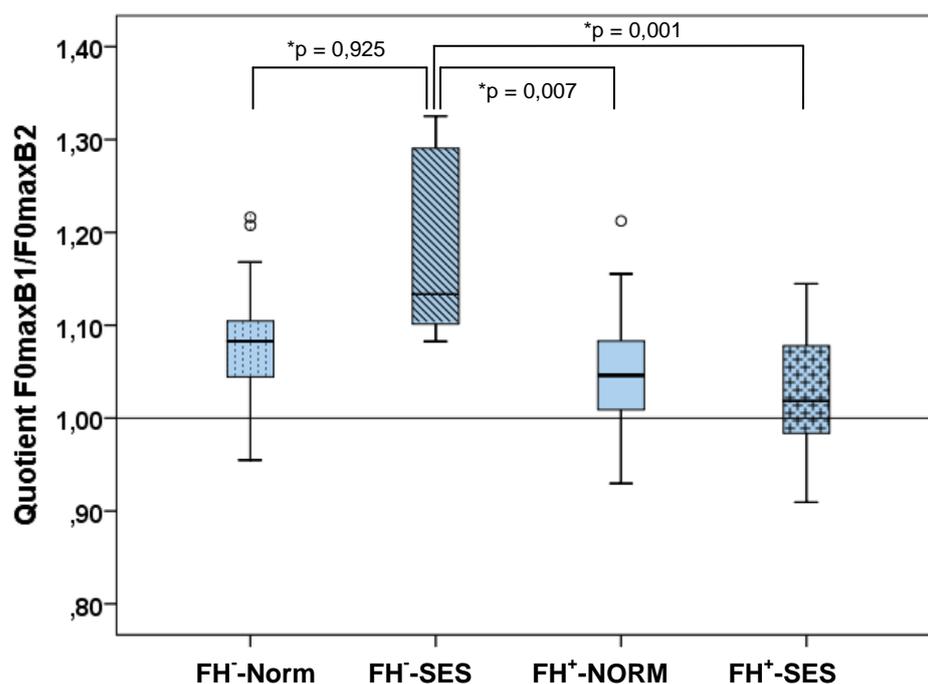
Wie auch im 2. Monat zeigte sich im 3. Monat ein signifikanter Unterschied zwischen den SES-Gruppen. Auffällig war, dass der Medianwert der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe mit 1,13 von allen vier Gruppen am höchsten war. Der Medianwert der FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe stieg im Vergleich zum Vormonat, eine Tendenz zum trochäischen Muster war somit zu erkennen. Er blieb jedoch mit 1,04 der niedrigste Medianwert von allen vier Gruppen. Da beide Gruppen aus Probanden bestehen, bei denen im Alter von 3-5 Jahren eine spezifische Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, untermauert auch dies, dass unterschiedliche Mechanismen für Entstehung einer Spracherwerbsstörung diskutiert werden könnten.



**Abbildung 41:** Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 1. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).

**Tabelle 40:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 1. Monat.

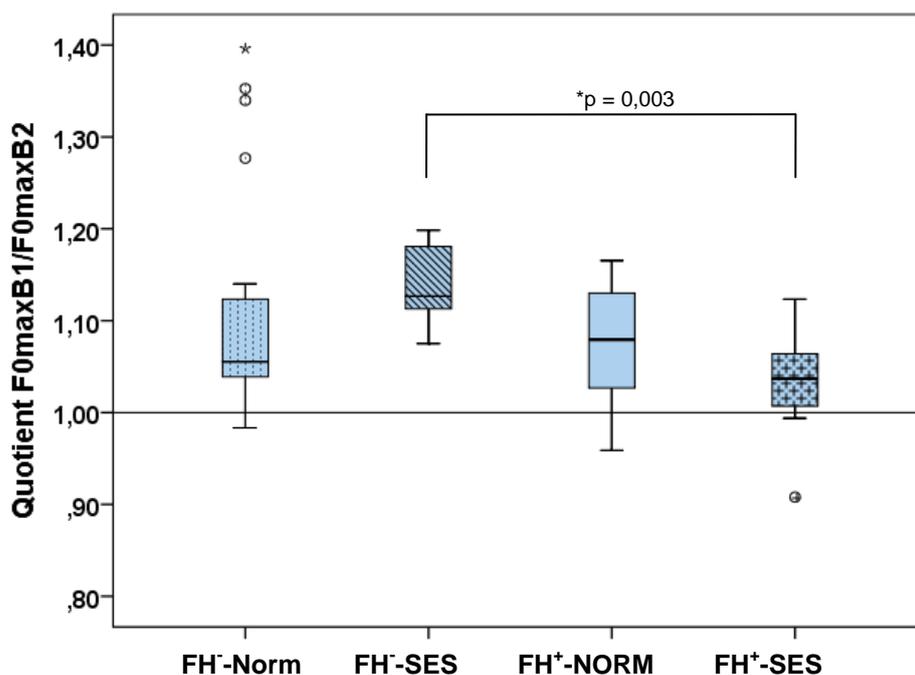
	<b>FH<sup>-</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>-</sup>-SES</b>	<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>
Mittelwert	1,05	1,08	1,03	1,00
Standardabweichung	0,09	0,07	0,06	0,08
Medianwert	1,07	1,09	1,04	0,98
Minimum	0,87	1,00	0,89	0,87
Maximum	1,21	1,18	1,10	1,13



**Abbildung 42:** Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 2. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).

**Tabelle 41:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0 max B2 der 2B-Melodie im 2. Monat.

	<b>FH-Norm</b>	<b>FH-SES</b>	<b>FH+-Norm</b>	<b>FH+-SES</b>
Mittelwert	1,08	1,18	1,05	1,03
Standardabweichung	0,06	0,10	0,08	0,07
Medianwert	1,09	1,13	1,05	1,02
Minimum	0,95	1,08	0,93	0,91
Maximum	1,22	1,33	1,21	1,14



**Abbildung 43:** Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 3. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).

**Tabelle 42:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 2B-Melodie im 3. Monat.

	<b>FH-Norm</b>	<b>FH-SES</b>	<b>FH+-Norm</b>	<b>FH+-SES</b>
Mittelwert	1,11	1,14	1,07	1,04
Standardabweichung	0,12	0,05	0,07	0,06
Medianwert	1,06	1,13	1,08	1,04
Minimum	0,95	1,08	0,96	0,91
Maximum	1,40	1,20	1,17	1,12

### 3.3.4 Untersuchung von F0max der 1S-Melodie in monatlichen Intervallen

Die Werte der Analyse von F0max des ersten und zweiten Bogens und der daraus gebildete Quotient der 1S-Strukturen sind in monatlichen Intervallen für alle vier Gruppen in den Tabellen 43 bis 45 dargestellt und in den Abbildungen 44 bis 46 als Boxplotsdiagramme veranschaulicht. Die monatliche Untersuchung zeigte beim Vergleich der Gruppen einige Unterschiede. Der Quotient mit dem Wert 1 (F0max 1. Bogen = F0max 2. Bogen) wurde in den graphischen Abbildungen als Orientierungslinie angegeben.

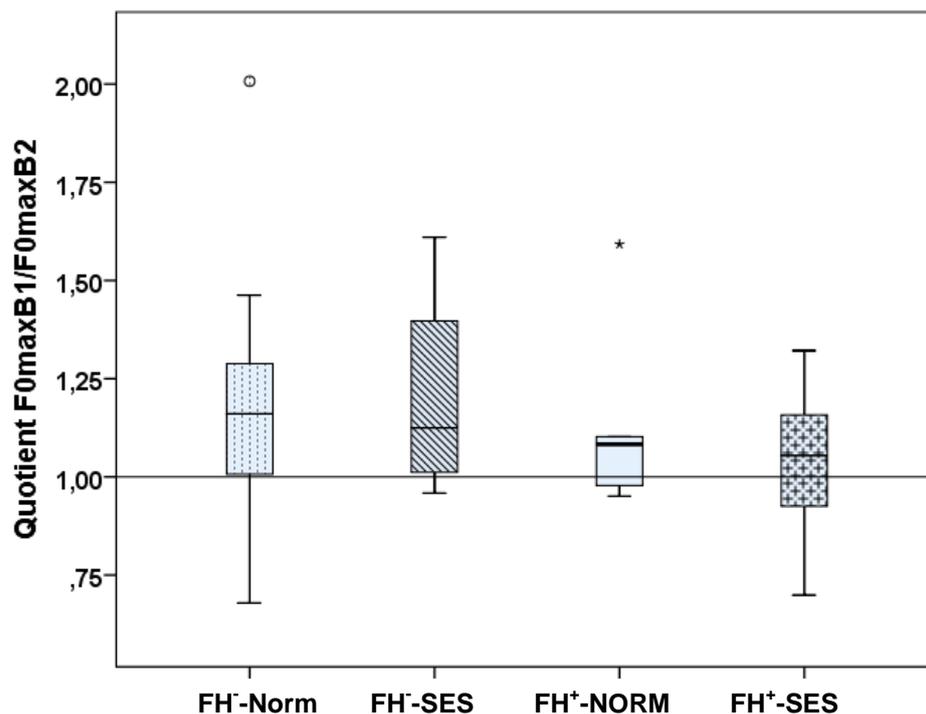
Im 1. Monat waren alle Medianwerte größer als 1. Alle Probanden bildeten fast ausschließlich anfangsbetonte Vokalisationen. Auffällig war, dass die Medianwerte der FH-Gruppen größer

waren als die der  $FH^+$ -Gruppen (vgl. Tab. 43). Nachdem durch logarithmische Transformation eine hinreichende Normalverteilung der Werte in allen vier Gruppen festgestellt wurde (Shapiro-Wilk-Test:  $FH^-$ -Norm  $p = 0,56$ ;  $FH^-$ -SES  $p = 0,60$ ;  $FH^+$ -Norm  $p = 0,09$ ;  $FH^+$ -SES  $p = 0,73$ ), wurde eine ANOVA durchgeführt (Levene-Test  $p = 0,99$ ). Der Test lieferte keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede ( $p = 0,585$ ).

Auch im 2. Monat betonen alle Probanden in den Gruppen bei den 1S-Lauten die ersten Bögen stärker als die zweiten und zeigten das trochäische Betonungsmuster. Die  $FH^+$ -SES-Gruppe bildete mit 1,06 den niedrigsten Medianwert. Die drei anderen Gruppen unterscheiden sich im 2. Monat bezüglich der Medianwerte nur sehr gering voneinander. Nachdem durch logarithmische Transformation eine hinreichende Normalverteilung der Werte in allen vier Gruppen festgestellt wurde (Shapiro-Wilk-Test:  $FH^-$ -Norm  $p = 0,22$ ;  $FH^-$ -SES  $p = 0,15$ ;  $FH^+$ -Norm  $p = 0,16$ ;  $FH^+$ -SES  $p = 0,44$ ), wurde eine ANOVA durchgeführt (Levene-Test  $p = 0,2$ ). Der Test lieferte keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede ( $p = 0,678$ ).

Sowohl im 2. als auch im 3. Monat lag der Wert des Quotienten der  $F0_{max}$ -Werte bei der Bildung der 1S-Struktur bei allen vier Gruppen knapp über 1 bzw. im 3. Monat war der Wert bei der  $FH^+$ -SES-Gruppe 1. Diese Gruppe bildete vorwiegend 1S-Vokalisationen bei denen beide Bögen gleich stark betont wurden. In allen vier Gruppen zeigten die Werte eine hinreichende Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test:  $FH^-$ -Norm  $p = 0,098$ ;  $FH^-$ -SES  $p = 0,345$ ;  $FH^+$ -Norm  $p = 0,551$ ;  $FH^+$ -SES  $p = 0,271$ ). Die ANOVA (Levene-Test  $p = 0,25$ ) ergab mit  $p = 0,589$  keine signifikanten Gruppenunterschiede.

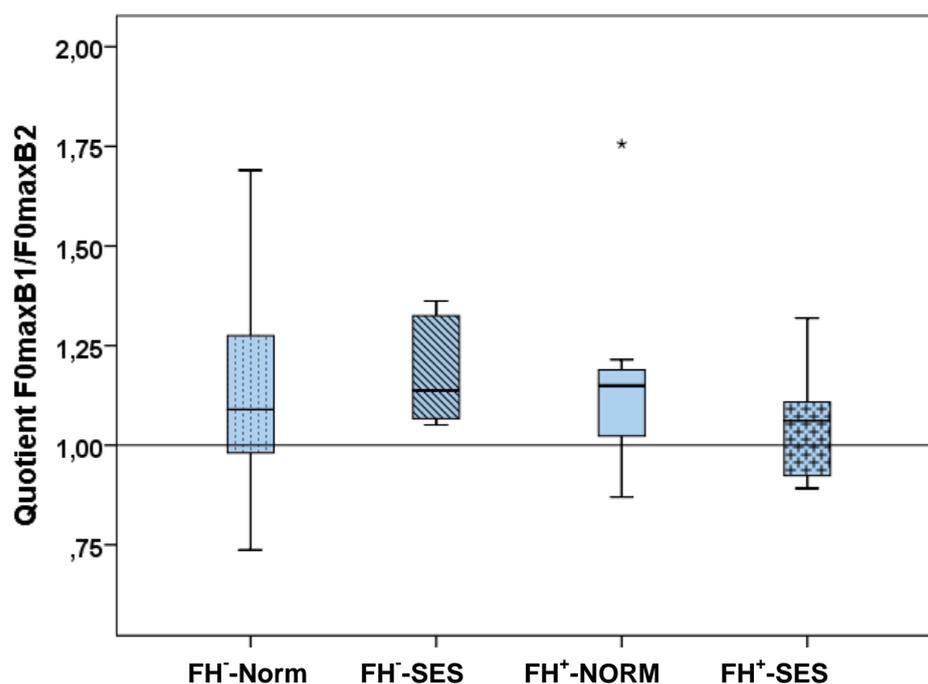
Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass der Medianwert bei allen Gruppen größer als 1 war und relativ konstant blieb. Lediglich im 3. Monat betrug der Quotient der  $F0_{max}$ -Werte bei der  $FH^+$ -SES-Gruppe 1. Somit war auch in Bezug auf diesen Quotienten der 1S-Struktur eine deutliche Tendenz zum trochäischen Betonungsmuster zu erkennen.



**Abbildung 44:** Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 1. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).

**Tabelle 43:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 1. Monat.

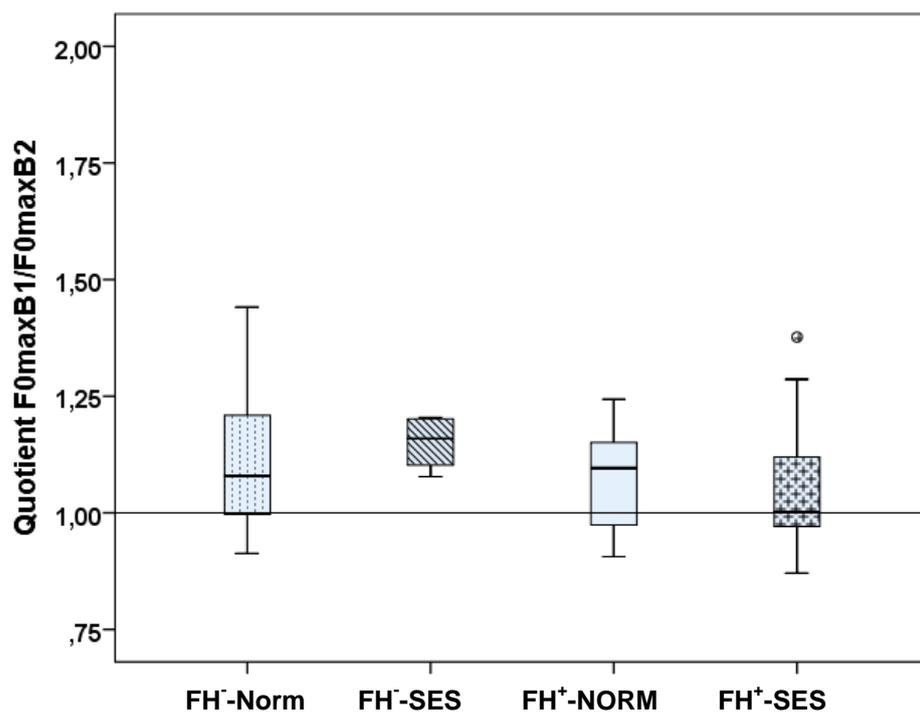
	<b>FH-Norm</b>	<b>FH-SES</b>	<b>FH+-Norm</b>	<b>FH+-SES</b>
Mittelwert	1,17	1,20	1,14	1,04
Standardabweichung	0,27	0,29	0,26	0,18
Medianwert	1,16	1,12	1,08	1,05
Minimum	0,68	0,96	0,95	0,70
Maximum	2,01	1,61	1,59	1,32



**Abbildung 45:** Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 2. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).

**Tabelle 44:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 2. Monat.

	<b>FH-Norm</b>	<b>FH-SES</b>	<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>
Mittelwert	1,20	1,18	1,16	1,06
Standardabweichung	0,37	0,14	0,25	0,15
Medianwert	1,09	1,14	1,15	1,06
Minimum	0,74	1,05	0,87	0,89
Maximum	2,46	1,36	1,76	1,32



**Abbildung 46:** Vergleich des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 3. Monat (Hilfslinie bei Quotient = 1).

**Tabelle 45:** Deskriptive Analyse der Werte des Quotienten aus F0max B1 und F0max B2 der 1S-Melodie im 3. Monat.

	<b>FH<sup>-</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>-</sup>-SES</b>	<b>FH<sup>+</sup>-Norm</b>	<b>FH<sup>+</sup>-SES</b>
Mittelwert	1,12	1,15	1,08	1,07
Standardabweichung	0,16	0,06	0,12	0,15
Medianwert	1,08	1,16	1,10	1,00
Minimum	0,91	1,08	0,91	0,87
Maximum	1,44	1,20	1,24	1,38

## 4 Diskussion

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit lag auf der Analyse von prosodierelevanten Merkmalen und deren zeitlichen Entwicklung in den Vokalisationen von Probanden in den ersten drei Lebensmonaten. Mit Hilfe der retrospektiven Analyse von Daten, die im Rahmen der GLAD-Studie erhoben worden waren, sollten mögliche Frühindikatoren für eine spätere Sprachleistungsminderung identifiziert werden (siehe Kap. 2.1, 2.2 und 2.3). Gemäß der Zielstellung der GLAD-Studie wurde der Schwerpunkt auf die Unterscheidung von Kindern mit und ohne familiäre Disposition für eine spezifische Spracherwerbsstörung (SES) gesetzt. Als Ursache für eine SES werden genetische Faktoren diskutiert (Simpson et al. 2015), während Spracherwerbsstörungen bei Kindern ohne familiäre SES-Disposition häufig multifaktoriell bedingt sind (Liégeois et al. 2014). Anhand bestimmter Kriterien wurden Säuglinge aus der GLAD-Studie ausgewählt und in den folgenden vier Gruppen zugeordnet (siehe Kap. 2.2 und 2.3):

1. keine familiäre Disposition für eine spezifische Spracherwerbsstörung und normale Sprachentwicklung (FH-Norm),
2. keine familiäre Disposition für eine spezifische Spracherwerbsstörung und gestörte Sprachentwicklung (FH-SES),
3. familiäre Disposition für eine spezifische Spracherwerbsstörung und normale Sprachentwicklung (FH<sup>+</sup>-Norm),
4. familiäre Disposition für eine spezifische Spracherwerbsstörung und gestörte Sprachentwicklung (FH<sup>+</sup>-SES).

In den ersten Lebensmonaten trainiert ein Säugling vor allem die Melodie und den Rhythmus in seinen Vokalisationen und variiert diese prosodischen Eigenschaften spielerisch. In der Phonetik versteht man unter dem Begriff „Prosodie“ spezifische Eigenschaften des Sprachaktes, wie z. B. Sprachtempo, Sprechrhythmus, Akzent, Intonation, Melodie. Aus der heutigen Sicht wird davon ausgegangen, dass der Spracherwerb mit dem Prosodieerwerb beginnt. Das erste „Üben“ von prosodischen Eigenschaften in den Vokalisationen eines Säuglings ist somit schon eine Vorbereitung für den Spracherwerb im engeren Sinne und hat einen Einfluss auf die spätere Sprech- und Sprachentwicklung (Locke 1997).

#### **4.1 Auswertung der relativen Auftrittshäufigkeit von 1S- und 2B-Strukturen**

In der vorliegenden Arbeit wurde zuerst die relative Auftrittshäufigkeit von 2B- und 1S-Vokalisationen in den einzelnen Gruppen ausgewertet und verglichen. Die Analyse erfolgte sowohl für den gesamten Untersuchungszeitraum von drei Monaten als auch für einzelne monatliche Intervalle. Die Erfassung der relativen Auftrittshäufigkeit in den einzelnen Monaten diente vor allem der Beurteilung der Entwicklung der 2B- und 1S-Vokalisationen innerhalb einer Gruppe und dem detaillierten Vergleich dieser Laute zwischen den Gruppen. Heute ist durch verschiedene Studien belegt, dass sich die Vokalisationen der Säuglinge in den ersten Lebensmonaten strukturell verändern und weiterentwickeln. Diese Strukturveränderung steht im engen Zusammenhang mit späteren Sprachleistungen (Mende et al. 1990, Wermke/Mende 1994, Wermke et al. 2002, Wermke/Friederici 2004). Auch wenn die Daten der vorliegenden Arbeit trotz der hohen Anzahl an vermessenen Vokalisationen (2616) aufgrund der verhältnismäßig kleinen Anzahl an Probanden (56) mit Vorsicht zu interpretieren sind, lieferten sie die ersten Hinweise auf potenzielle Unterschiede in der vorsprachlichen Entwicklung.

Alle ausgewählten Probanden zeigten die untersuchten 2B- und 1S Strukturtypen in ihren Vokalisationen. Dies stützt die Ergebnisse der Vorarbeiten von Denner (2007), in denen die relative Auftrittshäufigkeit dieser und weiterer Strukturtypen bei Probanden aus der GLAD-Studie in den ersten vier Lebensmonaten untersucht wurde. Die Auswertung der 2B- und 1S-Strukturtypen ergab ähnliche Häufigkeitsverteilungen über den gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei dominierten in jeder Probanden-Gruppe die 2B-Vokalisationen (siehe Tab. 9 bis 10 und Abb. 10 bis 13). Die Erkenntnis, dass trotz externer Einflussfaktoren auf die vokale Entwicklung, diese Strukturtypen von allen untersuchten Probanden mit Regelmäßigkeit erzeugt werden, stützt die Annahme eines angeborenen Entwicklungsprogramms. In der Analyse der monatlichen Intervalle konnte festgestellt werden, dass die beiden  $FH^+$ -Gruppen einen erhöhten Anteil an der relativen Auftrittshäufigkeit von 2B-Strukturen zeigten. Korrespondierend zu dem erhöhten Anteil zeigte die  $FH^+$ -Norm-Gruppe einen kontinuierlichen Anstieg der relativen Häufigkeit von 2B-Strukturen. Dieser erreichte im dritten Monat mit 21 % den höchsten Anteil der gebildeten 2B-Strukturen von allen vier Gruppen und im gesamten Untersuchungsraum. Bezüglich des Auftretens von 2B-Strukturen schienen sich die beiden  $FH^-$ -Gruppen nicht gravierend

voneinander zu unterscheiden. Während der dreimonatigen Untersuchungszeit schwankte der Anteil der relativen Auftrittshäufigkeit der 2B-Strukturen der beiden FH<sup>-</sup>-Gruppen zwischen 17 % und 15 %. Nur im zweiten Monat fiel die relative Auftrittshäufigkeit der gebildeten 2B-Strukturen bei der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe auf 13 % und erreichte den niedrigsten Anteil der gebildeten 2B-Strukturen von allen vier Gruppen und während der gesamten Untersuchungszeit. Bei dem Vergleich der beiden FH<sup>+</sup>-Gruppen konnten keine nennenswerte Unterschiede bezüglich der relativen Auftrittshäufigkeit der gebildeten 2B-Strukturen gefunden werden. Während der gesamten Untersuchungszeit pendelte der Anteil der gebildeten 2B-Strukturen bei beiden FH<sup>+</sup>-Gruppen zwischen 18 % und 21 %. Anhand der Analyse der relativen Auftrittshäufigkeit der untersuchten Vokalisationen, konnte gezeigt werden, dass Probanden mit einer positiven familiären Disposition für SES, bei denen unabhängig von einer im Alter von 3-5 Jahren diagnostizierten Spracherwerbsstörung in ihrer vorsprachlichen Entwicklung ab dem 2. Monat mehr 2B- und 1S-Laute bildeten als Kinder, ohne diese familiäre Disposition. Dieser Befund spricht gegen die Hypothese 1, die besagt, dass Säuglinge, bei denen anhand des Sprachtestes im Alter von 3-5 Jahren eine Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, im Alter von ein bis drei Monaten eine zeitlich verzögerte Produktion von komplexeren Lauten wie 2B- und 1S-Strukturen aufweisen. Eine zeitliche Verzögerung, die man aus dem hohen Anteil der 2B- und 1S-Strukturen als einfachste Kombinationsmuster ableiten könnte, scheint vielmehr mit genetischen Faktoren verbunden zu sein. Sollten nachfolgende Studien an größeren Stichproben diese Vermutung bestätigen, müssten molekulargenetische Untersuchungen hier zur Identifikation von Frühindikatoren herangezogen werden

## **4.2 Auswertung der Parameter der Zeitorganisation von 2B- und 1S-Strukturen**

### **4.2.1 Auswertung der Signallänge**

Wissenschaftliche Ergebnisse aus der Perzeptionsforschung belegen, dass für das Entstehen einer spezifischen Spracherwerbsstörung vor allem die Zeitorganisation eine wichtige Rolle spielt (Tallal/Benasich 2002). Als eine Ursache für die Entstehung einer spezifischen Spracherwerbsstörung wird eine Verlangsamung auditiver Verarbeitungsmechanismen im

Gehirn der SES-Kinder diskutiert (Wright et al.1997). Analog könnte man für die Produktionsmechanismen verlängerte Vokalisationsstrukturen erwarten. Die Dauer vorsprachlicher Laute (bzw. die Dauer einzelner Bögen einer vorsprachlichen Vokalisation) ist ein geeignetes Maß um die Zeitorganisation im Säuglingsalter zu analysieren. In der vorliegenden Arbeit wurde die Zeitorganisation der 2B- und 1S-Vokalisationen ausgewertet, indem die Bestimmung der zeitlichen Länge des gesamten Signals, der beiden Melodiebögen separat und die Analyse der Pausenlänge in segmentierten Lauten erfolgten. In manchen Fällen konnten die erzeugten Laute zwar eindeutig einem bestimmten Strukturtyp zugewiesen werden, aber nicht quantitativ analysiert werden. Das bedeutet, dass ein Proband die untersuchten Melodiestructuren produziert hat, die „Ausführung“ der Vokalisation aber gestört war, z. B. durch plötzliche Frequenzsprünge, phonatorische Rauschbanden oder hochfrequente Schreie (s. Kapitel 3.2). Diesbezüglich würden sich weiterführende, zukünftige Analysen anbieten, um zu untersuchen, welche Gründe es für die Entstehung des Phänomens des „Ausführungsmangels“ geben könnte. Bei späterem Sprechen handelt es sich in vergleichbaren Fällen in der Regel um Artikulationsphänomene. Hier wurden Melodiemuster untersucht. Demnach sind die „Ausführungsprobleme“ auf Störung der laryngealen Kontrolle zurückzuführen, die zerebraler und/oder auditiver Genese sein könnten. Die Tabelle 12 beinhaltet die prozentualen Anteile der 2B- und 1S-Struktuten, die ausgewertet werden konnten. Es fiel entgegen der Hypothese 2 auf, dass die SES-Gruppen nicht weniger vermessbare Laute aufwiesen als die Norm-Gruppen. Die Hypothese 2 besagt, dass Probanden, die eine Spracherwerbsstörung entwickelten, bereits im Säuglingsalter Schwierigkeiten haben, klare (wohlgeformte) Laute zu produzieren. Für die Laute mit 2B/1S Melodiestructuren scheint dies nicht der Fall zu sein. Bezüglich der hier ausgewerteten Laute konnte die Hypothese 2 nicht bestätigt werden.

Anhand der Analyse der Signallänge der 2B- Melodien der vier Gruppen konnte zusammenfassend festgestellt werden, dass diese sich statistisch nicht signifikant unterschieden. Im 2. Monat war tendenziell eine geringere Länge in den FH<sup>+</sup>-Gruppen zu beobachten. Im 3. Monat unterschieden sich die vier Gruppen bezüglich ihrer Werte nicht voneinander.

Auch die Analyse der 1S-Melodien der vier Gruppen ergab keine statistisch signifikanten Unterschiede. Auffällig waren die langen Vokalisationen im 1. Monat bei der FH<sup>-</sup>-SES-

Gruppe, allerdings statistisch nicht signifikant. Die FH<sup>-</sup>SES Gruppe hob sich auch im 3. Monat mit den längsten Melodielängen hervor, allerdings gab es hier nur sehr wenig Daten.

Die Auswertung der Daten in monatlichen Intervallen ergab hinsichtlich der Segmentierungspausen ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den vier Gruppen (Kap. 3.2.3.3). In den Boxplots zeigten sich dennoch Veränderungen in den Pausenlängen. Auffällig war die Verkleinerung des Interquartilsabstandes in allen Gruppen mit zunehmendem Alter, der vor allem in den FH<sup>+</sup>-Gruppen dominierte. Zudem fiel die Tatsache auf, dass in den ersten drei Lebensmonaten die FH<sup>+</sup>-Norm Gruppe die kleinsten Pausen produzierte.

Die Aussage von Denner (2007), dass Kinder, bei denen im Alter von 3-5 Jahren eine spezifische Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, eine erhöhte zeitliche Länge von Einzelschreien während ihrer vorsprachlichen Entwicklung aufwiesen, konnte nicht bestätigt werden. Bezüglich der zeitlichen Parameter der vorsprachlichen Laute bestanden in der vorliegenden Arbeit keine signifikanten Unterschiede zwischen Säuglingen, die später eine spezifische Spracherwerbsstörung entwickelten und denen die sich bezüglich ihrer Sprache normal entwickelten.

### **4.2.2 Auswertung des Frequenzmaximums (F0max)**

Die laryngeale Muskelspannung, die Mukosakonsistenz und der subglottische Druck haben einen Einfluss auf die Grundfrequenz eines Säuglingsschreis. Die Höhe des subglottischen Drucks kann bei einem Schrei auf bis zu 125 cm H<sub>2</sub>O steigen (Ginet et al. 1969). Gesunde Kinder können die Grundfrequenz der Lautäußerungen im relativ engen Intervall von 350 - 650 Hz halten (Steck-Walter 2007). Da die Druckverhältnisse, die auf die Stimmlippen während eines Schreies wirken, sehr hoch sind, ist ein leistungsfähiges neuromuskuläres Regelsystem erforderlich. Eine Dysfunktion mit Beteiligung des Regelsystems führt zur einer Erhöhung der Frequenz, einem Auftreten von Frequenzsprüngen sowie einem instabilen Frequenzverlauf (Lind et al. 1968; Lester 1987).

In der vorliegenden Arbeit wurde analysiert, ob bezüglich des F0max (Frequenzmaximum eines Melodiebogens) in den Vokalisationen von Säuglingen aus den verschiedenen Gruppen Unterschiede bestehen. Sowohl in den 2B-Strukturen als auch in den 1S-Strukturen lag das Frequenzmaximum in allen Untersuchungsmonaten und in allen vier Gruppen bezüglich des

Mittelwertes bei beiden Bögen im physiologischen Normalbereich (350 - 650 Hz) (Steck-Walter 2007). In Kapitel 4.3 werden in Rahmen der Betonungsanalyse die Ergebnisse der Auswertung von F0max der 2B- und 1S-Vokalisationen näher erläutert.

### **4.3 Auswertung des Betonungsmusters von 2B- und 1S-Struktur**

Die Sensitivität für prosodische Eigenschaften der Sprache, wie Intonation und Rhythmus, gehört zu den frühesten Fähigkeiten, die bei Säuglingen beobachten werden können. Die prosodischen Merkmale von Vokalisationen sind wichtige Hilfsfaktoren für das Erlernen und den Erwerb einer Sprache. Es gelingt schon Neugeborenen, durch das Wahrnehmen der Satzmelodie sowie des Sprachrhythmus die für die Muttersprache prosodischen Charakteristika zu erkennen und sich einzuprägen (Eimes et al. 1971, Kuhl et al. 1992, Christophe et al. 2001). Säuglinge können Sprachen unterscheiden, die verschiedene rhythmische Eigenschaften besitzen (Nazzi et al. 1998).

Sobald ein Säugling die rhythmischen Eigenschaften seiner Muttersprache „verstanden“ hat, nutzt er diese, um Phrasen und Wortgrenzen im Sprachstrom aufzuspüren. Dies ist der Einstieg in die Muttersprache. Studien belegen, dass ein Säugling von Geburt an und bereits früher sensibel für die Prosodie der Muttersprache reagiert. Die Fähigkeit, die Phoneme (die kleinste sprachliche Einheit, mit der Bedeutungen unterschieden werden) aller Sprachen unterscheiden zu können, verlieren die Kinder im Alter von 6 bis 12 Monaten, da das Kind durch das sprachliche Umfeld auf muttersprachliche Eigenschaften geprägt wird. So können z. B. japanische Kinder die Laute [l] und [r] nicht mehr voneinander unterscheiden (Werker/Tees 1984, Werker/Lalonde 1988, Kuhl et al. 1992). In der deutschen Sprache wird bei zweisilbigen Wörtern die erste Silbe betont (Penner et al. 2006; Noel Aziz 2003). Dieses Betonungsmuster wird auch Trochäus genannt. Denner (2007) untersuchte unter anderem Vokalisationen von Säuglingen, die eine melodisch-rhythmische Ähnlichkeit zu späteren zweisilbigen Wörtern aufwiesen (2B- und 1S-Strukturen), und konnte belegen, dass eine Tendenz zum trochäischen Betonungsmuster bereits ab dem ersten Lebensmonat in den Lauten der Säuglinge nachweisbar ist.

Ein Fokus dieser Arbeit lag daher ebenfalls auf der Analyse der prosodischen Eigenschaften in den 2B- und 1S-Strukturen von Probanden aus allen vier Untersuchungsgruppen in den ersten drei Lebensmonaten. Die 2B- und 1S-Laute wurden bewusst ausgewählt, da die

doppelböigen Vokalisationen eine strukturelle Analogie zu späteren, zweisilbigen Babbellauten und Wörtern zeigen. Anhand der 2B- und 1S-Laute wurde untersucht, ob ein trochäisches Betonungsmuster bereits in den Säuglingsschreien zu erkennen war und ob die SES-Kinder sich bezüglich des Betonungsmusters der vorsprachlichen Laute von den anderen Probanden unterschieden. Zuerst wurde das Betonungsmuster in 2B-Signalen hinsichtlich temporaler Größen, also des Verhältnisses der Bogenlängen zueinander, untersucht (Quotient aus der Bogenlänge des ersten und der des zweiten Bogens). In den FH<sup>-</sup>-Gruppen zeigten sich in allen Untersuchungsmonaten längere erste Bögen als zweite Bögen, also ein Trochäus. In den FH<sup>+</sup>-Gruppen war dies nicht so deutlich erkennbar. Besonders auffällig war die Gruppe FH<sup>+</sup>-SES, deren Probanden im 1. Lebensmonat vorwiegend Laute mit längerem 2. Bogen produzierte. Da es sich bei der FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe um Probanden handelt, bei denen eine familiäre Disposition bekannt war und bei denen im Alter von 3-5 Jahren eine Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, liegt die Vermutung nahe, dass bei dieser Probandengruppe der längere zweite Bogen der 2B-Laute ein Risikomarker für eine spätere Spracherwerbsstörung sein könnte. Diese Vermutung bestätigt sich auch dadurch, dass beide FH<sup>+</sup>-Gruppen im 2. Monat einige Probanden mit Jambus-Muster unterhalten und der Gruppenmedian dicht an „Levelstress“ liegt. Bei der kleinen Stichprobe ist dieses Ergebnis als deutlicher Hinweis auf eine „Fehlintonation“ zu bewerten. Dies ist in Übereinstimmung mit späteren Befunden dieser Kinder und sollte bei weiterführenden Untersuchungen systematisch analysiert werden. Auch der Befund, dass die FH<sup>+</sup>-Norm Gruppe im 3. Monat deutlich mehr trochäische Muster zeigt bestätigt die Annahme, dass die Prosodierstörungen schon in diesem frühen Alter anzudeuten scheinen. Bei dem 1S-Strukturen fanden sich keine so deutlichen Unterschiede. Die statistische Auswertung bezüglich des Quotienten der Bogenlängen ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Weiterhin wurde das erwartete trochäische Betonungsmuster in 2B-Signalen bezüglich des Quotienten der Frequenzmaxima (F0max) untersucht. Dazu wurde der F0max-Wert des ersten und des zweiten Bogens verglichen. In den FH<sup>-</sup>-Gruppen wurde in allen Untersuchungsmonaten der erste Bogen stärker betont als der zweite Bogen. Somit dominierte bei diesen beiden Gruppen das trochäische Betonungsmuster von Beginn an. In den FH<sup>+</sup>-Gruppen war dieses Verhältnis wiederum weniger deutlich. Besonders auffällig war die Gruppe FH<sup>+</sup>-SES, die im 1. Lebensmonat vorwiegend die 2. Bögen stärker betonte. In dieser Gruppe dominierte im 1. Monat vorwiegend das jambische Betonungsmuster. Dass es sich bei

den Betonungsabweichungen um einen potenziellen Kandidaten für einen geeigneten Risikomarker handeln könnte zeigt sich gerade in diesem Befund (ähnlich wie bei Längenquotienten): Physiologisch würde man eher einen Trochäus erwarten, da ein Jambus, also die Betonung des 2. Melodiebogens gegen die abfallende Intensität zum Vokalisationsende, viel schwieriger zu erzeugen ist.

Es konnte auch festgestellt werden, dass der F0max-Quotient in der FH<sup>-</sup>-SES Gruppe während der ersten drei Lebensmonaten höher war als bei den anderen Gruppen. Das bedeutete, dass in dieser Gruppe die ersten Bögen trochäisch „über-betont“ wurden. Ob es sich sogar hierbei um eine pathologische Überbetonung mit physiologischen Ursachen handelt kann nicht beurteilt werden. Bei der FH<sup>+</sup>-SES Gruppe dagegen konnte bei den 2B-Strukturen in allen drei Monaten der niedrigste F0max- Quotient ermittelt werden. Zwar war der Medianwert bezüglich des F0max-Wertes für den 2. und 3. Monat größer als 1 und zeigte damit das Überwiegen des trochäischen Betonungsmusters, der Unterschied in der Betonung des ersten und zweiten Bogens war jedoch kaum ausgeprägt. Es scheint, als ob die die FH<sup>+</sup>-SES Gruppe im 1. Monat Schwierigkeiten hat, das trochäische Betonungsmuster in ihren Vokalisationen zu erzeugen. Im 2. und 3. Monat schaffen es zwar die meisten Kinder der FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe in ihren 2B-Vokalisationen das trochäische Betonungsmuster zu bilden, die Differenz zwischen den F0max der beiden Bögen liegt jedoch nur knapp über der Referenzlinie des Level-Stress. Hypothese 3, die besagt, dass Kinder mit einer später diagnostizierten Spracherwerbsstörung bereits im Säuglingsalter in den 2B- und 1S-Strukturen eine Entwicklungsverzögerung des trochäischen Betonungsmusters zeigen, kann damit tendenziell bestätigt werden. Für die Ergebnisse des 2. und 3. Monats konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden SES-Gruppen festgestellt werden. Da beide Gruppen aus Probanden bestanden, bei denen im Alter von 3 - 5 Jahren eine spezifische Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, müssen hier wohl unterschiedliche Mechanismen für die Entstehung einer Spracherwerbsstörung angenommen werden.

Die Analyse der 1S-Vokalisationen verdeutlichte in allen Gruppen bereits ab dem 1. Monat eine Tendenz zum trochäischen Betonungsmuster. Im 3. Monat zeigte die FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe gleichbetonte Bögen (Level-Stress) bei den 1S-Lauten. Wie schon bei den 2B-Strukturen war zu erkennen, dass die 1S-Laute der FH<sup>+</sup>-SES-Gruppe zwar ein trochäisches Betonungsmuster aufwiesen, sich die Betonung der beiden Bögen jedoch nicht gravierend unterscheidete. Es

konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Quotienten der Frequenzmaxima der 1S-Strukturen festgestellt werden.

Zusammenfassend kann man einschätzen, dass sich durch prosodische Größen bedingte Sprachentwicklungsstörungen schon frühzeitig in „Betonungsmustern“ andeuten. Dieser Befund liefert einen weiteren Hinweis auf die in der GLAD-Studie vermutete frühzeitige Abweichung von Risikokindern für die Sprachentwicklung von sprachspezifischen Muster der Muttersprache.

## 5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden retrospektiv Laute von Säuglingen untersucht, die an der interdisziplinären DFG-geförderten Langzeitstudie „Deutsche Sprachentwicklungsstudie“ (GLAD-Studie) teilnahmen. Ziel dieser Studie war es, vorsprachliche Prädiktoren für eine spezifische Spracherwerbsstörung zu finden. Die Studie bestand aus sieben Teilprojekten. Die Daten der vorliegenden Arbeit wurden im Rahmen des Teilprojekts „Sprachproduktion und Schreianalyse“ erhoben. Die vorsprachlichen Vokalisationen von Kindern mit und ohne familiäre Disposition ( $FH^+$  respektive  $FH^-$ ) für eine spezifische Spracherwerbsstörung (SES) wurden in den ersten drei Lebensmonaten untersucht. Die Analyse schloss 22 Säuglinge (12 Mädchen und 10 Jungen) mit einer positiven Familienanamnese und 34 Säuglinge (16 Mädchen und 18 Jungen) mit einer negativen Anamnese bezüglich einer spezifischen Spracherwerbsstörung ein.

Je früher bei einem Säugling bzw. Kleinkind Risikomarker für eine Spracherwerbsstörung diagnostiziert werden, umso schneller kann die sprachliche Entwicklung gefördert werden.

Um eine frühe Diagnose stellen zu können, sind geeignete Prädiktoren notwendig. Eine familiäre Disposition bedeutet nicht zwangsläufig, dass bei diesem Kind später eine Spracherwerbsstörung vorliegt. Eine derartige Disposition erhöht lediglich das Risiko, dass das Kind eine Störung entwickelt, und ist somit kein ausreichender Indikator. Es müssen spezifische Prädiktoren gefunden werden, um eine sich entwickelnde SES frühzeitig zu identifizieren.

Anhand der Ergebnisse der Sprachtests, die von Linguisten durchgeführt wurden, lagen Daten zur Sprachenentwicklung der 3- bis 5-Jährigen vor. Basierend auf den Sprachleistungen der Kinder, deren Säuglingsschreie aufgezeichnet worden waren, wurde retrospektiv eine Gruppenanalyse vorgenommen:

**$FH^-$ -Norm Gruppe:** Kinder mit keiner familiärer Disposition für SES und normaler Sprachenentwicklung

**$FH^-$ -SES Gruppe:** Kinder mit keiner familiärer Disposition für SES und Spracherwerbsstörung

**$FH^+$ -Norm Gruppe:** Kinder mit familiärer Disposition für SES und normaler Sprachenentwicklung

### **FH<sup>+</sup>-SES Gruppe:** Kinder mit familiärer Disposition für SES und Spracherwerbsstörung

In der vorliegenden Arbeit wurden retrospektiv pro Gruppe nur Vokalisationen analysiert, die eine melodisch-rhythmische Ähnlichkeit zu späteren auftretenden zweisilbigen Babbellauten und Wörtern aufweisen. Dies sind sogenannte 2B-Strukturen (zweibögige Melodien) und 1S-Strukturen (zweibögige Melodien, die durch eine Pause unterbrochen sind). Von allen Vokalisationen der einbezogenen Probanden konnten insgesamt 2951 als 2B-Vokalisationen und 1264 als 1S-Laute kategorisiert werden. Das Ziel der Arbeit war es, retrospektiv einen möglichen Zusammenhang zwischen strukturellen Schreimerkmalen in den ersten 12 Wochen und der späteren sprachlichen Leistung der Kinder zu untersuchen.

Insgesamt wurden mehr als 2600 Vokalisationen mit Hilfe des CSL-Systems der Firma KayPENTAY sowie des an ZVES verfügbaren CDAP-Systems hinsichtlich spektraler und melodischer Eigenschaften analysiert. Dabei wurden die relative Auftrittshäufigkeit, Parameter der Zeitorganisation (Melodiebogenlänge, Dauer von Segmentierungspausen) sowie melodische Eigenschaften dieser Strukturen, wie das Verhältnis der Frequenzmaxima (F0max) und das Verhältnis der Bogenlängen (BL) der beiden Bögen in den ersten drei Lebensmonaten analysiert sowie Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten der vier Probandengruppen untersucht.

Bezüglich der relativen Auftrittshäufigkeit der untersuchten Strukturtypen zeigte sich eine hohe Übereinstimmung für alle vier Gruppen. Dabei dominierten in jeder Probanden-Gruppe die 2B-Vokalisationen. Die Erkenntnis, dass trotz externer Einflussfaktoren (z. B. individuelle Entwicklungsbedingung, Aufnahme der Laute von unterschiedlichen Personen in unterschiedlicher Umgebung) auf die Entwicklung der Sprache, die gebildeten vorsprachlichen Laute von den untersuchten Probanden mit Regelmäßigkeit erzeugt wurden, belegt die Annahme eines angeborenen Entwicklungsprogramms (Mende et al. 1990, Wermke/Mende 1994, Wermke et al. 1996, Wermke 2002, 2004, Wermke et al. 2007).

In der deutschen Sprache liegt die Betonung bei zweisilbigen Wörtern auf der ersten Silbe, was als Trochäus bekannt ist. In dieser Studie wurde anhand der Untersuchungen von 2B- und 1S-Strukturen analysiert, ob für die spätere Prosodie wichtige trochäusanaloge Bildungen bereits in den vorsprachlichen Lauten zu erkennen sind und ob es diesbezüglich Gruppenunterschiede gibt. Dazu wurden die Bogenlängen und Frequenzmaxima von 2B- und 1S-Strukturen verglichen. Zuerst wurde das Betonungsmuster in 2B- und 1S-Signalen

bezüglich des Quotienten der Bogenlängen untersucht. Die statistische Auswertung lieferte hier jedoch sowohl bei den 2B-Strukturen als auch bei den 1S-Vokalisationen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die Untersuchung der Frequenzmaxima verdeutlichte, dass der Varianzbereich der Grundfrequenz aller vier Gruppen im physiologischen Normbereich für gesunde Säuglinge lag. Die Analyse der Betonung anhand der Frequenzmaxima des ersten und zweiten Bogens in 2B-Lauten ließ ab den 2. Monat in allen vier Gruppen ein trochäisches Betonungsmuster erkennen. Es konnte herausgefunden werden, dass der F0max-Quotient der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe während des gesamten Untersuchungsraums höher war als derjenige der anderen Gruppen. Das bedeutet, dass in der FH<sup>-</sup>-SES-Gruppe die ersten Bögen überbetont wurden und somit ein überzogenes trochäisches Betonungsmuster dominierte. Für die FH<sup>+</sup>-SES Gruppe dagegen konnte bei den 2B-Strukturen in allen drei Monaten der niedrigste F0max-Quotient ermittelt werden. Der Unterschied in dieser Gruppe war somit in der Betonung des ersten und zweiten Bogens relativ klein. Diesbezüglich konnte im 2. Monat und im 3. Monat ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden SES-Gruppen festgestellt werden. Da beide Gruppen aus Probanden bestanden, bei denen im Alter von 3 bis 5 Jahren eine spezifische Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, könnten unterschiedliche Mechanismen für Entstehung einer Spracherwerbsstörung diskutiert werden. Die Analyse der Betonung bezüglich der Frequenzmaxima des ersten und zweiten Bogens der 1S-Laute ließ ab dem 1. Monat in allen vier Gruppen ein trochäisches Betonungsmuster erkennen. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen konnten aufgrund der Betonungsanalyse der 1S-Strukturen nicht festgestellt werden.

## Literaturverzeichnis

- Badcock, N.A., Bishop D.V.M., Hardiman M. J., Barry J. G., Watkins K. E., 2012, Co-localisation of abnormal brain structure and function in specific language impairment. *Brain and Language* 120 (2012) 310-320.
- Ballard, J.L., Khyory, J.C., Wedig, K., Wang, L., Eilers-Walsman, B.L., Lipp, R., 1991, New Ballard Scores, expanded to include extremely premature infants, *Journal of Paediatrics*; 119: 417-423.
- Benasich, A.A., Tallal, P., 2002, Infant discrimination of rapid auditory cues predicts later language impairment. *Behavioural Brain Research*, 136: 31 – 49.
- Bishop, D.V., North, T., Donlan, C., 1995, Genetic basis of specific language impairment: evidence from a twin study. *Development Medicine & Child neurology*; 37: 56-71.
- Boltezar, I.H., Burger Z.R., Zargi M., 1997, Instability of voice in adolescence: pathologic condition or normal developmental variation? *Journal of Paediatrics* 130: 185.
- Brandt, I., Sticker, E. J., 2001, GES Griffiths Entwicklungsskalen zur Beurteilung der Entwicklung in den ersten beiden Lebensjahren. *Hogrefe, Göttingen*; 17: 180
- Campisi P., Tewfik T.L., Pelland-Blais E., Husein M., Sadeghi N., 2000, Multidimensional voice program analysis in children with vocal cord nodules. *Journal of Otolaryngology* 29: 303-308.
- Christophe A , Mehler J , Sebastián-Gallés N., 2001, Perception of prosodicboundary correlates by newborn infants . *Infancy*; 2 : 385 – 394.
- Denner, M. B., 2007. Untersuchung spektraler und molodischer Eigenschaften vorsprachlicher Laute von Säuglingen mit einer familiären Disposition für eine spezifische Spracherwerbsstörung. Dissertation. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- DeCasper, A.J., Fifer, W.P., 1980, Of human bonding: newborns prefer their mother's voices. *Science*; 208: 1174-1176.
- DeCasper, A.J., Spence, M.J., 1986, Prenatal maternal speech influences newborn's perception of speech sounds. *Infant Behaviour and Development*; 9: 133-150.
- Dirauf, S., 2010, Strukturmerkmale der Melodie und des Rhythmus in vorsprachlichen Lautäußerungen - Eine Untersuchung von Säuglingslauten orofazialer Spaltträger der 13. bis zur 25. Lebenswoche. Dissertation. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Eimas, P.D., Siqueland, E., Jusczyk, P., Vigorito, J., 1971, Speech perception in infants. *Science*; 171: 303-306.
- Eimas, P.D., Miller, J.L., Jusczyk, P.W., 1987, On infant speech perception and the acquisition of language. In: S. Harand (ed). *Categorical perception: the groundwork of cognition*. New York: Cambridge University Press: 161-195.

- Elliott, L.L., Hammer, M.A., Scholl, M.E., 1989, Fine-grained auditory discrimination in normal children and children with language-learning problems. *Journal of Speech Language and Hearing Research*; 32: 112-119.
- Friederici, A. D., 2005, Neurophysiological markers of early language acquisition: from syllables to sentences. *Trends in cognitive sciences*, Jg. 9(10), S. 481–488.
- Ginet, J.; Levilain, J. C.; Grislain, J. R.; Mainard, R.; de Berranger, P.; Brelet, G. (1969). Normal values of ordinary volume, of cry volume and of respiratory frequency in the infant from birth to 270 days old. *Anesthésie, analgésie, réanimation*, Jg. 26(6), S. 799–808.
- Girbau-Massana D., Garcia-Marti G., Marti-Bonmati L., Schwartz R.G., 2014, Gray–white matter and cerebrospinal fluid volume differences in children with Specific Language Impairment and/or Reading Disability. *Neuropsychologia* 56 (2014) 90-100.
- Godfrey, J.J., Syrdal-Lasky, A.K, Millay, K.K., Knox, C.M., 1981, Performance of dyslexic children on speech perception tests. *Journal of Experimental Child Psychology*; 32: 401-424.
- Grimm, H., 1999, *Störungen der Sprachentwicklung*. Hogrefe. Göttingen.
- Grimm, H., 2001, *Sprachentwicklungstest für drei- bis fünfjährige Kinder (SETK 3 ± 5)*. Hogrefe, Göttingen.
- Grimm, H., Doil, H., 2000, *Elternfragebögen für die Früherkennung von Risikokindern (ELFRA-1, ELFRA-2)*. Hogrefe. Göttingen.
- Grimm, H., 2000, *Sprachentwicklungstest für zweijährige Kinder (SETK-2)*. Hogrefe. Göttingen.
- Jusczyk, P.W., 1997, *The discovery of spoken language* (Bradford, Cambridge: MA).
- Korpilahti, P., Saarinen, P., Hukki, J., 2012, Deficient language acquisition in children with single suture craniosynostosis and deformational posterior plagiocephaly. *Child's Nervous System*, 28 (3): 419-425.
- Kuhl, P.K., Williams, K.A., Lacerda, F., Stevens, K.N., Lindblom, B., 1992, Linguistic experience alters phonetic perception in infants by 6 months of age. *Science*; 255: 606-8.
- Krause, M., 2012, *Untersuchung von prosodischen Merkmalen in Vokalisationen von Säuglingen mit orofazialen Spalten im Alter von 1. – 4. Lebensmonat*. Dissertation. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Leonard, L.B., 1998, *Children with specific language impairment*. Cambridge, MA: MIT Press: 145.
- Lester, B. M. (1987). Developmental outcome prediction from acoustic cry analysis in term and preterm infants. *Pediatrics*, Jg. 80(4), S. 529–534.

- Liégeois, F., Mayes A., Morgan A., 2014, Neural Correlates of Developmental Speech and Language Disorders: Evidence from Neuroimaging.
- Lind, J.; Wasz-Hockert, O.; Partanen, T.; Valanne, E.; Vuorenkoski, V. (1968). The Infant Cry: A Spectrographic and Auditory Analysis. Cambridge University Press.
- Lind, K., 2007, Untersuchung spektraler und melodischer Eigenschaften von Säuglingsschreien. Eine Longitudinalstudie über die ersten 16 Lebenswochen im Rahmen der Deutschen Sprachentwicklungsstudie. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin
- Leonard, L.B., 1998, Children with specific language impairment. Cambridge, MA: MIT Press: 145.
- Locke, J. L., 1997, A theory of neurolinguistic development. *Brain and language*, Jg. 58(2), S. 265–326.
- Mattys, S. L., & Jusczyk, P. W., 2001, Phonotactic cues for segmentation of fluent speech by infants. *Cognition*; 78: 91-121.
- Mende, W., Wermke, K., Schindler, S., Wilzopolski, K., Höck, S., 1990, Variability of the cry melody and the melody spectrum as indicators for certain CNS disorders. *Early Child Development and Care*: 65: 95-107.
- Michaelis, R., Niemann, G., 1999, *Entwicklungsneurologie und Neuropädiatrie. Grundlagen und diagnostische Strategien*. G. Thieme, Stuttgart, New York.
- Nazzi, T., Bertoni, J., Mehler, J., 1998, Language discrimination by newborns: Toward an understanding of the role of rhythm. *Journal Experimental Psychology: Human Perception and Performances*; 24: 756-766.
- Noel Aziz H. P., 2003, *Sprachrhythmus in Metrik und Alltagssprache. Untersuchungen zur Funktion des neuhochdeutschen Nebenakzents*. Fink (Wilhelm); München.
- Ostermann, T., 2010, *Die Analyse segmentierter vorsprachlicher Melodiestrukturen von Säuglingen mit orofazialen Spalten im Alter von 2-3 Monaten*. Dissertation. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Park J., Miller C. A., Mainela-Arnold E., 2015, Processing Speed Measures as Clinical Markers for Children With Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, Vol. 58, 954–960.
- Penner, Z., Fischer, A., Krügel, C., 2006, *Von der Silbe zum Wort*. Bildungsverlag EINS. Troisdorf.
- Prechtel, F.R., Beintema, D.J., 1976, *Die neurologischen Untersuchung des reifen Neugeborenen*. G. Thieme, Stuttgart.
- Reader R. H., Covill L. E., Nudel R., Newbury D.F., 2014, Genome-Wide Studies of Specific Language Impairment. *Curr Behav Neurosci Rep* (2014) 1:242–250.

- Robinson, R.J., 1987, The causes of language disorders. Proceedings of the 1<sup>st</sup> international symposium on specific speech and language disorders in children. Reading, England: Association for all Speech Impaired Children: 1-19.
- Snowling, M., Goulandris, N., Bowlby M., Howell, P., 1986, Segmentation an speech perception in relation to reading skill: a developmental analysis. *Journal of Experimental Child Psychology*; 41: 489-507.
- Simpson, N. H., Ceroni, F., Reader, R. H., Covill, L. E., Knight, J. C., the SLI Consortium, Hennessy, E. R., Bolton, P. F., Conti-Ramsden, G., O'Hare, A., Baird, G., Fisher, S. E., & Newbury, D. F. (2015). Genome-wide analysis identifies a role for common copy number variants in specific language impairment. *European journal of human genetics*. Advance online publication. doi:10.1038/ejhg.2014.296.
- Steck-Walter, S. M., 2007, Quantitative Strukturanalyse vorsprachlicher Vokalisationen von Säuglingen mit orofazialen Spalten im zweiten Lebensjahr bei kieferorthopädischer Frühbehandlung. Dissertation. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Spitz, R.V., Tallal, P., Flax, J., Benasich, A.A., 1997, Look who's talking: a prospective study of familial transmission of language impairments. *Journal of Speech Language and Hearing Research*; 40: 990-1001.
- Tallal, P., Stark, R., Mellits, D., 1985, Identification of language impaired children on the basis of rapid perception and production skills. *Brain and Language*; 25: 314-22.
- Tallal, P., Stark, R., Mellits, D., 1985, Relationship between auditory temporal analysis and receptive language development: evidence from studies of developmental language disorders. *Neuropsychologia*; 23: 527-36
- Tallal, P., Ross, R., Curtiss, S., 1989, Familial aggregation in specific language impairment. *Journal of Speech and Hearing Disorders*; 54: 167-73.
- Tallal, P., Townsend, J., Curtiss, J., Wulfbeck, B., 1991, Phenotypic profiles of language impaired children based on genetic/family history. *Brain and Language*; 41: 81-95.
- Tallal, P.; Benasich, A. A. (2002). Developmental language learning impairments. *Development and psychopathology*, 14, 559–579.
- Tomblin, J.B., 1996, Genetic and environmental contributions to the risk for specific language impairment. In: M.L. Rice (ed). *Toward a genetic of language*. Hillsdale, NJ. Lawrence Erlbaum Associates.
- Tomblin J.B., Buckwater P.R., 1998, Heritability of poor language achievement among twins. *Journal of Speech and Hearing Disorders*; 41: 188-99.
- Tuomainen O. T., 2015, Auditory short-term memory trace formation for nonspeech and speech in SLI and dyslexia as indexed by the N100 and mismatch negativity electrophysiological responses. *NeuroReport* 2015, 26:374–379

- Touwen, B.C.C., 1982, Die Untersuchung von Kindern mit geringen neurologischen Funktionsstörungen. G. Thieme, Stuttgart.
- Werker, J.F., Lalonde, C.E., 1988, Cross-language speech perception: Initial capabilities and developmental change. *Development Psychology*; 24: 672-83.
- Werker, J.F., Tees, R.C., 1984, Cross-language speech perception: evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behaviour and Development*: 7: 49-63.
- Werker, J.F., Tees, R.C., 1987, Speech perception in severely disabled and average reading children. *Canadian Journal of Psychology*; 41: 48-61.
- Wermke, K., Mende, W., 1992, Sprache beginnt mit dem ersten Schrei, *Spektrum der Wissenschaft*; 12: 115-118.
- Wermke, K., Mende, W., 1994, Ontogenetic development of infant cry- and noncry vocalizations as early stages of speech abilities. In R. Aulanko and A.M. Korpijaakko-Huuhka (eds.), *Proceedings of the Third congress of the International Clinical Phonetics and Linguistics Association*, 9-11 August, Helsinki, Publications of the Department of Phonetics, University of Helsinki; 39: 181-189.
- Wermke, K., Mende, W., Borschberg, H., Ruppert, R., 1996, Voice characteristics of prespeech vocalizations of twins during the first year of life. In T.W. Powell (ed), *Pathologies of Speech & Language: Contributions of Clinical Phonetics & Linguistics*, New Orleans, LA, ICPLA, 1-8.
- Wermke, K., 2002, Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten Zwillingen in den ersten 5 Lebensmonaten. Habilitation: Humboldt-Universität zu Berlin; <http://edoc.hu-berlin.de>.
- Wermke, K., Mende, W., Manfredi, C., Brusaglioni, P., 2002, Developmental aspects of infant's cry melody and formants. *Medical Engineering & Physics*; 24: 501-514.
- Wermke, K., Friederici, A.F., 2004, Developmental changes of infant cries – the evolution of complex vocalizations. *Behavioural and Brain Sciences*; 27: 474-475.
- Wermke, K., 2004, Vom Schreien zur Sprache. *Frühförderung interdisziplinär*; 2: 61-68.
- 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., 2011, From emotion to notion. The importance of melody. In Decety J. and Cacioppo, J. (eds.), *Handbook of Social Neuroscience* (624-648). New York: Oxford University Press.
- Wright, B.A., Lombardino, L.J., King, W.M., Puranik, C.S., Leonard, C.M., Merzenich, M.M., 1997, Deficits in auditory temporal and spectral resolution in language-impaired children. *Nature*; 387: 176-178.

## **Danksagung**

Meinen besonderen Dank möchte ich vor allem Frau Prof. Wermke, Leiterin des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörung an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg aussprechen, nicht nur für ihre fachliche Kompetenz und konstruktive Unterstützung, sondern auch für ihre Geduld und großzügige Toleranz. Durch meinen Einstieg ins Berufsleben und Auslandsarbeit konnte ich meine Arbeit nicht kontinuierlich fortsetzen. Dank des Verständnisses und der hervorragenden Betreuung von Frau Prof. Wermke konnte ich trotz großer Entfernung meine Arbeit beenden. Sehr angenehm wird mir nicht nur der fachliche Austausch in Erinnerung bleiben.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Wermke bedanken für die fachlichen Ratschläge, Unterstützung, Beantwortung zahlreicher Fragen und insbesondere für die Bereitstellung der von ihm entwickelten Software. Durch seine für mich unverzichtbare Anleitung und Hilfestellung bei der Benutzung von EDV Programmen hat er einen großen Einfluss auf das Gelingen meiner Doktorarbeit gehabt.

Für die Übernahme des Zweitgutachtens bedanke ich mich ganz herzlich bei Professorin Dr. med. Wafaa Shehata-Dieler.

Mein Dank gilt ebenfalls allen Projektleitern des interdisziplinären Forschungsprojektes „Frühkindliche Sprachentwicklung und spezifische Sprachentwicklungsstörung“, insbesondere Prof. Dr. med. Volker Hesse, Prof. Dr. Manfred Gross, PD Dr. Karsten Nubel, PD Dr. Zvi Penner und Prof. Dr. Petra Schulz für die Möglichkeit der Verwendung von Daten aus ihren Untersuchungen bei der Auswahl der Probanden. Für die Bereitstellung der neonatologischen Daten bin ich auch Fr. Dr. Hinkel und Fr. Dr. Belouli zu Dank verpflichtet.

Für die Möglichkeit der Durchführung dieser Promotion im Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen möchte ich ebenfalls Frau Prof. Dr. Angelika Stellzig-Eisenhauer, Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, danken.

Ebenfalls bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden. Durch ihre Motivation und Unterstützung konnte ich trotz der persönlichen Belastungen durch meinen Einstieg ins Berufsleben und den Umzug nach Zürich diese Arbeit erfolgreich abschließen.

## Danksagung

---

Ganz besonderen Dank möchte ich zuletzt meinem Partner Sven aussprechen, der mir bei dieser mehrjährigen Arbeit immer mit gutem Rat zur Seite stand und mich stets angetrieben hat die Arbeit erfolgreich zu beenden.

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name:	Karolin Myrcik
Geburtsdatum:	15. 01.78
Geburtsort:	Krosno
Familienstand:	ledig
Nationalität	Deutsch

### Schulische Laufbahn

1991 – 1999	Rhön-Gymnasium in Bad Neustadt a. d. Saale
1999	Abitur

### Akademische Laufbahn

2000 - 2006	Studium der Zahnmedizin an der Julius-Maximilians-Universität in Würzburg
08. und 09. 2005	Famulatur auf Samoa im Südpazifik
2006	zahnärztliche Prüfung
2009 - 2012	Postgradualer Studiengang an der Donau Universität Krems in Bonn mit der Fachrichtung „ Master of Science in Kieferorthopädie“

### Berufliche Laufbahn

2006	Erteilung der zahnärztlichen Approbation
10.2006 – 03.2009	Zahnärztliche Tätigkeit in der Praxis Mirella Hajduk in Oerlenbach
03.2009 – 06.2011	Zahnärztliche Tätigkeit in der Praxis von Dr. med. dent. Koch in Fulda
Seit 07.2011	Zahnärztliche Tätigkeit in der Praxis Swiss-Smile in Zürich