

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

Poliklinik für Kieferorthopädie

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

---

**Unterscheiden sich gesunde Neugeborene mit auffälligem bzw.  
unauffälligem Hörscreeningbefund in Eigenschaften der  
Grundfrequenzkontur ihrer spontanen Weinlaute?**

**Inauguraldissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Veronique Ross

aus Hardheim

Würzburg, April 2020

**Referentin:** Prof. Dr. rer. nat. Kathleen Wermke

**Korreferent:** Prof Dr. med. Johannes Wirbelauer

**Dekan:** Prof. Dr. med. Matthias Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung:** 27.01.2021

**Die Promovendin ist Ärztin**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>6</b>
2.1	Einbettung der Arbeit .....	6
2.2	Probanden und Auswahlkriterien .....	8
2.2.1	Gruppe der Neugeborenen mit unauffälligem NHS (Gruppe NHS_TU) .....	11
2.2.2	Gruppe der Neugeborene mit auffälligem NHS (Gruppe NHS_TA).....	13
2.3	Datenerhebung.....	14
2.4	Datenanalyse.....	16
2.4.1	Dateneingabe und Spektralanalyse .....	16
2.4.2	Analyse und Klassifikation der Melodiekontur .....	20
2.4.3	Anwendung eines mathematischen Modells zur quantitativen Analyse des Asymmetriegrades der Melodiekontur .....	22
2.4.4	Analyse des Komplexitätsgrades der Melodiekontur .....	25
2.4.5	Analyse der Vokalisationslänge und mittleren Grundfrequenz ....	26
2.4.6	Fragebogen zur familiären Disposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung .....	26
2.5	Statistische Auswertung .....	27
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>29</b>
3.1	Ergebnis der Melodiestrukturanalyse.....	29
3.2	Analyse der Originalmelodielänge .....	32
3.2.1	Analyse auf Signallevel.....	32
3.2.2	Analyse auf Kindlevel .....	36
3.3	Ergebnis der Anwendung eines mathematischen Modells zur quantitativen Analyse der Melodiekonturen .....	39
3.3.1	Analyse der normierten Bogenform auf Signallevel .....	39
3.3.1.1	1B-Strukturkategorie .....	41
3.3.1.2	Komplexe Strukturkategorien [alle nicht 1B] .....	52
3.3.2	Ergebnis der Modellierungsauswertung auf Modellbogen- bzw. Kindlevel .....	56
3.3.2.1	Mittlere Grundfrequenz .....	56
3.3.2.2	Analyse der normierten Bogenform auf Kindlevel .....	62
3.3.2.2.1	1B-Strukturkategorie .....	62
3.3.2.2.2	Komplexe Strukturkategorien [alle nicht 1B] .....	66
3.3.2.3	Auswertung des Fragebogens zur spezifischen Sprachentwicklungsstörung .....	67
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>76</b>
4.1	Vergleich der Auftrittshäufigkeit von Strukturkategorien in den Melodien der Neugeborenenlaute beider Gruppen.....	76
4.2	Vergleich der Originalmelodielängen.....	78
4.3	Vergleich der Anwendung des mathematischen Modells .....	81
4.3.1	Bogenform .....	82
4.3.2	Hub (Frequenzmodulations-Amplitude) .....	86

4.4	Welche Konditionen führen zu einem „fail“ beim NHS .....	87
4.5	Limitation der Vorgehensweise.....	88
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>93</b>
	<b>Danksagung.....</b>	
	<b>Lebenslauf .....</b>	

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Säulendiagramm: Relative Häufigkeit aller Strukturkategorien im Gruppenvergleich (Ausgangsdaten) .....	10
Abbildung 2	Zeitbereichsdarstellung und Schmalband (45 Hz) - Spektrogramm eines Einzelschreis (expiratorische Phonation) mit vorausgehendem und nachfolgendem Inspirationsgeräusch .....	18
Abbildung 3	Zeitbereichsdarstellung und Schmalband (45 Hz) - Spektrogramm eines Einzelschreis (expiratorische Phonation) mit vorausgehendem und nachfolgendem Inspirationsgeräusch. Der Laut enthält eine Subharmonische gefolgt von einer stark ausgeprägten phonatorischen Rauschbande.....	19
Abbildung 4	Melodiediagramm: Darstellung des Grundfrequenzverlaufs (Melodie) einer Vokalisation bestehend aus einem Einzelbogen (blaue Linie) sowie des zugehörigen berechneten Modellbogens (rote Linie) .....	24
Abbildung 5	Melodiediagramm: Darstellung des Grundfrequenzverlaufs (Melodie) einer Vokalisation bestehend aus einem Doppelbogen (blaue Linie) sowie der zugehörigen, separat berechneten Modellbögen (rote Linie) .....	24
Abbildung 6	Säulendiagramm: Relative Häufigkeit der für die Modellierung ausgewählten Melodiestrukturkategorien im Gruppenvergleich .....	30
Abbildung 7	Boxplotdiagramm: Melodielänge der einbögigen Melodiekonturen (1B) im Gruppenvergleich (Signallevel).....	32
Abbildung 8	Boxplotdiagramm: Melodielänge der komplexen Melodiekonturen (alle mehrbögigen) im Gruppenvergleich (Signallevel).....	34

Abbildung 9	Boxplotdiagramm: Melodielänge der Vokalisationen mit einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) im Gruppenvergleich (Kindlevel) .....	36
Abbildung 10	Boxplotdiagramm: Prozentanteil der modellierten Gesamtmelodie im Gruppenvergleich .....	40
Abbildung 11	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) ohne Gruppendifferenzierung (Signallevel) .....	41
Abbildung 12	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TA (Signallevel).....	43
Abbildung 13	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TU (Signallevel).....	44
Abbildung 14	Säulendiagramm: Absolute Häufigkeit der Bogenformklassen für die Melodien (Signallevel) im Gruppenvergleich .....	47
Abbildung 15	Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Bogenformklassen in Abhängigkeit vom Alter der Gruppe NHS_TA .....	48
Abbildung 16	Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Bogenformklassen in Abhängigkeit vom Alter der Gruppe NHS_TU .....	48
Abbildung 17	Boxplotdiagramm: Grundfrequenzhübe (Frequenzmodulations-Amplitude) der Modellkurven für jede Bogenformklasse im Gruppenvergleich [einfache Melodiekonturen; 1B].....	49

Abbildung 18	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen beider Gruppen .....	53
Abbildung 19	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen der Gruppe NHS_TA.....	54
Abbildung 20	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen der Gruppe NHS_TU.....	55
Abbildung 21	Histogramm: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz aller modellierten Bögen .....	57
Abbildung 22	Boxplotdiagramm: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz aller modellierten Bögen im Gruppenvergleich .....	58
Abbildung 23	Boxplotdiagramm: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz im Gruppenvergleich (Kindlevel).....	59
Abbildung 24	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) beider Gruppen (Kindlevel).....	62
Abbildung 25	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TA (Kindlevel) .....	64
Abbildung 26	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TU (Kindlevel) .....	64
Abbildung 27	Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen beider Gruppen (Kindlevel) .....	66

Abbildung 28	Säulendiagramm: Beobachtete Häufigkeit der Bogenformklassen in einfachen Melodiekonturen (1B) in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES).....	69
Abbildung 29	Säulendiagramm: Beobachtete Häufigkeit der Bogenformklassen in komplexen Melodiekonturen in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES).....	69
Abbildung 30	Boxplotdiagramm: Werte des Modellparameters $\alpha$ in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES) im Gruppenvergleich [einfache Melodiekonturen].....	70
Abbildung 31	Boxplotdiagramm: Werte des Modellparameters $\alpha$ in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES) im Gruppenvergleich [komplexe Strukturkategorien].....	71
Abbildung 32	Boxplotdiagramm: Grundfrequenzhübe (Frequenzmodulations-Amplitude) aller modellierten Bögen in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES).....	74
Abbildung 33	Boxplotdiagramm: Grundfrequenzhübe (Frequenzmodulations-Amplitude) aller modellierten Bögen in Abhängigkeit vom Familienrisikos für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES) im Gruppenvergleich.....	75

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Probandenkollektiv .....	8
Tabelle 2	Strukturkategorien und deren prozentuale Anteile beider Gruppen (Ausgangsdaten) .....	11
Tabelle 3	Probanden der Gruppe NHS_TU.....	12
Tabelle 4	Probanden der Gruppe NHS_TA.....	13
Tabelle 5	Kategorisierung der Vokalisationen in intensive Weinlaute („cry“, C-Laute) und in ihrer Intensität abgeschwächte Weinlaute (Übergangslaute, U-Laute) im Gruppenvergleich .....	16
Tabelle 6	Deskriptive Statistik der Häufigkeitsverteilung (%) der Melodiestrukturkategorien der Gruppe NHS_TU.....	31
Tabelle 7	Deskriptive Statistik der Häufigkeitsverteilung (%) der Melodiestrukturkategorien der Gruppe NHS_TA .....	31
Tabelle 8	Deskriptive Statistik der Melodielängen der einbögigen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TU (331 Vokalisationen) .....	33
Tabelle 9	Deskriptive Statistik der Melodielängen der einbögigen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TA (354 Vokalisationen) .....	33
Tabelle 10	Deskriptive Statistik der Melodielängen der komplexen Melodiekonturen (alle mehrbögigen) der Gruppe NHS_TU (113 Vokalisationen) .....	35
Tabelle 11	Deskriptive Statistik der Melodielängen der komplexen Melodiekonturen (alle mehrbögigen) der Gruppe NHS_TA (69 Vokalisationen) .....	35
Tabelle 12	Deskriptive Statistik der Melodielängen der Vokalisationen mit einfachen (einbögigen) Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TU (Kindlevel; n=37) .....	37

Tabelle 13	Deskriptive Statistik der Melodielängen der Vokalisationen mit einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TA (Kindlevel; n=37).....	37
Tabelle 14	Mittlere Melodielänge (Kindlevel) von einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) im Gruppenvergleich .....	38
Tabelle 15	Deskriptive Statistik: Prozentanteil der modellierten Gesamtmelodie im Gruppenvergleich (Signallevel).....	40
Tabelle 16	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) ohne Gruppendifferenzierung (Signallevel; n = 685).....	42
Tabelle 17	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TA (Signallevel; n = 354).....	44
Tabelle 18	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TU (Signallevel; n = 331).....	45
Tabelle 19	Ermittelte absolute Häufigkeit der definierten Bogenformklassen im Gruppenvergleich (Signallevel) .....	47
Tabelle 20	Deskriptive Statistik: Grundfrequenzhub der Modellkurven nach Bogenformklassen der Gruppe NHS_TA [einfache Melodiekonturen; 1B].....	49
Tabelle 21	Deskriptive Statistik: Grundfrequenzhub der Modellkurven nach Bogenformklassen der Gruppe NHS_TU [einfache Melodiekonturen; 1B].....	51
Tabelle 22	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen beider Gruppen (n = 342).....	53

Tabelle 23	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen der Gruppe NHS_TA (128 Modellbögen aus 68 Vokalisationen) .....	55
Tabelle 24	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen der Gruppe NHS_TU (214 Modellbögen aus 113 Vokalisationen) .....	56
Tabelle 25	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz aller modellierten Bögen (n = 1028).....	57
Tabelle 26	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz aller modellierten Bögen im Gruppenvergleich (n = 1028).....	58
Tabelle 27	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz im Gruppenvergleich (Kindlevel).....	60
Tabelle 28	Mittlere Grundfrequenz für jedes Neugeborene im Gruppenvergleich .....	61
Tabelle 29	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) beider Gruppen (Kindlevel; n = 74).....	63
Tabelle 30	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS_TA (Kindlevel; n = 37).....	65
Tabelle 31	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) Gruppe NHS_TU (Kindlevel; n= 37) .....	65
Tabelle 32	Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters $\alpha$ in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen beider Gruppen (Kindlevel; n = 55) .....	67

Tabelle 33	Auswertung des Fragebogens zur spezifischen Sprachentwicklungsstörung (SSES).....	67
Tabelle 34	Häufigkeit komplexer, mehrböiger Melodiestrukturen in Vokalisationen der Neugeborenen beider Gruppen in Abhängigkeit von der Familienanamnese für eine SSES .....	68
Tabelle 35	Deskriptive Statistik: Werte des Modellparameters $\alpha$ in einfachen Melodiekonturen (Gruppe NHS_TA) bei negativer Familiendisposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES).....	72
Tabelle 36	Deskriptive Statistik: Werte des Modellparameters $\alpha$ in einfachen Melodiekonturen (Gruppe NHS_TU) bei negativer Familiendisposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES).....	72
Tabelle 37	Deskriptive Statistik: Werte des Modellparameters $\alpha$ in komplexen Melodiekonturen (Gruppe NHS_TA) bei positiver Familiendisposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES).....	73
Tabelle 38	Deskriptive Statistik: Werte des Modellparameters $\alpha$ in komplexen Melodiekonturen bei negativer Familiendisposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES).....	73

## Abkürzungsverzeichnis

APGAR	Activity/ Pulse/ Grimace/ Appearance/ Respiration
B	Bogen
CDAP	Cry-Data-Analysis-Program
CSL	Computerized Speech Lab
FH	family history (Familienanamnese)
F0	Grundfrequenz
FM-Amplitude	Frequenzmodulations-Amplitude (Hub)
KL	Kurzlaut
KS	Komplexe Segmentierung
MB	Mehrfachbögen
MCI	Melodiekomplexitätsindex
MS	Mehrfachsegmentierung
NHS	Neugeborenenhörscreening
NHS_TA	Neugeborene mit auffälligem NHS
NHS_TU	Neugeborene mit unauffälligem NHS
OAE	Otoakustische Emissionen
PC	Probandencode
S	Segmentierung
SD	Standardabweichung
SSES	spezifische Sprachentwicklungsstörung
SSW	Schwangerschaftswoche
ZVES	Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen

# 1 Einleitung

Neurophysiologische Mechanismen, die für die Entstehung der Sprach- und Sprechentwicklung erforderlich sind, reifen bereits sehr frühzeitig. Feten sind bereits intrauterin empfänglich für akustische Reize, vor allem für die Grundfrequenzkontur (Melodie) der mütterlichen Sprache (DeCasper & Fifer, 1980; Querleu, Renard, Boutteville & Crèpin, 1989; Querleu, Renard, Versyp, Paris-Delrue & Crèpin, 1988). Dies ist nachvollziehbar, da das menschliche Hörorgan bereits lange vor der Geburt, insbesondere im letzten Schwangerschaftsdrittel, funktionsfähig ist und ab diesem Zeitpunkt akustische Reize vom Fötus wahrgenommen werden (Birnholtz & Benacerraf, 1983; Johansson, Wedenberg & Westin, 1992; Shahidullah & Hepper, 1994). Insbesondere werden melodisch-rhythmische, also sogenannte suprasegmentale Eigenschaften wahrgenommen, während segmentale Lauteigenschaften durch das Gewebe und die Flüssigkeit im Uterus stark gedämpft werden. Regelmäßig und kontinuierlich im dritten Trimenon wahrgenommene sprachliche und musikalische Melodien werden im fötalen Gedächtnis gespeichert (Granier-Deferre, Bassereau, Ribeiro, Jacquet & DeCasper, 2011). Einen solchen regelhaften und kontinuierlichen auditiven Input liefert vor allem die mütterliche Stimme (DeCasper & Fifer, 1980). Die melodischen Gedächtnisspuren durch die erste Erfahrung mit der Muttersprache scheinen auch die Grundlage für postnatal beobachtete auditive Perzeptionsleistungen Neugeborener und junger Säuglinge zu bilden (Hepper, 1997). Wie wichtig melodische Eigenschaften der mütterlichen Stimme in der menschlichen Evolution waren, belegen auch die verschiedenen Befunde am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES), die als erste Forschergruppe gezeigt hat, dass melodische Eigenschaften der Neugeborenen- und Säuglingslaute nicht nur einem angeborenen Entwicklungsprogramm folgen, sondern auch durch die pränatal gehörte Melodie der Muttersprache geprägt werden. So sind bereits Neugeborene dazu in der Lage, die Grundfrequenzkontur (Melodie) ihrer Weinlaute von der vorherrschend fallenden Kontur der Intensität, bedingt durch den nachlassenden Luftstrom, zu entkoppeln und steigende Melodiekonturen bei fallender Intensitätskurve zu

erzeugen (Mampe et al., 2009; Wermke, 2015). Dies ist die Voraussetzung dafür, um muttersprachliche melodische Elemente in die eigenen Melodien einzubauen (Dahlem, 2008; Prochnow, 2013; Prochnow, Erlandsson, Hesse & Wermke, 2017; Wermke et al., 2016; Wermke et al., 2017; Wermke, Mende et al., 2002; Mampe, Friederici et al. 2009). Diese beobachteten komplexen koordinativen Leistungen reflektieren die verhältnismäßig reife laryngeale Phonation (Stimmbildung) bei Neugeborenen (Bosma, Truby & Lind, 1965; Wermke et al., 2019). Eine wesentliche Voraussetzung für die Schreiproduktion von Neugeborenen ist ein gut abgestimmtes, sehr schnelles Zusammenspiel von respiratorischen und laryngealen Mechanismen. Die Kehlkopfmuskulatur, als Teil des respiratorischen laryngealen Systems, ist bereits intrauterin gut ausgereift (Harding, 1984a, 1984b). Während die Phonationsmechanismen bei jungen Säuglingen bereits gut funktionsfähig sind, sind supralaryngeale artikulatorische Mechanismen noch nicht gut entwickelt (Kent & Vorperian, 1995). Daher sind für die vokale Entwicklung im Neugeborenenalter und die *Vorsprachliche Diagnostik* vor allem die Phonationsleistungen relevant.

Diagnostisch relevante akustische Eigenschaften von Neugeborenenlauten sind daher die Grundfrequenzkontur (Melodie) und mit ihr im Zusammenhang stehende temporale Größen (LaGasse, Neal & Lester, 2005; Wermke, 2002). Die Regulation der Grundfrequenz bei der Phonation hängt nicht nur von der respiratorisch-laryngealen Koordinationsfähigkeit ab, sondern in entscheidendem Maße auch von den verschiedenen Rückkopplungsmechanismen (Titze, 2008). Man unterscheidet hier taktile, kinästhetische und auditive Rückkopplungsmechanismen (Titze, 1994). Alle sind bereits bei der Phonation Neugeborener aktiv (Schönweiler, Kaese, Möller, Rinscheid & Ptok, 1996a, 1996b). Die enge funktionelle Kopplung des auditiv-vokalen Systems erlaubt es dem Neugeborenen, eine Vielfalt melodisch-rhythmischer Eigenschaften wahrzunehmen und einige davon sogar in seine eigenen Lautproduktionen einzubauen und im Verlauf der vokalen Entwicklung weiter zu „trainieren“. Insbesondere vor allem dann, wenn diese Eigenschaften Elemente der Umgebungssprache(n) sind. Welchen spezifischen Einfluss die

auditive Rückkopplung im Neugeborenenalter auf melodische Eigenschaften spontaner Weinlaute hat, also auf die Grundfrequenzkontur und -struktur, ist bisher noch wenig untersucht (Shinya, Kawai, Niwa & Myowa-Yamakoshi, 2014). Es ist zu vermuten, dass Abweichungen in typischen Schreieigenschaften nur bei sensorineuralen Hörstörungen vorkommen, während Schallleitungsstörungen kaum einen Einfluss auf die Melodieigenschaften von Neugeborenenlauten haben sollten. Dies ist allerdings bisher noch nicht untersucht worden.

Mit der vorliegenden Arbeit sollte dazu im Rahmen eines größeren, interdisziplinären Projektes zur Untersuchung von Lauteigenschaften gesunder Neugeborener und Säuglinge sowie von Säuglingen mit sensorineuralen Hörstörungen ein erster Beitrag geleistet werden (Kapitel 2.1). Konkret sollten hier alle für das Projekt rekrutierten gesunden Neugeborenen unter Berücksichtigung des Befundes des Neugeborenenhörscreenings (NHS) bezüglich der Struktur- und Formeigenschaften der Melodien im spontanen Weinen untersucht werden. Das routinemäßig durchgeführte NHS ist Bestandteil des allgemeinen Neugeborenencreenings, das zusätzlich den Guthrie-Test zwischen 36 und 72 Lebensstunden beinhaltet, um bestimmte angeborene Stoffwechsel- und Hormonerkrankungen zu erfassen.

Untersucht werden beim NHS entweder über die Messung von otoakustischen Emissionen (OAE) oder akustisch evozierter Hirnstammpotentialmessungen (BERAphone®) die Funktionsfähigkeit des Innenohres bzw. der äußeren Haarzellen (Meier, Narabayashi, Probst & Schmuziger, 2004). Standard-Methode für das NHS am Universitätsklinikum Würzburg ist die Ableitung von akustisch evozierten Hirnstammpotentialen mit dem BERAphone®, ein diagnostisches Verfahren mit höchster Sensitivität und Spezifität (Cebulla, Hofmann & Shehata-Dieler, 2014).

Zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit war es, die Zeitfunktion der Grundfrequenz (Melodiekontur) der aufgezeichneten Spontanvokalisationen quantitativ zu charakterisieren und zwischen den Gruppen geeignet zu vergleichen. Diese Aufgabe war nicht einfach, da die Weinlaute und damit die

Melodiekonturen unterschiedlich lang und komplex sein können, man es also mit einer hohen intra- und interindividuellen Variabilität bezüglich der zu untersuchenden Formvarianten der Melodiekontur zu tun hatte. Als geeignete Methode kam daher hier nur ein Formvergleich zwischen den Melodien der Probanden beider Gruppen mit Hilfe eines mathematischen Modellierungsansatzes in Frage (Kapitel 2.4.3). Nur so wurde es möglich, prinzipielle Formeigenschaften der individuellen Originalmelodiekonturen normiert durch Modellkurven zu beschreiben und zwischen den Gruppen zu vergleichen (Wermke & Mende, 2011).

Warum wurde ein potenzieller Gruppenunterschied gerade anhand der Melodiekontur untersucht? Der Hintergrund der Zielstellung hier, den potenziellen Unterschied zwischen beiden Untersuchungsgruppen mit Hilfe des Kriteriums der Melodiekontur zu untersuchen, ist die Annahme, dass sich intrauterin wahrgenommene melodische Eigenschaften der Muttersprache, wie oben erwähnt, in den Melodiekonturen der Neugeborenen der spontanen Weinlaute reflektieren. Zwischen Neugeborenen mit und ohne Schallleitungsstörungen wird es diesbezüglich keinen Unterschied geben, möglicherweise aber zwischen unauffälligen Neugeborenen und Neugeborenen mit sensorineuralen Hörstörungen. Dies zu belegen ist ein Fernziel des Gesamtprojektes. Die vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag dazu, indem sie zunächst die beiden ersten Gruppen untersucht und vergleicht. Diese Untersuchung ist eine Voraussetzung dafür, dass man in Zukunft möglicherweise zwischen Schallleitungsstörung und sensorineuraler Hörstörung bei Neugeborenen unterscheiden kann.

Sensorineurale Hörminderungen lassen sich in der Regel erst im Verlauf der ersten Lebenswochen, nicht aber bereits im Neugeborenenalter, sicher diagnostizieren. Auffällige NHS-Befunde sind nur zu einem Prozentsatz von etwa 4 % mit sensorineuralen Hörstörungen verbunden (Grygiel, 2005, S. 38). Unter den hier untersuchten Neugeborenen mit auffälligem NHS-Befund wurde bei keinem nachfolgend eine sensorineurale Hörstörung diagnostiziert. Daher liegt der vorliegenden Arbeit die Annahme zugrunde, dass sich die Melodiekonturen

beider Gruppen nicht signifikant unterscheiden. Sollte sich diese Vermutung mit der hier durchgeführten Analyse bestätigen, wären Eigenschaften der Melodiekonturen ein potenzieller Frühindikator für eine sensorineurale Hörminderung bei Neugeborenen.

Die Anwendung eines mathematischen Modells lieferte die Möglichkeit, die Melodiekontur der Neugeborenenlaute zu vergleichen, obwohl sie unterschiedlich lang und/oder unterschiedlich stark frequenzmoduliert waren. Die hier durchgeführte Parametrisierung der Melodie durch die Modellanwendung lieferte eine geeignete Möglichkeit der objektiven Konturcharakterisierung (Kapitel 2.4.3).

Für die vorliegende erste Anwendung dieses Modells im Rahmen eines klinischen Projekts, bestand folgende Fragestellung:

Gibt es Unterschiede in der Melodieproduktion zwischen Neugeborenen mit unauffälligem NHS und Neugeborenen mit auffälligem NHS?

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Einbettung der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit ist Bestandteil einer klinischen Längsschnittstudie zur vorsprachlichen Entwicklung im ersten Lebensjahr bei Neugeborenen und Säuglingen mit und ohne Hörstörung. Es ist ein gemeinsames Forschungsprojekt des Comprehensive Hearing Center (CHC, Prof. Dr. W. Shehata-Dieler) und des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES, Prof. Dr. K. Wermke) in Zusammenarbeit mit der Universitäts-Frauenklinik (Prof. Dr. A. Wöckel) und der Universitäts-Kinderklinik (Prof. Dr. C. P. Speer) sowie kooperierenden Geburtskliniken & Hörgeräteakustikern und Frühförderzentren im Einzugsgebiet.

Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg geprüft und keine Einwände gegen ihre Durchführung erhoben (Ethik-Nummer 145/12). Die Studie wurde unter Einhaltung der Kriterien der Deklaration von Helsinki von 2013 durchgeführt. Es liegt von jedem Neugeborenen, der als Proband an der Studie teilgenommen hat, eine schriftliche Einwilligungserklärung der Eltern bzw. des/der Sorgeberechtigten vor. Die Einschlusskriterien der Probanden wurden in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. J. Wirbelauer, Universitäts-Kinderklinik Würzburg, erarbeitet (Kapitel 2.2).

Im Rahmen dieser Längsschnittstudie war die Autorin vorliegender Arbeit zum Zeitpunkt der Erstaufnahmen der Probanden im Neugeborenenalter beteiligt. Die Autorin hat gemeinsam mit einer weiteren Doktorandin im Projekt (V. Sallinger) im Rahmen ihrer Dissertation digitale Aufnahmen spontaner Weinaute in der Neugeborenenabteilung an der Frauenklinik der Julius-Maximilians-Universität Würzburg in einem Zeitraum von 16 Monaten (Juni 2014 bis September 2015) gemacht. Die Probanden wurden im Ergebnis des routinemäßig durchgeführten

Hörscreenings durch die Mitarbeiter der HNO-Klinik in zwei Gruppen - Neugeborene mit unauffälligem (Gruppe NHS\_TU) und Neugeborene mit auffälligem NHS (Gruppe NHS\_TA) eingeteilt. Alle für das Projekt rekrutierten Probanden der Entwicklungsstufe 1 (Neugeborenenalter) sind im Rahmen vorliegender Arbeit bezüglich ihrer melodischen Eigenschaften im spontanen Weinen untersucht worden. Parallel dazu erfolgte die Auswertung temporaler Eigenschaften der Laute dieser Neugeborenen durch die zweite Doktorandin, Vivien Sallinger (Dissertation in Vorbereitung).

Im Anschluss an die Datenerhebung erfolgte durch die Autorin eine Auswertung der Lautaufnahmen im Babysprachlabor am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) an der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg. Nach einer umfangreichen Vorverarbeitung der Aufnahmen erfolgte die eigentliche objektive Auswertung der Schreimelodiekonturen mit Hilfe des mathematischen Evolon-Force-Modells (EF-Modell), das von Werner Mende (Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften; mende@bbaw.de) entwickelt wurde und nach umfangreicher Testung unter Mitarbeit von Peter Wermke und Philippe Gérard im Auswertesystem des ZVES fest implementiert ist (Wermke & Mende, 2011).

Alle akustischen Aufnahmen und medizinischen Begleitdaten (somatische Maße zur Geburt, Geburtsmodus, SSW, Umbilikalarterie pH und Apgar-Werte) wurden pseudonymisiert ausgewertet. Zusätzlich wurde im Rahmen des Projektes mittels Fragebögen von der Autorin erhoben, ob es in der Kernfamilie des Neugeborenen ein Risiko für eine spezifische Spracherwerbsstörung gibt (s. Kapitel 2.4.6).

## 2.2 Probanden und Auswahlkriterien

In der vorliegenden Studie wurden, wie für das Projekt geplant, spontan evozierte Vokalisationen von 82 reifen Neugeborenen von Müttern mit regelrechtem Schwangerschaftsverlauf untersucht, die je nach Ergebnis des Neugeborenenhörscreenings (NHS) einer der beiden Gruppen – unauffälliges NHS (Gruppe NHS\_TU) oder auffälliges NHS (Gruppe NHS\_TA) zugeordnet wurden (Tabelle 1).

**Tabelle 1**      **Probandenkollektiv**

<b>Probanden</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Weiblich</b>	<b>Männlich</b>
Gruppe NHS_TU	41	25	16
Gruppe NHS_TA	41	16	25
Gesamt	82	41	41

Es wurden im Untersuchungszeitraum konsekutiv alle Neugeborenen rekrutiert, die die nachfolgend aufgeführten Auswahlkriterien erfüllten. Der Anteil der weiblichen Probanden war in der Gruppe NHS\_TU höher.

## Auswahlkriterien der Probanden

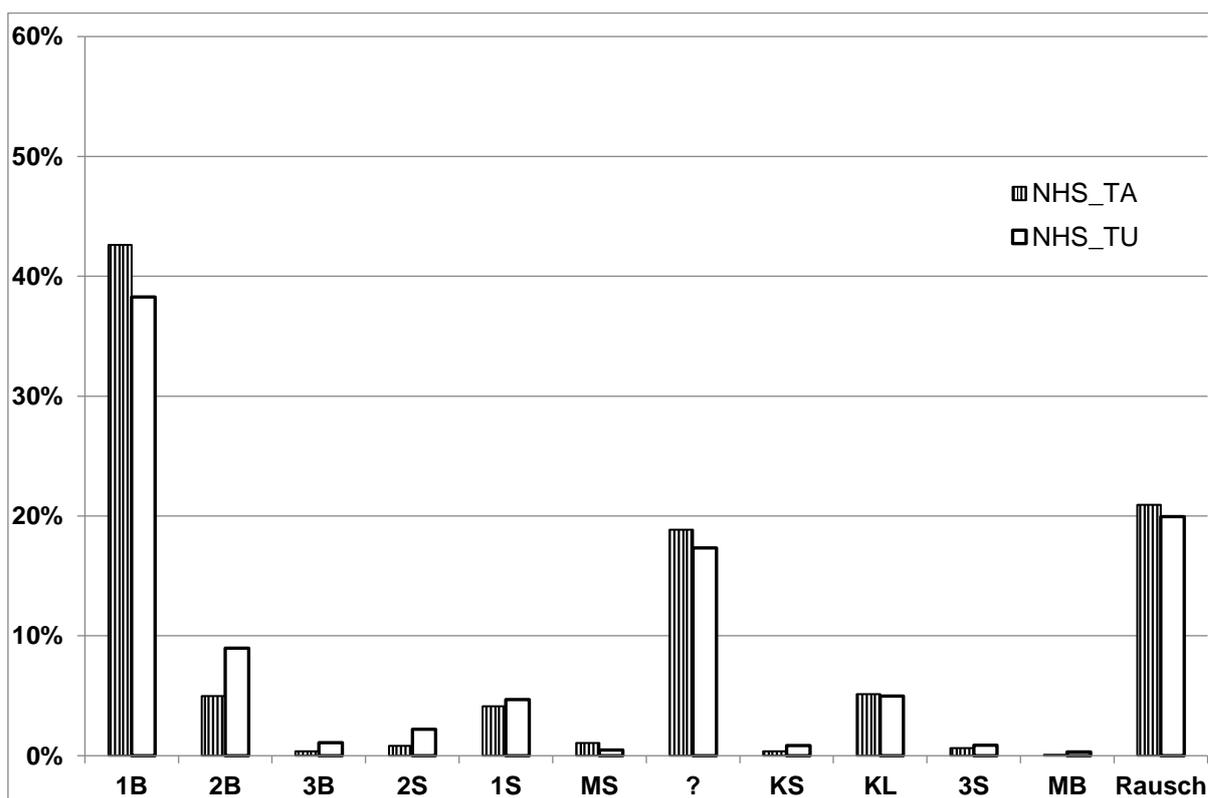
- reife Neugeborene 37+0 bis 41+6 Schwangerschaftswochen (SSW) im Alter von 24 bis 72 Lebensstunden
- Mehrling möglich
- kontrollierte Schwangerschaft mit unauffälligem Verlauf
- AGA (10. – 90. Perzentile)
- APGAR 5'  $\geq$  8, Umbilikalarterie pH  $>$  7,20
- unauffällige U1 (und U2)
- keine genetischen Abnormalitäten (keine Syndrome)
- keine vital bedrohliche Erkrankung
- keine behandlungsbedürftige Hyperbilirubinämie
- keine Intubation und Beatmung
- CPAP-Atemhilfe möglich
- keine Katecholamine, Antibiotikatherapie, Surfactantgabe
- keine symptomatische Hypoglykämie
- Neugeborenenhörscreening am 2. bzw. 3. Lebenstag
- monolinguale deutsche Eltern
- Bereitschaft der Eltern bzw. des Sorgeberechtigten zur Teilnahme (schriftliche Einwilligungserklärung)

Von den ursprünglich 82 rekrutierten Probanden wurden 8 Probanden von den hier durchgeführten Analysen ausgeschlossen, sodass nur Laute von 74 Probanden (37 Neugeborene mit NHS\_TU und 37 Neugeborene mit NHS\_TA) für die finale Auswertung zur Verfügung standen.

Gründe für den Ausschluss der 8 Probanden waren in erster Linie zu wenig vom Neugeborenen spontan erzeugte vokale Lautäußerungen (es wurden keine Weinlaute durch externe Stimulation evoziert) sowie das Vorherrschen ausgeprägter phonatorischer Rauschbanden (entstehen bei intensivem, lauten Schreien) oder die Überlagerung der Aufnahme durch zu starke klinische Hintergrundgeräusche.

Von ursprünglich insgesamt 2.330 Vokalisationen (spontane Weinlaute während einer expiratorischen Phase) der restlichen 74 Probanden (Gruppe NHS\_TU: 1.176, Gruppe NHS\_TA: 1.154) wurden 1.303 Vokalisationen für die weitergehende EF-Modellierung verwendet. Von den 1.027 ausselektierten Vokalisationen waren 142 Kurzlaute (kürzer als 300ms), 421 sehr irreguläre, unklare melodische Strukturen und 464 komplett verrauschte Einzelsignale.

In Abbildung 1 ist ein Säulendiagramm dargestellt, das die relative Häufigkeit der melodischen Strukturkategorien aller 2.330 Vokalisationen (vor Aussortierung) zeigt. Es sind alle in den Neugeborenenlauten beobachteten Strukturkategorien in ihrer Häufigkeit (prozentualer Anteil) für die beiden Gruppen dargestellt. (100 % = alle Werte pro Gruppe)



**Abbildung 1 Säulendiagramm: Relative Häufigkeit aller Strukturkategorien im Gruppenvergleich (Ausgangsdaten)**

Einfachbogen (1B), Doppelbögen (2B), Dreifachbögen (3B), Zweifache Segmentierung (2S), Einfache Segmentierung (1S), Mehrfachsegmentierung (MS), Unklare Struktur (?), Komplexe Segmentierung (KS), Kurzlaut (KL), Dreifache Segmentierung (3S), Mehrfachbögen (MB), Rausch (phonatorische Rauschbanden)

Man erkennt, dass die für die finale Melodieanalyse mit dem EF-Modell aussortierten Vokalisationen der Strukturtypen Kurzlaut (KL), verrauschte Signale (Rausch) und sehr irreguläre Melodie (?, fuzzy class) in beiden Gruppen vergleichbar häufig auftraten (Tabelle 2). Die Strukturkategorien werden in Kapitel 2.4.2 näher beschrieben. In Tabelle 2 wird der prozentuale Anteil der jeweiligen Strukturkategorien dargestellt.

**Tabelle 2 Strukturkategorien und deren prozentuale Anteile beider Gruppen (Ausgangsdaten)**

Strukturkategorie	Gruppe NHS_TA	Gruppe NHS_TU
Einfachbogen (1B)	42,6 %	38,3 %
Doppelbögen (2B)	5,0 %	9,0 %
Dreifachbögen (3B)	0,4 %	1,1 %
Zweifache Segmentierung (2S)	0,8 %	2,2 %
Einfache Segmentierung (1S)	4,1 %	4,7 %
Mehrfachsegmentierung (MS)	1,1 %	0,5 %
Unklare Struktur (?)	18,9 %	17,3 %
Komplexe Segmentierung (KS)	0,4 %	0,9 %
Kurzlaut (KL)	5,1 %	5,0 %
Dreifache Segmentierung (3S)	0,6 %	0,9 %
Mehrfachbögen (MB)	0,1 %	0,3 %
Phonatorische Rauschbanden (Rausch)	20,9 %	19,9 %

### 2.2.1 Gruppe der Neugeborenen mit unauffälligem NHS (Gruppe NHS\_TU)

Die Gruppe der Neugeborenen mit unauffälligem Neugeborenenhörscreening setzt sich aus 37 konsekutiv rekrutierten Neugeborenen (23 Mädchen, 14 Jungen) zusammen, die zwischen der 37. und 41. Schwangerschaftswoche geboren wurden und die Auswahlkriterien (Kapitel 2.2) erfüllten (Tabelle 3).

**Tabelle 3 Probanden der Gruppe NHS\_TU**

Probandencode	Geschlecht	SSW	Gewicht [g]	Länge [cm]	KU [cm]	Geburtsmodus
AA	männlich	37+4	2450	48	33	spontan
AB	männlich	41+2	3840	53	38	spontan
AC	weiblich	38+1	2530	47	33	spontan
AE	weiblich	40+2	3170	50	33,5	spontan
AF	weiblich	38+2	3350	49	35	primäre Sectio
AG	weiblich	39+1	3260	54,5	34	spontan
AH	weiblich	39+3	3300	50	34,5	primäre Sectio
AI	weiblich	40+5	3600	49	35	spontan
AJ	männlich	40+5	4080	56	36,5	spontan
AK	männlich	39+0	3715	54	35	spontan
AN	weiblich	37+1	3360	51	35,5	spontan
AO	weiblich	39+3	3140	48	34,5	spontan
AP	männlich	41+4	3020	52	35,5	sekundäre Sectio
AQ	weiblich	40+1	3690	51	36	sekundäre Sectio
AR	männlich	40+3	3660	52	37	spontan
AS	männlich	38+1	3235	48	36	spontan
AT	weiblich	38+3	3140	48	35	spontan
AU	männlich	39+2	3320	51	35	spontan
AV	männlich	39+4	3405	51	34	spontan
AW	weiblich	39+1	2990	50	31,5	spontan
AX	weiblich	38+5	3940	49	35	primäre Sectio
AY	weiblich	41+3	3110	53	33,5	spontan
AZ	männlich	38+2	3670	50	36	spontan
BA	weiblich	41+3	3140	47	33	spontan
BB	weiblich	39+0	3735	52	35	primäre Sectio
BC	weiblich	37+3	3015	48	35	sekundäre Sectio
BD	männlich	40+2	3770	52	36	spontan
BE	weiblich	40+0	3970	53	37	spontan
BF	weiblich	40+3	2880	48	33	spontan
BG	weiblich	39+6	3440	51	34	spontan
BH	weiblich	40+0	3590	51	35	spontan
BI	weiblich	41+0	3750	54	34,5	spontan
BJ	männlich	40+6	3520	51	38	spontan
BK	männlich	38+2	3180	50	37	spontan
BM	männlich	39+0	3550	48	38	primäre Sectio

Probandencode	Geschlecht	SSW	Gewicht [g]	Länge [cm]	KU [cm]	Geburtsmodus
BN	weiblich	39+5	3145	48	34	spontan
BO	weiblich	40+0	3280	49	35	spontan

### 2.2.2 Gruppe der Neugeborene mit auffälligem NHS (Gruppe NHS\_TA)

Die Gruppe der Neugeborenen mit auffälligem Neugeborenenhörscreening besteht, wie die Gruppe NHS\_TU, aus 37 Neugeborenen (15 Mädchen, 22 Jungen) (Tabelle 4). Alle Neugeborene mit NHS\_TA zeigten nachfolgend keine sensorineuralen Hörminderungen.

**Tabelle 4** Probanden der Gruppe NHS\_TA

Probandencode	Geschlecht	SSW	Gewicht [g]	Länge [cm]	KU [cm]	Geburtsmodus
AA	männlich	39+2	3695	51	35	spontan
AB	männlich	39+1	2740	47	34	primäre Sectio
AC	weiblich	40+0	3330	51	34	spontan
AD	männlich	38+0	3640	51	35	spontan
AF	männlich	38+5	3360	51	35	primäre Sectio
AG	weiblich	39+0	4020	51	39	primäre Sectio
AH	männlich	41+2	3460	49	36	spontan
AK	männlich	40+6	4000	52	35,5	spontan
AL	männlich	40+3	4200	53	37,2	spontan
AM	weiblich	39+1	2950	47	32	spontan
AN	männlich	41+4	3770	50	35	primäre Sectio
AO	männlich	41+0	4960	56	33	spontan
AP	männlich	38+0	3250	50	36	spontan
AQ	männlich	38+0	2520	45	33	sekundäre Sectio
AR	weiblich	40+2	3360	50	34	spontan
AS	weiblich	39+6	3180	49	34	spontan
AT	männlich	41+4	3510	52	35	spontan
AU	männlich	41+3	4100	55	33	sekundäre Sectio
AV	weiblich	39+1	2690	45	36	spontan

AW	weiblich	38+1	3170	50	33	spontan
AX	weiblich	40+6	3265	50	35	sekundäre Sectio
AY	männlich	41+0	4065	56	39	sekundäre Sectio
AZ	weiblich	41+0	3765	50	35,5	primäre Sectio
BA	weiblich	38+3	3360	48	35	primäre Sectio
BB	männlich	38+5	2870	50	33	spontan
BC	männlich	37+6	3220	48	34	spontan
BD	weiblich	41+5	3925	52	37,5	primäre Sectio
BE	weiblich	40+2	2960	49	34	spontan
BF	weiblich	39+0	3650	49	36	primäre Sectio
BG	männlich	40+0	3720	52	35,5	spontan
BH	weiblich	39+4	2870	49	36	spontan
BI	männlich	39+6	3930	53	35,5	spontan
BJ	männlich	40+3	3440	49	34,5	spontan
BL	männlich	38+0	3260	49	34	spontan
BM	männlich	36+6	2390	46	32,5	spontan
BN	männlich	40+1	3640	49	34,5	sekundäre Sectio
BO	weiblich	39+1	3260	53	34	spontan

## 2.3 Datenerhebung

Die digitalen Lutaufnahmen wurden für beide Probandengruppen auf der Wochenstation der Frauenklinik der Julius-Maximilians-Universität in Würzburg erhoben. Die Aufnahmen erfolgten zwischen 24 und 72 Stunden nach der Geburt der Neugeborenen.

Der Erstkontakt zu den Eltern wurde auf der Wochenstation hergestellt. Vor Anfertigung der digitalen Aufnahmen wurden die Eltern von einem Arzt und der Autorin über Inhalt und Ablauf der Studie aufgeklärt. Bei Teilnahmebereitschaft wurde eine Einwilligungserklärung unterzeichnet, durch welche der Nutzung der erhobenen akustischen Daten zu wissenschaftlichen Zwecken zugestimmt wurde. Die Lutaufnahmen wurden größtenteils im Patientenzimmer der Mütter durchgeführt, da die Neugeborenen zusammen mit ihren Müttern in einem Zimmer untergebracht waren (Rooming-in). Um die Mutter-Kind-Beziehung in

dieser sensiblen Zeit möglichst gering zu beeinträchtigen wurde auf eine stark standardisierte vorgegebene Aufnahmesituation verzichtet. Dadurch erfolgte die Aufnahme individuell spezifisch in einer der folgenden Situationen: vor oder nach dem Stillen, beim Wickeln, im Bett/ auf dem Arm eines Elternteils oder vor/nach einer medizinischen Untersuchung durch die Krankenschwester/ den Krankenpfleger oder den Kinderarzt/ die Kinderärztin.

Alle Lautaufnahmen wurden in einer schmerzfreien Situation mit einem tragbaren DAT-Recorder DR-100 der Firma Tascam unter Verwendung eines externen Earthworks TC-20 Kondensatormikrophons, mit einer Abtastfrequenz von 44 kHz und einer Dynamikbreite von 16 Bit aufgenommen. Die Aufnahmen wurden auf einer SD-Speicherkarte als Audiodateien im wav-Format gespeichert.

Der Abstand zwischen Mikrofon und Mund des Neugeborenen betrug etwa 15 cm. Um Übersteuerungen bei lautem Schreien zu vermeiden, wurde der Aufnahmepegel individuell manuell eingestellt. Die Dauer der einzelnen Aufnahme betrug ca. 1-2 Minuten, das entspricht einer Anzahl von ca. 40 bis 50 Einzellauten.

Die aufgezeichneten Laute unterschieden sich in ihrer Intensität, sodass es sehr laute, heftige Schreie (cry; C-Laute) wie auch in ihrer Intensität abgeschwächte Weinlaute (Übergangslaute zu non-cry; U-Laute) innerhalb der Aufnahmen gab. Eine Differenzierung dieser Intensitätsunterschiede wurde in der hier durchgeführten Untersuchung nicht vorgenommen, wird aber in der Arbeit von V. Sallinger, der zweiten Doktorandin, spezifisch thematisiert (Dissertationsschrift in Vorbereitung). In Tabelle 5 ist aber der prozentuale Anteil der beiden Vokalisationstypen angegeben und man erkennt eine vergleichbare Häufigkeit beider Typen in den Untersuchungsgruppen.

**Tabelle 5**      **Kategorisierung der Vokalisationen in intensive Weinlaute („cry“, C-Laute) und in ihrer Intensität abgeschwächte Weinlaute (Übergangslaute, U-Laute) im Gruppenvergleich**

Probanden	C-Laute	U-Laute
Gruppe NHS_TA	60,3%	39,7%
Gruppe NHS_TU	59,3%	40,7%

## 2.4 Datenanalyse

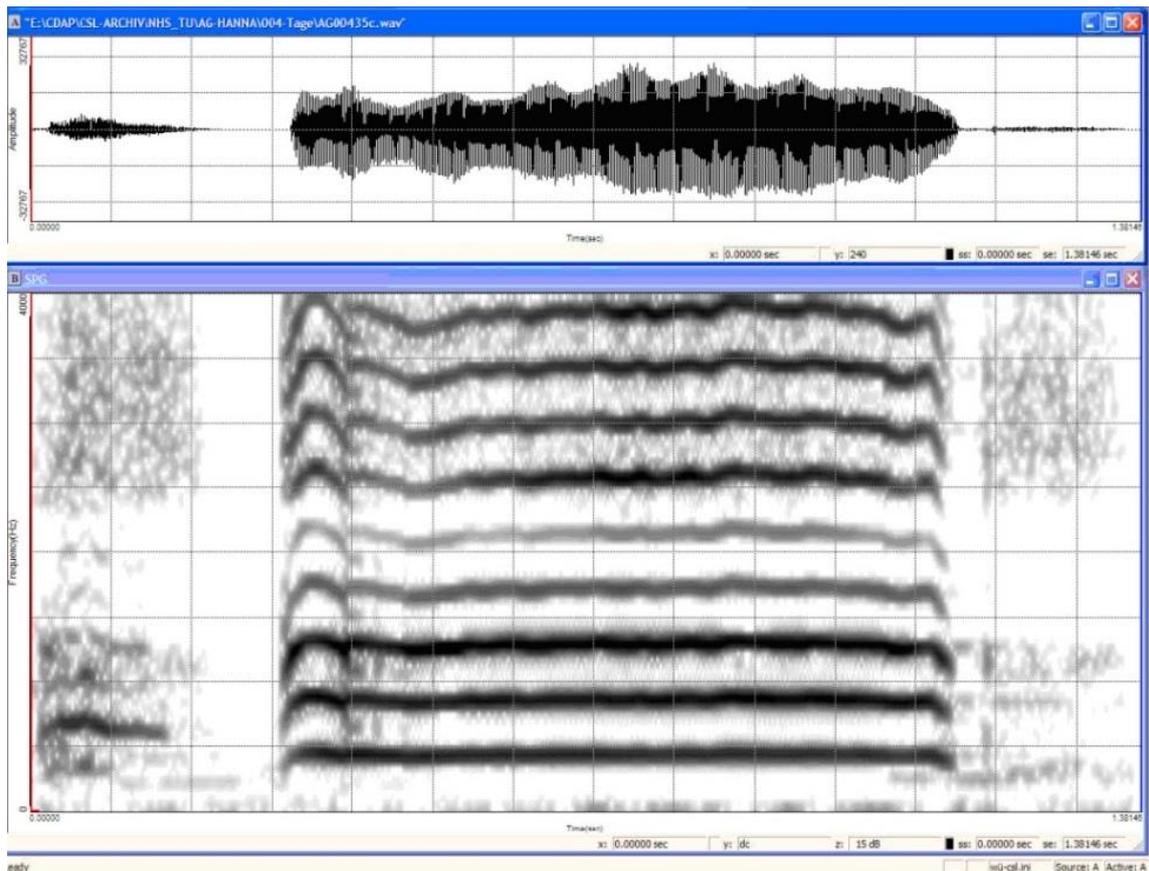
Die Basis für die Datenanalyse beinhaltet ein im Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen verfügbares komplexes Auswertungssystem bestehend aus dem Computer-Speech-Lab vom Typ CSL 4400 der Firma Kay/PENTAX (USA), dem PRAAT-System (Open-Source-Software, (Boersma & Weenink, 2014)) und dem CDAP Programmpaket (Cry-Data-Analysis-Program, ©pw-project, Germany). Alle digitalen Aufnahmen waren für die Auswertung pseudonymisiert vorhanden und wurden vor der finalen Archivierung im ZVES aus datenschutzrechtlichen Gründen anonymisiert. Die Erstaufnahmen im Rahmen der Studie umfassten Datensätze von insgesamt 82 Probanden (Kapitel 2.2). Ein Datensatz umfasst dabei alle aufgenommenen Einzelschreie (=Vokalisation während einer Expirationsphase) eines Probanden. Die Bearbeitung der Datensätze ist nachfolgend beschrieben.

### 2.4.1 Dateneingabe und Spektralanalyse

Der erste Arbeitsschritt beinhaltete das Einlesen der Lautaufnahmen mit Hilfe der Sprachanalysesoftware Computerized Speech Lab (CSL). Hierbei wurden Einzelsignale (Einzelschreie, also egressive Phonationen) bzw. Langserien (Schreiserien) anhand der Ergebnisse der Zeitbereichsanalysen im Audiofile ausgewählt und als neue, kürzere Audiofiles von der Autorin standardisiert abgespeichert. Dies liefert die Grundvoraussetzung für alle nachfolgenden

signalanalytischen Auswertungen. Für jede Lautaufnahme wurde dabei ein Digitalisierungsprotokoll angelegt, indem Datum, Uhrzeit und besondere Hinweise zur Aufnahme vermerkt wurden. Mit Hilfe des CSL-Systems wird am ZVES für jedes Einzelsignal routinemäßig ein instationäres Schmalband-Frequenzspektrogramm erstellt. Die Spektren wurden grafisch gespeichert mit den Frequenzbändern bis 4 kHz und sind so jederzeit leicht abrufbar.

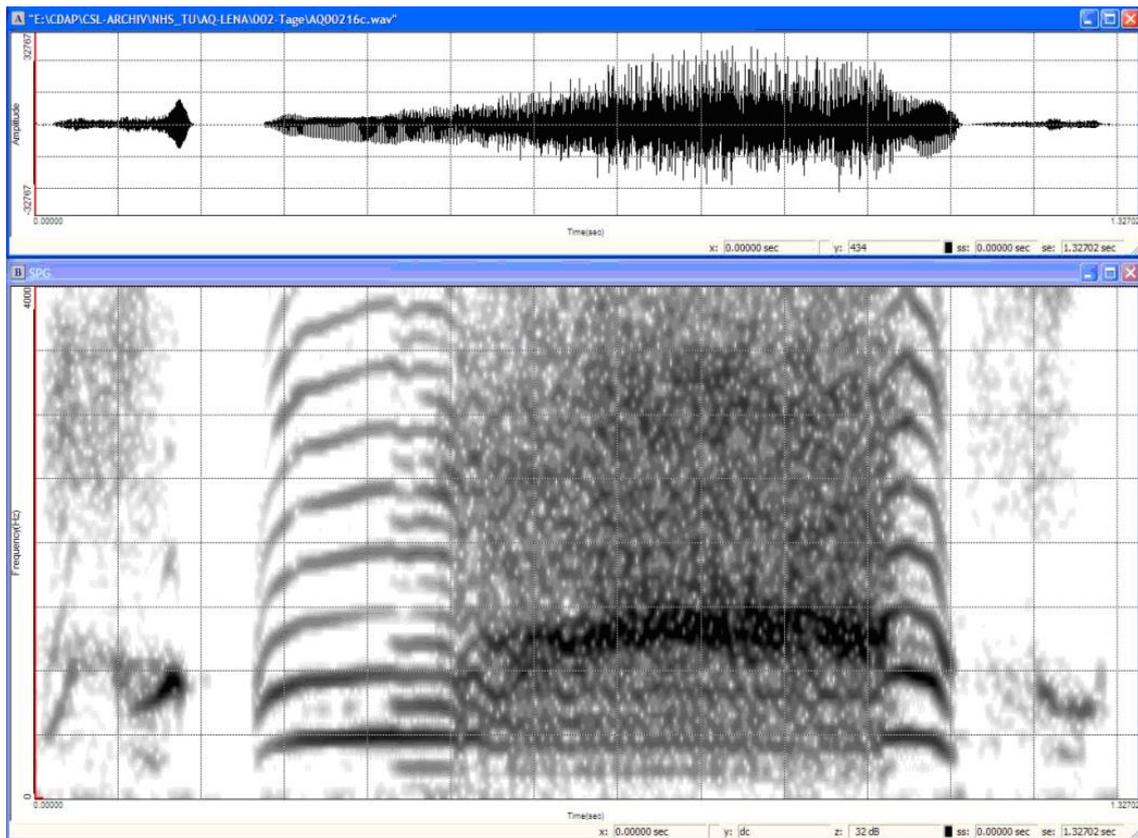
In Abbildung 2 wird ein Beispiel für ein typisches Schmalbandspektrogramm gezeigt. Im oberen Fenster ist das Signal im Zeitbereich (Amplitude/Zeit) dargestellt. Das untere Fenster zeigt das zugehörige Schmalbandspektrogramm (Frequenz/Zeit). Hier sind die Frequenzkomponenten im Bereich von 0 - 4 kHz linear dargestellt und ihre Veränderungen über die Dauer des Einzelschreies sind sichtbar. Das unterste Frequenzband repräsentiert den Zeitverlauf der Grundfrequenz ( $F_0$ ), also die Melodiekontur, die darüber liegenden Frequenzbanden bilden die Harmonischen ab, die ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind. Die Energiedichte im Spektrogramm wird durch die Unterschiede der Grauskalierung der verschiedenen Frequenzkomponenten angezeigt. Je höher die Energiedichte, desto dunkler erscheint die Einfärbung. Alle in der Arbeit abgebildeten Spektren sind so dargestellt.



**Abbildung 2** Zeitbereichsdarstellung und Schmalband (45 Hz) -Spektrogramm eines Einzelschreis (expiratorische Phonation) mit vorausgehendem und nachfolgendem Inspirationsgeräusch

Im oberen Fenster ist die Zeitbereichsdarstellung abgebildet (Amplitude (16 Bit) vs. Zeit (variabel)). Im unteren Fenster ist das Spektrogramm der im Laut enthaltenen Frequenzkomponenten (linear bis 4 kHz) dargestellt. Auf der x-Achse ist die Zeit [s] dargestellt (mit KAY-CSL45000).

Typische spektrale Lauteigenschaften im Neugeborenenalter sind phonatorische Rauschbanden. Diese können sowohl separat als auch zusammen mit Subharmonischen auftreten. Frequenzbänder zwischen den Harmonischen nennt man Subharmonische (Abbildung 3). Solche Charakteristika des Weinens junger Säuglinge können durch irreguläre Stimmlippenbewegungen entstehen (Titze, 1994).



**Abbildung 3** Zeitbereichsdarstellung und Schmalband (45 Hz) -Spektrogramm eines Einzelschreis (expiratorische Phonation) mit vorausgehendem und nachfolgendem Inspirationsgeräusch. Der Laut enthält eine Subharmonische gefolgt von einer stark ausgeprägten phonatorischen Rauschbande.

Im oberen Fenster ist die Zeitbereichsdarstellung abgebildet (Amplitude (16 Bit) vs. Zeit (variabel)). Im unteren Fenster ist das Spektrogramm der im Laut enthaltenen Frequenzkomponenten (linear bis 4 kHz) dargestellt. Auf der x-Achse ist die Zeit [s] dargestellt (mit KAY-CSL45000).

Vor und nach dem expiratorischen Laut sind auch in Abbildung 3 wieder inspiratorische Geräusche erkennbar. Die Schmalbandspektrogramme wurden von der Autorin dazu verwendet, um aus allen aufgezeichneten Vokalisationen (spontanes Weinen der Neugeborenen) jene auszuwählen, die für die Melodieanalyse in der vorliegenden Arbeit geeignet erschienen. Dabei wurden Vokalisationen mit phonatorischem Rauschen und/oder ausgeprägten Subharmonischen sowie mit stark irregulärer Melodiekontur und abrupten Frequenzsprüngen („shift“) aussortiert. Für die Anwendung des Modells war es notwendig, dass die Vokalisationen gut definierte, bogenartige Melodiekonturen

aufwiesen. Für die Zielstellung vorliegender Arbeit, die Formeigenschaften der Melodiekontur zu untersuchen, war diese Vorselektion notwendig, da die Anwendung des verwendeten mathematischen Modells (Kapitel 2.4.3) ungestörte, bogenartige Melodiekonturen erforderte (Wermke & Mende, 2011).

#### **2.4.2 Analyse und Klassifikation der Melodiekontur**

Im Anschluss an die Spektralanalyse, die für die Selektion geeigneter Vokalisationen für die Melodiemodellierung notwendig war, wurden für die ausgewählten Laute unter Verwendung eines PRAAT-Skriptes der Grundfrequenzverlauf (Melodie) und der Intensitätsverlauf berechnet (cf. Prochnow, 2013). Die im ZVES-Labor implementierte Software CDAP (Cry-Data-Analysis- Program / pw-project) ermöglicht eine flexible grafische Darstellung und weitere Analyse, der mit dem PRAAT-System errechneten Grundfrequenz- und Intensitätsverläufe. Unter Verwendung einer einfachen Tiefpassfilterung (ca. 35 Hz) wurden die Grundfrequenzverläufe für die spätere Modellierung geglättet.

Mit Hilfe des QSS/EFA-Moduls des CDAP-Programms wurden alle Melodien entsprechend ihrer strukturellen Eigenschaften kategorisiert. Diese audiovisuelle, semi-quantitative Analyse wurde von der Autorin vorliegender Arbeit nach intensiver Einarbeitung selbstständig durchgeführt. Dabei wurden gemäß des Kategorisierungssystems der *Vorsprachlichen Diagnostik* am ZVES folgende Kategorien unterschieden:

**Einfachbogen (1B):** definiert eine auf- und absteigende Melodie, die länger als 300 ms ist. Ein Bogen wurde hier definiert mit einem Hub (FM-Amplitude) von drei Halbtönen. Alle Laute, die kürzer als 300 ms waren, wurden als Kurzlaute markiert. Kurzlaute wurden in der vorliegenden Arbeit nicht für die EF-Modellierung verwendet.

**Doppelbögen (2B), Dreifachbögen (3B), Mehrfachbögen (MB):** Als Doppelbögen werden Melodiekonturen bezeichnet, die aus zwei auf- und absteigenden Bögen bestehen. Dreifachbögen bestehen dementsprechend aus drei Bögen und Mehrfachbögen aus mehr als drei Bögen.

Als weitere Strukturkategorien wurden sogenannte segmentierte Melodieformen erfasst, bei denen die Melodie einer Vokalisation durch einen oder wiederholte temporäre partielle und/oder vollständige Pausen unterbrochen ist, die durch Konstriktionen beim Stimmlippen- und/oder Taschenfaltenverschluss (Oszillationspause) entstehen (Robb et al., 2019).

**Einfache Segmentierung (1S):** Man spricht von einer einfachen Segmentierung, wenn zwei Melodieelemente durch eine laryngeal bedingte Segmentierungspause getrennt sind, ohne dass in der Pause eine Inspiration erfolgt.

**Zweifache Segmentierung (2S), Dreifache Segmentierung (3S), Mehrfachsegmentierung (MS):** Hierzu gehören alle Laute, die zwei (2S) bzw. drei (3S) oder mehr als drei Segmentierungspausen (MS) enthalten. Mindestens ein Element musste hier die Kriterien für einen Einfach-, Doppel- oder Mehrfachbogen erfüllen.

**Komplexe Segmentierung (KS):** Im Vergleich zu einer einfachen Segmentierung weist eines der beiden Melodieelemente vor oder nach der Pause eine doppel-, drei- oder mehrfachböigige Struktur auf.

**Unklare Struktur (?):** Hierzu zählen alle Einzellaute, die sehr instabile und irreguläre Frequenzmodulationen aufweisen und deshalb nicht eindeutig einem der vorausgehend definierten Strukturtypen zugeordnet werden konnten.

Sofern die Melodie eine An- und/oder Endwelle in ihrer Struktur enthielt, wurde diese gegebenenfalls gesondert mittels Cursors markiert. Diese Ein- und Ausschwingvorgänge der Melodie sind durch eine maximale Dauer von 150ms

gekennzeichnet. Diese wurden bei der Modellierung in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt; das EF-Modell wurde nur auf die Hauptbögen angewendet.

Gut identifizierbare, ungestörte Melodiekonturen sind die Basis für die Anwendung des mathematischen EF-Modells zur objektiven Charakterisierung der Melodiebogenform, welche mit Hilfe des CDAP Modellierungsmoduls ermittelt wurde. Für alle Melodiekonturen, die mehr als einen Bogen enthielten, wurde die Modellierung jeweils für jeden einzelnen Bogen durchgeführt. Pro Bogen war deshalb vorangehend eine Strukturkategorisierung nötig. Die Autorin hat die Anwendung des EF-Modells im Vorfeld am ZVES erlernt und für die hier berichteten Melodien selbstständig durchgeführt.

#### **2.4.3 Anwendung eines mathematischen Modells zur quantitativen Analyse des Asymmetriegrades der Melodiekontur**

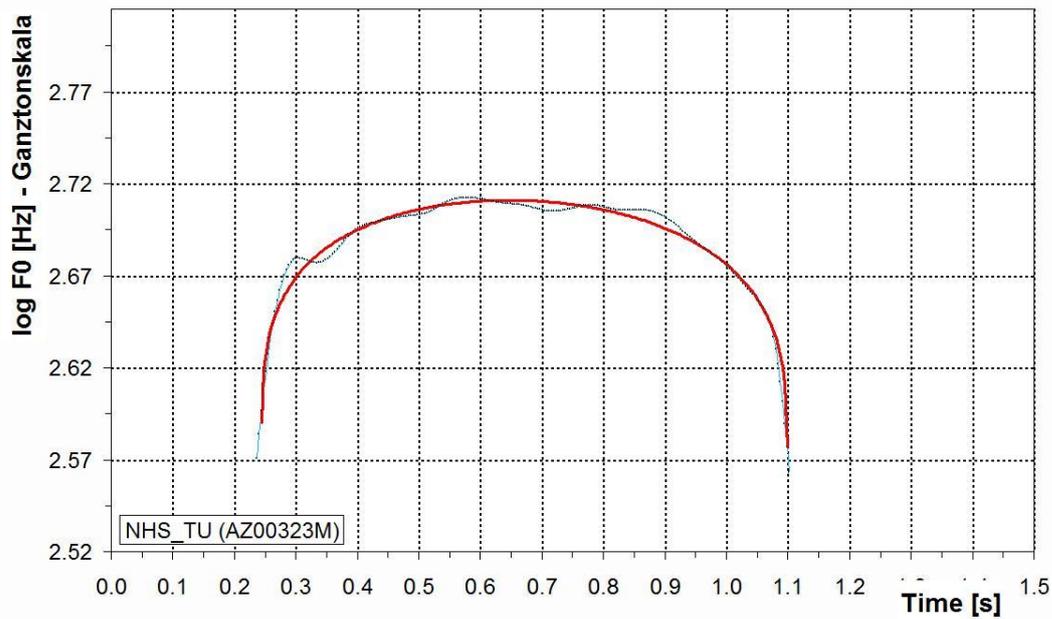
Das EF-Modell wurde von Werner Mende (Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften; mende@bbaw.de) entwickelt, um u. a. bogenartige Substrukturen der Melodie in Babylauten quantitativ zu analysieren. Es wurde bisher bereits zur Untersuchung von Melodiekonturen im Längsschnitt und über verschiedenen Vokalisationstypen (Weinen, Gurren, Babbeln) bei Säuglingen über die ersten 48 Lebenswochen angewendet (Wermke & Mende, 2011). Die Anwendung des Modells hat sich in diesen Analysen als geeignet zur objektiven Formklassifikation von Neugeborenenlauten erwiesen (ibid. S. 639).

Die resultierenden Modellkurven enthalten nur ein Maximum und nur eine an- und absteigende Flanke mit höchstens einem Wendepunkt auf jeder Flanke. Dieser Modellmelodiebogen stellt zwar eine Vereinfachung des Melodieverlaufs dar, enthält aber alle hier wichtigen Informationen der Originalmelodie. Der Modellautor W. Mende schreibt dazu:

*“Modeling removes irrelevant local variations, reduces intra- und inter-individual variability and describes each single melody arc by a few individually determined model parameters, which help preserve essential individual characteristics of a melody arc, including the onset and fading behavior on both sides of the arc. Our model describes melody arcs by six parameters: Four are necessary for linear scaling in time and frequency coordinates, and the other two for characterizing the shape parameters: one defines the degree of asymmetry, the other the degree of convexity/concavity. Such a model allows for normalization, parametric averaging and quantitative comparisons of melody arcs which are otherwise difficult to compare.” (ibid. S. 634)*

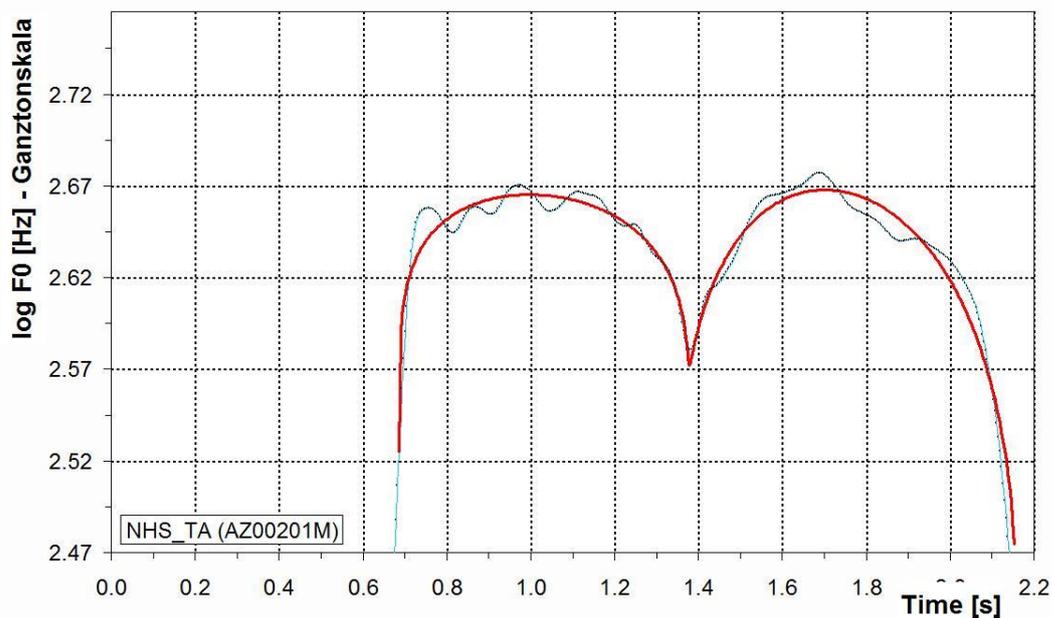
Wie der Autor erklärt, beschreibt das Modell einen Melodiebogen mit einer Anzahl von sechs Parametern: vier sind lineare Skalierungsparameter und zwei sind Formparameter ( $\alpha$  und  $\beta$ ). Hier wurde nur der Formparameter  $\alpha$  ausgewertet, da das Modell zur Erfassung der zeitlich normierten Position des Melodiemaximums verwendet wurde. In der Arbeit wurde nur der Asymmetriegrad des Melodiebogens, also die normierte Lage des Maximums (Parameter  $\alpha$ ), ausgewertet. Der Asymmetriegrad erlaubt eine Aussage zur Entkopplung der Melodieerzeugung vom physiologischen Ausatemstrom, ein Phänomen, das bei eingeschränkter auditorischer Rückkopplung möglicherweise diagnostische Relevanz haben könnte (Wermke, 2015). Zusätzlich wurde die Frequenzmodulations-Amplitude (Hub) aus den Modelldaten berechnet und ausgewertet. Das Hubverhältnis wurde berechnet, indem der Quotient aus dem Modellmaximum und dem Modellminimum gebildet wurde.

In Abbildung 4 und Abbildung 5 sind zwei typische Beispiele für die Modellierung dargestellt. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Modellierung bei einer einfachen, einböigen Melodie (1B), Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für einen Doppelbogen (2B).



**Abbildung 4 Melodiediagramm: Darstellung des Grundfrequenzverlaufs (Melodie) einer Vokalisation bestehend aus einem Einzelbogen (blaue Linie) sowie des zugehörigen berechneten Modellbogens (rote Linie)**

Die Frequenzachse ist logarithmisch mit einem Grid, das musikalische Ganztonschritte markiert.



**Abbildung 5 Melodiediagramm: Darstellung des Grundfrequenzverlaufs (Melodie) einer Vokalisation bestehend aus einem Doppelbogen (blaue Linie) sowie der zugehörigen, separat berechneten Modellbögen (rote Linie)**

Die Frequenzachse ist logarithmisch mit einem Grid, das musikalische Ganztonschritte markiert.

Für die Modellierung hat die Autorin bei jedem Neugeborenenlaut mit gut identifizierbarer Melodie (n= 875; Kapitel 3.3) unter Verwendung des CDAP-EFA-Moduls mittels interaktiver Cursorsetzung den jeweiligen Melodiebogenanfang (tA) und das jeweilige Melodiebogeneende (tE) markiert. Bei Melodien mit zwei- oder mehrböigen Konturen wurde jeder Melodiebogen separat markiert. Auf diesen Cursorbereich wurde das Modell angewendet.

Bei der Anwendung des EF-Modells auf die einzelnen Originalmelodien konnte die Autorin vorliegender Arbeit alle Ergebnisgrafiken im CDAP-System abspeichern. Sie sind damit nachprüfbar archiviert und jeder Zeit im Albenmodul-CDAP abrufbar. Für jede Vokalisation gab es demnach ein Grundfrequenzzeitdiagramm, in dem neben der Originalmelodiekontur, die durch den Fit ermittelte Modellkurve dargestellt waren (vgl. Abbildung 4). Anhand dieser Grafiken hat die Autorin unmittelbar nach jeder Modellierung sofort überprüft, ob die durch das Modell ermittelte Fitkurve adäquat für die globale Form der Originalmelodieform bzw. ihrer Einzelbögen war. Nur in diesem Fall wurden die Modellparameter für die spätere Auswertung für alle bzw. auch nur einzelne Bögen gespeichert. Damit sind alle in der vorliegenden Arbeit ausgewerteten Modellparameter repräsentativ für die jeweilige Form der Melodiekontur einzelner Bögen. Die Anzahl der nicht ausreichend adäquaten Modellfits einzelner Bögen wurde erfasst und im Ergebnisteil berichtet.

#### **2.4.4 Analyse des Komplexitätsgrades der Melodiekontur**

Melodische Strukturkategorien können nach Wermke (2002) in einfache und komplexe Melodiekonturen eingeteilt werden. Einfache Melodiekonturen bestehen aus nur einem Melodiebogen, während komplexe Melodiekonturen doppel- und mehrböige Formen aufweisen (Kapitel 2.4.2). Auf der Grundlage dieser Einteilung kann der Grad der Melodiekomplexität mittels einer einfachen Maßzahl berechnet werden (Wermke, Leising & Stellzig-Eisenhauer, 2007). Der ermittelte Melodiekomplexitätsindex (MCI) ist als der Quotient aus der Anzahl von

komplexen Melodiekonturen und der Summe der Anzahl von einfachen und komplexen Melodiekonturen definiert und variiert damit zwischen 0 und 1. Je größer der MCI ist, desto höher ist der Anteil an komplexen Melodiekonturen. In der vorliegenden Arbeit wurde für jedes Neugeborene der MCI berechnet. Anschließend wurde für beide Gruppen ein Gruppen-MCI ermittelt, indem das arithmetische Mittel aller MCI der Neugeborenen einer Gruppe gebildet wurde.

#### **2.4.5 Analyse der Vokalisationslänge und mittleren Grundfrequenz**

Für die Ermittlung der mittleren Grundfrequenz ( $F_0$ ), in der das jeweilige Neugeborene vokalisiert (faktisch analog zur mittleren Sprechstimmlage des Erwachsenen) wurden mittels CDAP die geometrisch gemittelten Grundfrequenzwerte pro Vokalisation über alle Vokalisationen des jeweiligen Neugeborenen arithmetisch gemittelt.

Als zeitliche Messgröße wurde die Länge für jede Vokalisation (Weinlaut) mittels CDAP berechnet und anschließend im Gruppenvergleich analysiert.

#### **2.4.6 Fragebogen zur familiären Disposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung**

Geeignete Frühindikatoren für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES) zu finden, ist Gegenstand der Forschung in vielen Ländern – in Deutschland war es u. a. Ziel der DFG-geförderten Langzeitstudie „Deutsche Sprachentwicklungsstudie“ (GLaD-Studie; Webseite nicht länger verfügbar, für Details vgl. Dissertation Lind, 2007). In der GLaD-Studie wurde ein Fragebogen von den Linguisten des Teilprojekts „Sprachproduktion und Sprachverständnis“ an der Charité – Universitätsmedizin in Berlin, Klinik für Audiologie und Phoniatrie, geleitet von Prof. Dr. M. Gross, erarbeitet, der auch hier, leicht modifiziert, verwendet wurde. Die Kriterien, wie z. B. ein verspäteter

Sprachbeginn, grammatikalische Fehler bei der Satzbildung oder eine Lese- und Rechtschreibschwäche in den ersten Schuljahren, wurden mit dem Fragebogen erfasst.

Man nimmt an, dass diese Entwicklungsstörung durch genetische Faktoren hervorgerufen wird, ohne dass die betroffenen Kinder eine medizinisch-psychologische Primärauffälligkeit haben (Chen et al., 2017; Simpson et al., 2014).

Mit Hilfe dieses Fragebogens wurde hier vor bzw. nach der Lautaufnahme erhoben, ob eine familiäre Disposition für eine SSES in der Kernfamilie (Geschwister, Eltern) oder bei entfernteren weiteren Verwandten (Großeltern, Tante oder Onkel) eines Probanden vorlag. Probanden mit einer positiven Familienanamnese bezüglich einer spezifischen Sprachentwicklungsstörung wurden der FH<sup>+</sup>-Gruppe (family history, positiv) zugeordnet, diejenigen mit unauffälliger Familienanamnese der FH<sup>-</sup>-Gruppe. Der Fragebogen wurde im Rahmen der Deutschen Sprachentwicklungsstudie (GLaD-Studie) nach der Klassifikation von P. Schulz und S. Vetter erstellt und hier, nur leicht modifiziert, ebenfalls verwendet (Penner, Krügel, Gross & Hesse, 2006; Weissenborn, 2001).

## **2.5 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe von Microsoft Excel sowie unter Anwendung der Statistik-Software SPSS (Version 23 & 24) der Firma IBM (Somers, NY/USA). Die Auswertung erfolgte auf zwei verschiedenen Datenebenen. Zum einen auf der kindlevelbasierten Datenebene, in der für jedes einzelne Neugeborene ein arithmetischer Mittelwert für die Variablen der Messungen der einzelnen Aufnahmen gebildet wurde. Zum anderen auf der signallevelbasierten Datenebene, in der unterschiedliche Messgrößen der Einzelsignale betrachtet wurden.

Es erfolgten deskriptive Datenanalysen, um die Verteilungseigenschaften der zu untersuchenden Messgröße zu beschreiben. Dazu wurden statistische Größen, wie z.B. der Mittelwert, die Standardabweichung, das Minimum, das Maximum, der Median und der Interquartilbereich berechnet. Zur Veranschaulichung der Häufigkeitsverteilungen der verschiedenen Messgrößen wurden Histogramme und Boxplots grafisch dargestellt. Ein Boxplot wird in der vorliegenden Arbeit wie folgt interpretiert: Die obere Boxbegrenzung stellt die 75. Perzentile, die untere die 25. Perzentile dar. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilbereich. In diesem Bereich liegen die mittleren 50% der Daten. Die mittlere Linie stellt den Median dar. Außerhalb der Box liegende Werte werden durch die Antennen dargestellt, welche maximal 1,5-fach so lang wie der Interquartilbereich sind. Sind keine Ausreißer vorhanden, markiert das Ende der Antennen Minimum und Maximum. Ausreißer sind durch einen Kreis veranschaulicht, die mehr als 1,5 und 3 Boxlängen vom Interquartilbereich entfernt liegen. Extreme Ausreißer, die mehr als das 3-fache des Interquartilsabstands von der unteren oder oberen Begrenzung der Box entfernt liegen, werden als Sternchen gezeichnet.

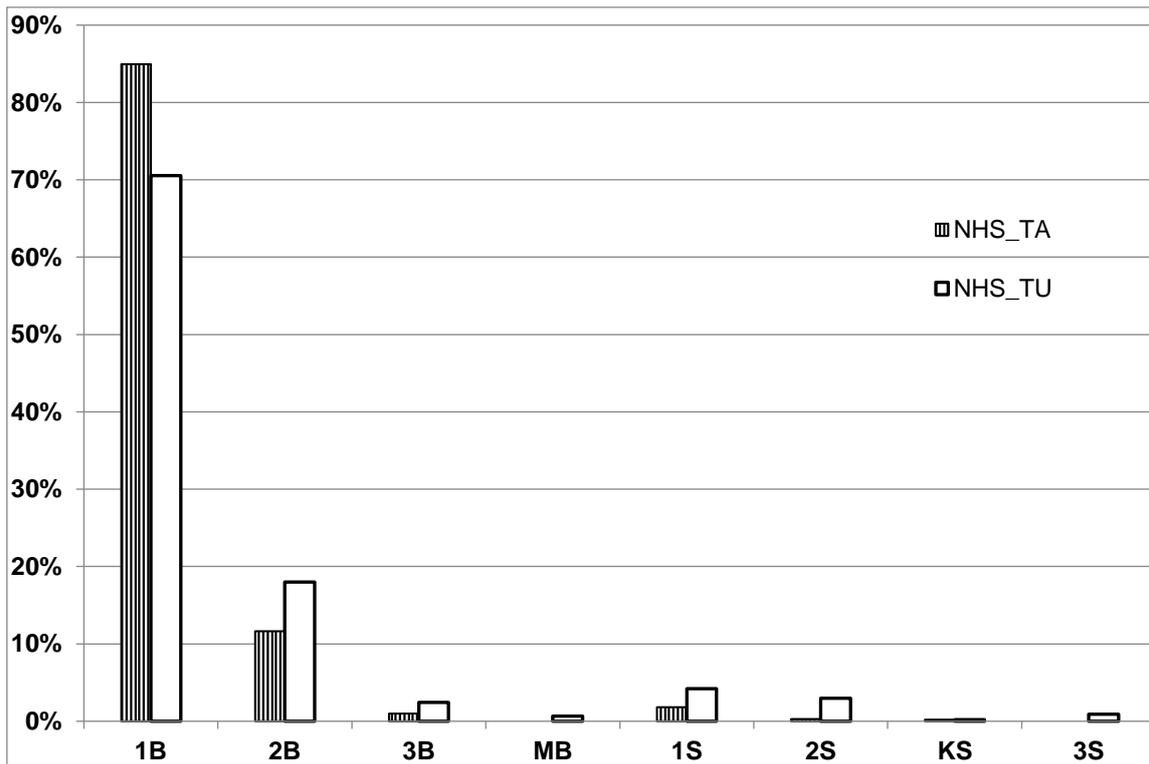
Alle verwendeten Messgrößen wurden in der weiteren statistischen Auswertung mit dem Shapiro-Wilk-Test und dem Kolmogorov-Smirnov-Test hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft. Bei hinreichender Normalverteilung wurde ein T-Test (unabhängige Stichproben), bei fehlender Normalverteilung ein nichtparametrisches Testverfahren der ermittelten Unterschiede angewendet (Mann-Whitney-U-Test). Die Auswertung der entsprechenden Ergebnisse erfolgt auf einem Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$ .

### **3 Ergebnisse**

Die Zielstellung der vorliegenden Arbeit war es zu untersuchen, ob es signifikante Formunterschiede der Melodiekontur der spontanen vokalen Lautproduktion von Neugeborenen in Abhängigkeit vom NHS-Befund gibt (Kapitel 1). Dabei sollten sowohl Vokalisationen mit einfacher Melodiekontur (1B), als auch Vokalisationen mit komplexer Melodiekontur, also mehrböigige Melodiekonturen analysiert werden. In Kapitel 3.1 werden zunächst die Ergebnisse der Auswertung der relativen Auftrittshäufigkeit einfacher und komplexer Melodiekonturen berichtet. Anschließend werden die Ergebnisse der Analyse der Originalmelodielängen aller mathematisch modellierten (zeitnormierten) Vokalisationen berichtet (Kapitel 3.2). In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Konturanalysen mit Hilfe des EF-Modells beschrieben (Kapitel 3.3).

#### **3.1 Ergebnis der Melodiestrukturanalyse**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit war es für die Fragestellung notwendig, in einem ersten Auswertungsschritt die Strukturkategorie der einzelnen Melodien zu bestimmen (Kapitel 2.4.2). In Abbildung 6 ist ein Säulendiagramm dargestellt, das die relative Häufigkeit der einzelnen Strukturkategorien vergleicht (pro Kind und Gruppe gemittelt). Die zugehörige deskriptive Analyse wird in Tabelle 6 und Tabelle 7 berichtet.



**Abbildung 6 Säulendiagramm: Relative Häufigkeit der für die Modellierung ausgewählten Melodiestrukturkategorien im Gruppenvergleich**

Einfachbogen (1B), Doppelbögen (2B), Dreifachbögen (3B), Mehrfachbögen (MB), Einfache Segmentierung (1S), Zweifache Segmentierung (2S), Komplexe Segmentierung (KS), Dreifache Segmentierung (3S)

Es ist in Abbildung 6 dargestellt, dass die Neugeborenen mit unauffälligem NHS im Durchschnitt relativ mehr spontane Weinlaute der komplexen Strukturkategorien produzierten als die Neugeborenen mit auffälligem NHS. Demnach ist der Anteil an einfachböigen Strukturen (1B) in den Lauten der Neugeborenen mit auffälligem NHS höher. Er liegt hier im Mittel bei 85 % (Tabelle 7), während er bei den Neugeborenen mit unauffälligem NHS im arithmetischen Mittel nur 71 % (Tabelle 6) beträgt. Dies korrespondiert zu einem relativen Anteil von Schreien mit komplexer Melodiestruktur bei den Neugeborenen mit unauffälligem NHS von 29 %, bei den Neugeborenen mit auffälligem NHS von 15 %. Es gibt pro Gruppe jeweils ein Neugeborenes (Gruppe NHS\_TU Proband AF und Gruppe NHS\_TA Proband BD), das nur eine Mehrfachsegmentierung (MS) in ihrer Vokalisation zeigte. Diese wurden in Abbildung 6, Abbildung 7 und Abbildung 8 nicht berücksichtigt.

**Tabelle 6** Deskriptive Statistik der Häufigkeitsverteilung (%) der Melodiestrukturkategorien der Gruppe NHS\_TU

	1B	2B	3B	MB	1S	2S	KS	3S
Mittelwert	0,705	0,180	0,024	0,007	0,042	0,030	0,002	0,009
SD	0,229	0,191	0,070	0,041	0,081	0,090	0,012	0,040
Minimum	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Maximum	1,000	0,667	0,286	0,250	0,300	0,500	0,071	0,200

**Tabelle 7** Deskriptive Statistik der Häufigkeitsverteilung (%) der Melodiestrukturkategorien der Gruppe NHS\_TA

	1B	2B	3B	MB	1S	2S	KS	3S
Mittelwert	0,850	0,116	0,010	0,000	0,018	0,003	0,002	0,000
SD	0,148	0,139	0,043	0,000	0,047	0,016	0,014	0,000
Minimum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Maximum	1,000	0,461	0,250	0,000	0,200	0,100	0,083	0,000

Einfachbögen (1B), Doppelbögen (2B), Dreifachbögen (3B), Mehrfachbögen (MB), Einfache Segmentierung (1S), Zweifache Segmentierung (2S), Komplexe Segmentierung (KS), Dreifache Segmentierung (3S)

Um den Unterschied komplexer Melodiekonturen pro Gruppe durch eine einfache Maßzahl auszudrücken, wurde für jedes Neugeborene der Melodiekomplexitätsindex (MCI) nach Wermke et al. (2007) berechnet (Kapitel 2.4.4). Der Median der Gruppe NHS\_TA für den MCI betrug 0,0769, das heißt komplexe Melodiekonturen kamen mit 7,69 % im Mittel vor. Der entsprechende Wert für die Gruppe NHS\_TU ergab einen Medianwert von 16,2 %. Es gab allerdings eine hohe interindividuelle Variabilität und somit keinen statistisch signifikanten Gruppenunterschied bezüglich des Komplexitätsgrades der Melodie (Mann-Whitney-U-Test  $p = 0,074$ ).

## 3.2 Analyse der Originalmelodielänge

In der vorliegenden Arbeit wurden die Formen der Melodiekonturen unter Verwendung des EF-Modells ausgewertet und dafür die Melodielänge normiert. Um eine Aussage bezüglich der Originalmelodielänge im Gruppenvergleich treffen zu können, wird in diesem Kapitel das Ergebnis der Analyse der Melodielänge vor Anwendung der EF-Modellierung berichtet.

### 3.2.1 Analyse auf Signallevel

In Abbildung 7 werden die Verteilungseigenschaften der gemessenen Melodielängen der 685 einfachen Originalmelodien (einböigige Melodiekonturen) im Gruppenvergleich dargestellt. In der Gruppe NHS\_TU waren es 331 einböigige Melodiekonturen, in der Gruppe NHS\_TA waren es 354 einböigige Melodiekonturen.

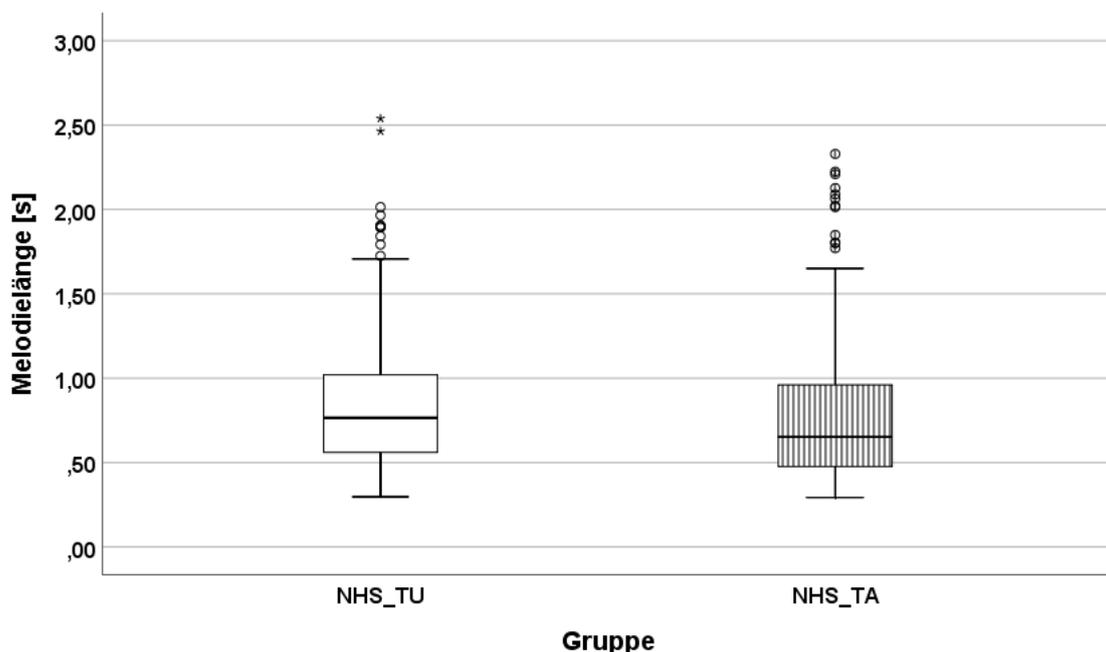


Abbildung 7 Boxplotdiagramm: Melodielänge der einböigigen Melodiekonturen (1B) im Gruppenvergleich (Signallevel)

In Tabelle 8 und Tabelle 9 sind die zugehörigen deskriptiven Statistiken berichtet.

**Tabelle 8** Deskriptive Statistik der Melodielängen der einbögigen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TU (331 Vokalisationen)

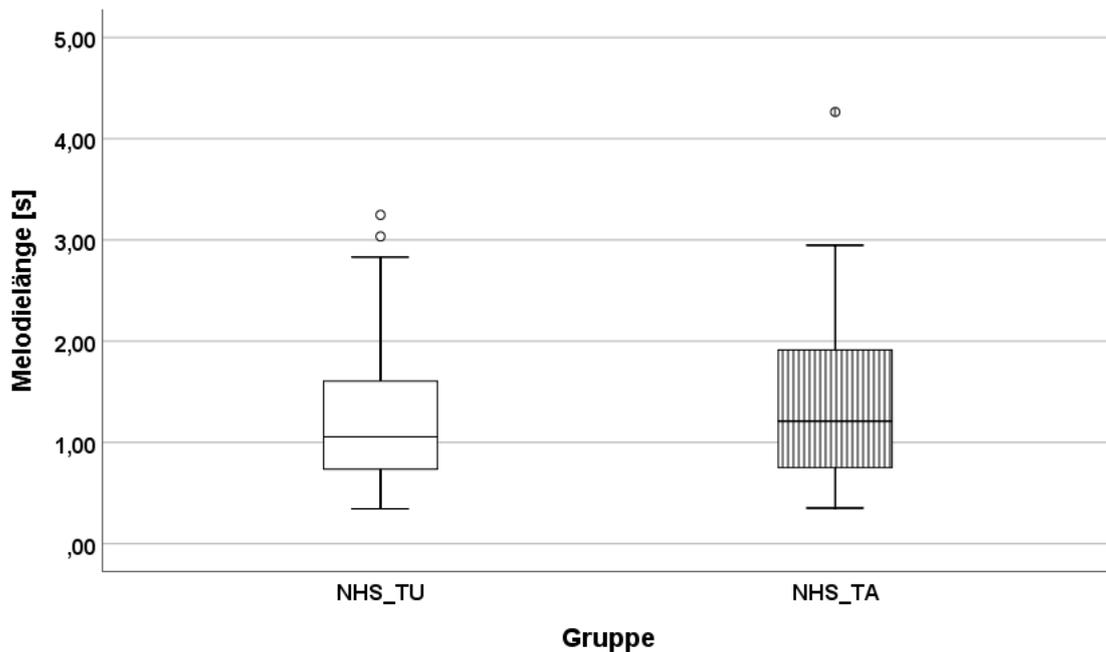
		Statistik	Std.-Fehler	
<b>Melodielänge [s]</b>	Mittelwert	0,835	0,021	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,794	
		Obergrenze	0,876	
	5% getrimmtes Mittel	0,805		
	Median	0,765		
	Varianz	0,144		
	SD	0,379		
	Minimum	0,296		
	Maximum	2,539		
	Spannweite	2,242		
	Interquartilbereich	0,465		
	Schiefe	1,306	0,134	
	Kurtosis	2,230	0,267	

**Tabelle 9** Deskriptive Statistik der Melodielängen der einbögigen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TA (354 Vokalisationen)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>Melodielänge [s]</b>	Mittelwert	0,769	0,021	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,728	
		Obergrenze	0,810	
	5% getrimmtes Mittel	0,732		
	Median	0,656		
	Varianz	0,154		
	SD	0,392		
	Minimum	0,293		
	Maximum	2,329		
	Spannweite	2,036		
	Interquartilbereich	0,487		
	Schiefe	1,405	0,130	
	Kurtosis	2,139	0,259	

Der Medianwert der Melodielänge der einböigen Konturen ist im Mittel in der Gruppe NHS\_TU auf Signallevel etwa 100 ms höher als in der Gruppe NHS\_TA (765 ms vs. 656 ms). Die Minima sind ähnlich, der Maximalwert geringfügig höher in der Gruppe NHS\_TU (Tabelle 8 und Tabelle 9).

In Abbildung 8 werden die Verteilungseigenschaften der gemessenen Melodielängen der 182 komplexen Originalmelodien (mehr als ein Melodiebogen) im Gruppenvergleich dargestellt. In der Gruppe NHS\_TA waren es 69 komplexe Vokalisationen, in der Gruppe NHS\_TU waren es 113 komplexe Vokalisationen.



**Abbildung 8** Boxplotdiagramm: Melodielänge der komplexen Melodiekonturen (alle mehrböigen) im Gruppenvergleich (Signallevel)

In Tabelle 10 und Tabelle 11 werden die entsprechenden deskriptiven Statistiken berichtet.

**Tabelle 10** Deskriptive Statistik der Melodielängen der komplexen Melodiekonturen (alle mehrböigen) der Gruppe NHS\_TU (113 Vokalisationen)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>Melodielänge [s]</b>	Mittelwert	1,238	0,064	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,112	
		Obergrenze	1,364	
	5% getrimmtes Mittel	1,194		
	Median	1,057		
	Varianz	0,436		
	SD	0,660		
	Minimum	0,345		
	Maximum	3,248		
	Spannweite	2,903		
	Interquartilbereich	0,886		
	Schiefe	0,986	0,233	
Kurtosis	0,343	0,461		

**Tabelle 11** Deskriptive Statistik der Melodielängen der komplexen Melodiekonturen (alle mehrböigen) der Gruppe NHS\_TA (69 Vokalisationen)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>Melodielänge [s]</b>	Mittelwert	1,389	0,103	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,182	
		Obergrenze	1,596	
	5% getrimmtes Mittel	1,336		
	Median	1,211		
	Varianz	0,630		
	SD	0,794		
	Minimum	0,353		
	Maximum	4,264		
	Spannweite	3,911		
	Interquartilbereich	1,189		
	Schiefe	1,072	0,311	
Kurtosis	1,450	0,613		

Die Verteilungen sind auch hier tendenziell relativ ähnlich mit geringfügig größerem Medianwert in der Gruppe NHS\_TA (Tabelle 10 und Tabelle 11). Die

Minima sind im Rahmen der Messgenauigkeit (+/- 20 ms) faktisch identisch (0,345 ms vs. 0,353 ms).

### 3.2.2 Analyse auf Kindlevel

Die Melodielänge wurde für die Vokalisationen mit einböigen Melodiekonturen (1B) auch auf Kindlevel (head count) ausgewertet und dann zwischen den Gruppen verglichen. Für die Vokalisationen mit komplexen Melodien gab es zu wenige Daten für die Auswertung auf Kindlevel (Tabelle 10 und Tabelle 11). In Abbildung 9 wird das Boxplotdiagramm der Melodielängen des Strukturtyps 1B im Gruppenvergleich dargestellt.

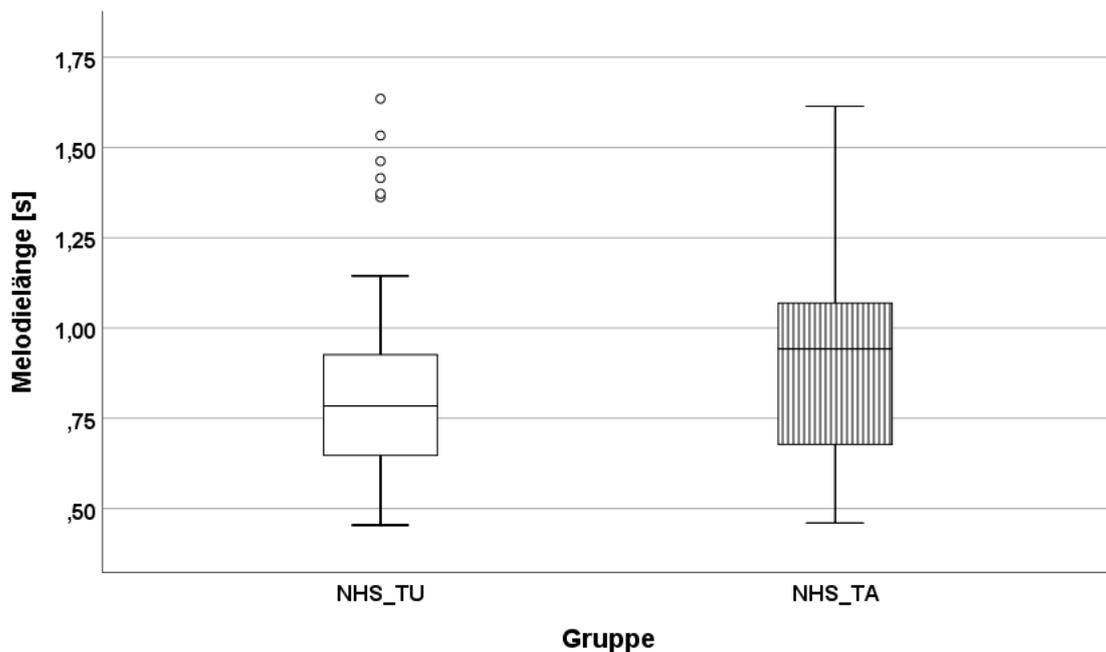


Abbildung 9 Boxplotdiagramm: Melodielänge der Vokalisationen mit einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) im Gruppenvergleich (Kindlevel)

In Tabelle 12 und Tabelle 13 werden die zugehörigen deskriptiven Statistiken berichtet.

**Tabelle 12** Deskriptive Statistik der Melodielängen der Vokalisationen mit einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TU (Kindlevel; n=37)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>Melodielänge [s]</b>	Mittelwert	0,848	0,053	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,741	
		Obergrenze	0,956	
	5% getrimmtes Mittel	0,829		
	Median	0,784		
	Varianz	0,104		
	SD	0,322		
	Minimum	0,454		
Maximum	1,635			

**Tabelle 13** Deskriptive Statistik der Melodielängen der Vokalisationen mit einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TA (Kindlevel; n=37)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>Melodielänge [s]</b>	Mittelwert	0,908	0,046	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,815	
		Obergrenze	1,001	
	5% getrimmtes Mittel	0,900		
	Median	0,943		
	Varianz	0,076		
	SD	0,275		
	Minimum	0,460		
Maximum	1,614			

Für die statistische Analyse wurden die Längen der einböigen Melodiekonturen (1B) logarithmisch transformiert, um eine hinreichende Normalverteilung in den Daten zu erreichen (Shapiro-Wilk-Test: TU  $p = 0,137$ ; TA  $p = 0,118$ ). Der durchgeführte Signifikanztest lieferte keine signifikanten Gruppenunterschiede (T-Test bei unabhängigen Stichproben  $p = 0,295$ ). In Tabelle 14 sind die Werte für die einzelnen Neugeborenen im Gruppenvergleich berichtet.

**Tabelle 14 Mittlere Melodielänge (Kindlevel) von einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) im Gruppenvergleich**

Gruppe	Proband	Melodielänge [s]
NHS_TA	AA	0,60
NHS_TA	AB	1,06
NHS_TA	AC	0,55
NHS_TA	AD	0,66
NHS_TA	AF	0,63
NHS_TA	AG	1,10
NHS_TA	AH	0,98
NHS_TA	AK	1,24
NHS_TA	AL	0,70
NHS_TA	AM	1,01
NHS_TA	AN	1,61
NHS_TA	AO	0,93
NHS_TA	AP	1,00
NHS_TA	AQ	0,52
NHS_TA	AR	0,70
NHS_TA	AS	0,93
NHS_TA	AT	1,20
NHS_TA	AU	1,04
NHS_TA	AV	1,31
NHS_TA	AW	1,32
NHS_TA	AX	1,15
NHS_TA	AY	1,08
NHS_TA	AZ	0,48
NHS_TA	BA	1,27
NHS_TA	BB	0,76
NHS_TA	BC	0,14
NHS_TA	BD	0,52
NHS_TA	BE	0,95
NHS_TA	BF	0,89
NHS_TA	BG	0,84
NHS_TA	BH	0,88
NHS_TA	BI	0,46
NHS_TA	BJ	0,97
NHS_TA	BL	1,00
NHS_TA	BM	0,87
NHS_TA	BN	0,55
NHS_TA	BO	0,96

Gruppe	Proband	Melodielänge [s]
NHS_TU	AA	0,78
NHS_TU	AB	1,36
NHS_TU	AC	0,56
NHS_TU	AE	0,45
NHS_TU	AF	0,61
NHS_TU	AG	0,75
NHS_TU	AH	0,47
NHS_TU	AI	1,64
NHS_TU	AJ	0,69
NHS_TU	AK	0,70
NHS_TU	AN	0,65
NHS_TU	AO	0,93
NHS_TU	AP	1,37
NHS_TU	AQ	1,02
NHS_TU	AR	0,82
NHS_TU	AS	0,67
NHS_TU	AT	1,53
NHS_TU	AU	0,66
NHS_TU	AV	0,84
NHS_TU	AW	0,89
NHS_TU	AX	0,65
NHS_TU	AY	0,79
NHS_TU	AZ	0,90
NHS_TU	BA	0,48
NHS_TU	BB	0,56
NHS_TU	BC	1,14
NHS_TU	BD	0,92
NHS_TU	BE	0,52
NHS_TU	BF	1,42
NHS_TU	BG	0,91
NHS_TU	BH	0,61
NHS_TU	BI	0,67
NHS_TU	BJ	1,46
NHS_TU	BK	1,02
NHS_TU	BM	0,81
NHS_TU	BN	0,65
NHS_TU	BO	0,49

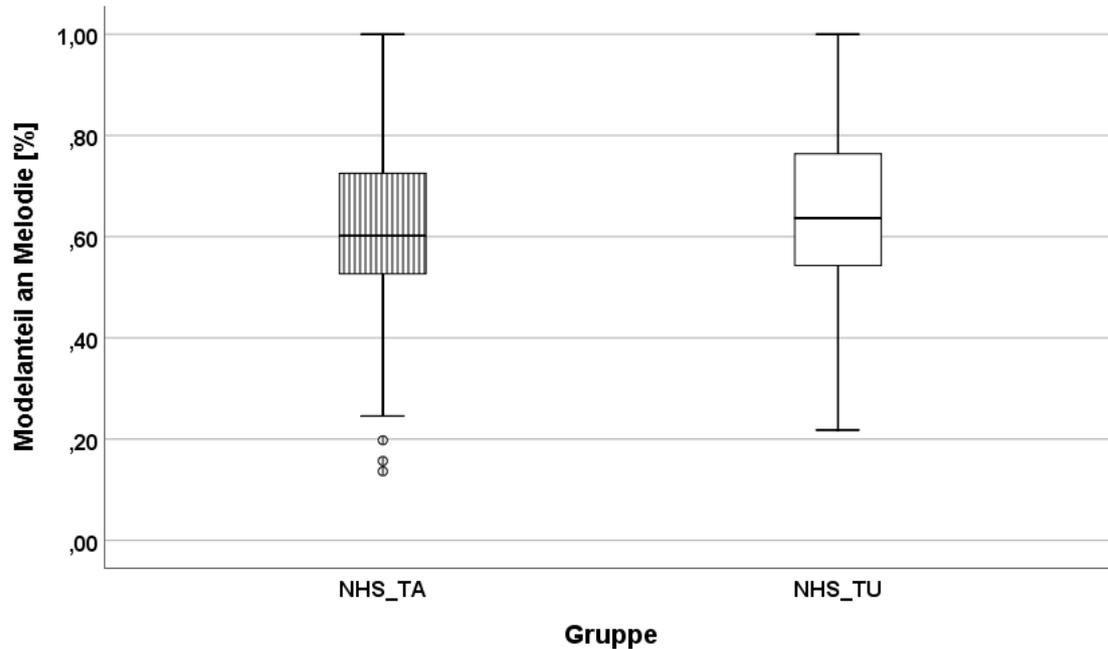
### **3.3 Ergebnis der Anwendung eines mathematischen Modells zur quantitativen Analyse der Melodiekonturen**

Von den ursprünglich 1.303 ausgewählten Vokalisationen wurden bei der Durchführung der Modellierung weitere 428 Einzelsignale (32,8 %) aussortiert, weil kein hinreichend geeigneter Modelfit nach Anwendung des EF-Modells erreicht werden konnte (Kapitel 2.4.3). Damit sind insgesamt 875 Vokalisationen, 445 Neugeborenenweinlaute der Gruppe NHS\_TU (34,2 %) und 430 Neugeborenenweinlaute der Gruppe NHS\_TA (33 %) in die quantitative Analyse der bogenförmigen Melodiekonturen eingegangen.

#### **3.3.1 Analyse der normierten Bogenform auf Signalleve**

Das EF-Modell wurde hier angewendet um die Bogenform bezüglich des F0-Maximums zeitnormiert zu bestimmen. Dazu wurde der Modellparameter  $\alpha$  verwendet (Kapitel 2.4.3). Unter Verwendung des EF-Modells wurde der Modellparameter  $\alpha$  (Position des F0-Maximums relativ zur zeitlichen Normierung des jeweiligen Melodiebogens) zunächst für Laute mit einzelnen Bögen berechnet (Kapitel 3.3.1.1). Die 1B-Strukturen waren die häufigsten Strukturkategorien ( $n = 685$ ). Bei den anderen, mehrbölgigen Strukturkategorien beziehen sich die Werte auf jeden einzelnen Bogen innerhalb der Vokalisation (Kapitel 3.3.1.2).

In Abbildung 10 ist dargestellt, wie viel Prozent der Gesamtmelodie modelliert wurde. Man erkennt, dass im Median in beiden Gruppen über 60 % der Originalmelodie durch das Modell erfasst wurde. Die Tatsache, dass nicht in allen Fällen 100 % der Melodie modelliert wurde, liegt darin begründet, dass Ein- und Ausschwingvorgänge, die in der Gesamtlänge berücksichtigt sind, nicht modelliert wurden, sondern nur der jeweilige Melodiehauptbogen.



**Abbildung 10** Boxplotdiagramm: Prozentanteil der modellierten Gesamtmelodie im Gruppenvergleich

In Tabelle 15 wird die zugehörige deskriptive Statistik berichtet.

**Tabelle 15** Deskriptive Statistik: Prozentanteil der modellierten Gesamtmelodie im Gruppenvergleich (Signallevel)

		Gruppe	Statistik	Std.-Fehler	
% Modell	NHS_TA	Mittelwert	0,630	0,010	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,610	
			Obergrenze	0,650	
		5% getrimmtes Mittel	0,630		
		Median	0,602		
		Varianz	0,036		
		SD	0,190		
		Minimum	0,137		
	Maximum	1,000			
	NHS_TU	Mittelwert	0,657	0,009	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,639	
			Obergrenze	0,674	
		5% getrimmtes Mittel	0,655		
		Median	0,637		

		Gruppe	Statistik	Std.-Fehler
		Varianz	0,027	
		SD	0,163	
		Minimum	0,218	
		Maximum	1,000	

### 3.3.1.1 1B-Strukturkategorie

In Abbildung 11 ist die Gesamtanalyse der Verteilungseigenschaften der  $\alpha$ -Werte für die Strukturkategorie 1B beider Gruppen im Histogramm (Binbreite 0,0285) dargestellt. Die Verteilung der Werte ergab eine Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test  $p = 0,200$ ; Shapiro-Wilk-Test  $p = 0,098$ ).

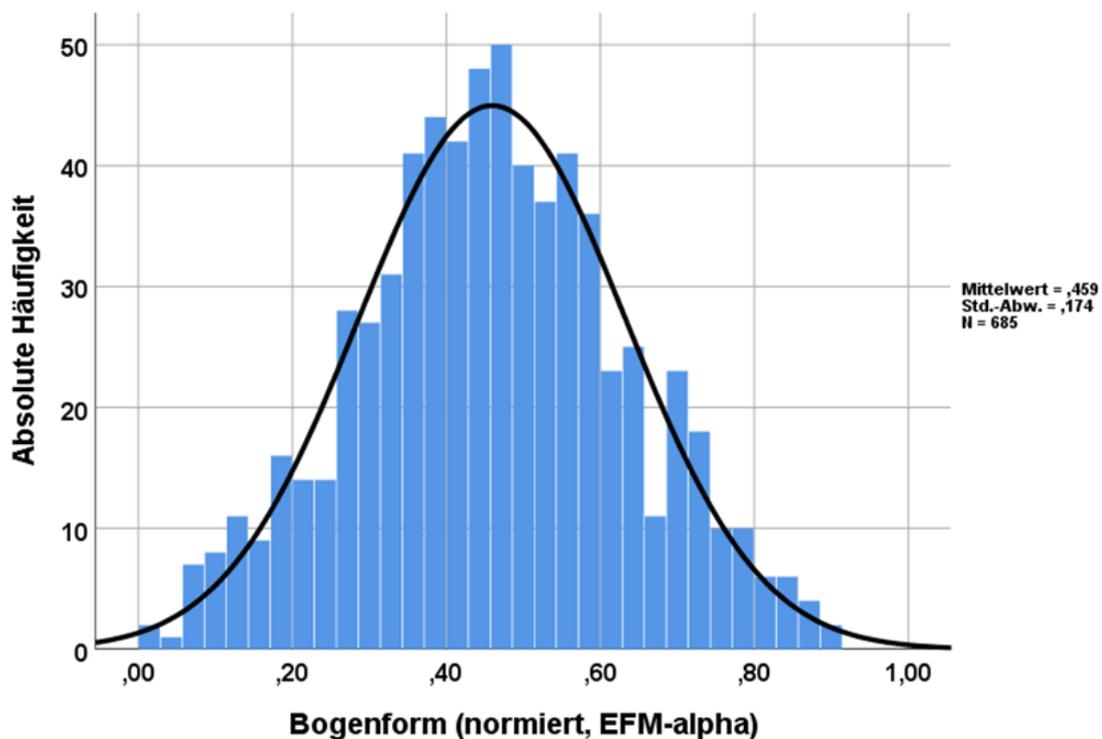


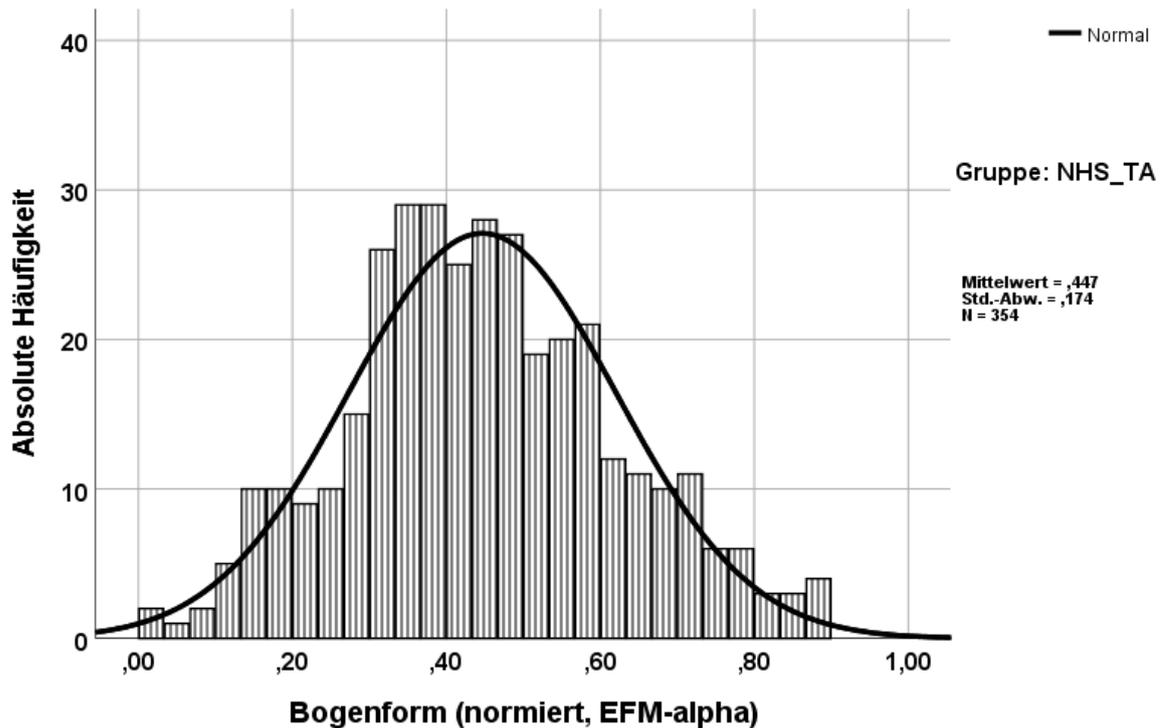
Abbildung 11 Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit einfachen (einbögigen) Melodiekonturen (1B) ohne Gruppendifferenzierung (Signallevel)

Die zugehörige deskriptive Statistik befindet sich in Tabelle 16.

**Tabelle 16**      **Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) ohne Gruppendifferenzierung (Signallevel; n = 685)**

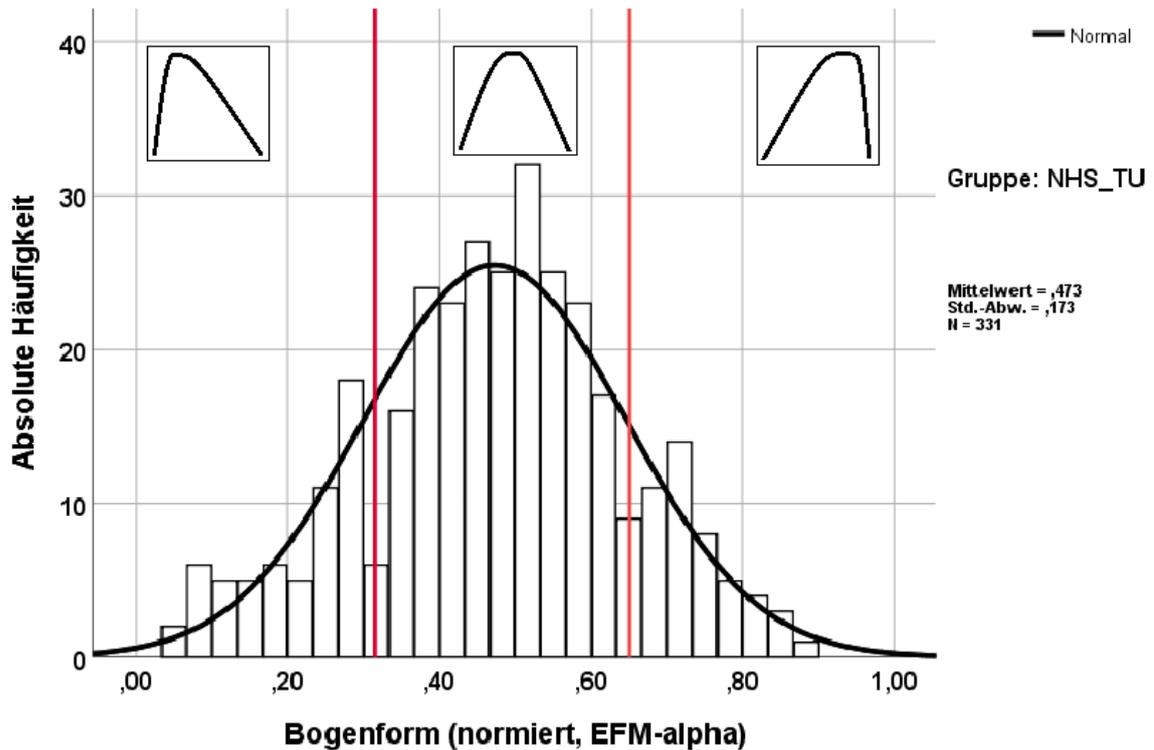
		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,459	0,007	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,446	
		Obergrenze	0,472	
	5% getrimmtes Mittel	0,459		
	Median	0,457		
	Varianz	0,030		
	SD	0,174		
	Minimum	0,007		
	Maximum	0,898		
	Spannweite	0,891		
	Interquartilbereich	0,228		
	Schiefe	0,015	0,093	
	Kurtosis	0,284	0,187	

In Abbildung 12 und Abbildung 13 werden die Verteilungseigenschaften der  $\alpha$ -Werte für die Strukturkategorie 1B in den Histogrammen (Binbreite 0,033) für die beiden Gruppen separat dargestellt. Die Normalverteilungskurve ist ebenfalls wieder eingezeichnet. In diesem Fall sind nur die  $\alpha$ -Werte der Melodiebögen der Gruppe NHS\_TA normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test  $p = 0,116$ ; Kolmogorov-Smirnov-Test  $p = 0,200$ ). Die Werte der Gruppe NHS\_TU sind nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test ( $p = 0,200$ ) normalverteilt, nach dem Shapiro-Wilk-Test ( $p = 0,042$ ) sind diese jedoch nicht hinreichend normalverteilt.



**Abbildung 12** Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TA (Signallevel)

In Abbildung 13 erkennt man die Andeutung von Tälern in der Verteilung, die mit den postulierten Prototypen der Melodie bei Wermke und Mende (2011) korrespondieren. Auf diese wird in der Diskussion näher eingegangen (Kapitel 4.3.1). Zur Verdeutlichung sind an den Verteilungstälern rote Orientierungslinien eingezeichnet. Dadurch entstehen drei Formklassen, die schematisch als Symbole ebenfalls eingezeichnet wurden (Abbildung 13).



**Abbildung 13** Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TU (Signallevel)

Die prototypischen Melodiekonturformklassen sind hier zusätzlich dargestellt.

In Tabelle 17 und Tabelle 18 wird die jeweilige zugehörige deskriptive Statistik berichtet.

**Tabelle 17** Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit einfachen (einböigen) Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TA (Signallevel; n = 354)

		Statistik	Std.-Fehler
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,447	0,009
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,428
		Obergrenze	0,465
	5% getrimmtes Mittel	0,445	
	Median	0,442	
	Varianz	0,030	
	SD	0,174	

		Statistik	Std.-Fehler
	Minimum	0,007	
	Maximum	0,898	
	Spannweite	0,891	
	Interquartilbereich	0,233	
	Schiefe	0,197	0,130
	Kurtosis	0,223	0,259

**Tabelle 18** Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit einfachen (einböyigen) Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TU (Signallevel; n = 331)

			Statistik	Std.-Fehler
<b>alpha</b>	Mittelwert		0,473	0,009
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,454	
		Obergrenze	0,492	
	5% getrimmtes Mittel		0,475	
	Median		0,477	
	Varianz		0,030	
	SD		0,173	
	Minimum		0,049	
	Maximum		0,884	
	Spannweite		0,835	
	Interquartilbereich		0,212	
	Schiefe		0,181	0,134
	Kurtosis		0,223	0,267

Der Vergleich der Verteilungseigenschaften der  $\alpha$ -Werte in einfachen Melodiekonturen (1B) zeigte auf Signalebene eine hohe Ähnlichkeit zwischen den beiden Gruppen sowie in beiden Gruppen eine relativ gute Normalverteilung der  $\alpha$ -Werte. Dennoch fiel auf, dass es leichte Unterschiede in den Verteilungseigenschaften gibt. Diese bestehen im Wesentlichen in den erwähnten zwei deutlichen Einkerbungen (rote Vertikallinien in Abbildung 13). Diese Kerben fanden sich in den Histogrammen der  $\alpha$ -Werte in der Gruppe NHS\_TA auch bei Anwendung verschiedener Binbreiten nicht, während sie auch

bei Variation der Binbreiten der Gruppe NHS\_TU bestehen blieben. Zur weiteren Kategorisierung der verschiedenen Bereiche erfolgte basierend auf der Verteilung der  $\alpha$ -Werte der Gruppe NHS\_TU eine Einteilung in drei  $\alpha$ -Gruppen (= Bogenformklassen). Diese wurden wie folgt definiert:

- Klasse 1 (fallender Melodiebogen)  $\alpha < 0,3165$
- Klasse 2 (symmetrischer Melodiebogen)  $\alpha \geq 0,3165$  und  $\alpha \leq 0,6495$
- Klasse 3 (steigender Melodiebogen)  $\alpha > 0,6495$

In Abbildung 14 ist ein Säulendiagramm abgebildet, das die Häufigkeiten der Bogenformklassen für die Melodien (Signallevel) der beiden Gruppen berichtet, in Tabelle 19 sind die Zahlen dazu aufgeführt. Es zeigte sich, dass in der Gruppe NHS\_TU ca. 21 % der Melodiebögen in die hier definierte Klasse 1 fielen, also eine länger fallende Bogenflanke zeigten. Die eher steigende Formklasse 3 kam hier mit ca. 13 % aller Melodiebögen der Gruppe vor. Die häufigste Form war die Klasse 2, die alle anderen Melodien bzw. Melodiebögen zeigten und die durch einen symmetrischen Bogen mit annähernd gleich langer steigender und fallender Bogenflanke gekennzeichnet sind. In der Gruppe NHS\_TA war die beobachtete relative Häufigkeit sehr ähnlich und betrug für Klasse 1 ca. 20 %, für Klasse 2 ca. 64 % und für Klasse 3 ca. 16 % (vgl. Tabelle 19).

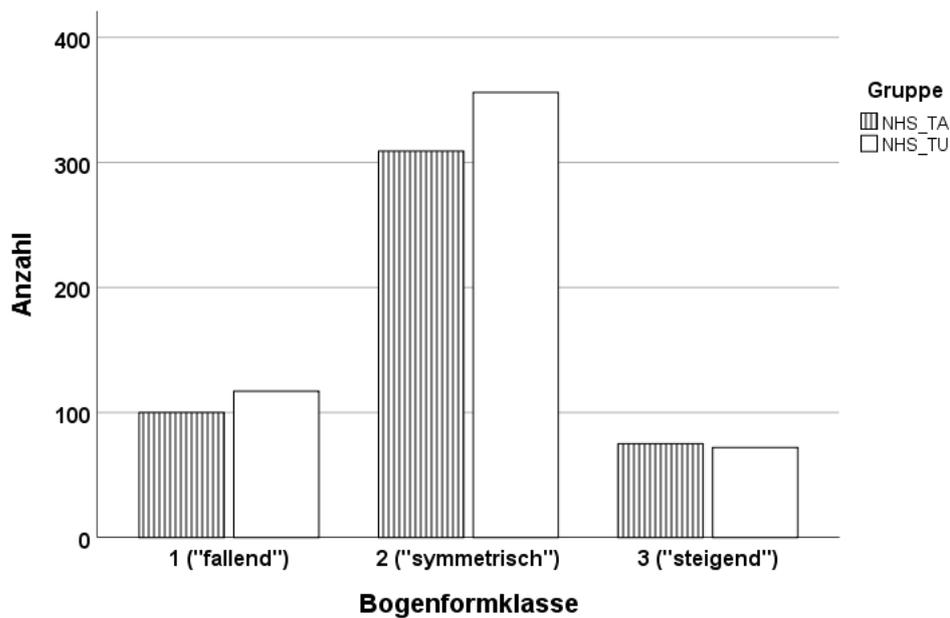


Abbildung 14 Säulendiagramm: Absolute Häufigkeit der Bogenformklassen für die Melodien (Signallevel) im Gruppenvergleich

Tabelle 19 Ermittelte absolute Häufigkeit der definierten Bogenformklassen im Gruppenvergleich (Signallevel)

		Gruppe		Gesamt
		NHS_TA	NHS_TU	
Bogenformklassen	Klasse 1	100	117	217
	Klasse 2	309	356	665
	Klasse 3	75	72	147
Gesamt		484	545	1029

In Abbildung 15 und Abbildung 16 ist dargestellt, dass diese prinzipiellen Häufigkeitsverhältnisse nicht vom Alter der Neugeborenen beeinflusst zu sein scheint.

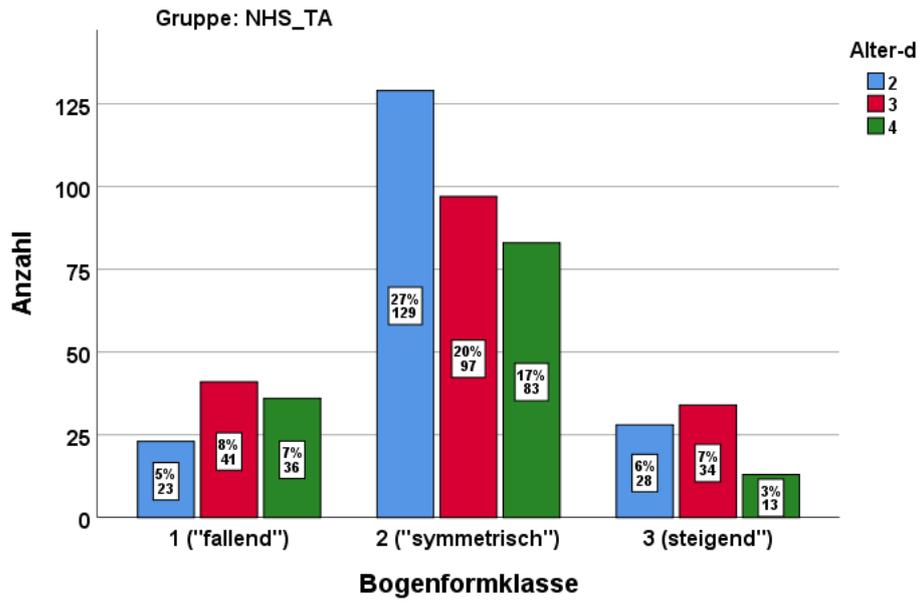


Abbildung 15 Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Bogenformklassen in Abhängigkeit vom Alter der Gruppe NHS\_TA

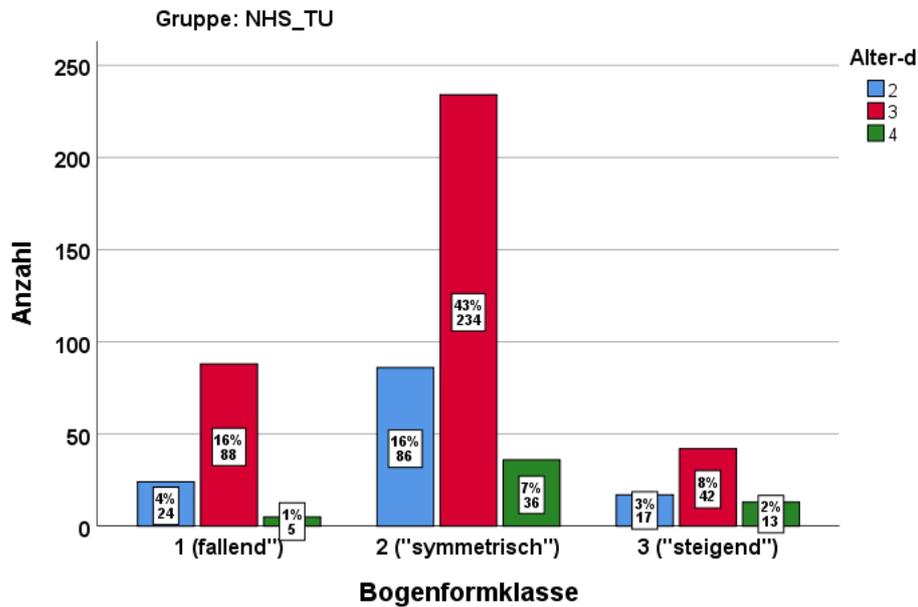


Abbildung 16 Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Bogenformklassen in Abhängigkeit vom Alter der Gruppe NHS\_TU

In Abbildung 17 werden die Bogenformklassen und ihre Modellhöhe (Differenz aus dem Grundfrequenzmaximum und dem -minimum), vgl. Kapitel 2.4.3 im Gruppenvergleich dargestellt (Signallevel).

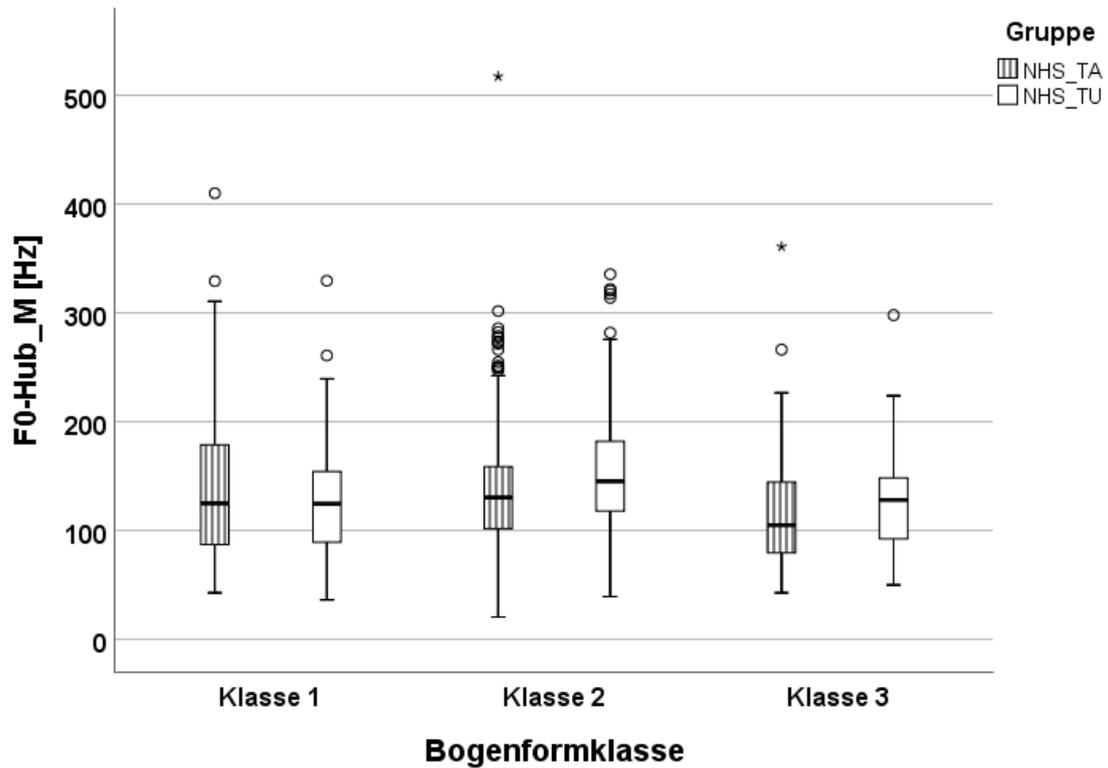


Abbildung 17 **Boxplotdiagramm: Grundfrequenzhöhe (Frequenzmodulations-Amplitude) der Modellkurven für jede Bogenformklasse im Gruppenvergleich [einfache Melodiekonturen; 1B]**

In Tabelle 20 und Tabelle 21 wird die jeweilige zugehörige deskriptive Statistik berichtet.

Tabelle 20 **Deskriptive Statistik: Grundfrequenzhub der Modellkurven nach Bogenformklassen der Gruppe NHS\_TA [einfache Melodiekonturen; 1B]**

		Bogenformklasse		Statistik	Std.-Fehler
Hub [Hz]	Klasse 1	Mittelwert		145,802	8,668
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	128,539	
			Obergrenze	163,064	

		5% getrimmtes Mittel		140,452	
		Median		124,980	
		Varianz		5784,343	
		SD		76,055	
		Minimum		42,750	
		Maximum		410,051	
		Spannweite		367,302	
		Interquartilbereich		94,063	
		Schiefe		1,156	0,274
		Kurtosis		1,095	0,541
	<b>Klasse 2</b>	Mittelwert		138,883	3,965
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	131,071	
			Obergrenze	146,696	
		5% getrimmtes Mittel		135,185	
		Median		130,411	
		Varianz		3615,802	
		SD		60,132	
		Minimum		20,462	
		Maximum		517,374	
		Spannweite		496,911	
		Interquartilbereich		56,862	
		Schiefe		1,640	0,160
		Kurtosis		6,394	0,320
	<b>Klasse 3</b>	Mittelwert		120,867	8,966
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	102,820	
			Obergrenze	138,915	
		5% getrimmtes Mittel		115,013	
		Median		104,850	
		Varianz		3778,207	
		SD		61,467	
Minimum		42,756			
Maximum		360,927			
Spannweite		318,171			
Interquartilbereich		70,301			
Schiefe		1,759	0,347		
Kurtosis		4,226	0,681		

**Tabelle 21**      **Deskriptive Statistik: Grundfrequenzhub der Modellkurven nach Bogenformklassen der Gruppe NHS\_TU [einfache Melodiekonturen; 1B]**

		<b>Bogenformklasse</b>	<b>Statistik</b>	<b>Std.-Fehler</b>	
<b>Hub [Hz]</b>	<b>Klasse 1</b>	Mittelwert	124,714	7,069	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	110,579	
			Obergrenze	138,849	
		5% getrimmtes Mittel	120,983		
		Median	124,703		
		Varianz	3097,897		
		SD	55,659		
		Minimum	36,309		
		Maximum	329,544		
		Spannweite	293,235		
		Interquartilbereich	68,246		
		Schiefe	0,964	0,304	
		Kurtosis	2,019	0,599	
	<b>Klasse 2</b>	Mittelwert	152,495	3,721	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	145,161	
			Obergrenze	159,829	
		5% getrimmtes Mittel	149,544		
		Median	145,317		
		Varianz	3032,812		
		SD	55,071		
		Minimum	39,313		
		Maximum	335,623		
		Spannweite	296,311		
		Interquartilbereich	64,445		
		Schiefe	0,835	0,164	
		Kurtosis	0,892	0,327	
	<b>Klasse 3</b>	Mittelwert	128,229	6,825	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	114,514	
			Obergrenze	141,944	
		5% getrimmtes Mittel	125,467		
		Median	127,999		
		Varianz	2328,926		
		SD	48,259		
Minimum		50,089			
Maximum	297,957				

		Spannweite	247,868	
		Interquartilbereich	58,251	
		Schiefe	1,004	0,337
		Kurtosis	1,866	0,662

### 3.3.1.2 Komplexe Strukturkategorien [alle nicht 1B]

In Abbildung 18 wird die Analyse der Verteilungseigenschaften der  $\alpha$ -Werte aller modellierten Bögen aus komplexen Strukturen (342 Modellbögen aus 182 Vokalisationen) beider Gruppen im Histogramm (Binbreite 0,033) dargestellt. Es gibt ein Neugeborenes in der Gruppe NHS\_TA (Proband AD), bei dem die  $\alpha$ -Werte einer Vokalisation (2B-Struktur) weit außerhalb aller übrigen Werte der Gesamtstichprobe lagen. Die  $\alpha$ -Werte für die beiden Bögen wurden in Abbildung 18 und Abbildung 19 sowie in Tabelle 22 und Tabelle 23 nicht berücksichtigt. Dementsprechend verringert sich die Gesamtzahl der Bögen aus komplexen Strukturen in der Gruppe NHS\_TA von ursprünglich 130 auf 128. Die Verteilung der Werte ergaben auch hier eine annähernde Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test  $p = 0,062$ ; Kolmogorov-Smirnov-Test  $p = 0,200$ ).

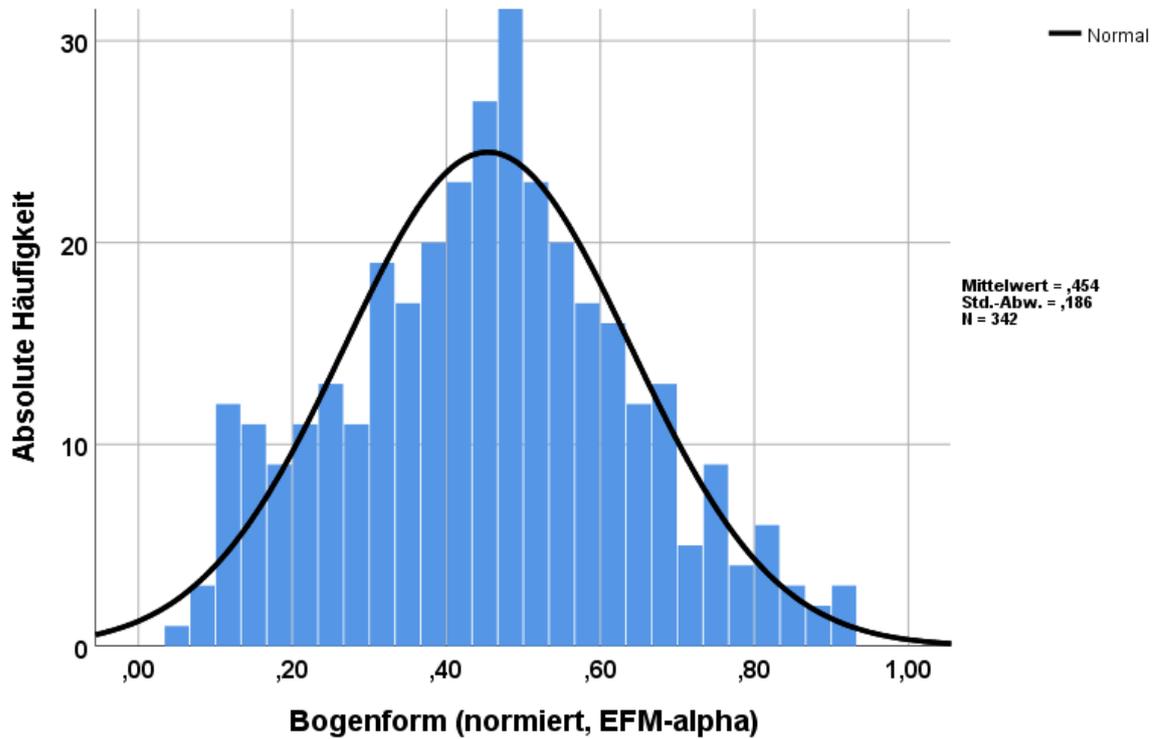


Abbildung 18 Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen beider Gruppen

Die zugehörige deskriptive Statistik befindet sich in Tabelle 22 .

Tabelle 22 Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen beider Gruppen (n = 342)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,454	0,010	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,434	
		Obergrenze	0,473	
	5% getrimmtes Mittel	0,451		
	Median	0,457		
	Varianz	0,035		
	SD	0,186		
	Minimum	0,042		
	Maximum	0,921		
	Spannweite	0,879		

	Interquartilbereich	0,252	
	Schiefe	0,089	0,132
	Kurtosis	0,391	0,263

In Abbildung 19 und Abbildung 20 werden die Verteilungseigenschaften der  $\alpha$ -Werte [komplexe Strukturkategorien] in Histogrammen (Binbreite 0,066) für die beiden Gruppen separat dargestellt. Die Normalverteilungskurve ist ebenfalls wieder miteingezeichnet. Die Verteilung der Werte ergab eine Normalverteilung in der Gruppe NHS\_TA (Shapiro-Wilk-Test  $p = 0,072$ ; Kolmogorov-Smirnov-Test  $p = 0,200$ ) und in der Gruppe NHS\_TU Gruppe (Shapiro-Wilk-Test  $p = 0,056$ ; Kolmogorov-Smirnov-Test  $p = 0,200$ ).

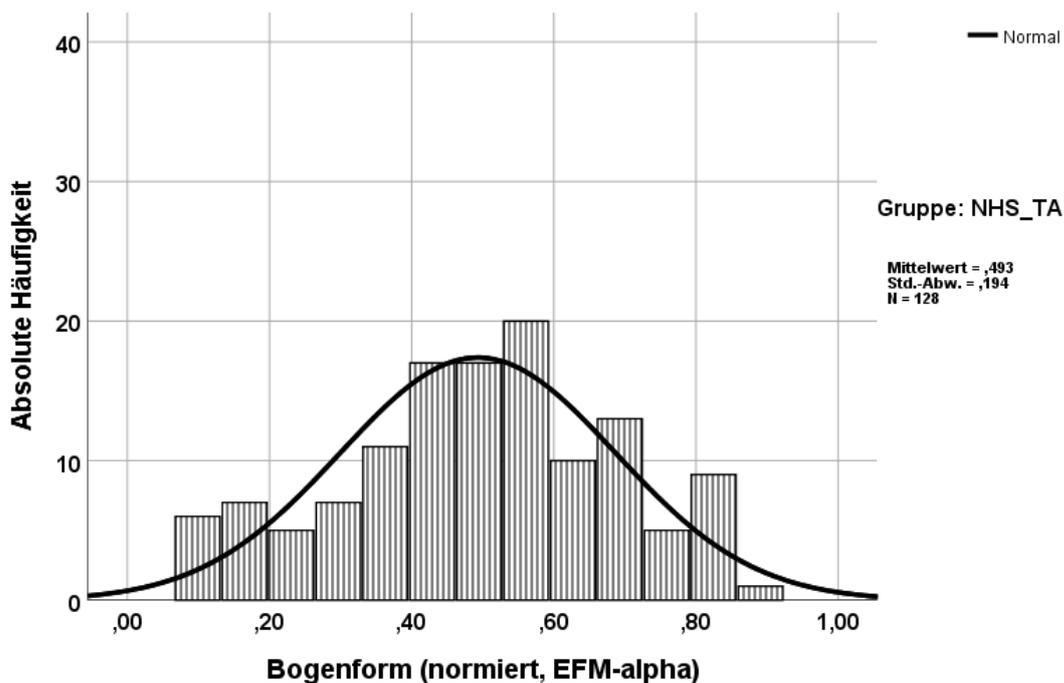
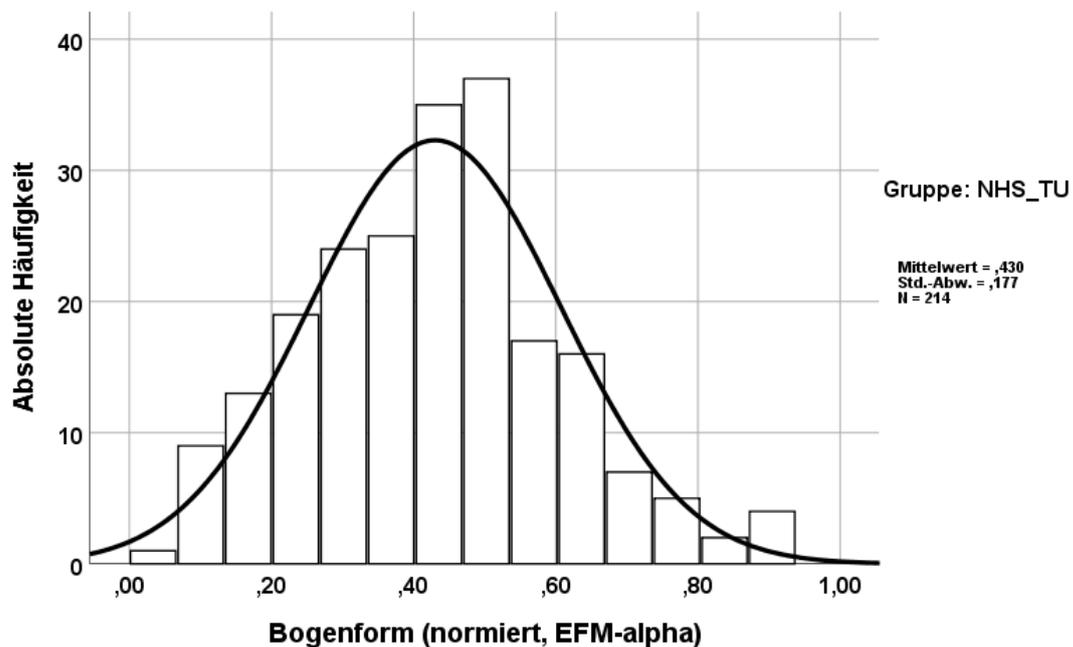


Abbildung 19 Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen der Gruppe NHS\_TA



**Abbildung 20** Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen der Gruppe NHS\_TU

In Tabelle 23 und Tabelle 24 ist die jeweilige zugehörige deskriptive Statistik berichtet.

**Tabelle 23** Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen der Gruppe NHS\_TA (128 Modellbögen aus 68 Vokalisationen)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,493	0,017	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,459	
		Obergrenze	0,527	
	5% getrimmtes Mittel	0,496		
	Median	0,506		
	Varianz	0,038		
	SD	0,194		
	Minimum	0,073		
Maximum	0,921			

**Tabelle 24**      **Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen der Gruppe NHS\_TU (214 Modellbögen aus 113 Vokalisationen)**

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,430	0,012	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,406	
		Obergrenze	0,454	
	5% getrimmtes Mittel	0,426		
	Median	0,434		
	Varianz	0,031		
	SD	0,177		
	Minimum	0,042		
	Maximum	0,915		

### 3.3.2 Ergebnis der Modellierungsauswertung auf Modellbogen- bzw. Kindlevel

#### 3.3.2.1 Mittlere Grundfrequenz

Die Ergebnisse der Auswertung der mittleren Grundfrequenz ( $F_0$ ) der modellierten Bögen zeigte visuell und nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test ( $p = 0,059$ ) eine annähernde Normalverteilung (nach Shapiro-Wilk nicht normalverteilt;  $p < 0,001$ ). Deutlich zeigte sich in Abbildung 21 ein Bereich zwischen 300 – 600 Hz als der relevante Bereich für die mittlere Grundfrequenz der hier analysierten spontanen Neugeborenenlaute (Bereich durch vertikale Linien im Histogramm markiert).

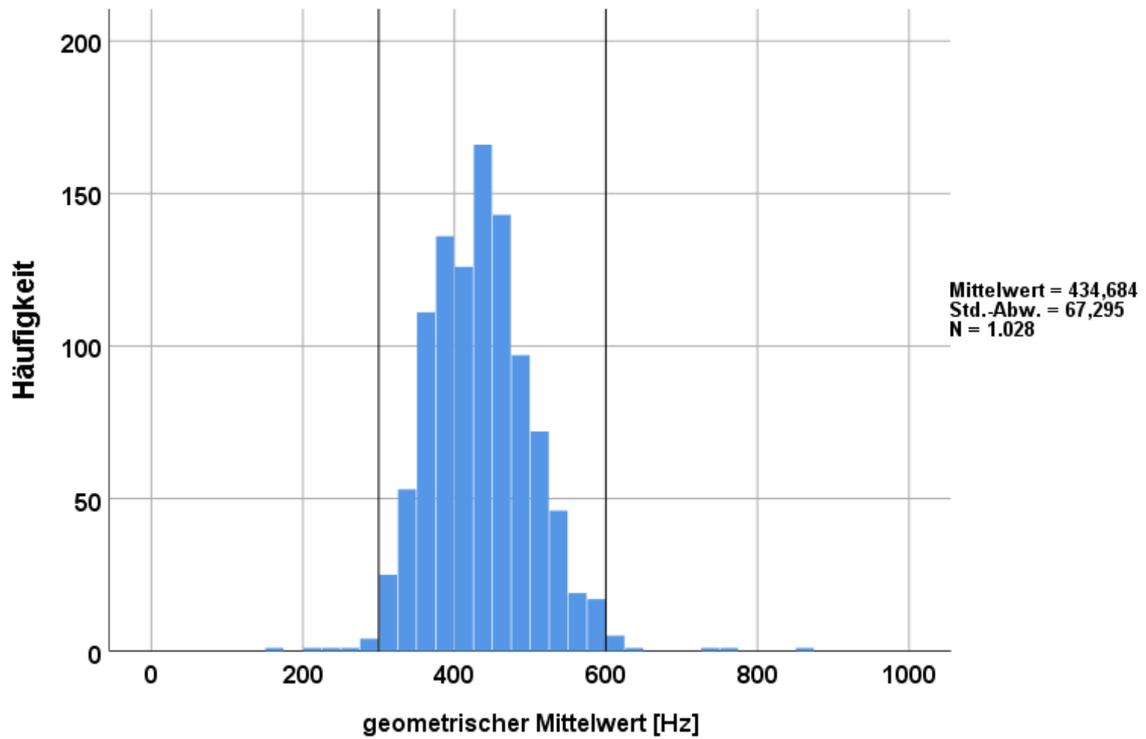


Abbildung 21 Histogramm: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz aller modellierten Bögen

In Tabelle 25 ist die zugehörige deskriptive Statistik berichtet.

Tabelle 25 Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz aller modellierten Bögen (n = 1028)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>Mittlere Grundfrequenz [Hz]</b>	Mittelwert	434,684	2,099	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	430,565	
		Obergrenze	438,803	
	5% getrimmtes Mittel	433,059		
	Median	433,920		
	Varianz	4528,554		
	SD	67,295		
	Minimum	174,604		
Maximum	865,555			

In Abbildung 22 sind die Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz für die Modellbögen der beiden Gruppen im Boxplot dargestellt, Tabelle 26 berichtet die zugehörige deskriptive Statistik.

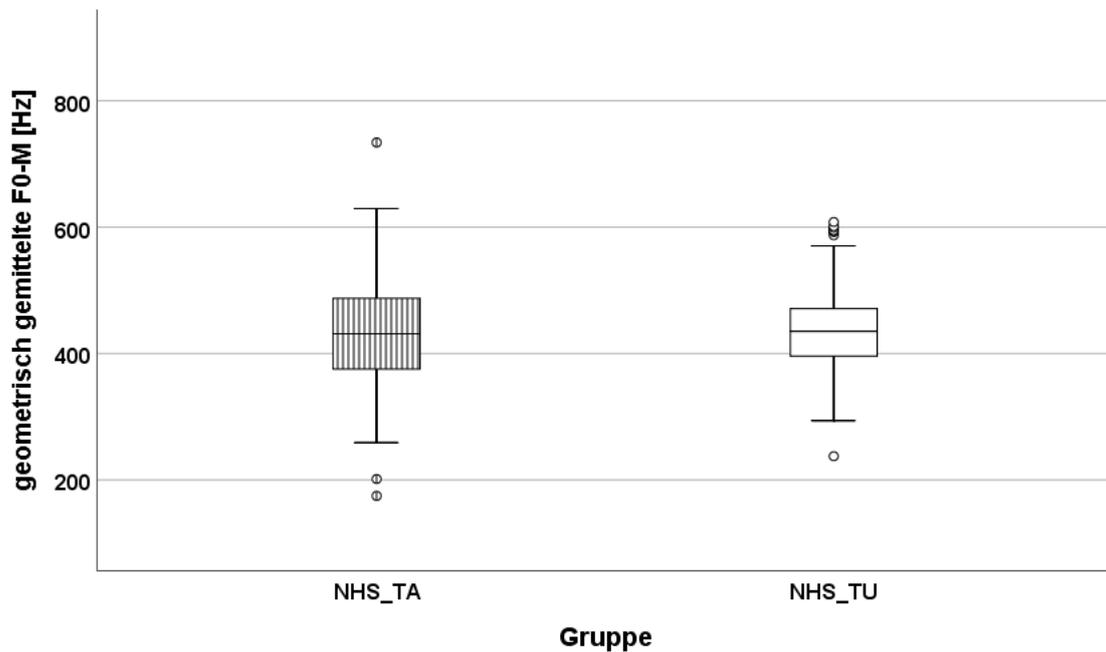


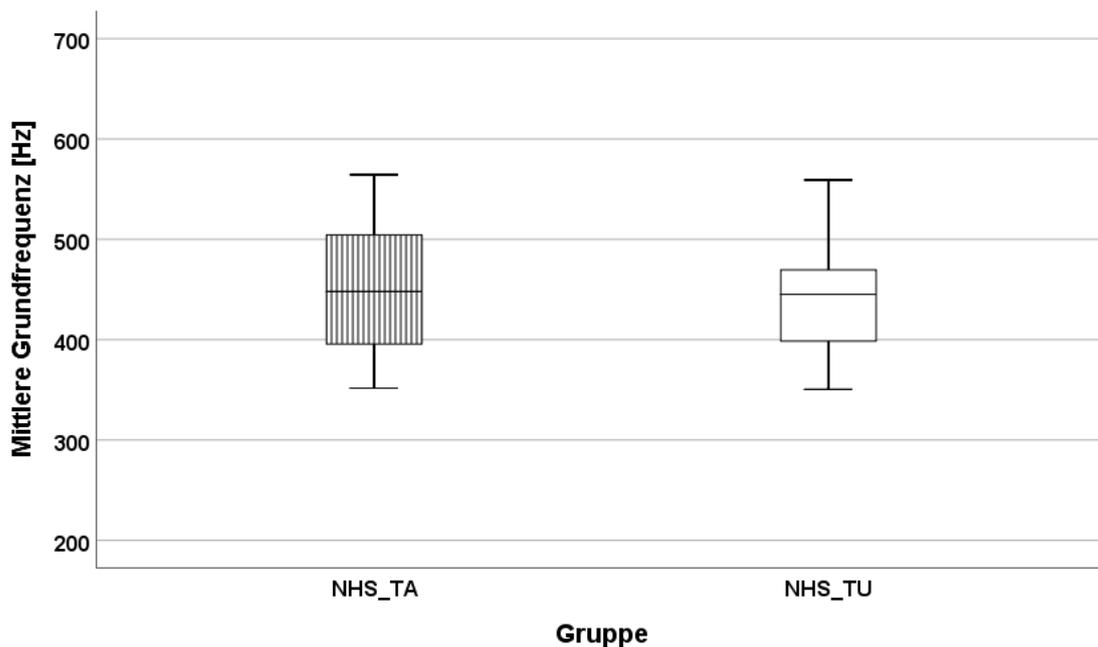
Abbildung 22 Boxplotdiagramm: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz aller modellierten Bögen im Gruppenvergleich

Tabelle 26 Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz aller modellierten Bögen im Gruppenvergleich (n = 1028)

		Gruppe	Statistik	Std.-Fehler	
Mittlere Grundfrequenz [Hz]	NHS_TA	Mittelwert	433,202	3,369	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	426,582	
			Obergrenze	439,822	
		5% getrimmtes Mittel	431,729		
		Median	431,143		
		Varianz	5494,280		
		SD	74,123		
		Minimum	174,604		
	Maximum	733,893			
	NHS_TU	Mittelwert	436,003	2,599	
	Untergrenze	430,895			

		Gruppe		Statistik	Std.-Fehler
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Obergrenze	441,108	
		5% getrimmtes Mittel		434,296	
		Median		435,130	
		Varianz		3674,179	
		SD		60,615	
		Minimum		237,385	
		Maximum		865,555	

Man erkennt auch in den Gruppenwerten eine sehr symmetrische Verteilung und kaum Unterschiede im Median und Mittelwert, nur die Varianz ist in der NHS\_TA Gruppe größer. Die höhere inter-individuelle Variabilität in der Gruppe zeigte sich auch deutlich in den kindgemittelten Werten (n = 37 Neugeborene pro Gruppe), deren Verteilung in Abbildung 23 zu sehen ist.



**Abbildung 23** Boxplotdiagramm: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz im Gruppenvergleich (Kindlevel)

Die deskriptive Statistik ist in Tabelle 27 berichtet.

**Tabelle 27** Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz im Gruppenvergleich (Kindlevel)

	Gruppe		Statistik	Std.-Fehler	
<b>Mittlere Grundfrequenz [Hz]</b>	<b>NHS_TA</b>	Mittelwert	448,466	9,938	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	428,310	
			Obergrenze	468,622	
		5% getrimmtes Mittel	447,482		
		Median	447,981		
		Varianz	3654,506		
		SD	60,453		
		Minimum	351,604		
		Maximum	564,510		
	<b>NHS_TU</b>	Mittelwert	446,256	8,783	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	428,442	
			Obergrenze	464,069	
		5% getrimmtes Mittel	444,912		
		Median	445,291		
		Varianz	2854,373		
		SD	53,426		
		Minimum	350,510		
Maximum		559,100			

Für die statistische Analyse wurden die Werte der mittleren Grundfrequenz auf ihre Verteilungseigenschaften bezüglich einer hinreichenden Normalverteilung untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Werte beider Gruppe hinreichend normal verteilt waren (NHS\_TA: Shapiro-Wilk-Test:  $p = 0,163$ ; NHS\_TU: Shapiro-Wilk-Test:  $p = 0,327$ ). Der durchgeführte Signifikanztest lieferte erwartungsgemäß keine signifikanten Gruppenunterschiede (T-Test;  $p = 0,87$ ).

In Tabelle 28 sind die Werte der mittleren Grundfrequenzen für jedes Neugeborene im Gruppenvergleich aufgeführt.

**Tabelle 28 Mittlere Grundfrequenz für jedes Neugeborene im Gruppenvergleich**

Gruppe	Proband	Mittlere Grundfrequenz
NHS_TA	AA	373,17
NHS_TA	AB	457,76
NHS_TA	AC	447,84
NHS_TA	AD	512,13
NHS_TA	AF	351,60
NHS_TA	AG	383,55
NHS_TA	AH	408,54
NHS_TA	AK	447,98
NHS_TA	AL-	544,60
NHS_TA	AM	506,33
NHS_TA	AN	459,88
NHS_TA	AO	378,50
NHS_TA	AP	452,93
NHS_TA	AQ	401,76
NHS_TA	AR	379,92
NHS_TA	AS	398,18
NHS_TA	AT	460,57
NHS_TA	AU	564,51
NHS_TA	AV	526,31
NHS_TA	AW	526,08
NHS_TA	AX	394,80
NHS_TA	AY	408,07
NHS_TA	AZ	367,92
NHS_TA	BA	488,69
NHS_TA	BB	493,66
NHS_TA	BC	515,02
NHS_TA	BD	558,16
NHS_TA	BE	508,31
NHS_TA	BF	504,36
NHS_TA	BG	439,99
NHS_TA	BH	457,73
NHS_TA	BI	354,77
NHS_TA	BJ	392,14
NHS_TA	BL	441,09
NHS_TA	BM	422,67
NHS_TA	BN	395,71
NHS_TA	BO	467,99

Gruppe	Proband	Mittlere Grundfrequenz
NHS_TU	AA	432,18
NHS_TU	AB	464,02
NHS_TU	AC	510,31
NHS_TU	AE	445,29
NHS_TU	AF	498,00
NHS_TU	AG	456,32
NHS_TU	AH	466,51
NHS_TU	AI	350,51
NHS_TU	AJ	398,66
NHS_TU	AK	396,11
NHS_TU	AN	469,38
NHS_TU	AO	381,05
NHS_TU	AP	413,45
NHS_TU	AQ	438,12
NHS_TU	AR	375,33
NHS_TU	AS	430,41
NHS_TU	AT	522,52
NHS_TU	AU	559,10
NHS_TU	AV	397,19
NHS_TU	AW	549,68
NHS_TU	AX	376,06
NHS_TU	AY	399,71
NHS_TU	AZ	469,65
NHS_TU	BA	381,71
NHS_TU	BB	390,34
NHS_TU	BC	547,80
NHS_TU	BD	460,25
NHS_TU	BE	439,14
NHS_TU	BF	510,88
NHS_TU	BG	447,57
NHS_TU	BH	480,32
NHS_TU	BI	438,61
NHS_TU	BJ	435,87
NHS_TU	BK	486,73
NHS_TU	BM	448,38
NHS_TU	BN	468,73
NHS_TU	BO	375,57

### 3.3.2.2 Analyse der normierten Bogenform auf Kindlevel

#### 3.3.2.2.1 1B-Strukturkategorie

In Abbildung 24 wird die Gesamtanalyse der Verteilungseigenschaften der  $\alpha$ -Werte für die Strukturkategorie 1B beider Gruppen im Histogramm (Binbreite 0,067) dargestellt. In der statistischen Analyse zeigte sich eine hinreichende Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test:  $p = 0,200$ ; Shapiro-Wilk-Test:  $p = 0,49$ ) obwohl das Histogramm diese nicht deutlich zeigt.

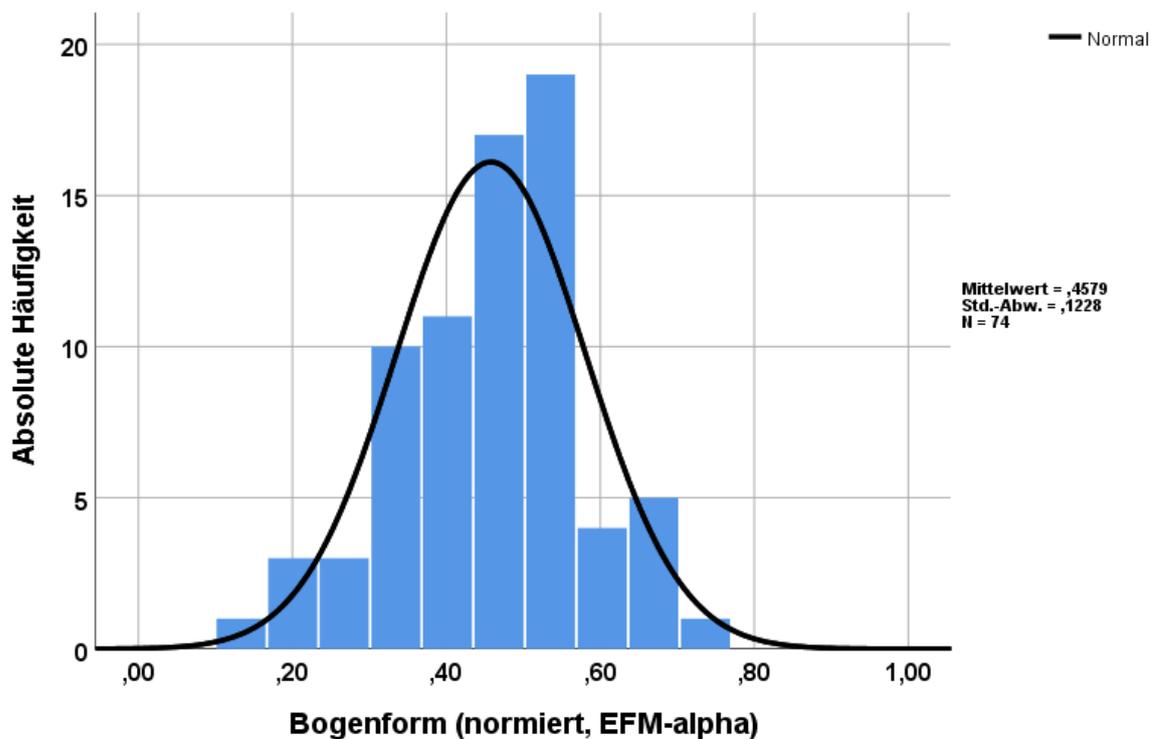


Abbildung 24 Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) beider Gruppen (Kindlevel)

In Tabelle 29 ist die zugehörige deskriptive Statistik berichtet.

**Tabelle 29**      **Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) beider Gruppen (Kindlevel; n = 74)**

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,458	0,014	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,429	
		Obergrenze	0,486	
	5% getrimmtes Mittel	0,460		
	Median	0,478		
	Varianz	0,015		
	SD	0,123		
	Minimum	0,102		
	Maximum	0,713		
	Spannweite	0,612		
	Interquartilbereich	0,158		
	Schiefe	0,385	0,279	
	Kurtosis	0,107	0,552	

In Abbildung 25 und Abbildung 26 werden die Verteilungseigenschaften der  $\alpha$ -Werte für die Strukturkategorie 1B in Histogrammen (Binbreite 0,067) für die beiden Gruppen separat dargestellt. Die Normalverteilungskurve ist ebenfalls wieder miteingezeichnet. In der statistischen Analyse zeigte sich eine hinreichende Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test: TU  $p = 0,61$ ; TA  $p = 0,42$ ). Der durchgeführte Signifikanztest lieferte keine signifikanten Gruppenunterschiede (T-Test bei unabhängigen Stichproben  $p = 0,862$ ).

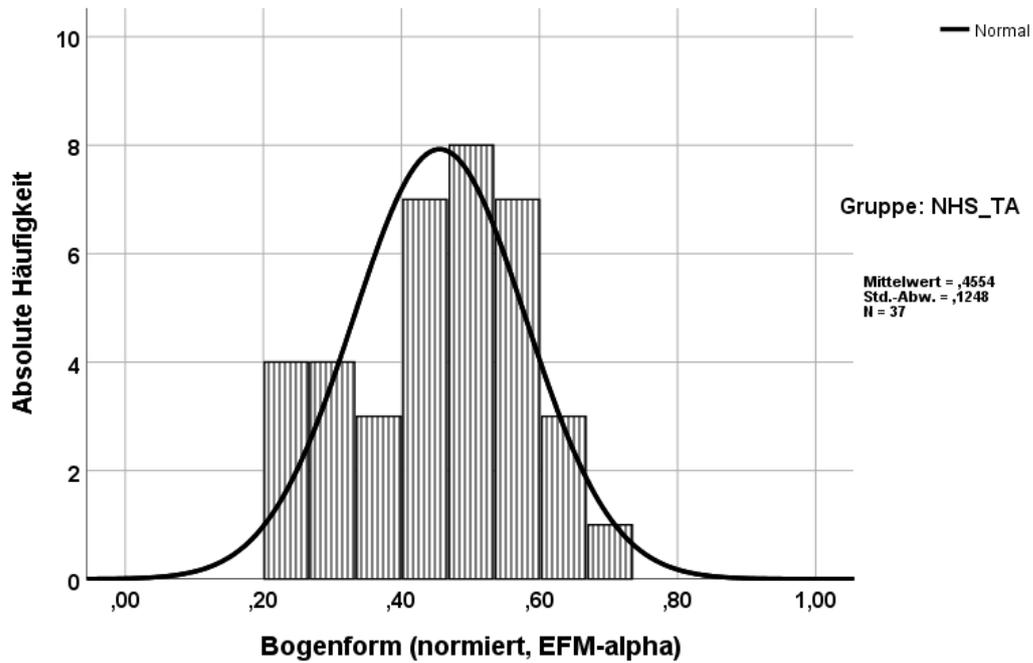


Abbildung 25 Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TA (Kindlevel)

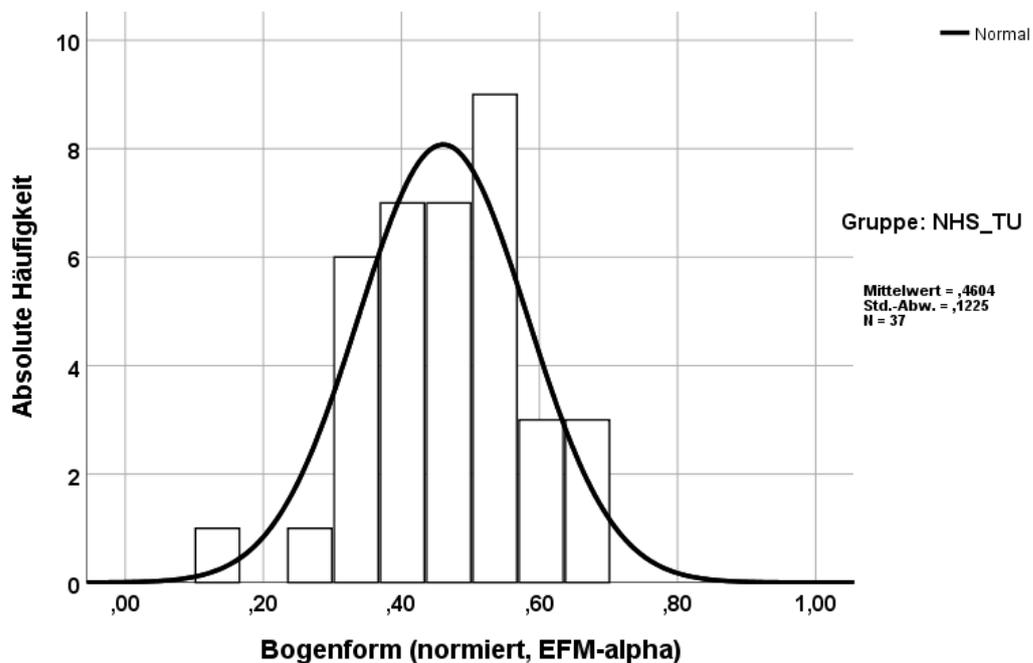


Abbildung 26 Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TU (Kindlevel)

In Tabelle 30 und Tabelle 31 wird die jeweilige deskriptive Statistik berichtet.

**Tabelle 30** Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) der Gruppe NHS\_TA (Kindlevel; n = 37)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,455	0,021	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,414	
		Obergrenze	0,497	
	5% getrimmtes Mittel	0,456		
	Median	0,480		
	Varianz	0,016		
	SD	0,125		
	Minimum	0,218		
	Maximum	0,713		

**Tabelle 31** Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit einfachen Melodiekonturen (1B) Gruppe NHS\_TU (Kindlevel; n= 37)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,460	0,020	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,420	
		Obergrenze	0,501	
	5% getrimmtes Mittel	0,465		
	Median	0,477		
	Varianz	0,015		
	SD	0,122		
	Minimum	0,102		
	Maximum	0,697		

### 3.3.2.2 Komplexe Strukturkategorien [alle nicht 1B]

In Abbildung 27 wird die Gesamtanalyse der Verteilungseigenschaften der  $\alpha$ -Werte für komplexe Strukturtypen (außer 1B) beider Gruppen im Histogramm (Binbreite 0,067) dargestellt. Es sind Vokalisationen von nur 55 aus 74 Probanden eingegangen, da nur diese komplexe Melodiestructuren zeigten. In der statistischen Analyse zeigte sich eine hinreichende Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test:  $p = 0,200$ ; Shapiro-Wilk-Test:  $p = 0,899$ ).

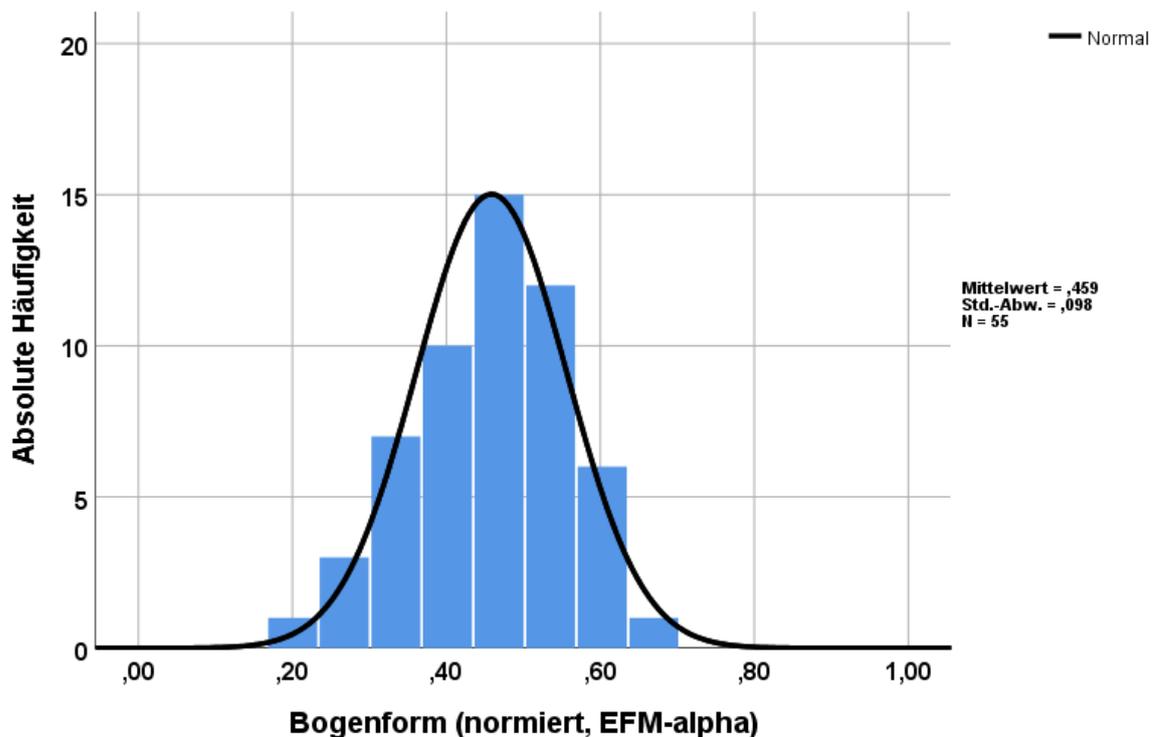


Abbildung 27 Histogramm: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen beider Gruppen (Kindlevel)

In Tabelle 32 wird die zugehörige deskriptive Statistik berichtet.

**Tabelle 32** Deskriptive Statistik: Verteilungseigenschaften der Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Vokalisationen mit komplexen Melodiekonturen beider Gruppen (Kindlevel; n = 55)

		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,459	0,013	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,432	
		Obergrenze	0,485	
	5% getrimmtes Mittel	0,461		
	Median	0,465		
	Varianz	0,010		
	SD	0,098		
	Minimum	0,200		
	Maximum	0,673		

### 3.3.2.3 Auswertung des Fragebogens zur spezifischen Sprachentwicklungsstörung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Auswertung des Fragebogens zur spezifischen Sprachentwicklungsstörung (SSES) berichtet (Kapitel 2.4.6). In Tabelle 33 ist aufgeführt, wie viele Probanden in der jeweiligen Gruppe eine positive Familienanamnese (FH<sup>+</sup>) für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES) aufwiesen. Es zeigte sich, dass neun Probanden (24,32 %) in der Gruppe NHS\_TA eine positive Familienanamnese für eine Sprachentwicklungsstörung hatten. In der Gruppe NHS\_TU gab es nur einen Probanden (0,03 %) mit einer positiven Familienanamnese.

**Tabelle 33** Auswertung des Fragebogens zur spezifischen Sprachentwicklungsstörung (SSES)

		Gruppe		Gesamt
		NHS_TA	NHS_TU	
<b>SSES</b>	<b>FH<sup>-</sup></b>	28	36	64
	<b>FH<sup>+</sup></b>	9	1	10
<b>Gesamt</b>		37	37	74

Negative Familienanamnese (FH<sup>-</sup>) bzw. positive Familienanamnese (FH<sup>+</sup>) für eine SSES

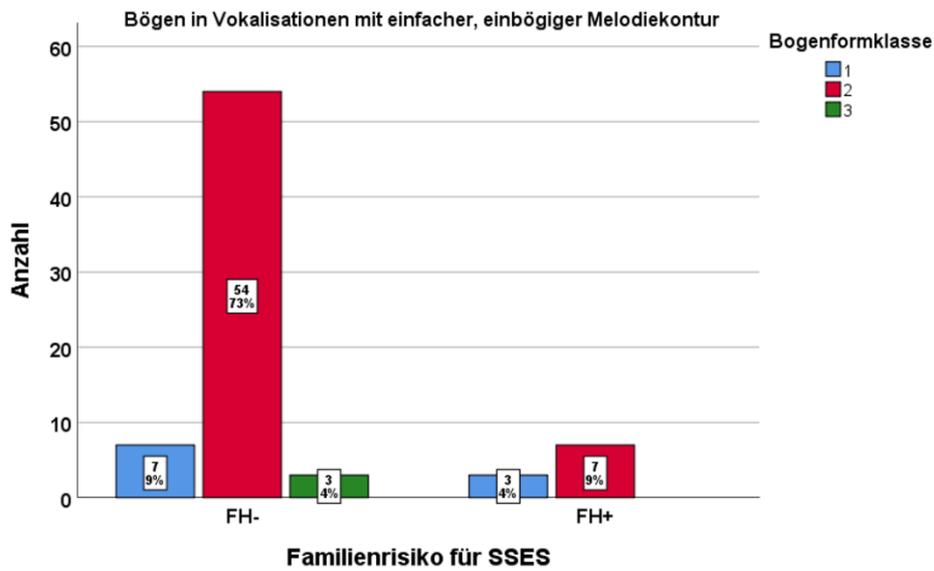
Eine Analyse bezüglich der Produktion komplexer melodischer Strukturen (d.h. alle außer 1B) ergab, dass 55 der insgesamt 74 Neugeborenen bereits, wenn auch nur wenige, komplexe Melodiestructuren in ihren Vokalisationen gezeigt hatten, darunter waren sieben der insgesamt zehn FH<sup>+</sup>-Probanden. Dies wird in Tabelle 34 dargestellt. Die Tabelle zeigt, dass von den 64 hier untersuchten FH<sup>-</sup>-Probanden beider Gruppen 48 (75%) erste komplexe Melodiekonturen in ihren spontanen Weinlauten zeigten; von den zehn FH<sup>+</sup>-Probanden waren es sieben (70%).

**Tabelle 34** Häufigkeit komplexer, mehrböiger Melodiestructuren in Vokalisationen der Neugeborenen beider Gruppen in Abhängigkeit von der Familienanamnese für eine SSES

SSES	Gruppe	Fälle				
		Gültig		Fehlend		Gesamt
		N	Prozent	N	Prozent	N
FH <sup>-</sup>	NHS_TA	18	64,3%	10	35,7%	28
	NHS_TU	30	83,3%	6	16,7%	36
FH <sup>+</sup>	NHS_TA	6	66,7%	3	33,3%	9
	NHS_TU	1	100,0%	0	0,0%	1

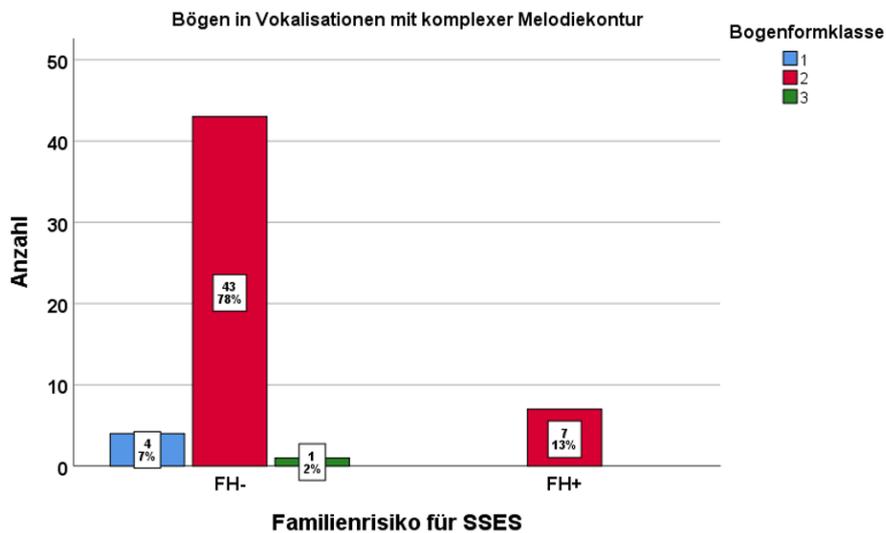
Negative Familienanamnese (FH<sup>-</sup>) bzw. positive Familienanamnese (FH<sup>+</sup>) für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES)

In Abbildung 28 und Abbildung 29 wird jeweils ein Säulendiagramm der Auftrittshäufigkeit der Bogenformklassen in Abhängigkeit vom Ergebnis des Fragebogens dargestellt. Abbildung 28 stellt die Auftrittshäufigkeit für die 1B-Strukturkategorie und Abbildung 29 die für die der komplexen Strukturkategorien dar.



**Abbildung 28 Säulendiagramm: Beobachtete Häufigkeit der Bogenformklassen in einfachen Melodiekonturen (1B) in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES)**

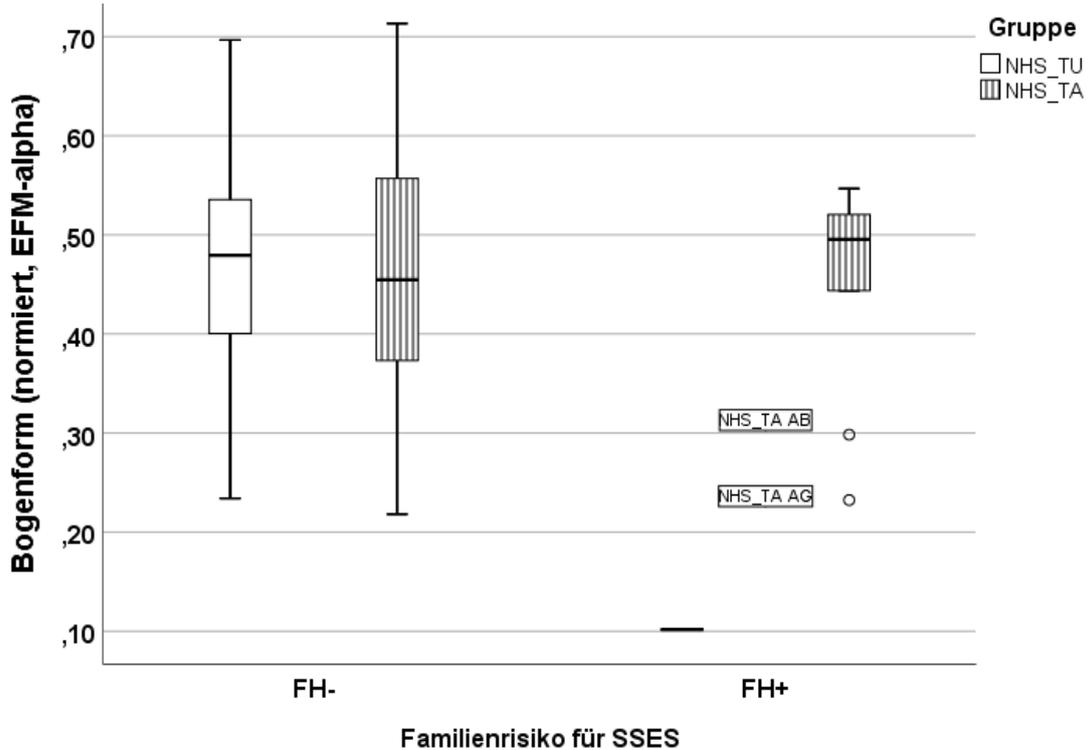
Negative Familienanamnese (FH-) bzw. positive Familienanamnese (FH+) für eine SSES



**Abbildung 29 Säulendiagramm: Beobachtete Häufigkeit der Bogenformklassen in komplexen Melodiekonturen in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES)**

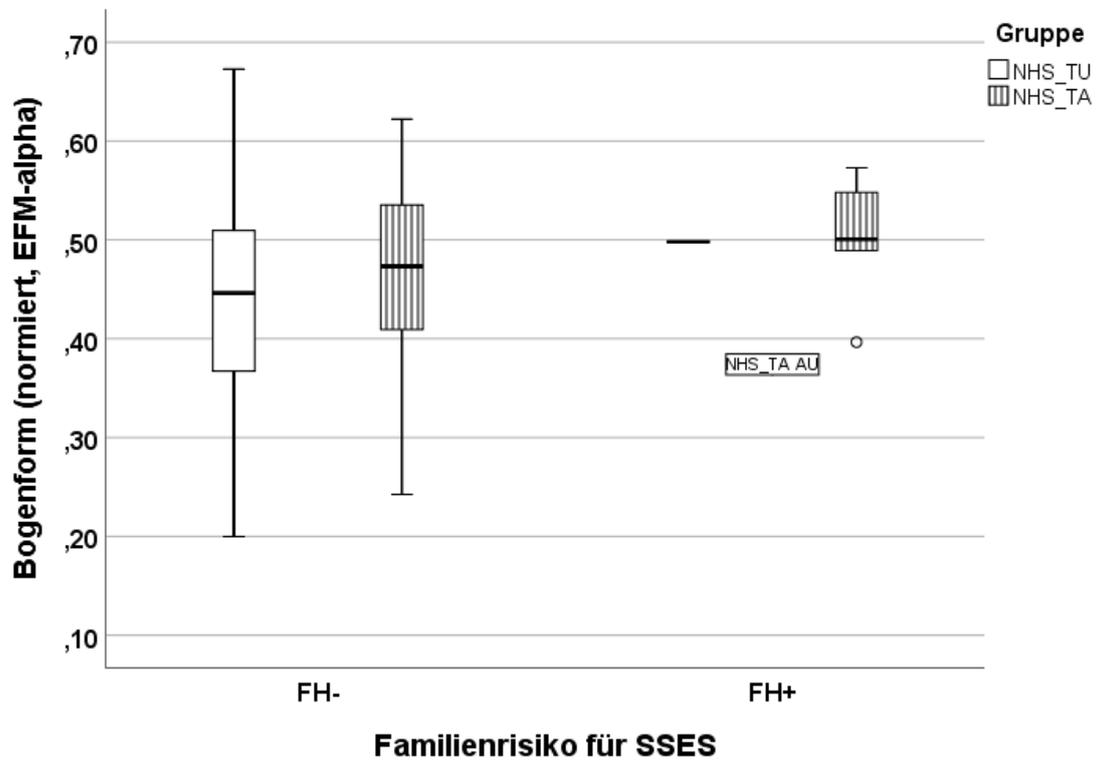
Negative Familienanamnese (FH-) bzw. positive Familienanamnese (FH+) für eine SSES

In Abbildung 30 und Abbildung 31 sind die  $\alpha$ -Werte noch einmal im Boxplotdiagramm für die beiden Untersuchungsgruppen dargestellt, was insbesondere für die FH-Gruppe hier von Interesse war.



**Abbildung 30** Boxplotdiagramm: Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES) im Gruppenvergleich [einfache Melodiekonturen]

Negative Familienanamnese (FH-) bzw. positive Familienanamnese (FH+) für eine SSES



**Abbildung 31** Boxplotdiagramm: Werte des Modellparameters  $\alpha$  in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES) im Gruppenvergleich [komplexe Strukturkategorien]

Negative Familienanamnese (FH-) bzw. positive Familienanamnese (FH+) für eine SSES

In Tabelle 35, Tabelle 36, Tabelle 37 und Tabelle 38 sind die jeweiligen zugehörigen deskriptiven Statistiken berichtet. In der deskriptiven Statistik in Tabelle 37 werden nur die Ergebnisse für die Gruppe NHS\_TA berichtet, da sich in der FH<sup>+</sup>-Gruppe nur ein Proband aus der Gruppe NHS\_TU befindet.

**Tabelle 35** Deskriptive Statistik: Werte des Modellparameters  $\alpha$  in einfachen Melodiekonturen (Gruppe NHS\_TA) bei negativer Familiendisposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES)

Gruppe NHS_TA		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,457	0,025	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,406	
		Obergrenze	0,507	
	5% getrimmtes Mittel	0,457		
	Median	0,455		
	Varianz	0,017		
	SD	0,131		
	Minimum	0,218		
	Maximum	0,713		

**Tabelle 36** Deskriptive Statistik: Werte des Modellparameters  $\alpha$  in einfachen Melodiekonturen (Gruppe NHS\_TU) bei negativer Familiendisposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES)

Gruppe NHS_TU		Statistik	Std.-Fehler	
<b>alpha</b>	Mittelwert	0,470	0,018	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,434	
		Obergrenze	0,507	
	5% getrimmtes Mittel	0,470		
	Median	0,479		
	Varianz	0,012		
	SD	0,108		
	Minimum	0,234		
	Maximum	0,697		

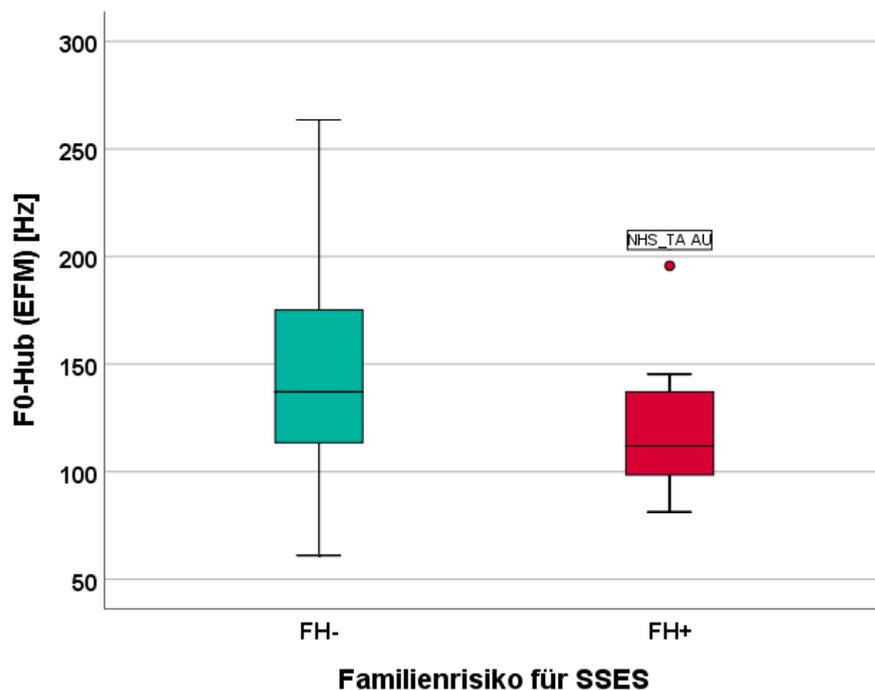
**Tabelle 37** Deskriptive Statistik: Werte des Modellparameters  $\alpha$  in komplexen Melodiekonturen (Gruppe NHS\_TA) bei positiver Familiendisposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES)

		Gruppe	Statistik	Std.-Fehler	
alpha	NHS_TA	Mittelwert	0,501	0,025	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,438	
			Obergrenze	0,565	
		5% getrimmtes Mittel	0,503		
		Median	0,501		
		Varianz	0,004		
		SD	0,061		
		Minimum	0,397		
		Maximum	0,573		

**Tabelle 38** Deskriptive Statistik: Werte des Modellparameters  $\alpha$  in komplexen Melodiekonturen bei negativer Familiendisposition für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES)

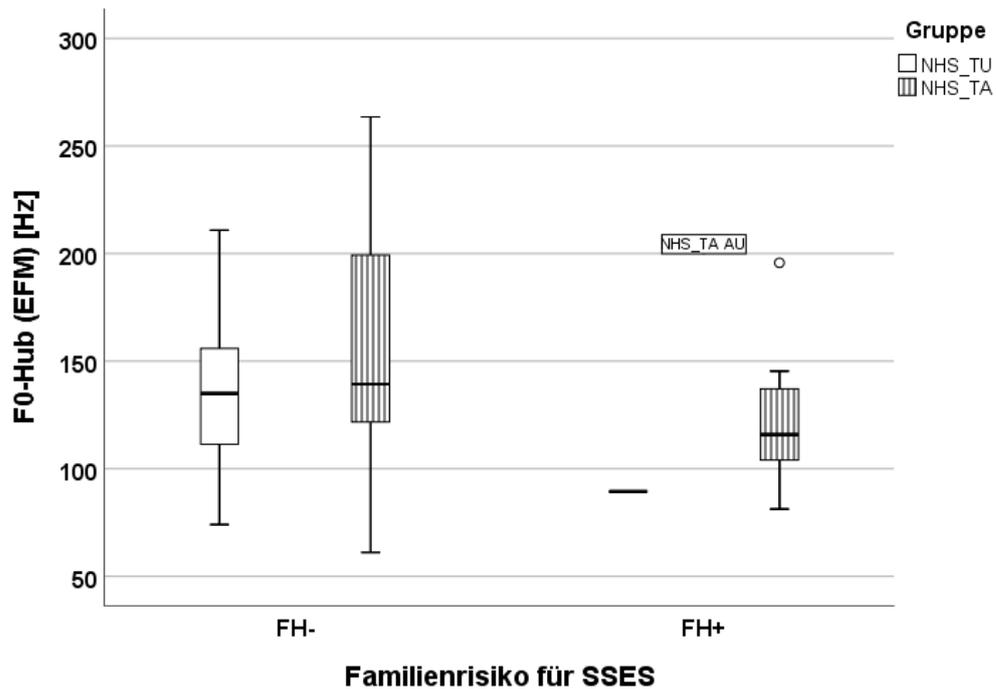
		Gruppe	Statistik	Std.-Fehler	
alpha	NHS_TA	Mittelwert	0,470	0,024	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,420	
			Obergrenze	0,521	
		5% getrimmtes Mittel	0,475		
		Median	0,474		
		Varianz	0,010		
		SD	0,102		
		Minimum	0,242		
	Maximum	0,622			
	NHS_TU	Mittelwert	0,442	0,019	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,404	
			Obergrenze	0,480	
		5% getrimmtes Mittel	0,442		
		Median	0,446		
		Varianz	0,010		
		SD	0,102		
Minimum		0,200			
Maximum	0,673				

In Abbildung 32 ist zusätzlich der Hub (FM-Amplitude) der modellierten Bögen in Abhängigkeit vom Familienrisiko für SSES dargestellt. Es zeigte sich ein tendenziell niedrigerer Hub in einfachen und komplexen Melodiekonturen bei den Neugeborenen der FH<sup>+</sup>-Gruppe (statistisch nicht signifikant, T-Test  $p = 0,11$ ). Es zeigt sich ein Ausreißer in der Gruppe NHS\_TA (Proband AU). In Abbildung 33 wurde dies gruppenspezifisch grafisch dargestellt.



**Abbildung 32** Boxplotdiagramm: Grundfrequenzhübe (Frequenzmodulations-Amplitude) aller modellierten Bögen in Abhängigkeit vom Familienrisiko für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES)

Negative Familienanamnese (FH-) bzw. positive Familienanamnese (FH+) für eine SSES



**Abbildung 33** Boxplotdiagramm: Grundfrequenzhübe (Frequenzmodulations-Amplitude) aller modellierten Bögen in Abhängigkeit vom Familienrisikos für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung (SSES) im Gruppenvergleich

Negative Familienanamnese (FH-) bzw. positive Familienanamnese (FH+) für eine SSES

## 4 Diskussion

### 4.1 Vergleich der Auftrittshäufigkeit von Strukturkategorien in den Melodien der Neugeborenenlaute beider Gruppen

Die Analyse der Strukturkategorien der Melodien der hier untersuchten Neugeborenenlaute zeigte ein Überwiegen von einfachen, einbögigen Melodiekonturen. Dieses Ergebnis steht sowohl in Übereinstimmung mit dem Entwicklungsmodell prosodischer Eigenschaften (Wermke & Mende, 2011; Wermke & Mende, 2016; Wermke, Mende, Borschberg & Ruppert, 1999) als auch in Übereinstimmung mit Vorgängerarbeiten (z.B. Dahlem, 2008; Höing, 2010; Risse, 2011). In der vorliegenden Arbeit wurden in der Gruppe NHS\_TU im Mittel 71 % und in der Gruppe NHS\_TA im Mittel 85 % einbögige Melodiestructuren in den Neugeborenenlauten gefunden (Kapitel 3.1). Nach dem Melodieentwicklungsprogramm von Wermke und Mende (Wermke & Mende, 2011; Wermke & Mende, 2016) zeigen gesunde, im NHS-unauffällige Neugeborene etwa 67 % einbögige Melodiekonturen. Damit stimmt der hier ermittelte Anteil bei den Neugeborenen der Gruppe NHS\_TU sehr gut mit dem theoretischen Erwartungswert überein. Eine deutliche Abweichung zeigte sich dagegen in der Gruppe NHS\_TA mit ihrem tendenziell deutlich erhöhten Anteil einbögiger Melodiekonturen, der allerdings statistisch nicht signifikant war (Kapitel 3.1).

Gesunde Neugeborene variieren in der Häufigkeit der Produktion komplexer Muster, die sich nach dem Entwicklungsmodell von Wermke und Mende (ibid.) aus modularen Kombinationen von Einfachbögen verschiedener Formen zu komplexeren Melodiekonturen zusammensetzen. Die ersten komplexen Vorstufen dieser Muster treten danach bei Neugeborenen während der ersten zwei Lebenswochen nur zu einem geringen Prozentsatz von etwa 33 % auf (ibid. Seite 635). In der vorliegenden Arbeit zeigten die Neugeborenen der Gruppe NHS\_TU einen Anteil von komplexen Melodiekonturen im postulierten Bereich

(29 %). Dagegen zeigten Neugeborene in der Gruppe NHS\_TA (15 %) einen um 50 % niedrigeren Wert.

Die Produktion komplexer Melodiekonturen gilt nach dem genannten Entwicklungsprogramm als ein positiver Indikator für den ungestörten frühen Spracherwerb (Wermke et al., 2007; Wermke, 2015). Der Melodiekomplexitätsgrad (MCI) war in der Gruppe NHS\_TU im Medianwert mehr als doppelt so hoch als der der Gruppe NHS\_TA. Nachfolgende Untersuchungen könnten an diesem Erstbefund anknüpfen und an einer größeren Stichprobe prüfen, ob sich dieser tendenzielle Unterschied bestätigt oder hier doch eher Ausdruck der interindividuellen Variabilität war. Basierend auf einem Zusatzbefund mit Hilfe der Fragenbogenerhebung (Kapitel 2.4.6) kann eine vorläufige Hypothese für den möglicherweise geringeren Anteil komplexer Muster in der Gruppe NHS\_TA formuliert werden: Neugeborene mit einer positiven Familienanamnese (FH<sup>+</sup>) für SSES zeigten veränderte akustische Eigenschaften, insbesondere einen kleineren Hub (FM-Amplitude) der Melodiebögen (Kapitel 3.3.2.3). Das könnte dazu geführt haben, dass hier weniger komplexe Melodiestrukturen identifiziert wurden, da das Hubkriterium für einen Bogen nicht erfüllt wurde (Kapitel 2.4.2). Der Unterschied wäre dann rein methodisch bedingt.

Ein vergleichsweise höherer Anteil von komplexen Melodiekonturen ist allerdings nicht nur mit den neurobiologischen Voraussetzungen für den Spracherwerb verbunden, sondern wird auch durch viele weitere Faktoren, wie z. B. mit melodisch-rhythmischen Umgebungseinflüssen im letzten Trimenon der Schwangerschaft, beeinflusst. So haben verschiedene Arbeiten gezeigt, dass sehr melodische Muttersprachen, sogenannte Tonakzentsprachen, mit komplexeren Melodiekonturen in den Neugeborenenlauten verbunden waren (Dahlem, 2008; Prochnow, 2013; Prochnow et al., 2017). Bei den hier untersuchten Neugeborenen handelte es sich allerdings ausschließlich um Neugeborene mit monolingual deutschem Spracheinfluss, sodass dieser Faktor keinen Einfluss auf die tendenziell gefundenen, allerdings statistisch nicht signifikanten Gruppenunterschied im Anteil komplexer Muster hatte. Zur aktiven

musikalischen Betätigung der Mütter während der Schwangerschaft liegen zu der hier untersuchten Stichprobe keine Informationen vor. Eine vergleichende Untersuchung an Neugeborenen japanischer bzw. französischer und deutscher Mütter hat Hinweise darauf geliefert, dass auch die musikalische Betätigung der Mütter in der Schwangerschaft den Anteil komplexer Melodiekonturen in den Lauten ihrer Neugeborenen zu erhöhen scheint (Dahlem, 2008). Allerdings wäre es ein großer Zufall, wenn nur Mütter der Neugeborenen der Gruppe NHS\_TU musikalisch aktiv gewesen wären. Da der Anteil der FH<sup>+</sup>-Gruppe für SSES in der Gruppe NHS\_TA höher war, könnte man auch annehmen, dass diese Konstellation Einfluss auf den Melodiekomplexitätsgrad gehabt haben könnte. Diese Annahme hat sich hier nicht generell bestätigt, sollte aber als Hypothese zukünftig noch einmal systematisch an einer größeren Stichprobe untersucht werden.

## **4.2 Vergleich der Originalmelodielängen**

Die Melodielänge ist ein Maß, das auch über die respiratorisch-laryngeale Regelleistung des Neugeborenen Auskunft liefert. Für eine lange Vokalisation, also einen vergleichsweise langen Schrei, muss das Neugeborene die eingeatmete Luft geregelt, möglichst langsam durch die Stimmlippen fließen lassen. Eine entsprechende Untersuchung wurde bereits bei dem gleichen Datenset der vorliegenden Arbeit von einem anderen Doktoranden durchgeführt (Sereschk, 2019). Seine Arbeit hat gezeigt, dass alle Neugeborenen eine sehr gute respiratorisch-laryngeale Regelleistung zeigten und es diesbezüglich keine Gruppenunterschiede gab. In einer weiterführenden Analyse dieser Daten, an der die Autorin beteiligt war, zeigte sich, dass eine Verlängerung der Melodien insbesondere durch eine Verlangsamung bzw. Unterbrechung des Ausatemstroms durch laryngeale Verschluss- bzw. Verengungsmechanismen intentional erreicht werden kann (Wermke et al., 2019).

Auch in der vorliegenden Melodielängenanalyse wurde, wie bei Sereschk (ibid.), der die gesamte Vokalisationslänge bzw. Expirationslänge anhand der Zeitbereichsdarstellung vermessen hat, kein signifikanter Gruppenunterschied gefunden. Allerdings zeigt sich tendenziell bei der Analyse auf Signal- und Kindlevel ein höherer Mittel- und Medianwert in der Gruppe NHS\_TA bei den 1B-Strukturen (ca. 150 ms längere Melodiebögen). Von den 37 Neugeborenen der Gruppe NHS\_TA hatten 22 (64,7 %) einen Wert oberhalb des Medians der Gruppe NHS\_TU. Darunter waren sechs der neun Neugeborenen mit positiver Familienanamnese für SSES. Auch bei den komplexen Melodien fand sich ein höherer Wert in der Gruppe NHS\_TA auf Signal- und Kindlevel (nicht signifikant).

Damit könnte die Untersuchung einen Hinweis darauf liefern, dass ein auffälliger NHS-Befund bei gesunden Neugeborenen möglicherweise bei einigen Neugeborenen mit einer Verlangsamung neuro-physiologischer Regelmechanismen in Zusammenhang stehen könnte. Dies könnte eine individuell verzögerte Reifung der Hörbahn zur Ursache haben, die dann wiederum auch den auffälligen NHS-Befund erklären würde. Dagegen sprechen die faktisch identischen Minima und Maxima der gemessenen Originalmelodielängen (1B) für vergleichbare respiratorisch-laryngeale Regelkapazitäten. Die Unterschiede liegen also, sollten sie sich in nachfolgenden Analysen tatsächlich bestätigen, vermutlich in höheren zerebralen Regelungsebenen des gesamten auditiv-vokalen Systems. Ob auch die verminderten Frequenzhübe der Melodiebögen in dieser Richtung interpretiert werden könnten, ist mit der hier untersuchten Stichprobe und der Untersuchungsmethode nicht zu beantworten (Kapitel 3.3.2.3).

Eine Verlangsamung auditiver Verarbeitungs- und Gedächtnisfunktionen ist jedoch in der Literatur mehrheitlich für Kinder mit SSES beschrieben (Kujala & Leminen, 2017; Rota-Donahue, Schwartz, Shafer & Sussman, 2016).

Allerdings fanden Penner et al. (2006) in den Daten der Deutschen Sprachentwicklungsstudie keinen Hinweis darauf, dass verlängerte Interpeaklatenzen in der BERA in Zusammenhang mit einer positiven

Familienanamnese für SSES stehen könnten. Sie fanden allerdings einen signifikanten Unterschied zwischen der FH<sup>+</sup>- und FH<sup>-</sup>- Gruppe ihrer Stichprobe nach den standardisierten Elternfragebögen (ELFRA-TEST) zu produktiven und perceptiven Sprachleistungen im Alter von zwei Jahren. Gleichzeitig waren die Interpeaklatenzen in der BERA im Alter von sechs Monaten mit den Sprachleistungen im Alter von zwei Jahren positiv korreliert (ibid. S.41). Die „BERA-langsamem“ (reifeverzögerten) Säuglingen hatten zwei Jahre später im ELFRA-Test (Grimm & Doil, 2000) signifikant weniger Wörter in ihrem Wortschatz bzw. signifikant schlechtere Wort- und Satzproduktionsleistungen im SETK-2 Test (Grimm, 2000) als die „BERA-schnellen“ Probanden. Penner et al. (2006) postulierten daraufhin, dass „Kinder mit einer langsamen Reifung der Hörbahnen – obwohl sie ihre vorhandenen Verzögerungen zwischen dem 6. und 13. Lebensmonat aufholen – ein Risiko für Defizite im späteren Verlauf der Sprachentwicklung tragen“ (S.42).

Die Interpeaklatenzen der BERA-Messungen der NHS-auffälligen Neugeborenen bei den routinemäßigen Nachuntersuchungen im Alter von zwei bis drei Monaten liegen möglicherweise teilweise in der HNO-Klinik der Julius-Maximilians-Universität Würzburg noch vor und könnten im Nachhinein ausgewertet werden, um bezüglich der Interpretation der genannten Befunde für nachfolgende Längsschnittstudien geeignete Hypothesen formulieren zu können. Dabei scheint es im Ergebnis vorliegender Arbeit wichtig, den potenziellen Zusammenhang zwischen den Interpeaklatenzen und der Melodie-/Vokalisationslänge spontaner Weinlaute bei NHS-auffälligen Neugeborenen zu testen und zusätzlich die Familienanamnese für eine SSES zu erheben.

Bei anderen Autoren, es gibt allerdings kaum Referenzwerte, werden arithmetische Mittelwerte der Vokalisationslänge von 1,3 s für Spontanweinlaute im ersten Lebensmonat (Wasz-Höckert, Lind, Vuorenkoski, Partanen & Valanne, 1968) berichtet. Für durch leichte Schmerzreize ausgelöste Weinlaute werden Längen von 1,4 s (Michelsson, Eklund, Leppänen & Lyytinen, 2002; Michelsson & Michelsson, 1999) bzw. 2,6 s (Wasz-Höckert, Lind, Vuorenkoski, Partanen & Valanne, 1968) berichtet. Melodien mit komplexer Struktur zeigten hier Längen

zwischen 1,24 – 1,39 s im Mittel. Eine Vergleichsanalyse von spontanen Weinlauten schwedischer und deutscher Neugeborener in der Arbeit von Annette Prochnow (Prochnow, 2013) lieferte einen Medianwert für die Melodielänge von 0,813 s (1B; Signallevel). Das entspricht der Größenordnung, wie sie auch hier für Neugeborene gefunden wurde (Medianwert Kindlevel 0,784 s (TU) und 0,943 s (TA)). Die Stichprobe der deutschen Neugeborenen in der Prochnow-Studie war eine andere (Probanden der Deutschen Sprachentwicklungsstudie) als die hier untersuchte. Damit sind die hier ermittelten Werte als hinreichend repräsentativ für gesunde Neugeborene anzusehen.

### **4.3 Vergleich der Anwendung des mathematischen Modells**

Die Anwendung des EF-Modells lieferte in 67% der Spontanschreie mit gut identifizierbarer Melodiekontur einen geeigneten Fit der Melodiebögen, der für jeden der 1.028 individuellen Bögen visuell anhand der Melodiegrafiken überprüft wurde (Kapitel 2.4.3).

Ein Vergleich mit der einzigen Arbeit bei Neugeborenen, die das EF-Modell ebenfalls angewendet hat (Mampe-Keller, 2013) zeigte folgendes:

Birgit Mampe (ibid.) hat von ursprünglich 5.779 der von ihr aufgezeichneten Einzelschreie (Vokalisationen) französischer Neugeborener einen vergleichsweise großen Anteil von 4.035 Einzelschreien aufgrund der von ihr verwendeten Auswahlkriterien nicht für die EF-Modellierung verwendet. Ihre Auswahlkriterien waren im Prinzip die gleichen, wie die hier verwendeten, nur hat sie auch alle Vokalisationen mit komplexer Melodiestructur ausgeschlossen, die hier mit analysiert wurden. Auch sind in ihrer Anzahl bereits die nicht bogenförmigen sowie die verrauschten Melodien eingeschlossen, die hier nachträglich als nicht modellierbar aussortiert wurden. Eine Abschätzung zeigte, dass der Anteil modellierbarer Melodien in Mampes und der vorliegenden Arbeit in etwa der gleichen Größenordnung liegt.

### 4.3.1 Bogenform

Die Bogenformanalyse wurde hier mit Hilfe des EF-Modells, das von Werner Mende (Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften) entwickelt und am ZVES gemeinsam mit Philippe Gérard und Peter Wermke (Programmautor CDAP) implementiert wurde, durchgeführt (Kapitel 2.4.3). Sie hatte vor allem das Ziel, die Melodiekontur der spontan evozierten Neugeborenenlaute bezüglich der relativen Dauer der An- und Abstiegsflanken ihrer Melodiebögen zu beschreiben. In 1B-Strukturen entspricht der Modellbogen im Wesentlichen der Melodiekontur des Gesamtlautes. Ein- und Ausschwingvorgänge vor bzw. nach dem Melodiehauptbogen wurden im Modell nicht berücksichtigt (Kapitel 2.4.2). Dadurch kann die Gesamtlänge der Vokalisationen von der Länge der modellierten Melodiekonturen abweichen (Median 60%; Kapitel 3.3.1). In Weinlauten, die komplexe melodische Strukturen aufwiesen, also mehrbölig waren, wurden die Einzelbögen modelliert (sofern sie modellierbar waren, vgl. Kapitel 2.4.3). In diesen Vokalisationen beschreiben die Bogenformklassen also nicht die Gesamtkontur („Intonation“) des Weinlautes, sondern die darin vorkommenden Einzelbogenformen, die zusammengesetzt die Gesamtgestalt ergeben. In Weinlauten mit einböiger Struktur entspricht die Bogenform im Prinzip der Vokalisationsintonation, da die bei der Modellierung nicht berücksichtigten Ein- und Ausschwingvorgänge vergleichsweise kurz sind. Da Neugeborene prinzipiell (Wermke & Mende, 2016) und hier keine oder sehr wenige komplexe Melodiestructuren zeigten, wurde aufgrund der geringen Datenmenge auf die spezifische Beschreibung der Gesamtkontur mehrböiger Konturen verzichtet. Ein solcher Ansatz ist aber sehr gut geeignet, um die Intonationskonturen der zunehmend komplexeren Vokalisationen älterer Säuglinge zu charakterisieren.

Der hier angewandte mathematische Modellansatz wurde bereits in einer früheren Arbeit verwendet, die spontane Weinlaute Neugeborener mit französischer Umgebungssprache analysiert hat (Mampe-Keller, 2013). Weitere, nur partiell vergleichbare Arbeiten gibt es für Längsschnittdaten von Wermke und Mende (Wermke & Mende, 2011; Wermke & Mende, 2016).

Die Dissertation von Birgit Mampe sowie die hier vorliegende Arbeit sind die Fortsetzung des Melodiebogenvergleichs deutscher und französischer Neugeborener, der erstmalig eine Prägung durch die Muttersprache postulierte (Mampe et al., 2009). Die Bogenformdaten für diese erste Publikation der ZVES-Arbeitsgruppe wurden damals methodisch anders, nämlich nicht durch Verwendung eines mathematischen Modells ermittelt, sondern das zeitliche Auftreten der F0-Maxima der Bögen relativ zur Gesamtlänge der Vokalisation (nur 1B) ermittelt und darauf basierend die Bogengestalt („Intonation“) einbögiger Melodiestructuren bei Neugeborenen mit deutscher bzw. französischer Muttersprache ermittelt und verglichen. Beide methodische Ansätze haben, je nach Fragestellung, ihre Berechtigung, unterscheiden sich jedoch leicht in ihren Ergebnissen. Beim Modellansatz wird nur der melodische Hauptbogen (oder mehrerer Einzelbögen bei komplexer Kontur) einer Vokalisation zur Gestaltcharakteristik berücksichtigt, während beim klassisch-metrischen Ansatz die „Intonation“ auf die gesamte Vokalisationslänge, inkl. Ein- und Ausschwingvorgänge, bezogen wird. Bei einem Vergleich zwischen verschiedenen Studien ist diese Unterscheidung essenziell, da es ansonsten zu widersprüchlichen Ergebnissen, auch bei der Analyse derselben Stichprobe, kommen kann. Das zeigt sich auch an den Untersuchungen monolingual französischer Neugeborener: Mit dem EF-Modellansatz wurde ein  $\alpha$ -Medianwert von 0,50 und ein Mittelwert von  $0,51 \pm 0,1$  gefunden (Mampe-Keller, 2013), während mit dem klassisch-metrischen Ansatz in der Vorstudie erwartungsgemäß höhere  $\alpha$ -Werte gefunden wurden  $0,58 \pm 0,13$  (Mampe et al. 2009). In beiden Fällen wurde dieselbe Stichprobe untersucht.

Beide Verfahren, das klassisch-metrische als auch das modellbasierte, haben ihre Berechtigung, je nachdem, welche spezifische Forschungsfrage beantwortet werden soll. Geht es zum Beispiel um die perzeptive Wahrnehmung der Intonationsgesamtgestalt einer Vokalisation, ist der klassisch-metrische Ansatz unter Umständen besser geeignet. Will man prosodische Bausteine der späteren Sprachmelodie in Säuglingslauten im cross-lingualen Vergleich charakterisieren,

geht das sinnvoll nur mit einem modellbasierten Ansatz (Wermke & Mende, 2011).

Hier wurde der mathematische Modellansatz gewählt, da er für die Fragestellung des potenziellen Einflusses einer Kondition, die zum „fail“ beim Neugeborenen-Screening (NHS) geführt hat, als der geeigneteren, da besser interpretierbarer, darstellt. Beim klassisch-metrischen Ansatz ist das Melodiemaximum nur durch einen einzelnen Wert repräsentiert, der stark lokalen Schwankungen unterliegen kann. Beim Modellansatz dagegen wird das Melodiemaximum durch Einbeziehung der Nachbarwerte ermittelt und potenzielle Artefakte durch Ausreißer werden vermieden.

Mampe (Mampe-Keller, 2013) beschreibt, dass die Verteilung der  $\alpha$ -Kindmittelwerte, also die arithmetische Mittelung aller  $\alpha$ -Werte der modellierten Bögen (1B-Strukturen) pro Neugeborenes und Gruppe zeigte, „dass die monolingual französischen Neugeborenen am häufigsten solche Melodiekonturen produzierten, für die  $\alpha$  zwischen 0,4 und 0,6 lag“ (S. 89). Der Medianwert lag bei 0,5. Das Minimum wurde bei 0,29 ermittelt, das Maximum der  $\alpha$ -Kindmittelwerte wird mit 0,69 von ihr berichtet. Für die Werte wurde eine Normalverteilung gefunden (Shapiro-Wilk-Test,  $p = 0,739$ ) und der Gruppenmittelwert der monolingual französischen Neugeborenen mit 0,51 berichtet. Eine Analyse auf Signallevel hat sie nicht berichtet (ibid. S. 90).

Mampe (ibid. S. 90-91) fand einen statistisch signifikanten Unterschied der monolingualen Neugeborenenengruppe ( $n=40$ ) zu der Gruppe, deren Neugeborene in einer bilingualen fetalen und frühen postnatalen Umgebung aufwuchsen ( $n = 20$ ): Hier lagen die  $\alpha$ -Kindmittelwerte am häufigsten im Bereich 0,3 - 0,5 (Mittelwert 0,45 und  $SD = 0,13$ ), waren also, zumindest bei einigen Neugeborenen niedriger (Minimum 0,21; Maximum 0,63). Damit hat sie mit Hilfe des Modellansatzes für die ursprüngliche Hypothese des Einflusses der Umgebungssprache auf die Schreimelodiekontur weitere stützende Argumente geliefert. In der vorliegenden Arbeit wurden nur monolingual deutsch

aufwachsende Neugeborene untersucht, so dass dieser Einflussfaktor hier nicht relevant war.

Die Bogenformklassen hat Mampe sehr ungleich eingeteilt: Sie hat Formen unterschieden, die entweder  $< 0,5$  oder  $= 0,5$  oder  $> 0,5$  waren (ibid.). Dadurch gibt es faktisch nur „fallende“ und „steigende“ Melodiekonturen, während die symmetrische Klasse relativ selten vorgekommen sein dürfte (nur genau die mit einem Wert von 0,5).

In der hier vorgenommenen Bogenformanalyse mit Hilfe des gleichen Vorverarbeitungs- und Modellierungsverfahren bei einer Stichprobe mit monolingual deutschen Neugeborenen wurde für die Gruppe NHS\_TU ein Bereich von 0,4 – 0,6 als häufigster Bereich für die  $\alpha$ -Kindmittelwerte in 1B-Strukturen ermittelt. Dieser Bereich ist mit dem identisch, den Mampe in ihrer Arbeit (ibid.) für die monolingual französischen Neugeborenen berichtet. Betrachtet man die Gruppe NHS\_TA allein, dann zeigen die Neugeborenen in 1B-Strukturen die häufigsten Werte im Bereich von 0,3 bis 0,6. Betrachten wir die Mittelwerte, dann wurde in der vorliegenden Arbeit ein Medianwert über die Neugeborenen beider Gruppen von 0,478 und ein arithmetischer Mittelwert von  $0,458 \pm 0,12$  in 1B-Strukturen ermittelt, der Medianwert für die  $\alpha$ -Werte von Bögen in komplexen Melodien lag auf Signalleve bei 0,457. Die monolingual französischen Neugeborenen zeigten also nur einen geringfügig höheren Median- und Mittelwert (0,50 bzw.  $0,51 \pm 0,1$ ) im Vergleich zu den monolingual deutschen Neugeborenen hier im Vergleich zur methodisch etwas differenten Vorstudie (französisch:  $0,58 \pm 0,13$ ; deutsch:  $0,44 \pm 0,15$ ) von Mampe et al. (2009). Die Gruppen sind faktisch von der jeweiligen Seite bei Anwendung des EF-Modells zur Symmetriestufe gerückt. Außerdem ist der Spracheinfluss geringer geworden. Die deutschen Neugeborenen hier haben immer noch einen geringfügig geringeren Mittelwert der  $\alpha$ -Werte als die französischen von Mampes Studie, sind also immer noch etwas mehr fallend, aber deutlich weniger als in der Vorstudie. Dies hat methodische Gründe: Durch Anwendung des EF-Modells wird nur der Melodiehauptbogen beurteilt und die Ein- und Ausschwingvorgänge bleiben unberücksichtigt. Bei der klassischen Methode (s.o.) sind sie mit

einbezogen, da sie auch perzeptiv beim Zuhörer, an den die Weinlaute gerichtet sind, wirken.

Also gibt es keinen inhaltlichen Widerspruch zu Vorarbeiten. In der vorliegenden Arbeit ging es nicht um perzeptive Wahrnehmungseigenschaften, sondern um objektivierbare Messungen aus klinischer Perspektive. Dafür war das EF-Modell als Methode die geeignetere Herangehensweise.

#### **4.3.2 Hub (Frequenzmodulations-Amplitude)**

Das Hubverhältnis wurde berechnet, indem der Quotient aus dem Modellmaximum und dem Modellminimum gebildet wurde. Eine Mittelung über die Neugeborenenlaute und anschließend aller Neugeborener der jeweiligen Gruppe lieferte den jeweiligen Gruppenmittelwert.

Es wurden keine signifikanten Gruppenunterschiede innerhalb der beiden Gruppen gefunden. Insbesondere beim Vergleich der Bogenformklassen waren die Frequenzhübe der 1B-Strukturkategorie in fallenden und steigenden Melodiekonturen (Bogenformklasse 1 und 3) nahezu identisch (vgl. Kapitel 3.3.1.1). In der Bogenformklasse 2 (symmetrischer Melodiebogen) lag der Mittelwert in der Gruppe NHS\_TU etwas höher als in der Gruppe NHS\_TA (152 Hz vs. 139 Hz).

Bei der Auswertung des Fragebogens zur spezifischen Sprachentwicklungsstörung (SSES) zeigte sich in einfachen und komplexen Melodiekonturen bei den Neugeborenen der FH<sup>+</sup>-Gruppe ein tendenziell niedrigerer Hub, welcher sich ebenfalls als nicht signifikant erwies ( $p=0,11$ , vgl. Kapitel 3.3.2.3).

#### **4.4 Welche Konditionen führen zu einem „fail“ beim NHS**

Da es sich bei den hier untersuchten Neugeborenen um gesunde Probanden handelte sind es damit ursächliche Faktoren wie z. B. eine temporäre Schallleitungsstörung, Unruhe des Neugeborenen sowie Unterbrechung des Screenings durch zu laute Geräusche, die zu einem fail beim NHS geführt haben könnten. Schallleitungsstörungen können durch Fruchtwasser, welches sich häufig nach Geburt noch im Gehörgang befindet, auftreten.

Damit sollten sich die Gruppen NHS\_TU und NHS\_TA nicht in den Gestalteigenschaften der Bögen unterscheiden. Die Bogengestalt ist das Ergebnis fein abgestimmter, neuro-physiologischer Regelmechanismen und nicht ein einfaches Beiprodukt der Atemzyklen (Wermke, 2015). Die hier gefundenen hohen Übereinstimmungen zwischen den Gruppen sind auf die medizinisch strengen Auswahlkriterien für gesunde Neugeborene zurückzuführen (vgl. Kapitel 2.2). In der klassischen Säuglingsliteratur der letzten 50 Jahre findet man verschiedene Hinweise darauf, dass neuro-physiologische Risikokonditionen oder ZNS-Schädigungen zu Veränderungen in der Melodiekontur der Säuglingsschreie führen (LaGasse et al., 2005; Lester, 1987; Michelsson, 1971; Michelsson & Sirvio, 1976; Vohr et al., 1989; Wasz-Höckert, Michelsson & Lind, 1985). Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass eine Schallleitungsstörung keinen Einfluss auf die zentral generierten Muster zu haben scheint. Die tendenziellen Abweichungen in der Gruppe NHS\_TA waren nicht signifikant. Damit ist die Voraussetzung dafür geschaffen, dass in einer weiteren Studie untersucht werden kann, ob die Bogenformereigenschaften durch eine sensorineurale Hörstörung beeinträchtigt werden, ob also auditive Rückkopplungseigenschaften an der Regelung der Melodiekontur beteiligt sind oder ob die Muster davon unabhängig erzeugt werden.

## 4.5 Limitation der Vorgehensweise

Obwohl sich das verwendete EF-Modell in der Mehrzahl der Fälle als sehr geeignet für die Quantifizierung der Melodiekonturen der Neugeborenenlaute erwiesen hat, muss erwähnt werden, dass der Cursor für die Auswahl des Fitbereiches einzelner Melodiebögen manuell gesetzt wurde und dabei unter Umständen leicht modifiziert (versetzt) wurde, um eine möglichst hohe Fitgüte zu erreichen. Diese Vorgehensweise könnte in Einzelfällen Einfluss auf die Ergebnisse der Parameterermittlung gehabt haben, da teilweise kurze Abschnitte der Originalkontur nicht vom Modell miterfasst wurden. In weiterführenden Untersuchungen in der Anwendung des EF-Modells sollte versucht werden, Alternativen für die Festlegung des Fitbereiches pro Melodiebogen zu finden, die besser standardisiert werden können. Möglicherweise wären die Intensitätswerte hier eine geeignete Messgröße, die man dafür verwenden könnte.

Die Gruppe NHS\_TA enthielt eine erstaunlich hohe Anzahl von Neugeborenen, die eine positive Familienanamnese für SSES zeigten. Das bedeutet nicht automatisch, dass diese Neugeborenen auch tatsächlich eine SSES entwickeln. Auch wenn der unerwartete Befund an sich sehr spannend für weitere Forschungsansätze ist, war die hohe Zahl an FH<sup>+</sup>-Probanden hier bei der relativ kleinen Stichprobe eher ungünstig, da er die Homogenität der Gruppe NHS\_TA störte.

Die familiäre Veranlagung für eine spezifische Sprachentwicklungsstörung und deren Folgen wurde in den letzten Jahren intensiv untersucht (Bishop, 2002; Bishop, North & Donlan, 1995; Haebig, Weber, Leonard, Deevy & Tomblin, 2017; Zwart, Vissers, Kessels & Maes, 2018). Kinder mit Familienangehörigen, bei denen bereits eine Spracherwerbsstörung diagnostiziert wurde, erkrankten häufiger an einer Sprachentwicklungsstörung als Kinder mit unauffälliger Familienanamnese (Bishop et al., 1995; Newbury, Bishop & Monaco, 2005; Nudel et al., 2020; Tallal, Ross & Curtiss, 1989). Man vermutet, dass Schwächen in der Informationsverarbeitung, im Kurzzeitgedächtnis sowie Defizite im

Unterscheiden von aufeinander folgenden Lauten genetisch bedingt sein könnten (Cheney & Seyfarth, 2010; Conti-Ramsden & Durkin, 2007, 2015).

Die Verarbeitung aufeinanderfolgender perzeptiver Reize ist beim Spracherwerb erforderlich, um Wörter und Wortendungen zu erfassen und zu verarbeiten. Als Ursache für eine SSES wird daher auch eine auditiv-perzeptive Verarbeitungsstörung diskutiert (Benasich, Choudhury, Realpe-Bonilla & Roesler, 2014).

In zukünftigen Studien sollte der Fragebogen daher unbedingt wiederum verwendet werden, eine positive Familienanamnese allerdings entweder ein Ausschlusskriterium sein bzw. einen eigenen Untersuchungsstrang bilden.

## 5 Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation erfolgte im Rahmen der ersten Untersuchungsabschnitte des Gesamtprojektes „Klinische Längsschnittstudie zur vorsprachlichen Entwicklung im ersten Lebensjahr bei Säuglingen mit und ohne Hörstörung“ (Ethikvotum 145/12) und sollte erstmalig die Frage nach potenziellen Unterschieden zwischen Phonationseigenschaften spontaner Weinlaute von Neugeborenen mit einem unauffälligen NHS-Befund (ungestörte Hörfunktion) im Vergleich zu einem auffälligem NHS-Befund untersuchen.

Im Rahmen dieser Studie wurden von der Autorin, gemeinsam mit einer weiteren humanmedizinischen Doktorandin im Projekt (Vivien Salinger), spontane digitale Lautaufnahmen von 82 Neugeborenen im Alter von 24 und 72 Lebensstunden erstellt und pseudonymisiert gespeichert. Zur Auswertung wurden die Probanden in zwei Gruppen, basierend auf den NHS-Befunden, unterteilt. Dabei wurde zwischen unauffälligem (Gruppe NHS\_TU) und auffälligem Neugeborenenhörscreening (Gruppe NHS\_TA) unterschieden. Keines der Neugeborenen der Gruppe NHS\_TA wurde nachfolgend mit einer sensorineuralen Hörstörung diagnostiziert.

Aufgrund von Störfaktoren wurden nachfolgend acht Neugeborene von der weiteren Analyse ausgeschlossen und dementsprechend insgesamt 2.330 Vokalisationen von 74 Neugeborenen analysiert. Die Analyse beinhaltete spektrale und melodische Merkmale. Die spektralen Merkmale wurden zur Voranalyse und Vorauswahl geeigneter Vokalisationen für die eigentliche modellgestützte Analyse der Vokalisationsmelodie (Zeitfunktion der Grundfrequenz) verwendet.

Das Ergebnis der Melodiestrukturanalyse zeigte ein Überwiegen von einfachen, einbögigen Melodiekonturen, welches sowohl mit dem von Wermke und Mende postulierten angeborenen Entwicklungsprogramm (MD-Model) als auch mit Vorgängerarbeiten übereinstimmt. Der Anteil von komplexen Melodiekonturen betrug in der Gruppe NHS\_TU im Untersuchungszeitraum 29 %, wohingegen die

Neugeborenen der Gruppe NHS\_TA einen um 50 % niedrigeren Wert zeigten (15 %). Nachfolgende Untersuchungen könnten an diesem Erstbefund anknüpfen und an einer größeren Stichprobe prüfen, ob sich dieser tendenzielle Unterschied bestätigt und wenn ja, nach Ursachen dafür suchen.

Bezüglich der Melodielängen wurde hier kein signifikanter Gruppenunterschied gefunden. Allerdings zeigt sich tendenziell bei der Analyse auf Signal- und Kindlevel ein höherer Mittel- und Medianwert in der Gruppe NHS\_TA bei den 1B-Strukturen (ca. 150 ms längere Melodiebögen). Von den 37 Neugeborenen der Gruppe NHS\_TA hatten 22 (64,7 %) einen Wert oberhalb des Medians der Gruppe NHS\_TU. Darunter waren sechs der neun Neugeborenen mit positiver Familienanamnese für SSES. Auch bei den komplexen Melodien fand sich ein höherer, statistisch nicht signifikanter Wert in der Gruppe NHS\_TA auf Signal- und Kindlevel. Damit könnte die Untersuchung einen Hinweis darauf liefern, dass ein auffälliger NHS-Befund bei gesunden Neugeborenen möglicherweise mit einer Verlangsamung neuro-physiologischer Regelmechanismen in Zusammenhang stehen könnte.

Die Melodiekonturanalyse erfolgte mit Hilfe eines mathematischen Modells (EF-Modell von W. Mende). Mit dem Modell wurden die Melodiekonturen durch Modellkurven dargestellt, um ihre Formeigenschaften zeitnormiert vergleichen zu können. Das EF-Modell wurde hier verwendet, um das Frequenzmaximum der Melodien und somit deren Form (steigend, symmetrisch, fallend) objektiv zu beschreiben. Zusätzlich wurde die Frequenzmodulations-Amplitude (Hub) aus den Modelldaten ausgewertet. In der hier vorgenommenen Bogenformanalyse wurden, wie erwartet, keine signifikanten Gruppenunterschiede gefunden. Als häufigste Konturform fand sich eine eher fallende Kontur (zeitnormiertes Maximum 0,3 – 0,6). Dieser Bereich ist mit den Vorarbeiten identisch.

Insgesamt konnte die vorliegende Arbeit erstmalig Eigenschaften der Grundfrequenzkontur spontaner Weinlaute von monolingualen Neugeborenen mit einem unauffälligen NHS-Befund (ungestörte Hörfunktion) im Vergleich zu einem auffälligen NHS-Befund untersuchen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass

es sich um eine kleine Stichprobe handelt, die durch Verwendung strenger medizinischer Auswahlkriterien rekrutiert wurde. In der vorliegenden Arbeit konnte die Annahme, dass sich die Melodiekonturen beider Gruppen nicht signifikant unterscheiden, bestätigt werden. Somit wäre eine wichtige Voraussetzung dafür geschaffen, in nachfolgenden Projektanalysen zu untersuchen, ob die Melodiekontur ein potenzieller Frühindikator für eine sensorineurale Hörminderung bei Neugeborenen sein könnte.

## 6 Literaturverzeichnis

- Adkins-Regan, E., Mansukhani, V., Seiwert, C., Thompson, R. (1994). Sexual differentiation of brain and behavior in the zebra finch: critical periods for effects of early estrogen treatment. *J Neurobiol*, 25(7):865-877. doi:10.1002/neu.480250710
- Armbrüster, L., Mende, W., Ehlert, H., Wermke, G., & Wermke, K. (2017). *Musical Intervals in Baby Sounds*. Proceedings of the 10th International Conference of Students of Systematic Musicology (SysMus17), London, UK. Retrieved from [https://sysmus17.qmul.ac.uk/wp-content/uploads/2017/08/armbruster\\_intervals\\_baby\\_sounds.pdf](https://sysmus17.qmul.ac.uk/wp-content/uploads/2017/08/armbruster_intervals_baby_sounds.pdf)
- Benasich, A. A., Choudhury, N. A., Realpe-Bonilla, T., & Roesler, C. P. (2014). Plasticity in developing brain: active auditory exposure impacts prelinguistic acoustic mapping. *J Neurosci*, 34(40), 13349–13363. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0972-14.2014>
- Birnholz, J. C., & Benacerraf, B. R. (1983). The development of human fetal hearing. *Science*, 222(4623), 516–518. <https://doi.org/10.1126/science.6623091>
- Bishop, D. V., North, T., & Donlan, C. (1995). Genetic basis of specific language impairment: evidence from a twin study. *Dev Med Child Neurol*, 37(1), 56–71. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1995.tb11932.x>
- Bishop, D. V. M. (2002). Motor immaturity and specific speech and language impairment: evidence for a common genetic basis. *Am J Med Genet*, 114(1), 56–63. <https://doi.org/10.1002/ajmg.1630>
- Boersma, P., & Weenink (2014), D. Praat: Doing phonetics by computer [Computer program]. Version 5.4. <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- Bosma, J. F., Truby, H. M., & Lind, J. (1965). Cry motions of the newborn infant. *Acta Paediatrica*, 54, 60–92. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1965.tb09309.x>
- Cebulla, M., Hofmann, S., & Shehata-Dieler, W. (2014). Sensitivity of ABR based newborn screening with the MB11 BERAphone®. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 78(5), 756–761. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2014.02.003>
- Cebulla, M., Shehata-Dieler, W. (2012). ABR-based newborn hearing screening with MB11 BERAphone® using an optimized chirp for acoustical stimulation. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 76(4): 536-543. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2012.01.012>

- Chen, X. S., Reader, R. H., Hoischen, A., Veltman, J. A., Simpson, N. H., Francks, C., Newbury, D. F., & Fisher, S. E. (2017). Next-generation DNA sequencing identifies novel gene variants and pathways involved in specific language impairment. *Sci Rep*, 7, 46105. <https://doi.org/10.1038/srep46105>
- Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (2010). Primate Communication and Human Language: Continuities and Discontinuities. In P. M. Kappeler & J. Silk (Eds.), *Mind the Gap* (pp. 283–298). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Conti-Ramsden, G., & Durkin, K. (2007). Phonological short-term memory, language and literacy: developmental relationships in early adolescence in young people with SLI. *J Child Psychol Psychiatry*, 48(2), 147–156. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01703.x>
- Conti-Ramsden, G., & Durkin, K. (2015). What Factors Influence Language Impairment? Considering Resilience as well as Risk. *Folia Phoniatr Logop*, 67(6), 293–299. <https://doi.org/10.1159/000444750>
- Dahlem, M.-M. (2008). Untersuchung akustischer Eigenschaften spontaner Lautäußerungen japanischer Neugeborener: Ein Beitrag zur Erarbeitung sprachuniverseller Frühindikatoren fuer Sprachentwicklungsstoerungen bei Saeuglingen mit orofazialen Spalten. Retrieved from <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:20-opus-34621>
- DeCasper, A. J., & Fifer, W. P. (1980). Of human bonding: newborns prefer their mothers' voices. *Science*, 208(4448), 1174–1176. <https://doi.org/10.1126/science.7375928>
- Gervain, J., & Werker, J. F. (2013). Prosody cues word order in 7-month-old bilingual infants. *Nat Commun*, 4, 1490. <https://doi.org/10.1038/ncomms2430>
- Granier-Deferre, C., Bassereau, S., Ribeiro, A., Jacquet, A.-Y., & Decasper, A. J. (2011). A melodic contour repeatedly experienced by human near-term fetuses elicits a profound cardiac reaction one month after birth. *PLoS One*, 6(2), e17304. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017304>
- Grimm, H. (2000). SETK-2: Sprachentwicklungstest für zweijährige Kinder; Diagnose rezeptiver und produktiver Sprachverarbeitungsfähigkeiten. Hogrefe Verlag, Göttingen.
- Grimm, H., & Doil, H. (2000). ELFRA: Elternfragebögen für die Früherkennung von Risikokindern; Handanweisung. Hogrefe Verlag, Göttingen.
- Grygiel, J. M. (2005). Ein Vergleich von zwei automatisierten BERAphon® Untersuchungsmethoden beim Neugeborenen-Hörscreening. Retrieved from [urn:nbn:de:bvb:20-opus-20063](http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:20-opus-20063)
- Haebig, E., Weber, C., Leonard, L. B., Deevy, P., & Tomblin, J. B. (2017). Neural patterns elicited by sentence processing uniquely characterize typical

- development, SLI recovery, and SLI persistence. *J Neurodev Disord*, 9, 22. <https://doi.org/10.1186/s11689-017-9201-1>
- Harding, R. (1984a). Function of the larynx in the fetus and newborn. *Annu Rev Physiol*, 46, 645–659. <https://doi.org/10.1146/annurev.ph.46.030184.003241>
- Harding, R. (1984b). Perinatal development of laryngeal function. *J Dev Physiol*, 6(3), 249–258.
- Hepper, P. G. (1997). Memory in utero? *Dev Med Child Neurol*, 39(5), 343–346. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1997.tb07442.x>
- Höing, S. (2010). Charakterisierung akustischer Eigenschaften des spontanen Neugeborenen schreies in den ersten drei Lebenstagen in Abhängigkeit vom Geburtsmodus. Retrieved from urn:nbn:de:bvb:20-opus-53657
- Johansson B., Wedenberg, E., & Westin, B. (1992). Fetal heart rate response to acoustic stimulation in relation to fetal development and hearing impairment. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 71(8), 610–615. <https://doi.org/10.3109/00016349209006229>
- Kent, R. D., & Vorperian, H. K. (1995). Development of the craniofacial-oral-laryngeal anatomy. A review. *Singular Publishing Group, San Diego, London*, 26–35.
- Kujala, T., & Leminen, M. (2017). Low-level neural auditory discrimination dysfunctions in specific language impairment-A review on mismatch negativity findings. *Dev Cogn Neurosci*, 28, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.10.005>
- LaGasse, L. L., Neal, A. R., & Lester, B. M. (2005). Assessment of infant cry: acoustic cry analysis and parental perception. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev*, 11(1), 83–93. <https://doi.org/10.1002/mrdd.20050>
- Lind, K. (2007). Untersuchung spektraler und melodischer Eigenschaften von Säuglingsschreien: Eine Longitudinalstudie über die ersten 16 Lebenswochen im Rahmen der Deutschen Sprachentwicklungsstudie; Retrieved from urn:nbn:de:kobv:188-fudissthesis000000003375-0
- Lester, B. M. (1987). Developmental outcome prediction from acoustic cry analysis in term and preterm infants. *Pediatrics*, 80(4), 529–534.
- Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A., & Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Curr Biol*, 19(23), 1994–1997. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.09.064>
- Mampe-Keller, B. (2013). Auswirkungen der pränatalen Sprachumgebung auf die Schreimelodie - Ein Vergleich zwischen Neugeborenen mono- und bilingualer Mütter. Retrieved from urn:nbn:de:bvb:20-opus-77885

- Meier, S., Narabayashi, O., Probst, R., & Schmuziger, N. (2004). Comparison of currently available devices designed for newborn hearing screening using automated auditory brainstem and/or otoacoustic emission measurements. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 68(7), 927–934. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2004.02.008>
- Michelsson, K. (1971). Cry analyses of symptomless low birth weight neonates and of asphyxiated newborn infants. *Acta Paediatr Scand Suppl*, 216, 1–45.
- Michelsson, K., & Michelsson, O. (1999). Phonation in the newborn, infant cry. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 49 Suppl 1, 297-301. [https://doi.org/10.1016/s0165-5876\(99\)00180-9](https://doi.org/10.1016/s0165-5876(99)00180-9)
- Michelsson, K., & Sirviö, P. (1976). Cry analysis in congenital hypothyroidism. *Folia Phoniatr (Basel)*, 28(1), 40–47. <https://doi.org/10.1159/000264029>
- Michelsson, K., Eklund, K., Leppänen, P., & Lyytinen, H. (2002). Cry characteristics of 172 healthy 1-to 7-day-old infants. *Folia Phoniatr Logop*, 54(4), 190–200. <https://doi.org/10.1159/000063190>
- Newbury, D. F., Bishop, D. V., & Monaco, A. P. (2005). Genetic influences on language impairment and phonological short-term memory. *Trends Cogn Sci*, 9(11), 528–534. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.09.002>
- Nudel, R., Christiani, C. A. J., Ohland, J., Uddin, M. J., Hemager, N., Ellersgaard, D. V., Spang, K. S., Burton, B. K., Greve, A. N., Gantriis, D. L., Bybjerg-Grauholm, J., Jepsen, J., Thorup, A., Mors, O., Nordentoft, M., & Werge, T. (2020). Language deficits in specific language impairment, attention deficit/hyperactivity disorder, and autism spectrum disorder: An analysis of polygenic risk. *Autism Res*, 13(3), 369–381. <https://doi.org/10.1002/aur.2211>
- Penner, Z., Krügel, C., Gross, M., & Hesse, V. (2006). Sehr frühe Indikatoren von Spracherwerbsverzögerungen bei gesunden, normalhörenden Kindern. *Frühförderung interdisziplinär*, 25(1), 37–48.
- Prochnow, A. (2013). Der Erwerb melodisch-rhythmischer Grundbausteine im Rahmen der vorsprachlichen Entwicklung – eine vergleichende Analyse der Schreie von schwedischen und deutschen Neugeborenen. Retrieved from <urn:nbn:de:bvb:20-opus-99749>
- Prochnow, A., Erlandsson, S., Hesse, V., & Wermke, K. (2017). Does a ‘musical’ mother tongue influence cry melodies? A comparative study of Swedish and German newborns. *Musicae Scientiae*, 1(4), 102986491773303. <https://doi.org/10.1177/1029864917733035>
- Querleu, D., Renard, X., Boutteville, C., & Crepin, G. (1989). Hearing by the human fetus? *Semin Perinatol*, 13(5), 409–420.

- Querleu, D., Renard, X., Versyp, F., Paris-Delrue, L., & Crèpin, G. (1988). Fetal hearing. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 28(3), 191–212. [https://doi.org/10.1016/0028-2243\(88\)90030-5](https://doi.org/10.1016/0028-2243(88)90030-5)
- Risse, K. (2011). Schreieigenschaften SGA-Neugeborener in den ersten beiden Lebenswochen. Retrieved from urn:nbn:de:bvb:20-opus-57369
- Robb, M., Yavarzadeh, F., Schluter, P.J., Voit, V., Shehata-Dieler, W., Wermke, K (2019). Laryngeal constriction Phenomena in Infant Vocalizations. *J Speech Lang Hear Res*, 63(1), 49–58. [https://doi.org/10.1044/2019\\_JSLHR-S-19-0205](https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-S-19-0205)
- Rota-Donahue, C., Schwartz, R. G., Shafer, V., & Sussman, E. S. (2016). Perception of Small Frequency Differences in Children with Auditory Processing Disorder or Specific Language Impairment. *J Am Acad Audiol*, 27(6), 489–497. <https://doi.org/10.3766/jaaa.15122>
- Schönweiler, R., Kaese, S., Möller, S., Rinscheid, A., & Ptok, M. (1996a). Anwendung selbstorganisierender neuronaler Netzwerke (Kohonen-Maps) zur Klassifizierung von Stimmschallsignalen am Beispiel der Säuglingsstimme mit und ohne zeitverzögerter auditiver Rückkopplung.
- Schönweiler, R., Kaese, S., Möller, S., Rinscheid, A., & Ptok, M. (1996b). Neuronal networks and self-organizing maps: New computer techniques in the acoustic evaluation of the infant cry. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 38(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/s0165-5876\(96\)01389-4](https://doi.org/10.1016/s0165-5876(96)01389-4)
- Sereschk, N. (2019). Temporale Eigenschaften ingressiver und egressiver Phonationsleistungen gesunder Neugeborener. Retrieved from urn:nbn:de:bvb:20-opus-179263
- Shahidullah, S., & Hepper, P. G. (1994). Frequency discrimination by the fetus. *Early Hum Dev*, 36(1), 13–26. [https://doi.org/10.1016/0378-3782\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0378-3782(94)90029-9)
- Shinya, Y., Kawai, M., Niwa, F., & Myowa-Yamakoshi, M. (2014). Preterm birth is associated with an increased fundamental frequency of spontaneous crying in human infants at term-equivalent age. *Biol Lett*, 10(8), 20140350. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0350>
- Simpson, N. H., Addis, L., Brandler, W. M., Slonims, V., Clark, A., Watson, J., Scerri, T. S., Hennessy, E. R., Bolton, P. F., Conti-Ramsden, G., Fairfax, B. P., Knight, J. C., Stein, J., Talcott, J. B., O'Hare, A., Baird, G., Paracchini, S., Fisher, S. E., Newbury, D. F., & SLI Consortium (2014). Increased prevalence of sex chromosome aneuploidies in specific language impairment and dyslexia. *Dev Med Child Neurol*, 56(4), 346–353. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12294>

- Tallal, P., Ross, R., & Curtiss, S. (1989). Familial aggregation in specific language impairment. *J Speech Hear Disord*, 54(2), 167–173. <https://doi.org/10.1044/jshd.5402.167>
- Titze, I. R. (1994). Principles of voice production (Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ).
- Titze, I. R. (2008). Nonlinear source-filter coupling in phonation: theory. *J Acoust Soc Am*, 123(5), 2733–2749. <https://doi.org/10.1121/1.2832337>.
- Vohr, B. R., Lester, B., Rapisardi, G., O'Dea, C., Brown, L., Peucker, M., Cashore, W., & Oh, W. (1989). Abnormal brain-stem function (brain-stem auditory evoked response) correlates with acoustic cry features in term infants with hyperbilirubinemia. *J Pediatr*, 115(2), 303–308. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(89\)80090-3](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(89)80090-3)
- Wasz-Höckert, O., Lind, J., Vuorenkoski, V., Partanen, T. & Valanne, E.H. (1968). The infant cry: A spectrographic and auditory analysis. *London: Heinemann*.
- Wasz-Höckert, O., Michelsson, K. und Lind, J. (1985). Twenty-Five Years of Scandinavian cry research. In: Lester, B.M., Boukydis, C.F.Z. (eds.) *Infant Crying: Theoretical and Research Perspectives*, pp. 83–104. Plenum Publishing Corporation, N. York.
- Weissenborn, J. (2001). Frühkindliche Sprachentwicklung und spezifische Sprachentwicklungsstörungen. Eine neue Forschergruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). L.O.G.O.S. *Interdisziplinär*, 9, 129–132.
- Wermke, K. (2015). Neonatal crying behaviors. In: Wright, J. D. (Ed.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (2nd ed., pp. 475–480). Oxford: Elsevier.
- Wermke, K., & Mende, W. (2016). From melodious cries to articulated sounds: Melody at the root of language acquisition. In: Fonseca-Mora, M. C. & Gant, M. (Eds.), *Melodies, Rhythm and Cognition in Foreign Language Learning* (pp. 24–47). Newcastle upon Tyne, UK: Cambridge Scholars Publishing.
- Wermke, K. (2002). Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten in den ersten 5 Lebensmonaten. Habilitationsschrift. Humboldt-Universität, Berlin. <http://dx.doi.org/10.18452/13810>
- 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. *Clin Linguist Phon*, 21(11-12), 961–973. <https://doi.org/10.1080/02699200701659243>
- Wermke, K., W. Mende, Manfredi, C., & Bruscalioni, P. (2002). Developmental aspects of infant's cry melody and formants. *Med Eng Phys*, 24(7-8), 501–514. [https://doi.org/10.1016/s1350-4533\(02\)00061-9](https://doi.org/10.1016/s1350-4533(02)00061-9)

- Wermke, K., & Mende, W. (2011). From emotion to notion: the importance of melody. In: Decety, J. & Cacioppo, J. T. (Eds.), *Oxford library of psychology. The Oxford handbook of social neuroscience* (pp. 624–648). New York: Oxford University Press.
- Wermke, K., Mende, W., Borschberg, H., & Ruppert, R. (1999). Changes of voice parameters and melody patterns during the first year of life in human twins. *J Acoust Soc Am*, *105*(2), 1303–1304. <https://doi.org/10.1121/1.424751>
- Wermke, K., Ruan, Y., Feng, Y., Dobnig, D., Stephan, S., Wermke, P., Ma, L., Chang, H., Liu, Y., Hesse, V., & Shu, H. (2017). Fundamental Frequency Variation in Crying of Mandarin and German Neonates. *J Voice*, *31*(2), 255.e25-255.e30. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.06.009>
- Wermke, K., Sereschk, N., May, V., Salinger, V., Sanchez, M. R., Shehata-Dieler, W., & Wirbelauer, J. (2019). The Vocalist in the Crib: The Flexibility of Respiratory Behaviour During Crying in Healthy Neonates. *J Voice*, *S0892-1997(19)30127-4*. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.07.004>
- Wermke, K., Teiser, J., Yovsi, E., Kohlenberg, P. J., Wermke, P., Robb, M., Keller, H & Lamm, B. (2016). Fundamental frequency variation within neonatal crying: Does ambient language matter? *Speech, Lang Hearing*, *19*(4), 211–217. <https://doi.org/10.1080/2050571X.2016.1187903>
- Zwart, F. S., Vissers, C. T., Kessels, R., & Maes, J. H. (2018). Implicit learning seems to come naturally for children with autism, but not for children with specific language impairment: Evidence from behavioral and ERP data. *Autism Res*, *11*(7), 1050–1061. <https://doi.org/10.1002/aur.1954>

## Danksagung

Zunächst möchte ich mich herzlich bei Frau Professorin Dr. Kathleen Wermke und Herrn Professor Dr. Johannes Wirbelauer für die Überlassung des Promotionsthemas und intensive, freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Promotion bedanken. Mein Dank gilt ebenfalls Frau Professorin Dr. W. Shehata-Dieler und dem NHS-Team der HNO-Klinik für ihre Unterstützung.

Ein ganz besonders herzlicher Dank gilt Frau Professorin Dr. Kathleen Wermke, Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie, der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, für ihre wissenschaftliche Betreuung, ihr persönliches Engagement, und die ansteckende Begeisterung für das Gebiet der Vorsprachlichen Diagnostik.

Herrn Peter Wermke danke ich von ganzem Herzen für die Bereitstellung der von ihm entwickelten professionellen Analysesoftware CDAP und die stets engagierte Betreuung rund um die Analyse meiner Daten sowie für die sehr zuverlässige Datenverwaltung im Archiv des ZVES.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Eltern mit ihren Neugeborenen, die an dieser Studie teilgenommen haben und ohne die diese Studie gar nicht erst möglich gewesen wäre.

Außerdem möchte ich mich bei allen Hebammen und Krankenschwestern des Mutter-Kind-Zentrums sowie Herrn Dr. Frieauff für die Kooperation und Unterstützung bei den Lautaufnahmen und Datenerhebungen bedanken.

Ebenfalls bedanke ich mich bei meinen Eltern und meinem Bruder für die Motivation und Unterstützung während meines Medizinstudiums und der Durchführung meiner Doktorarbeit.

Ganz besonderen Dank möchte ich zuletzt meinem Mann Nathan aussprechen, der mir bei dieser mehrjährigen Arbeit immer mit gutem Rat zur Seite stand und mich stets tatkräftig unterstützt hat, damit ich diese Arbeit erfolgreich durchführen konnte.