

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

Poliklinik für Kieferorthopädie

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

---

**Melodieintervalle als Kenngröße der laryngealen Regelleistung bei der  
Lautproduktion von Säuglingen ohne orofaziale Spaltbildung in den  
ersten vier Lebensmonaten**

**Inauguraldissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Lotte Armbrüster

aus Solingen

Würzburg, August 2020

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

**Koreferentin:** Prof. Dr. med. Wafaa Shehata-Dieler

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

Tag der mündlichen Prüfung: 30.11.2020

Die Promovendin ist Zahnärztin.

Meinen Eltern und Großeltern gewidmet

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>XII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Material und Methoden</b> .....	<b>8</b>
2.1 Methodologische Aspekte .....	8
2.2 Probandenkollektiv .....	12
2.3 Datengrundlage.....	13
2.3.1 Melodiekontrolle .....	13
2.4 Vokalisationsanalyse.....	17
2.4.1 Vorselektierung geeigneter Vokalisationen .....	17
2.4.2 Strukturkategorisierung der Lautmelodie.....	22
2.4.3 Bogenstrukturvermessung und Form-Klassen Einteilung der Bogengestalt.....	24
2.4.4 Lautmelodietypisierung.....	26
2.4.4.1 Typ 1a.....	27
2.4.4.2 Typ 1b.....	28
2.4.4.3 Typ 2a.....	29
2.4.4.4 Typ 2b.....	30
2.4.4.5 Typ 2c .....	31
2.4.5 Intervallidentifikation und Intervallvermessung .....	32
2.4.5.1 Definition Melodieintervall und Intervallmesskriterien.....	32
2.4.5.2 Messgrößen .....	35
2.4.5.3 Auditive Analyse der Grundfrequenzkontur.....	42
2.4.5.4 Spezifische Intervallelemente in 1B- und 2B-Melodien .....	43
2.5 Reproduzierbarkeit und Messgenauigkeit .....	44
2.6 Statistik.....	45
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>47</b>
3.1 Auftrittshäufigkeit von Melodieintervallen (Typisierung der Lautmelodien).....	47
3.1.1 Statistische Analyse der Auftrittshäufigkeit von Intervallen (Verallgemeinerte Schätzgleichung).....	50
3.1.1.1 Verallgemeinerte Schätzgleichung unter Berücksichtigung der Komplexität der Intervalle .....	54
3.2 Ergebnis der Strukturkategorisierung der Lautmelodie .....	59

3.3	Repertoire beobachteter Intervallcodes.....	65
3.3.1	Das Auftreten der Intervallcodes innerhalb der Form-Klassen .....	68
3.3.2	Repertoire der Intervallcodes im einfachen Bogen (1B) .....	70
3.3.3	Repertoire der Intervallcodes im Doppelbogen (2B).....	71
3.3.4	Die Intervallrichtung der identifizierten Intervalle .....	73
3.3.5	Die Intervallgrößen der identifizierten Intervalle .....	74
3.4	Charakterisierung von einfachen Melodien (1B) und ihrer Melodieintervalle .....	75
3.4.1	Analyse der Dauer und Bogenform der einfachen Melodien .....	75
3.4.1.1	Melodiegesamtlänge (1B) .....	75
3.4.1.2	Gestalt der einfachen Melodien (1B).....	76
3.4.2	Einzelintervalle (-1-) als Substruktur in einfachen Melodien (1B).....	78
3.4.2.1	Temporale Eigenschaften .....	78
3.4.2.2	Verlaufsrichtung der Melodieintervalle (-1- in 1B): Steigende und fallende Intervalle.....	81
3.4.2.3	Frequenzratio der Intervalle (-1- in 1B) .....	82
3.4.3	Doppelintervalle (-12-) als Substruktur in einfachen Melodien (1B).....	85
3.4.3.1	Temporale Eigenschaften .....	86
3.4.3.2	Die Verlaufsrichtung der Intervallmuster (-12- in 1B) .....	88
3.4.3.3	Frequenzratio der Intervalle (-12- in 1B) .....	89
3.5	Charakterisierung von komplexeren Melodien und ihrer Melodieintervalle .....	94
3.5.1	Analyse der Dauer und Bogenform der doppelböigen Melodien (2B) .....	94
3.5.1.1	Melodiegesamtlänge (2B) .....	94
3.5.1.2	Gestalt der doppelböigen Melodien (2B).....	95
3.5.2	Einzelintervalle (-1-) als Substrukturen im Doppelbogen (2B) .....	97
3.5.3	Doppelintervalle (-12-) als Substruktur der doppelböigen Melodien (2B) .....	101
3.5.3.1	Temporale Eigenschaften .....	101
3.5.3.2	Die Verlaufsrichtung der Intervallmuster (-12- in 2B) .....	104
3.5.3.3	Frequenzratio spezifischer Intervallmuster (-FS-; -12-) in doppelböigen Melodien (2B) .....	106
3.6	Modulvergleich der steigenden und fallenden Intervalle innerhalb 1B- und 2B-Melodien.....	109

3.6.1	Vergleich der fallenden Intervalle in 1B- (-1-) und 2B-Melodien (-12-).....	110
3.6.1.1	Temporale Eigenschaften der Melodiebögen mit fallendem Intervall .....	110
3.6.1.2	Ergebnis der Analyse der Intervallplateaulängen (fallende Intervalle) .....	113
3.6.1.3	Ergebnis der Analyse der Intervallübergangslängen der fallenden Intervalle.....	115
3.6.1.4	Frequenzverhältnis (Ratio) der fallenden Intervalle.....	116
3.6.1.5	Hub Übergangsgeschwindigkeit der fallenden Intervalle (Steigung) .....	117
3.6.2	Vergleich der steigenden Intervalle in 1B- (-1-) und 2B-Melodien (-12-).....	118
3.6.2.1	Temporale Eigenschaften der Melodiebögen mit steigendem Intervall.....	118
3.6.2.2	Ergebnis der Analyse der Intervallplateaulängen (steigende Intervalle) .....	121
3.6.2.3	Ergebnis der Analysen der Intervallübergangslängen der steigenden Intervalle .....	123
3.6.2.4	Frequenzverhältnis (Ratio) der steigenden Intervalle.....	124
3.6.2.5	Hub Übergangsgeschwindigkeit der steigenden Intervalle (Steigung) .....	125
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>126</b>
4.1	Auftrittshäufigkeit der Melodieintervalle in den ersten vier Lebensmonaten.....	127
4.1.1	Auftrittshäufigkeit der Melodieintervalle in Abhängigkeit von der Melodiestructur.....	128
4.1.2	Intervalle in segmentierten Melodien .....	130
4.2	Vielfalt der beobachteten Intervallcodes.....	132
4.3	Intervallgröße .....	134
4.4	Entwicklungsphänomen: Modulkombination (1B zu 2B).....	141
4.5	Melodieintervalle – ein potenzieller Frühindikator für die laryngeale Regelleistung im Säuglingsweinen? .....	142
4.6	Limitationen und Vorschläge für weiterführende Analysen aus klinischer Perspektive.....	146
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>149</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>152</b>
<b>7</b>	<b>Eigene Publikationen .....</b>	<b>164</b>
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	

## Inhaltsverzeichnis

---

8.1	Anlage 1 .....	A-1
8.2	Anlage 2 .....	A-2
8.3	Anlage 3 .....	A-3
8.4	Anlage 4 .....	A-4
8.5	Anlage 5 .....	A-5

**Danksagung**

**Lebenslauf**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Flussdiagramm der Arbeitsschritte von der Voranalyse bis zur Intervallvermessung .....	11
Abbildung 2	Zeitbereichsdarstellung (oben) und Frequenz-Schmalbandspektrogramm einer Vokalisation [0 – 4 kHz, 1,07 s] .....	14
Abbildung 3	Melodie- und Intensitätsdiagramm (mit Viertelton-Raster) .....	16
Abbildung 4	Plötzlicher Grundfrequenzsprung (Shift) am Anfang der Vokalisation.....	18
Abbildung 5	Phonatorische Rauschbanden und Subharmonische im $F_0$ -Verlauf .....	18
Abbildung 6	Irregulärer $F_0$ -Verlauf mit darauffolgendem Hintergrundgeräusch (HG).....	18
Abbildung 7	Ergebnis der Vorselektion (signalbasiert).....	19
Abbildung 8	Absolute Häufigkeiten final verwendeter und ausselektierter Vokalisationen (kindbasiert).....	20
Abbildung 9	Typ 1a: Lautmelodie ohne Melodieintervall .....	27
Abbildung 10	Typ 1b: Segmentierte Lautmelodie (Zwischenbogenpause) ohne Melodieintervall .....	28
Abbildung 11	Typ 2a: Lautmelodie mit komplexem Intervall (drei aufeinanderfolgende Melodieintervalle) .....	29
Abbildung 12	Typ 2b: Segmentierte Lautmelodie mit komplexem Intervall, das die Segmentierungspause nicht überbrückt.....	30
Abbildung 13	Typ 2b: Segmentierte Lautmelodie mit komplexem Intervall, das sich über die Segmentierungspause erstreckt .....	31
Abbildung 14	Melodie einer Vokalisation mit identifiziertem Einzelintervall ( $P_1=1$ . Plateau, $Ü_1=1$ . Übergang, $P_2=2$ . Plateau).....	33
Abbildung 15	Skizzierte Darstellung eines fallenden Einzelintervalls (-F-) im einfachen Bogen (1B).....	35
Abbildung 16	Skizzierte Darstellung einer Kombination eines fallenden und steigenden Intervalls (einfaches Intervallmuster; -FS-) im Doppelbogen (2B) .....	35
Abbildung 17	Ansicht eines Beispielfensters für die auditive Kontrolle mittels PRAAT (Algorithmus Skriptautor: Dr. Jörg Mayer).....	42
Abbildung 18	Ergebnis der Typisierung aller Lautmelodien .....	47





## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 19	Vorkommen (blau)/Nicht-Vorkommen (grau) von Melodieintervallen innerhalb der Lautmelodie über den Untersuchungszeitraum .....	48
Abbildung 20	Geschätzte Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter.....	52
Abbildung 21	Bedingte Wahrscheinlichkeit komplexer Intervallmuster .....	56
Abbildung 22	Auftrittswahrscheinlichkeit der Lautmelodien ohne Intervall (rot) und mit einfachen (gelb) oder komplexen (grün) Intervallmustern über den Untersuchungszeitraum.....	58
Abbildung 23	Verteilung der Strukturkategorien aller Melodien über den Untersuchungszeitraum .....	59
Abbildung 24	Relative Verteilung der Strukturkategorien aller Melodien im Verlauf der ersten vier Lebensmonate .....	60
Abbildung 25	Beobachtete Häufigkeiten der Melodiestrukturkategorien in Melodien mit identifizierten Intervallen .....	62
Abbildung 26	Beobachtungen der Melodiestrukturkategorien über den Untersuchungszeitraum .....	63
Abbildung 27	Säulendiagramm der identifizierten Strukturkategorien (kindbasiert) .....	64
Abbildung 28	Häufigkeit identifizierter Intervallcodes.....	65
Abbildung 29	Identifizierte Intervallcodes innerhalb der Form-Klassen 1 – 3 (Intonation).....	68
Abbildung 30	Relative Häufigkeiten der Intervallcodes in einfachen Bögen (1B) im Untersuchungszeitraum .....	70
Abbildung 31	Relative Häufigkeiten der Intervallcodes in Doppelbögen (2B) im Untersuchungszeitraum.....	71
Abbildung 32	Identifizierte Intervallrichtungen aller Einzelintervalle.....	73
Abbildung 33	Intervallgrößen aller identifizierten Intervalle .....	74
Abbildung 34	Boxplotdiagramm der Melodiegesamtlängen (1B) über den Untersuchungszeitraum .....	75
Abbildung 35	Boxplotdiagramm der Bogenform (1B) im Untersuchungszeitraum .....	77
Abbildung 36	Histogramm der Melodiegesamtlängen (Strukturkategorie 1B; Intervallcode -1-).....	78
Abbildung 37	Histogramm der Intervalllängen (-1- in 1B) .....	79
Abbildung 38	Streudiagramm: Zusammenhang zwischen Melodiegesamt- und Intervalllänge (-1- in 1B).....	80
Abbildung 39	Absolute Häufigkeiten der Intervallrichtungen pro Monat (-1- in 1B).....	81
Abbildung 40	Frequenzratios der fallenden Intervalle $\sqsupset$ (-1- in 1B) .....	82

Abbildung 41	Frequenzratios der steigenden Intervalle $\lrcorner$ (-1- in 1B) .....	83
Abbildung 42	Histogramm der Melodiegesamtlängen (-12- in 1B).....	86
Abbildung 43	Histogramm der Intervalllängen (-12- in 1B) .....	87
Abbildung 44	Streudiagramm: Zusammenhang zwischen Melodiegesamt- und Intervalllänge (-12- in 1B).....	87
Abbildung 45	Absolute Häufigkeiten der Intervallmuster (-12- in 1B).....	88
Abbildung 46	$\lrcorner$ -SF- (fallende IV).....	90
Abbildung 47	$\lrcorner$ -SF- (steigende IV).....	90
Abbildung 48	$\lrcorner$ -FS- (fallende IV).....	91
Abbildung 49	$\lrcorner$ -FS- (steigende IV).....	91
Abbildung 50	$\lrcorner$ -FF- (alle fallenden IV).....	92
Abbildung 51	$\lrcorner$ -SS- (alle steigenden IV).....	92
Abbildung 52	Boxplot: Melodiegesamtlänge (2B) pro Monat über den Untersuchungszeitraum .....	94
Abbildung 53	Boxplotdiagramm der Bogenform (2B) über den Untersuchungszeitraum .....	95
Abbildung 54	Melodiediagramm (CDAP) – Beispiel für eine doppelböigige Melodie mit einem Bogenübergangsbereich <50 ms (2B; -1-) .....	98
Abbildung 55	Melodiediagramm (CDAP) – Beispiel für eine doppelböigige Melodie (2B) mit einem „Spitzbogen“ (Plateaulänge <50 ms).....	99
Abbildung 56	Melodiediagramm (CDAP) – Beispiel für eine doppelböigige Melodie (2B) mit hörbarem Einzelintervall (-1-) .....	100
Abbildung 57	Histogramm der Melodiegesamtlängen (-12- in 2B).....	101
Abbildung 58	Histogramm der Intervalllängen (-12- in 2B) .....	102
Abbildung 59	Streudiagramm: Zusammenhang zwischen Melodiegesamt- und Intervalllänge (-12- in 2B).....	103
Abbildung 60	Absolute Häufigkeiten der Intervallmuster (-12- in 2B).....	105
Abbildung 61	Frequenzratio der fallenden Intervalle des -FS- Musters $\lrcorner$ (-12- in 2B).....	106
Abbildung 62	Frequenzratio der steigenden Intervalle des -FS- Musters $\lrcorner$ (-12- in 2B).....	107
Abbildung 63	Boxplotdiagramm: Frequenzratios der Einzelintervallrichtungen im Muster -FS- im Vergleich (-12- in 2B).....	108

Abbildung 64	Histogramme der Bogenlängen in 1B  und des 1. Bogens in 2B  mit fallendem Intervall.....	110
Abbildung 65	Histogramme der Intervalllängen der fallenden Intervalle in 1B  und 2B 	111
Abbildung 66	Längen des 1. Plateaus der fallenden Intervalle in 1B  und 2B 	113
Abbildung 67	Längen des 2. Plateaus der fallenden Intervalle in 1B  und 2B 	114
Abbildung 68	Boxplot der Übergangslängen der fallenden Intervalle in 1B  und 2B 	115
Abbildung 69	Boxplot der relativen Hübe der fallenden Intervalle in 1B  und 2B 	116
Abbildung 70	Steigung des Übergangs der fallenden Intervalle in 1B  und 2B 	117
Abbildung 71	Histogramme der Bogenlängen in 1B  und der 2. Bögen in 2B  Melodien mit steigendem Intervall .....	118
Abbildung 72	Histogramme der Intervalllängen der steigenden Intervalle in 1B  und 2B 	119
Abbildung 73	Längen des 1. Plateaus im 1B  und des 2. Plateaus in 2B  des steigenden Intervalls .....	121
Abbildung 74	Längen des 2. Plateaus in 1B  und des 2. Plateaus in 2B  der steigenden Intervalle .....	122
Abbildung 75	Boxplot der Übergangslängen der steigenden Intervalle in 1B  und 2B 	123
Abbildung 76	Boxplot der relativen Hübe der steigenden Intervalle in 1B  und 2B 	124
Abbildung 77	Steigung des Übergangs der steigenden Intervalle in 1B  und 2B 	125
Abbildung A78	1. Beispiel: Sonderfall „Spitzbogen“ mit skizzierter Erläuterung.....	A-2
Abbildung A79	2. Beispiel: Sonderfall „Spitzbogen“ .....	A-2

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Auswahlkriterien für die Teilnahme an der GLaD-Studie (Lind 2007).....	12
Tabelle 2	Anzahl der Vokalisationen pro Säugling/Woche.....	13
Tabelle 3	Ausschlusskriterien für die Vorselektierung geeigneter Lautäußerungen für die Melodieintervallanalyse.....	17
Tabelle 4	Vorselektierung: Absolute und relative (%) Häufigkeiten der ein- bzw. ausgeschlossenen Lautmelodien pro Säugling .....	21
Tabelle 5	Strukturkategorisierung der Lautmelodien nach Wermke (2002).....	23
Tabelle 6	Skizzierte Darstellung der drei Bogenform-Klassen (1 – 3).....	25
Tabelle 7	Typisierung der Lautmelodie innerhalb einer Vokalisation .....	26
Tabelle 8	Kriterien zur Definition von Melodieintervallen in Säuglingslauten; modifiziert nach Dobnig (2017) und Stephan (2017) .....	34
Tabelle 9	Erläuterung der Variablen und Messgrößen (fett) aus Abbildung 15 und Abbildung 16 .....	36
Tabelle 10	Skizzierter Intervallverlauf (Richtung): Steigendes und fallendes Einzelintervall.....	38
Tabelle 11	Frequenzverhältnisse von Intervallen mit dazugehörigen Cent-Werten (gleichstufige Stimmung) .....	41
Tabelle 12	Gegenüberstellung der zu vergleichenden Intervalle in 1B (-1-) und 2B (-12-) .....	43
Tabelle 13	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Typen über das Untersuchungsalter .....	49
Tabelle 14	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Lautmelodien ohne und mit Intervall über den Untersuchungszeitraum .....	51
Tabelle 15	Geschätzte Auftrittswahrscheinlichkeiten (Estimate) und Konfidenzintervalle (CI).....	53
Tabelle 16	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der identifizierten Intervallmuster (einfach oder komplex) über den Untersuchungszeitraum .....	55
Tabelle 17	Geschätzte Wahrscheinlichkeiten (Estimate) und Konfidenzintervalle (CI) unter Berücksichtigung der Komplexität .....	57
Tabelle 18	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Strukturkategorien pro Monat.....	61

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 19	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Strukturkategorien aller Melodien mit Intervall über den Untersuchungszeitraum .....	63
Tabelle 20	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der beobachteten Intervallcodes (N=2657) .....	66
Tabelle 21	Absolute Häufigkeiten der häufigsten Intervallcodes innerhalb der jeweiligen Melodiestrukturen .....	67
Tabelle 22	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der identifizierten Intervallcodes innerhalb der Form-Klassen .....	69
Tabelle 23	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallcodes im einfachen Bogen (1B) .....	70
Tabelle 24	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallcodes im Doppelbogen (2B) .....	72
Tabelle 25	Deskriptive Statistik der identifizierten Intervallgrößen (N=6814) .....	74
Tabelle 26	Deskriptive Statistik für die Melodiegesamtlänge (1B) über den Untersuchungszeitraum (alle Intervallcodes) .....	76
Tabelle 27	Deskriptive Statistik der Bogenform (1B) im Untersuchungszeitraum .....	76
Tabelle 28	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Form-Klassen in der einfachen Melodiebogenstruktur (1B) über den Untersuchungszeitraum .....	77
Tabelle 29	Melodiegesamt- und Intervalllängen (-1- in 1B) .....	79
Tabelle 30	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallrichtungen (-1- in 1B) .....	81
Tabelle 31	Frequenzratios der steigenden und fallenden Intervalle (-1- in 1B) .....	82
Tabelle 32	Skizze der beobachteten Intervallmuster des Codes -12- in einbölgigen Melodien (1B) .....	85
Tabelle 33	Melodiegesamt- und Intervalllängen (-12- in 1B) .....	86
Tabelle 34	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallmuster (-12- in 1B) .....	88
Tabelle 35	Frequenzratios der steigenden und fallenden Intervalle (-12- in 1B) .....	89
Tabelle 36	Deskriptive Statistik für die Melodiegesamtlänge (2B) über den Untersuchungszeitraum .....	95
Tabelle 37	Deskriptive Statistik der Bogenform (2B) über vier Monate .....	96
Tabelle 38	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Form-Klassen (2B) im Untersuchungszeitraum .....	96

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 39	Melodiegesamt- und Intervalllängen (-12- in 2B).....	102
Tabelle 40	Skizze des am häufigsten beobachteten Intervallmusters in 2B-Melodien. Kombination: Fallendes und steigendes Intervall (-FS-) .....	104
Tabelle 41	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallmuster (-12- in 2B) .....	105
Tabelle 42	Absolute Häufigkeiten der in Cent umgerechneten ermittelten Ratios der Plateaus der fallenden und steigenden Intervalle (-FS- in 2B).....	108
Tabelle 43	Deskriptive Statistik der Bogenlängen (nicht logarithmiert) in Melodien mit fallendem Intervall .....	111
Tabelle 44	Deskriptive Statistik zu den Intervalllängen (nicht logarithmiert) .....	112
Tabelle 45	Längen der Plateaus der fallenden Intervalle in 1B und 2B ..	114
Tabelle 46	Übergangslängen der fallenden Intervalle in 1B (-1-) und 2B (-12-).....	115
Tabelle 47	Relativer Hub der fallenden Intervalle in 1B und 2B.....	116
Tabelle 48	Deskriptive Statistik zur Steigung des Übergangs in fallenden Intervallen .....	117
Tabelle 49	Deskriptive Statistik zu den Bogenlängen (nicht logarithmiert) .....	119
Tabelle 50	Deskriptive Statistik zu den Intervalllängen (nicht logarithmiert) .....	120
Tabelle 51	Plateaulängen der steigenden Intervalle in 1B und 2B.....	121
Tabelle 52	Übergangslängen des steigenden Intervalls in 1B und 2B....	123
Tabelle 53	Relativer Hub der steigenden Intervalle in 1B und 2B.....	124
Tabelle 54	Deskriptive Statistik zur Steigung des Übergangs in steigenden Intervallen .....	125
Tabelle A55	Erläuterungen der Intervall-Begrifflichkeiten .....	A-1
Tabelle A56	Absolutes und relatives (%) Vorkommen der Melodiestructuren pro Kind (nicht segmentierte Strukturkategorien).....	A-3
Tabelle A57	Absolutes und relatives (%) Vorkommen der Melodiestructuren pro Kind (segmentierte Strukturkategorien).....	A-3
Tabelle A58	Absolute Häufigkeiten der Intervallcodes innerhalb der Melodiestructuren.....	A-4
Tabelle A59	Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallcodes innerhalb der Bogenform-Klassen.....	A-5

## Abkürzungsverzeichnis

Apgar	Activity/Pulse/Grimace/Appearance/Respiration (Punkteschema für die Zustandsdiagnostik des Neugeborenen unmittelbar nach der Geburt)
ABE	Säure (Acid) – Basen – Exzess
CDAP	Cry Data Analysis Program
CI	Konfidenzintervall
CSL	Computer-Speech-Lab
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorrelierte Potenziale
F	Fallend
F <sub>0</sub>	Grundfrequenz
F <sub>0MAX</sub>	Grundfrequenzmaximum
GLaD	Deutsche Sprachentwicklungsstudie
GS	Gaumenspalten
HG	Hintergrundgeräusch
IV	Intervall
LKGS	Lippen-Kiefer-Gaumensegelspalte
MMN	Mismatch Negativity
N	Anzahl
OAE	otoakustische Emissionen
QSS	Qualitative Signalstruktur
S	Steigend
SSW	Schwangerschaftswoche
TSH	Thyreoidea-stimulierendes Hormon
ZVES	Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg

## 1 Einleitung

Die moderne genetische Diagnostik ermöglicht heute den Nachweis vieler, früher unbekannter Syndrome und deren Symptome (Bartram et al. 2000; Splinter et al. 2018; Srivastava et al. 2014). Anomalien und Malformationen treten oft als Begleitsymptom eines Syndroms auf, aber Krankheitszeichen können auch unspezifisch sein (Hunter 2002; Jones und Adam 2015). Eine eindeutige Indikation für eine genetische Untersuchung ist somit nicht immer gegeben und Syndrome können verdeckt bleiben. So kann es vorkommen, dass einige Erkrankungen erst in späteren Entwicklungsphasen diagnostiziert werden, wenn die Entwicklung der betroffenen Kinder verzögert oder beeinträchtigt scheint (Mahler et al. 2019; Sarimski 2014).

Eine Malformation, die syndromal oder nicht-syndromal auftreten kann und bereits ab dem Säuglingsalter zu Entwicklungsstörungen führen kann, ist mit einer Häufigkeit von 1 : 500-700 die orofaziale Spaltbildung (Mossey und Castilla 2001; Tolarova und Cervenka 1998). Als Begleitsymptom eines Syndroms sind orofaziale Spaltbildungen oft mit dem Van der Woude-Syndrom oder Trisomie 13 assoziiert, treten aber auch nicht-syndromal isoliert mit multifaktorieller Genese auf (Bergé et al. 2001; Cohen 1978; Jugessur und Murray 2005; Mangold et al. 2011; Stuppia et al. 2011). Orofaziale Spaltbildungen werden hinsichtlich ihrer Entstehung während der Embryonalentwicklung in Lippen-Kiefer-Gaumenspalten (LKGS) und isolierte Gaumenspalten (GS) unterteilt (Hinrichsen 1990; Mangold et al. 2017). Beide können in verschiedenen Ausprägungen mit unterschiedlichen Schweregraden auftreten (Sivertsen et al. 2008).

Kinder entwickeln sich gerade im Neugeborenen- und Säuglingsalter rasant und neurophysiologische Funktionsstörungen führen häufig zu Entwicklungsstörungen mit Langzeitwirkung (Gschwend 2000; Knickmeyer et al. 2008). In diesem jungen Alter besteht aber auch eine hohe Plastizität vieler neurophysiologischer Strukturen und Mechanismen (Gao et al. 2017; Holland et al. 2014). Es ist wünschenswert, Risikokinder für potenzielle



Entwicklungsstörungen frühestmöglich zu diagnostizieren, um rechtzeitig mit individuell optimierten Therapien beginnen zu können (Hanny et al. 2016; Slavotinek und Ali 2015; ten Dam et al. 2013).

Die Vorsprachliche Diagnostik (VD) am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES; Leitung: Prof. Dr. Kathleen Wermke) der Poliklinik für Kieferorthopädie (Direktorin: Prof. Dr. Angelika Stellzig-Eisenhauer) des Universitätsklinikums Würzburg beinhaltet die nicht-invasive Identifikation potenzieller Risikokinder für orofaziale Spaltbildungen basierend auf der Erforschung der frühkindlichen Sprachentwicklung. Eine diagnostizierte Abweichung früher Säuglingsvokalisationen von erarbeiteten Referenzwerten gesunder Säuglinge soll die frühe Identifizierung potenzieller Risikokinder einer Entwicklungsverzögerung oder -störung ermöglichen.

Das ZVES ist das einzige Zentrum weltweit, in dem systematische Grundlagenforschung auf diesem Gebiet betrieben wird und die Forschungsergebnisse unmittelbar auf ihre klinische Relevanz getestet werden. Erst wenn es robuste Frühindikatoren für Sprachentwicklungsstörungen gibt, können neue Therapien erarbeitet werden, um potenzielle Risikokinder frühzeitig zu fördern.

Aufgrund multifaktorieller Einflüsse auf die Entwicklung von Säuglingen mit orofazialer Spaltbildung und der zudem bei allen Säuglingen hohen inter-individuellen Variabilität der frühen Lautproduktion muss für klinische Fragestellungen umfangreiche Grundlagenforschung betrieben werden (Burdí 2006; Vihman 1996). Die vorliegende Arbeit leistet dazu einen Beitrag, indem sie spezifische Referenzwerte für sehr schnelle laryngeale Regelleistungen in Abhängigkeit vom Alter der Säuglinge im Längsschnitt erarbeitet.

Aufgrund ihrer frühen Reife und kurzen Zeitkonstante eignet sich die laryngeale Stimmproduktion für die Identifikation neurophysiologischer Regel-Defizite im frühen Säuglingsalter (LaGasse et al. 2005; Wermke 1987).

Im Säuglingsalter erfolgt der Einstieg in die Sprachentwicklung aufgrund der noch unreifen Vokaltraktstrukturen und deren neurophysiologischen Funktionsmechanismen zunächst vor allem durch die Phonation (Bosma et al. 1965; Vorperian et al. 2005). Die Sprachentwicklung beginnt im Wesentlichen durch die Variation der Lautmelodie (Zeitfunktion der Grundfrequenz), basierend auf einer fein aufeinander abgestimmten Koordination zwischen laryngealen und respiratorischen Mechanismen. Dies gilt zunächst unabhängig davon, ob zusätzlich eine Beeinträchtigung in Form von Malformationen (LKGS) im Vokaltrakt vorliegt (Chapman et al. 2001; Wermke et al. 2002a). Forschungsergebnisse des ZVES konnten allerdings zeigen, dass sich laryngeale Regelleistungen der Stimmproduktion von Säuglingen mit orofazialen Spaltbildungen von denen gleichaltriger Säuglinge ohne Spaltbildung unterscheiden (Birr 2009; Ostermann 2010; Wermke et al. 2011; Wermke et al. 2002a; Wermke et al. 2007).

Die häufig mit orofazialen Spaltbildungen einhergehenden Schalleitungsstörungen könnten an Veränderungen der Lauteigenschaften bei diesen Patienten mitverantwortlich sein (Etz et al. 2012; Jurkutat 2009). Als wesentliche Einflussfaktoren werden die veränderten Rückkopplungsmechanismen bei Vokaltraktmalformationen auf die Quelle (Larynx) in der Fachliteratur aufgeführt (Birr 2009; Fuamenya et al. 2015; Hauschildt 2006; Wermke et al. 2011; Wermke et al. 2002a; Zeipert 2004). Bei der Lautproduktion eines Säuglings mit orofazialer Spaltbildung, so wird u.a. vermutet, führen die veränderten oronasalen Abstrahlungscharakteristiken über Rückkopplungsmechanismen möglicherweise zu einer Erhöhung des subglottischen Drucks beim Weinen der Säuglinge (ibid.). Die zwar hochleistungsfähige, beim intensiven Schreien aber an ihrer physiologischen Grenze arbeitende Regelung der Stimmlippenbewegung (Sereschk 2019; Wermke et al. 2019), kann zu Koordinationsstörungen im feinen Zusammenspiel zwischen laryngealen und exspiratorischen Ereignissen führen (Birr 2009; Dirauf 2010; Hauschildt 2006; Zeipert 2004).

Ein weiteres Erklärungsmodell postuliert, dass bei Patienten mit orofazialer Spaltbildung auch die an der vokalen Produktion und auditiven Perzeption beteiligten Strukturen im Gehirn spezifisch verändert sind und ebenfalls zu Dysfunktionen laryngealer Regelleistungen beitragen könnten (Chollet et al. 2014; DeVolder et al. 2013; Nopoulos et al. 2007). Eine aktuelle Untersuchung amerikanischer Neuropsychologen, Kieferorthopäden und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen in Kooperation mit dem ZVES hat erstmalig Hinweise darauf geliefert, dass möglicherweise vor einer therapeutischen Intervention, im Alter zwischen der 7. bis 11. Lebenswoche, bereits hirnmorphologische Besonderheiten bei Säuglingen mit orofazialen Spaltbildungen nachweisbar sind, die auch mit rhythmischen Eigenschaften der Melodie im spontanen Weinen in Zusammenhang stehen könnten (Segmentierungen, vgl. Kapitel 2.4.2) (Conrad et al. 2020). Ein weiteres Argument für die ursächliche Beteiligung hirnphysiologischer Mechanismen an der Deviation der vorsprachlichen Entwicklung bei Säuglingen mit orofazialen Spalten lieferten neuropsychologische Forschungen. Säuglinge mit orofazialen Spaltbildungen zeigten schon in den ersten Lebenswochen hirnphysiologische Unterschiede in der Wahrnehmung und der Verarbeitung von auditiven Reizen. Hirnphysiologische Untersuchungen mittels der sogenannten Mismatch Negativity (MMN), einer Komponente bei der Messung ereigniskorrelierter Potenziale (EKP)<sup>1</sup> im Elektroenzephalogramm (EEG) konnten Beeinträchtigungen der Frequenzunterscheidung bei Säuglingen mit orofazialen Spaltbildungen feststellen (Cheour et al. 1999; Yang et al. 2012). Für die vorzeitliche Erkennung der unregelmäßig auftretenden Signale (Devianten) bei dieser Methode werden neuronale Verknüpfungen im auditorischen Kurzzeitgedächtnis verantwortlich gemacht (Naatanen und Winkler 1999). Über die MMN-Amplituden der Hirnpotenziale können die Wahrnehmung des abweichenden Stimulus ermittelt und bestehende sensorische Funktionseinschränkungen bei Neugeborenen mit orofazialer Spaltbildung nachgewiesen werden (Ceponiene et al. 2000; Ceponiene et al. 1999).

---

<sup>1</sup> Ein ereigniskorreliertes Potenzial (EKP) ist die Antwort auf einen von der Regel abweichenden Stimulus (zum Beispiel eines abweichenden Frequenzbereichs) innerhalb einer Sequenz von regelmäßigen Reizen.

Es gibt also Hinweise darauf, dass das audio-vokale System bei Säuglingen mit orofazialer Spaltbildung beeinträchtigt sein kann. Inwieweit dafür auch verdeckte Syndrome verantwortlich sein könnten, ist bisher nicht bekannt. Eine nicht-invasive Frühdiagnose neurophysiologischer Dysfunktionen dieser Patienten anhand geeigneter Messgrößen, die das audio-vokale System charakterisieren, ist Ziel der Forschung am ZVES. Vor diesem Hintergrund ist die Analyse phonatorischer Messgrößen, wie der mittleren Grundfrequenz, der Minima und Maxima der Grundfrequenz, der Modulationsamplitude sowie ausgewählter temporaler Eigenschaften in verschiedenen Vorarbeiten beschrieben worden (Dokou 2007; Myrcik 2016; Wermke et al. 2011; Wermke et al. 2002a).

Neben diesen Kenngrößen ist die Messung der  $F_0$ -Kurzzeit-Variabilität (Lind 2007) ein geeigneter Ansatz, um schnelle Regelmechanismen bei der Lautproduktion zu unterscheiden. Neueste Arbeiten lassen vermuten, dass sogenannte intervallartige Phänomene der  $F_0$ -Kontur (Melodieintervalle) klinisch noch besser geeignet sein könnten, um schnelle zeitliche Prozesse bei der laryngealen Lautproduktion zu charakterisieren (Armbrüster et al. 2017; Dobnig 2017; Ehlert 2019; Stephan 2017).

*Was sind das für besondere Phänomene und warum könnten sie potenzielle Risikomarker für frühe Entwicklungsstörungen liefern?*

Diese intervallartigen Phänomene bezeichnen Substrukturen der melodischen Konturen einzelner Vokalisationen, die ähnlich den Tonintervallen in den musikalischen Melodien wahrgenommen werden können (Melodieintervalle; (Deutsch 1998)). Nachdem diese Phänomene erstmalig entdeckt wurden (Weigl 2012; Wermke und Mende 2009), konnten erste systematische Analysen von Weinlauten Neugeborener (spontanes Weinen vor Mahlzeiten) zeigen, dass Melodieintervalle tatsächlich regelhaft auftraten und ihre akustischen Kenngrößen relativ stabil waren (Dobnig 2017; Stephan 2017; Weigl 2012). In der Arbeit von Ehlert (2019) wurde dieser Ansatz erstmalig im Längsschnitt bis zu einem Säuglingsalter von vier Monaten weiterverfolgt. Auch dabei zeigte sich die hohe Stabilität der Kenngrößen für die identifizierten melodischen Substrukturen – eine wesentliche Bedingung für ihre Eignung in der klinischen

Anwendung. In diesen Vorarbeiten zeigte sich auch, wie schnell die zugrundeliegenden Regelvorgänge ablaufen, so dass die ursprünglich verwendeten zeitlichen Grenzkriterien für die Identifikation der Intervalle und die Messung ihrer temporalen Eigenschaften nachfolgend heruntergesetzt wurden (vgl. Kapitel 2.4.5). Dies ist insofern positiv, als dass reife und schnelle Regelvorgänge eine Grundvoraussetzung dafür sind, um Dysfunktionen überhaupt entdecken zu können. Die Vorarbeiten haben postuliert, dass die Melodieintervalle daher ein geeigneter Kandidat für die nicht-invasive Identifikation gestörter laryngealer Regelleistungen und damit potenziell verdeckter Syndrome bei Säuglingen mit orofazialen Spaltbildungen sein könnten (Dobnig 2017; Ehlert 2019; Stephan 2017; Weigl 2012). Aufgrund der teilweise unterschiedlichen methodischen Verfahren in den genannten Vorarbeiten und den dort beschriebenen methodischen Limitationen waren weitere Analysen erforderlich, bevor man eine geeignete vergleichende Untersuchung bei Säuglingen mit und ohne orofaziale Spaltbildungen konzipieren kann.

Die vorliegende Arbeit hatte daher, aufbauend auf den Ergebnissen der genannten Vorarbeiten, das Ziel, die Auftrittshäufigkeit und spezifische temporale Messgrößen für die Melodieintervalle in den ersten vier Lebensmonaten quantitativ mit neu definierten Messkriterien zu analysieren. Neben der mit der Methodenmodifikation verbundenen Überarbeitung bisheriger Referenzwerte (Kapitel 2.4.5.1) für den zukünftig geplanten Vergleich zu Messungen an Vokalisationen von Säuglingen mit orofazialer Spaltbildung sollten die Melodieintervalle erstmalig auch in segmentierten Melodien untersucht werden.

Vokalisationen mit segmentierten Melodien, also solche, die durch Unterbrechung der Stimmlippenschwingung bedingte innermelodische Pausen enthalten, werden von Säuglingen mit orofazialen Spaltbildungen besonders häufig erzeugt (Ostermann 2010; Steck-Walter 2007). Sollten Melodieintervalle tatsächlich das Potenzial haben, besser als bisher verdeckte Syndrome bei Säuglingen mit orofazialer Spaltbildung zu identifizieren, muss die

Intervallmethode auch für diese Vokalisationsart getestet werden. Dies wurde in den genannten vorangegangenen Studien, die sich bereits der Identifizierung von intervallartigen Phänomenen von Säuglingen widmeten, vernachlässigt (keine Unterscheidung der Melodiestrukturen bei der Intervallanalyse). Mit Hinblick auf eine zukünftige Anwendung der Methode bei Säuglingen mit orofazialen Spaltbildungen ist dies jedoch erforderlich. Melodieintervalle in komplexen segmentierten Melodien werden daher in der vorliegenden Arbeit erstmals spezifisch berücksichtigt. Dazu war es erforderlich die Struktur (Kapitel 2.4.2) der jeweiligen Melodie bei der Intervallanalyse zu berücksichtigen.

Die vorliegende Arbeit hat sich folgenden Fragestellungen gewidmet:

1. Treten in den ungestörten (rauschfreien) Grundfrequenzverläufen (Melodien) des spontanen Weinens von Säuglingen im 1. bis 4. Monat signifikant häufiger Melodien mit Intervall als Melodien ohne Intervall auf?
2. Gibt es innerhalb der ersten vier Lebensmonate Unterschiede in der Auftrittshäufigkeit von Melodieintervallen insgesamt und pro Melodiestrukturkategorie?
3. Treten Melodieintervalle auch in segmentierten Melodien auf?
4. Treten steigende (-S-) oder fallende (-F-) Melodieintervalle in allen Melodiestrukturkategorien, d.h. sowohl in einbögigen Melodien als auch in komplexen, mehrbögigen Melodien auf?
5. Nimmt die Komplexität der Intervalle mit der Komplexität der Melodiegesamtgestalt zu?
6. Welche temporären und Frequenzhub-Eigenschaften zeigen die einfachen Intervallmuster?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Methodologische Aspekte

Für die vorliegende Arbeit wurden 6130 vorsprachliche Lautäußerungen (spontanes Weinen) von 12 gesunden Säuglingen ohne orofaziale Spaltbildung im Längsschnitt signalanalytisch über die ersten vier Lebensmonate quantitativ untersucht. Es handelt sich um eine explorative Analyse basierend auf anonymisiert vorliegenden Daten. Hierzu wurden Frequenzspektren und Melodiekonturdiagramme erstellt und nachfolgend melodische Strukturcharakteristika (Substrukturen) in Form von intervallartigen Bereichen der Grundfrequenzverläufe (Melodieintervalle) analysiert. Aufbauend auf vorhergehenden Untersuchungen hat die Arbeit das Ziel, spezifische Referenzwerte für schnelle zeitliche Regelvorgänge bei der laryngealen Lautproduktion zu erarbeiten, um diese auf ihre indikative Valenz zur Identifikation von Risikosäuglingen mit LKGS (verdeckte Syndrome) in nachfolgenden Arbeiten testen zu können.

Als Untersuchungszeitraum wurden die ersten vier Lebensmonate der Säuglinge festgesetzt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, weil eine Analyse von Weinlauten bei älteren Säuglingen nicht sinnvoll ist, da ab dem 3. bis 4. Monat Komfortvokalisationen produziert werden, die dann eine höhere entwicklungsdiagnostische Aussagekraft haben. Das Weinen entwickelt sich ab dem 4. Monat nur wenig, während sich seine Eigenschaften aufgrund der Geschwindigkeit der Gehirnentwicklung und verschiedener anderer Einflüsse in den ersten drei Lebensmonaten dramatisch verändern und somit entwicklungsdiagnostische und prognostische Aussagen zulassen (LaGasse et al. 2005; Wermke et al. 2002a; Wermke und Mende 1992; Wermke und Mende 2000; Wermke und Mende 2009; Wermke et al. 2002b).

Da es für die Beantwortung der Fragestellungen wichtig ist nur Daten von solchen Probanden zu analysieren, die sich tatsächlich über die ersten drei Lebensjahre unauffällig entwickelt haben, wurden aus dem Archiv des ZVES anonymisierte Aufnahmen von Probanden der ehemaligen „Deutschen

Sprachentwicklungsstudie“ (GLaD-Studie) ausgewählt. Die Probanden der GLaD-Studie wurden bis zu einem Alter von drei Lebensjahren umfangreich entwicklungsdiagnostisch untersucht.

Der lange Untersuchungszeitraum, in dichten zeitlichen Abständen, garantiert bei den hier eingeschlossenen Probanden die unauffällige medizinische und psychomotorische sowie sprachliche Entwicklung. Für detailliertere Erläuterungen über die Studienteilprojekte und den zeitlichen Ablauf der Untersuchungen wird an dieser Stelle auf die Arbeit von Lind (2007) verwiesen.

Die im Rahmen der GLaD-Studie aufgenommenen Lautäußerungen erhielt die Autorin als Audiofiles aus dem Archiv des ZVES in anonymisierter Form.

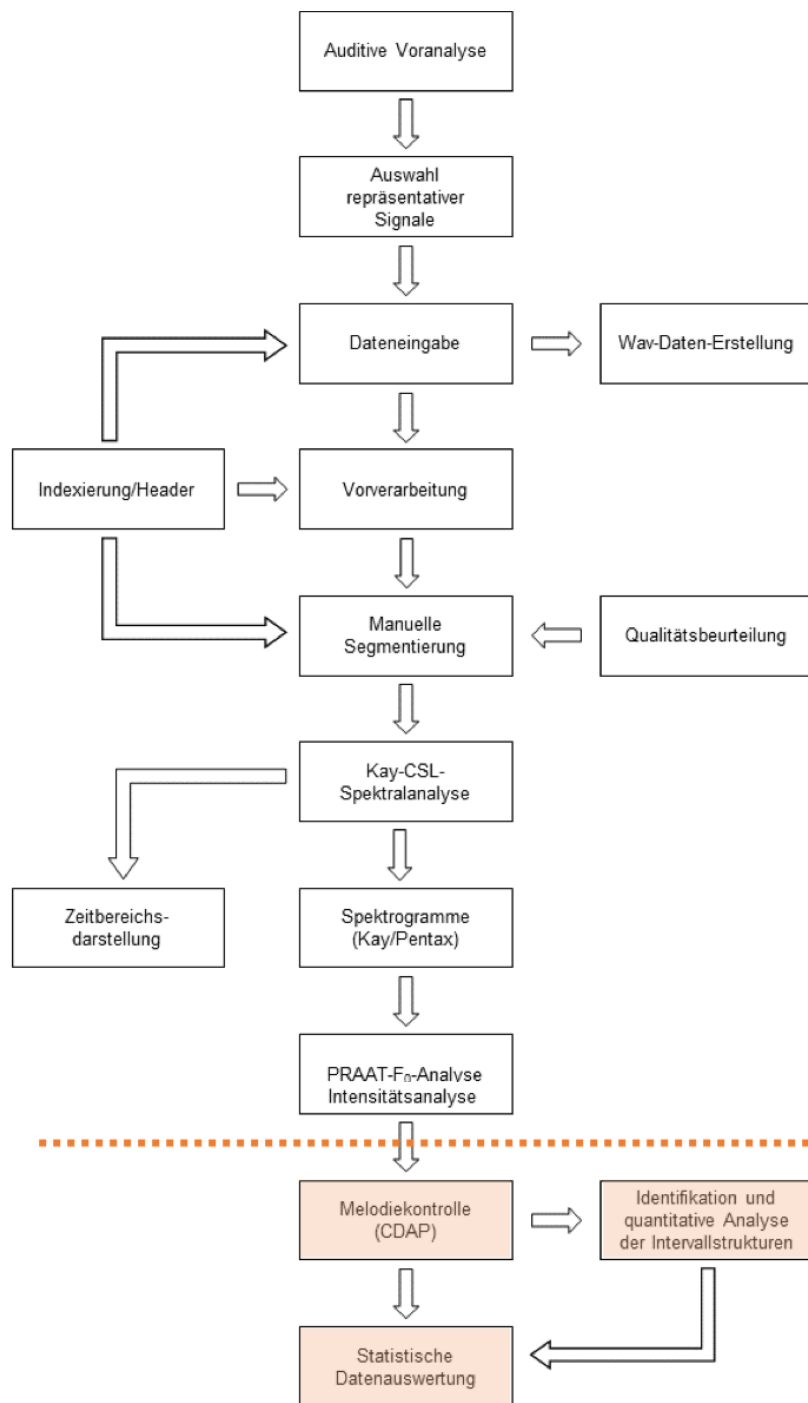
Es konnten 12 gesunde Säuglinge mit ausreichend zeitlich dichten (möglichst wöchentlichen) Aufnahmen im Längsschnitt analysiert werden (Kapitel 2.2). Das GLaD-Projekt sah zwar generell keine wöchentlichen Aufnahmen vor, allerdings lagen bei 9 Säuglingen dennoch wöchentliche Aufnahmen vor. Bei drei weiteren Säuglingen (auch Teilnehmer der GLaD-Studie) lagen mit Ausnahme einer fehlenden Woche ebenfalls wöchentliche Aufnahmedaten vor (Tabelle 2).

Vor der eigentlichen Auswertung der Audiofiles wurden alle Lautäußerungen zunächst anhand von Frequenzspektrogrammen audio-visuell voranalysiert (Kapitel 2.4.1).

Die Melodiekonturen der als geeignet befundenen Vokalisationen wurden nachfolgend mit Hilfe spezieller Sprachanalyseprogramme am ZVES ermittelt. Die Melodiekonturen waren durch die Routineanalysen am ZVES bereits errechnet und konnten von der Autorin zur eigentlichen Melodieintervallanalyse für die Arbeit mit dem speziell dafür entwickelten Modul des CDAP-Programms (Cry Data Analysis Program; Autor: P. Wermke) verwendet werden. Allerdings hat die Autorin alle Melodien noch einmal auf potenzielle Artefakte der automatischen Routinen kontrolliert und gegebenenfalls neu berechnet, bevor sie ihre Messungen vorgenommen hat.



In Abbildung 1 sind die vorbereitenden Arbeitsschritte für Lautanalysen im ZVES sowie die hier durchgeführten Analysen aufgeführt. Die Autorin hat mit ihren Analysen ab der „Melodiekontrolle (CDAP)“ begonnen. Die Arbeitsschritte, die von der Autorin vorliegender Arbeit durchgeführt wurden, sind orange markiert (Abbildung 1). Nur diese werden ab Kapitel 2.3.1 detailliert erläutert. Für die vorbereitenden Routineschritte wird z.B. auf Dobnig (2017), Lind (2007) oder Stephan (2017) verwiesen.



**Abbildung 1** Flussdiagramm der Arbeitsschritte von der Voranalyse bis zur Intervallvermessung

[modifiziert nach Dobnig (2017), Nachdruckgenehmigung liegt vor]

## 2.2 Probandenkollektiv

Die Probandenrekrutierung für die Teilnahme an der „Deutschen Sprachentwicklungsstudie“ erfolgte durch die in Tabelle 1 aufgeführten Auswahlkriterien. Alle Probanden, deren Aufnahmen hier ausgewertet wurden, erfüllten dementsprechend diese Einschlusskriterien. Das Geschlechterverhältnis der Säuglinge ist mit 6 weiblichen zu 6 männlichen ausgeglichen.

**Tabelle 1**      **Auswahlkriterien für die Teilnahme an der GLaD-Studie (Lind 2007)**  
**Deutsche Sprachentwicklungsstudie und medizinisches Teilprojekt,**  
**Prof. Dr. med. Volker Hesse**

Auswahlkriterien
<ul style="list-style-type: none"><li>- mindestens 5 Vorsorgeuntersuchungen während der Schwangerschaft</li><li>- keine längeren gravierenden Erkrankungen während der Schwangerschaft, auch bei postnatal zunächst gesundem Kind</li><li>- Spontangeburt, keine Zangengeburt</li><li>- Sectio aus mütterlicher Indikation und bei Fehllage</li><li>- Ein- und Mehrlingsgeburten</li><li>- Gestationsalter zwischen 37 + 0 und 41 + 6 SSW</li><li>- eutroph (Grenzen 10. und 90. Perzentile nach Voigt et al. (1996)</li><li>- Apgar 5' <math>\geq 8</math>, 10' <math>\geq 9</math></li><li>- Nabelschnur pH <math>&gt; 7,20</math></li><li>- Bilirubin <math>&lt; 360 \mu\text{mol/l}</math></li><li>- kein Verdacht auf ein Syndrom mit Intelligenzdefekt (Einzelfallentscheidung)</li><li>- Säure-Basen-Exzess (ABE) <math>&gt; -10</math> und <math>&lt; 10</math></li><li>- keine symptomatische Hypoglykämie</li><li>- TSH-Werte <math>&lt; 20 \text{ mU/l}</math> (Ausschluss einer Schilddrüsenunterfunktion)</li><li>- otoakustische Emissionen (OAE) beidseits unauffällig</li><li>- unauffällige neurologische Erstuntersuchung nach Prechtel und Beintema (1964)</li><li>- beide Eltern deutscher Nationalität und einzige Sprache zu Hause deutsch</li></ul>

## 2.3 Datengrundlage

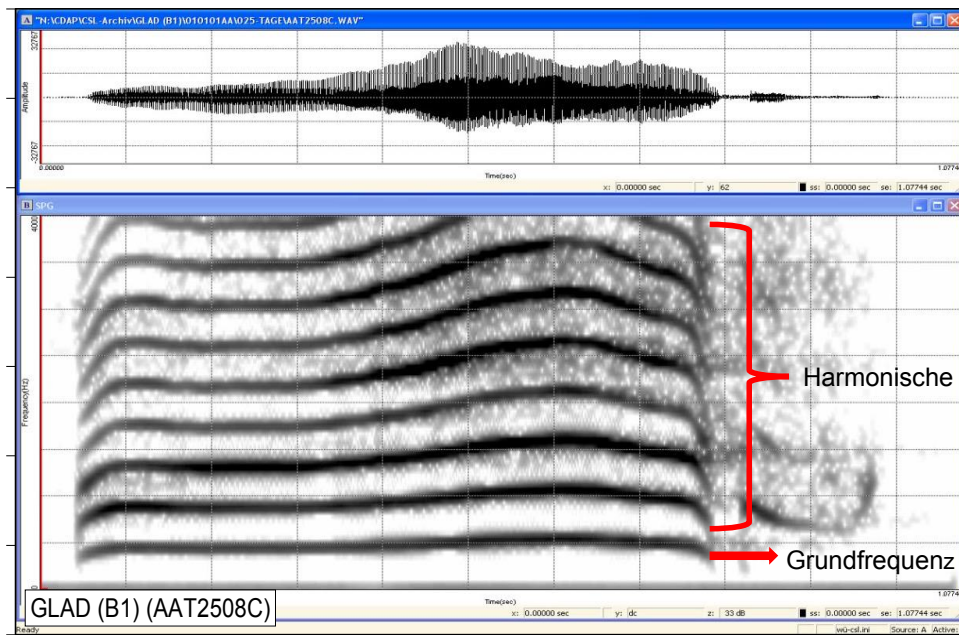
Tabelle 2 zeigt die Anzahl der Vokalisationen und die wöchentliche Verteilung der Aufnahmen über den Untersuchungszeitraum von vier Monaten. Für den Untersuchungszeitraum liegen von den ausgewählten Säuglingen insgesamt 6130 Vokalisationen vor; sie bilden den Rohdatenkorpus für die vorliegende Arbeit.

**Tabelle 2** Anzahl der Vokalisationen pro Säugling/Woche

Kind	Alter [Wochen]																Gesamt
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
A	36	34	12	32	58	44	26	17	22	18	50	29	15	9	6	9	417
B	31	22	26	27	23	32	33	29	75	10	47	22	19	25	16	0	437
C	8	22	11	16	16	15	25	18	19	20	30	18	12	29	30	65	354
D	25	71	80	28	81	69	48	8	59	53	26	64	16	58	48	60	794
E	34	0	16	38	12	17	37	40	14	48	39	16	35	24	18	25	413
F	15	4	35	24	25	28	32	24	34	28	46	21	29	29	26	34	434
G	38	3	21	32	48	23	27	15	16	18	22	17	25	39	33	69	446
H	36	22	7	16	14	20	37	63	20	19	18	15	31	27	9	14	368
I	34	68	53	44	33	36	59	29	50	51	23	38	64	41	24	28	675
J	40	44	39	37	45	20	40	35	19	31	90	39	34	38	57	23	631
K	61	29	52	40	58	54	70	46	62	24	31	52	26	19	27	48	699
L	21	22	43	32	41	27	0	21	33	43	25	24	37	52	19	22	462
Gesamt	379	341	395	366	454	385	434	345	423	363	447	355	343	390	313	397	6130

### 2.3.1 Melodiekontrolle

Die Melodie einer Vokalisation (Zeitfunktion der Grundfrequenz) wird am ZVES automatisch mit Hilfe der Sprachanalyse-Software PRAAT (Boersma und Weenink 2011) berechnet. Alle berechneten Grundfrequenzverläufe wurden anhand von Spektren vor ihrer weiteren Analyse noch einmal von der Autorin kontrolliert. Die Frequenzspektren für die 6130 Vokalisationen lagen, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, bereits als Schmalbandspektrogramme (Abbildung 2) im Datensystem des ZVES vor.



**Abbildung 2** Zeitbereichsdarstellung (oben) und Frequenz-Schmalbandspektrogramm einer Vokalisation [0 – 4 kHz, 1,07 s]

Schmalbandspektrogramme (Abbildung 2) werden mittels Spektralanalyse mit Hilfe des, in der medizinischen Sprachforschung ebenfalls angewendeten, CSL-Systems (KayPentax/USA) routinemäßig am ZVES von allen Einzellaute ermittelt. Im Ergebnis werden Frequenz-Zeit-Darstellungen erstellt, die zusammen mit dem Zeitsignal der einzelnen Vokalisationen visualisiert werden. Hier wird zwischen der Grundfrequenz ( $F_0$ ), die durch das unterste Frequenzband im Spektrum beschrieben ist und den Frequenzbändern der Harmonischen der Grundfrequenz, die durch die darüber liegenden Frequenzbänder gezeigt sind, unterschieden. Die Harmonischen sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz. Zwischen den Harmonischen können weitere Frequenzbänder als Subharmonische sichtbar werden.

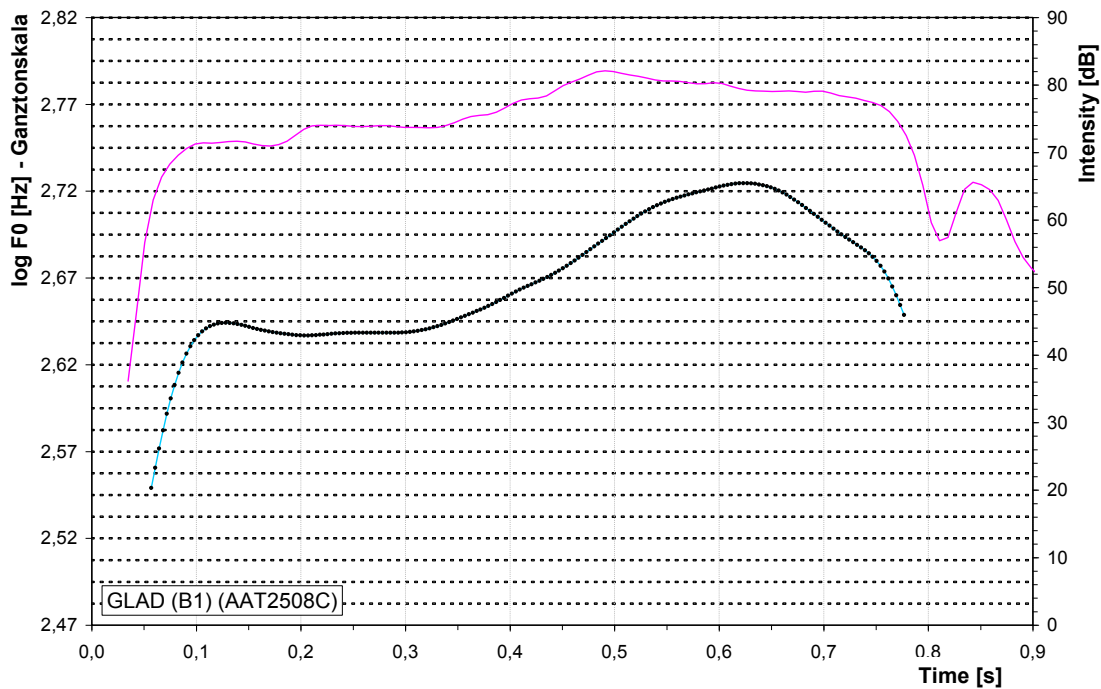
Bei allen in der vorliegenden Arbeit gezeigten Spektren ist auf der x-Achse der Zeitverlauf der Aufnahme in Sekunden dargestellt. Dieser Bereich variiert in Abhängigkeit von der Signallänge der Aufnahme. Die y-Achse zeigt die Frequenzkomponenten der Vokalisation. Diese werden linear von 0 kHz bis 4 kHz angezeigt. Die Intensität der einzelnen Frequenzkomponenten wird durch verschiedene Grautöne charakterisiert. Bereiche, die durch eine hohe Energie im Signal geprägt sind, erscheinen im Verhältnis zu weniger energiereichen

Signalbereichen dunkler. Im oberen Teil der Abbildungen wird die Amplitude (Pegel) des Signals über die Zeit gezeigt (Abbildung 2).

Da phonatorische Rauschbanden, Subharmonische und/oder Grundfrequenzverlaufssprünge in Frequenzspektrogrammen visualisiert werden, konnte anhand dieser Merkmale eine Vorselektierung (Kapitel 2.4.1) der hier final verwendeten Vokalisationen vorgenommen werden. Nur Vokalisationen ohne diese Merkmale wurden final analysiert.

Die mittels der Open-Source-Software PRAAT (Boersma und Weenink 2011) für jede Vokalisation automatisch berechneten Frequenz- und Intensitätsverläufe werden im CDAP-Programm zusammen mit Spektren als Melodie- und Intensitäts-Diagramme (Abbildung 3) dargestellt und dienen der Kontrolle des Grundfrequenzverlaufs ( $F_0$ ). Zeigten diese keinen korrekten Verlauf, so wurde eine manuelle Neuanalyse des  $F_0$ -Verlaufs durch die Autorin vorgenommen. Programmbedingt sind die Beschriftungen der Achsen in englischer Sprache angegeben.

Abbildung 3 zeigt im Melodie-Intensitätsdiagramm den Grundfrequenzverlauf (= Melodie, in blau-schwarz dargestellt) in Bezug zum Intensitätsverlauf (in rosa dargestellt) eines Lautsignals (Vokalisation). Auf der x-Achse ist die Dauer des Signals in Sekunden dargestellt. Die Frequenz der Melodie bezieht sich auf die links abgebildete Ordinate und wird für die Analysen vorliegender Arbeit gehörsrichtig logarithmiert (logHz) angegeben. Nach der Melodiekontrolle wurde diese einer Tiefpassfilterung (von ca. 40 Hz) unterzogen. Der Verlauf der Intensität hat Bezug zur rechten Ordinate und wird in Dezibel angegeben. Um eine standardisierte Analyse zu gewährleisten, können im Programm bestimmte Standardwerte eingestellt und abgerufen werden. Zudem kann ein Halbton- oder Viertelton-Raster hinter den Kurvenverlauf gelegt werden (Abbildung 3), um die Tonhöhendifferenzen bestimmter Signalbereiche für die Intervallvermessung auch visuell zu zeigen.



**Abbildung 3 Melodie- und Intensitätsdiagramm (mit Viertelton-Raster)**

Um im Unterschied zu vorangegangenen Analysen (Dobnig 2017; Ehlert 2019; Stephan 2017; Weigl 2012) einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Intervalle in bestimmten Melodiestructuren festzustellen, war eine detaillierte Analyse der gesamten Vokalisationen und nicht nur der einzelnen intervallartigen Substrukturen notwendig. Eine Vokalisation (Schreilaut) wurde hier als vokale Lautproduktion zwischen zwei Inspirationen, also Phonation während einer Expiration, definiert.

## 2.4 Vokalisationsanalyse

Es wird im Folgenden auf die einzelnen, von der Autorin durchgeführten Analyseschritte für die Identifikation der Melodiestructur und der Substrukturen in Form der Melodieintervalle, inklusive ihrer Vermessung in der Reihenfolge: Vorselektierung geeigneter Vokalisationen – Strukturkategorisierung der Melodie – Bogenstrukturvermessung – Lautmelodietypisierung – Intervallidentifikation und Intervallvermessung eingegangen.

### 2.4.1 Vorselektierung geeigneter Vokalisationen

Für die finalen Analysen wurden aus Gründen der Reliabilität aus allen vorhandenen 6130 Vokalisationen nur solche ausgewählt, die einen klar definierten Grundfrequenzverlauf (Melodie) zeigten. Vokalisationen, die eine der nachfolgend aufgezählten Elemente (Tabelle 3) beinhalteten und somit eine stark instabile Melodiekontur zeigten, die die Intervallvermessung beeinflusst hätte, wurden ausselektiert. Diese Vokalisationen sind im Sprachanalyseprogramm CDAP mit „Typ 0“ bezeichnet worden. Abbildung 4 – Abbildung 6 zeigen beispielhaft Frequenzspektrogramme von solchen Vokalisationen, die mit „Typ 0“ dokumentiert wurden.

**Tabelle 3**      **Ausschlusskriterien für die Vorselektierung geeigneter Lautäußerungen für die Melodieintervallanalyse**

Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"><li>- Plötzliche Grundfrequenzsprünge (Shift/Quieker; Abbildung 4)</li><li>- Phonatorisches Rauschen (Abbildung 5)</li><li>- Überlagerung der Grundfrequenz durch starke Hintergrundgeräusche (HG)</li><li>- Laryngeale Konstriktionen (Pressen; Abbildung 6)</li><li>- Kurzlaute (&lt;300 ms), da sie häufig nur vegetative Begleitgeräusche sind</li></ul>

---



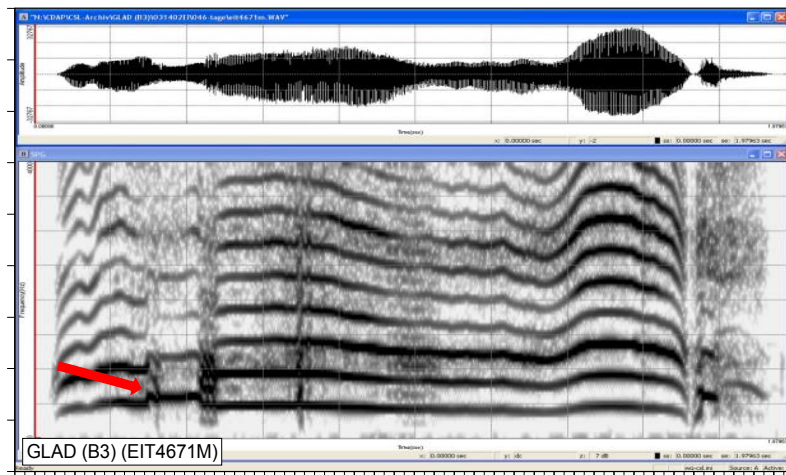


Abbildung 4 Plötzlicher Grundfrequenzsprung (Shift) am Anfang der Vokalisation

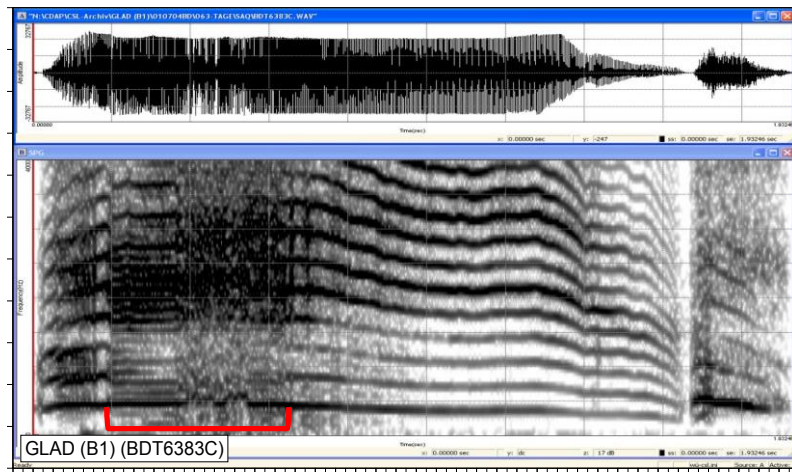


Abbildung 5 Phonatorische Rauschbanden und Subharmonische im F<sub>0</sub>-Verlauf

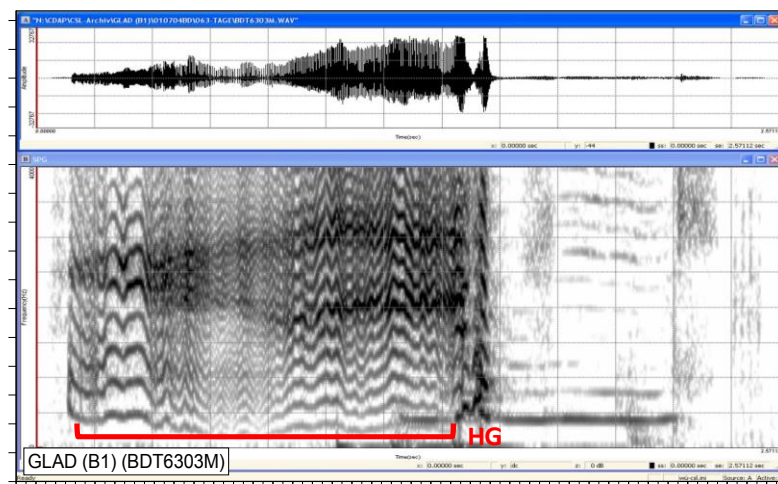
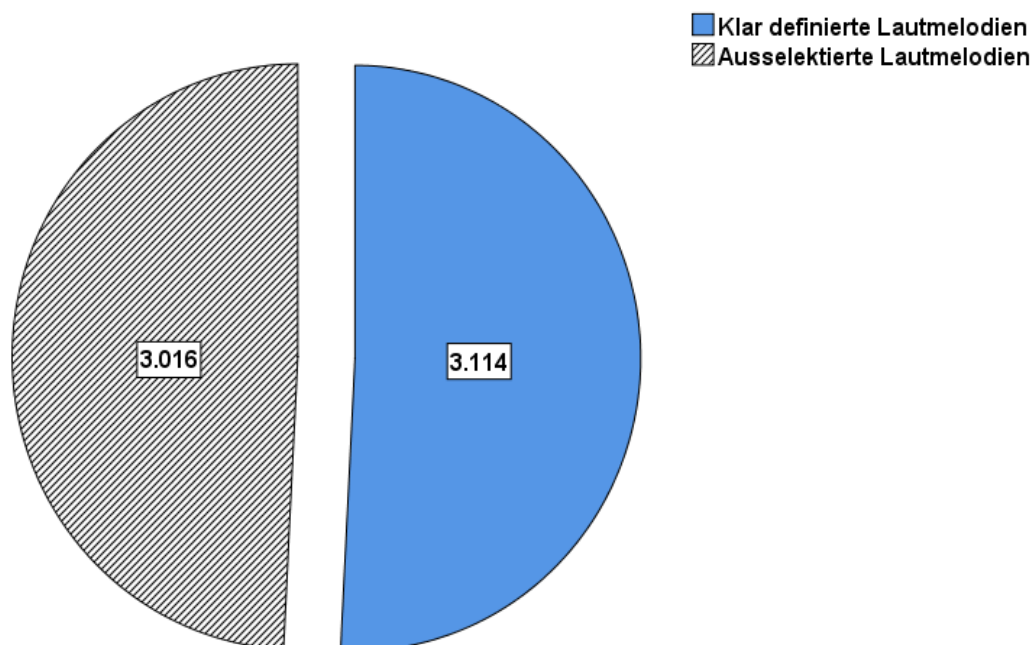


Abbildung 6 Irregulärer F<sub>0</sub>-Verlauf mit darauffolgendem Hintergrundgeräusch (HG)

Von den insgesamt 6130 Vokalisationen konnten 3114 (50,8 %) Lautmelodien in die Analysen einbezogen werden. 3016 Vokalisationen (49,2 %) wurden ausselektiert (Abbildung 7). Hier ist zu erwähnen, dass zusätzlich zu den bereits in Vorarbeiten verwendeten Ausschlusskriterien auch alle Vokalisationen ausgeschlossen wurden, deren Melodie sehr instabil war und eine große Variation innerhalb der  $F_0$ -Kontur zeigte. Es wurde eine strengere Auswahl bezüglich der Melodiekonturverläufe vorgenommen, um Artefakte bei der Intervallvermessung durch Vibrato oder Tremolo-Effekte zu vermeiden.



**Abbildung 7** Ergebnis der Vorselektion (signalbasiert)

Abbildung 8 zeigt die absoluten Häufigkeiten der inkludierten (blau) sowie der von den finalen Melodieintervallanalysen exkludierten (grau) Vokalisationen für alle 12 Probanden über den Zeitraum der ersten vier Lebensmonate. Im Mittel umfassten die finalen Analysen 260 Lautmelodien pro Kind (Tabelle 4). Kind 11 zeigte das Maximum an inkludierten Melodien ( $N=327$ ); Kind 3 zeigte das Minimum von 196 Melodien.

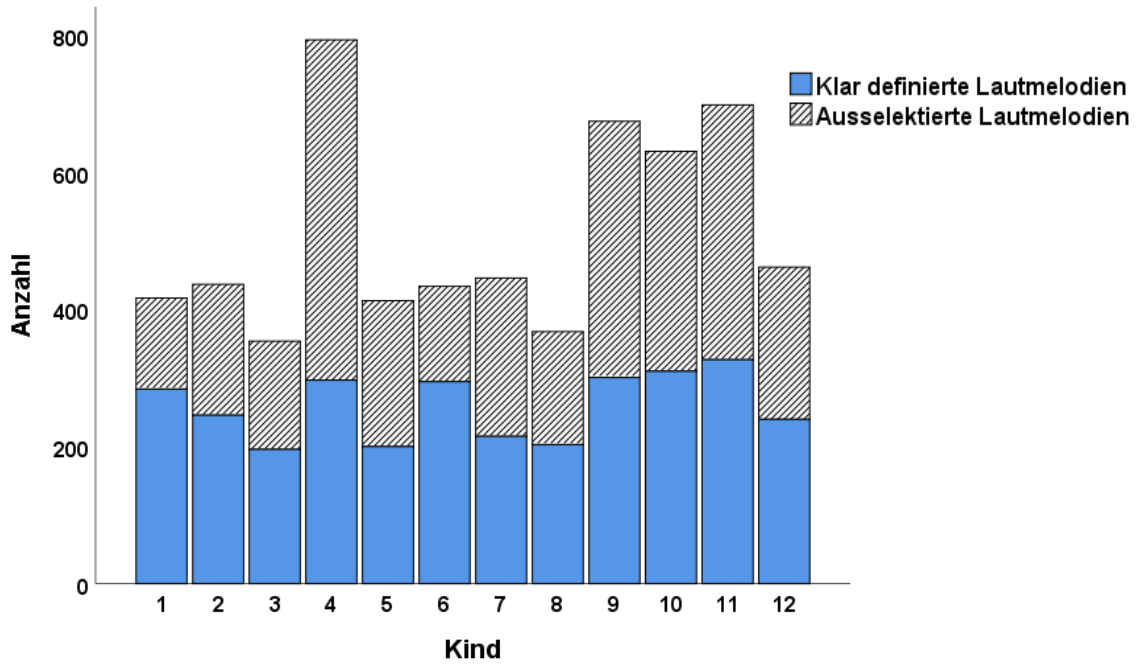


Abbildung 8 Absolute Häufigkeiten final verwendeter und ausselektierter Vokalisationen (kindbasiert)

**Tabelle 4** Vorselektierung: Absolute und relative (%) Häufigkeiten der ein- bzw. ausgeschlossenen Lautmelodien pro Säugling

Kind	Ja = eingeschlossen	Nein = ausgeschlossen	Summe
1	284 (68,1)	133 (31,9)	417
2	246 (56,3)	191 (43,7)	437
3	196 (55,4)	158 (44,6)	354
4	297 (37,4)	497 (62,6)	794
5	200 (48,4)	213 (51,6)	413
6	295 (68,0)	139 (32,0)	434
7	215 (48,2)	231 (51,8)	446
8	203 (55,2)	165 (44,8)	368
9	301 (44,6)	374 (55,4)	675
10	310 (49,1)	321 (50,9)	631
11	327 (46,8)	372 (53,2)	699
12	240 (51,9)	222 (48,1)	462
<b>Gesamt</b>	<b>3114</b> (50,8)	<b>3016</b> (49,2)	<b>6130</b>

#### **2.4.2 Strukturkategorisierung der Lautmelodie**

In einem weiteren Analyseschritt wurde allen final ausgewählten Lautmelodien (N=3114) eine der durch Wermke (2002) definierten Strukturkategorien zugeteilt.

Mit Hilfe der visualisierten Frequenzspektrogramme, der Melodie- und Intensitäts-Diagramme sowie einer auditiven Kontrolle konnte jede Lautmelodie einer der folgenden Strukturkategorien zugeordnet werden (Tabelle 5).

Die zugeteilte Strukturkategorie wurde im CDAP-Programm durch die jeweilige Auswahl in der Bearbeitungsmaske QSS gespeichert.

**Tabelle 5**      **Strukturkategorisierung der Lautmelodien nach Wermke (2002)**

Einfache Melodie	
<b>1B:</b> 1 Bogen	Eine Lautmelodie, die länger als 300 ms ist und eine Frequenzmodulationsamplitude von mindestens 2,5 Halbtönen zeigt.
Komplexe Melodien	
<b>2B:</b> 2 Bögen <b>3B:</b> 3 Bögen <b>MB:</b> >3 Bögen	Komplexe Lautmelodien, die aus mehr als einem Einzelbogen (1B) bestehen.
Segmentierungen	
<b>1S:</b> 1 Segmentierung <b>2S:</b> 2 Segmentierungen <b>3S:</b> 3 Segmentierungen <b>MS:</b> >3 Segmentierungen	Komplexe Lautmelodien, die aus mehr als einem Einzelbogen (1B) bestehen, die an beliebiger Position zwischen Einzelbögen durch eine oder mehrere Pausen (Intensitätsabfall von >9 dB) getrennt sind. Zwischen den Bögen bzw. in den Pausen findet keine Inspiration statt.
Komplexe Segmentierung	
<b>KS:</b> Komplexe Melodiestructur inklusive Segmentierung	Lautmelodien, bei denen komplexe Melodiestructuren (2B, 3B, MB) durch mindestens eine Segmentierung (Pause) getrennt sind.
Kurzlaute	
<b>KL:</b> Kurzlaut	Kurze Lautmelodien mit einer Gesamtlänge von <300 ms.
Keine Strukturkategorie (fuzzy class)	
<b>?:</b> Fragliche Strukturkategorie	Alle Lautmelodien, denen keine der genannten Strukturkategorien eindeutig zugeteilt werden konnte.


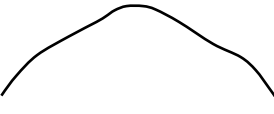

### **2.4.3 Bogenstrukturvermessung und Form-Klassen Einteilung der Bogengestalt**

Um die zuvor kategorisierten Strukturkategorien einer Lautmelodie (Kapitel 2.4.2) durch Zeit- und Frequenzwerte quantitativ beschreiben zu können, wurde jeder der Bögen in einem nächsten Schritt vermessen. Hierfür wird im Melodie- und Intensitäts-Diagramm im CDAP-Programm unter der Rubrik „Vermessung“ anhand manuell gesetzter Cursor die jeweilige Struktur markiert. Alle Frequenz- und die zugehörigen Zeitwerte des Bereichs zwischen den gesetzten Cursors werden automatisch in einer Excel-Tabelle gespeichert und stehen so für spätere statistische Analysen zur Verfügung.

Betrachtet man die Bogenform der Einzelbögen, so können die Grundfrequenzverläufe in drei verschiedene Form-Klassen (Tabelle 6) eingeteilt werden (Mampe et al. 2009; Wermke und Mende 2009). Um die Kategorien zu ermitteln, wurden alle Lautmelodien zeitlich genormt (Werte von 0 – 1 sind möglich). Die Einteilung richtet sich nach dem Zeitpunkt des Auftretens des Frequenzmaximums der zeitnormierten Lautmelodie, welches mit  $t_{\text{NORM}}(F_{0\text{MAX}})$  angegeben wird. Die Einteilung der drei beschriebenen Form-Klassen gilt analog auch für Mehrfachbögen-Strukturen. Hier richtet sich die Einteilung nach dem  $F_{0\text{MAX}}$  der gesamten Lautmelodie. In Tabelle 6 sind die drei Form-Klassen vereinfacht für Einzelbogen-Strukturen (1B) dargestellt.

Der Zeitpunkt des relativen Auftretens des Grundfrequenzmaximums stellt einen wichtigen Aspekt der Intonation dar. So konnten Mampe et al. (2009) mit der gleichen Methode sprachspezifische Phänomene der Betonung der deutschen sowie französischen Muttersprache bereits im Weinen bei Neugeborenen identifizieren. In vorliegender Arbeit sollte bei der Melodieintervallvermessung die Form-Klasse berücksichtigt werden.

**Tabelle 6** Skizzierte Darstellung der drei Bogenform-Klassen (1 – 3)

Bogenform		Lage des relativen $F_0\text{Max}$ [ $t_{\text{NORM}}(F_{0\text{MAX}})$ ]
Form-Klasse 1		$\leq 0,45$
Form-Klasse 2		$> 0,45$ $\leq 0,55$
Form-Klasse 3		$> 0,55$



#### 2.4.4 Lautmelodietypisierung

Im Folgenden beschreibt die Autorin eine von ihr zusätzlich erstellte und verwendete Typisierung der Lautmelodie (Tabelle 7). Bei der Typisierung wurden die Strukturkategorien der Lautmelodie (segmentiert/nicht segmentiert) und das Auftreten eines Intervalls innerhalb einer Lautmelodie berücksichtigt. Die Definition eines Intervalls findet sich in Kapitel 2.4.5.

**Tabelle 7** Typisierung der Lautmelodie innerhalb einer Vokalisation

Typ	Beschreibung
<i>Typ 1a</i>	Melodie ohne Intervall ( <b>nicht segmentierte</b> Strukturkategorien)
<i>Typ 1b</i>	Melodie ohne Intervall ( <b>segmentierte</b> Strukturkategorien)
<i>Typ 2a</i>	Melodie mit Intervall ( <b>nicht segmentierte</b> Strukturkategorien)
<i>Typ 2b</i>	Melodie mit Intervall ( <b>segmentierte</b> Strukturkategorien, das vermessene Intervall überbrückt nicht die Segmentierungspause)
<i>Typ 2c</i>	Melodie mit Intervall, das die Segmentierungspause überbrückt ( <b>segmentierte</b> Strukturkategorien)

Nachfolgend werden die verwendeten Typen näher beschrieben.

### 2.4.4.1 Typ 1a

Zu Lautmelodien des Typ 1a zählen alle Lautmelodien, die eine klar definierte Bogenstruktur im Frequenzverlauf zeigen (Abbildung 9), aber unter Verwendung der festgesetzten Kriterien (Tabelle 8) kein Melodieintervall gemessen werden kann.

Im dargestellten Frequenzverlauf (Abbildung 9) zeichnet sich der Melodiebogen ohne Intervall durch eine aufsteigende sowie absteigende Flanke aus.

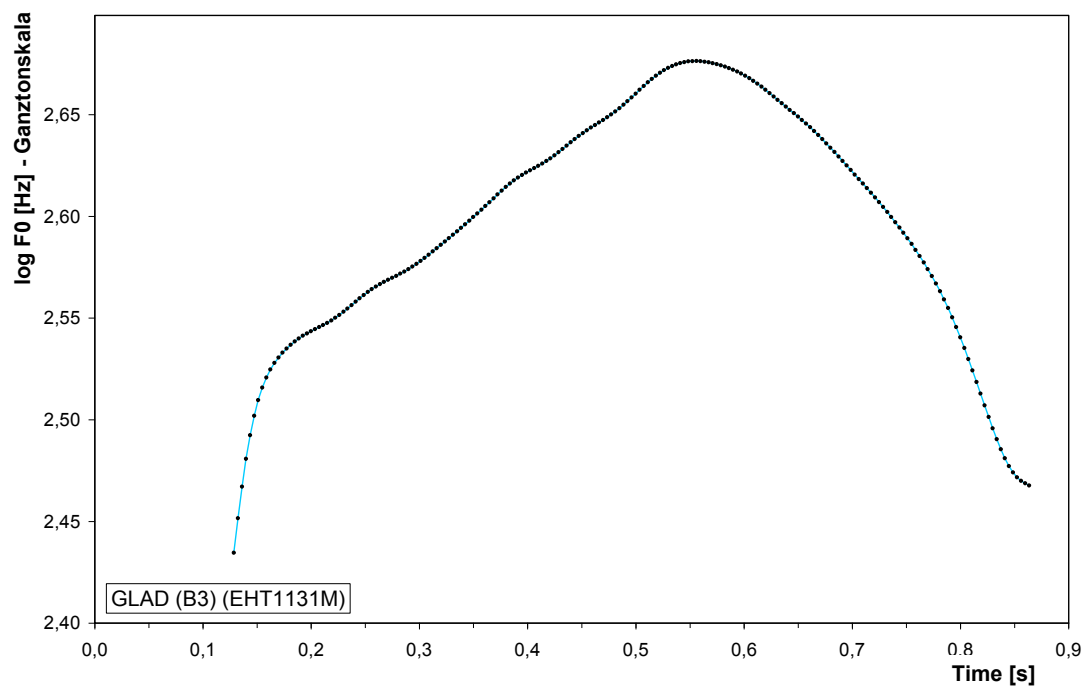
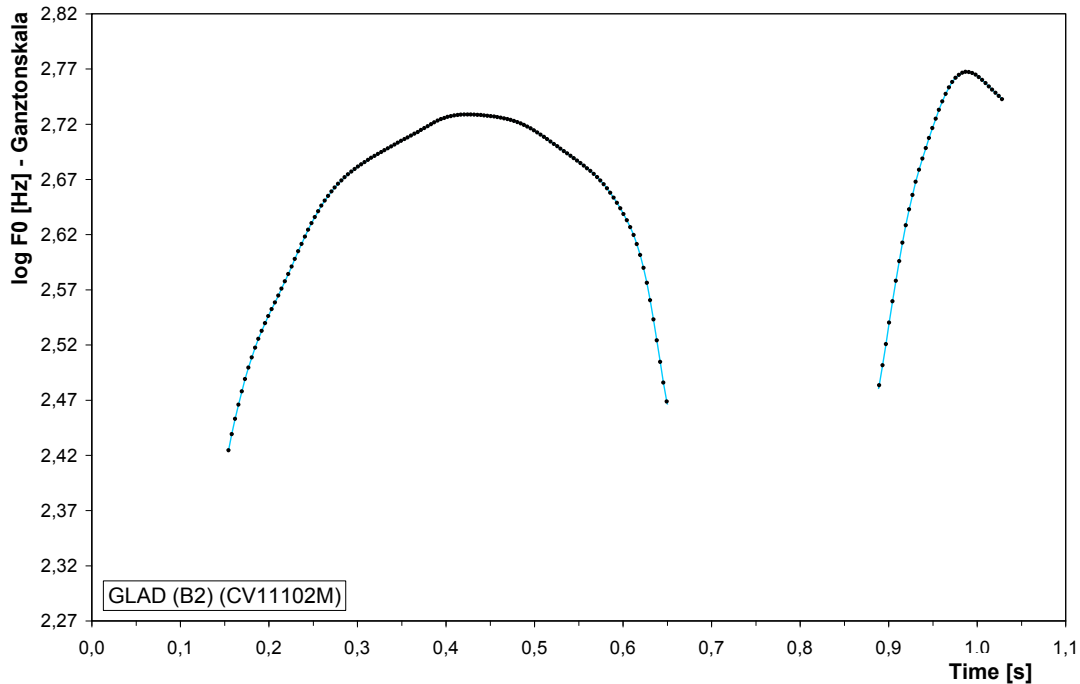


Abbildung 9 Typ 1a: Lautmelodie ohne Melodieintervall

### 2.4.4.2 Typ 1b

Zu Lautmelodien des Typ 1b werden alle Lautmelodien gezählt, die eine klar definierte Bogenstruktur im Frequenzverlauf einer segmentierten Vokalisation zeigen (Abbildung 10), nach Vermessung anhand der festgesetzten Kriterien (Tabelle 8) aber keine Melodieintervalle vermessen werden können.

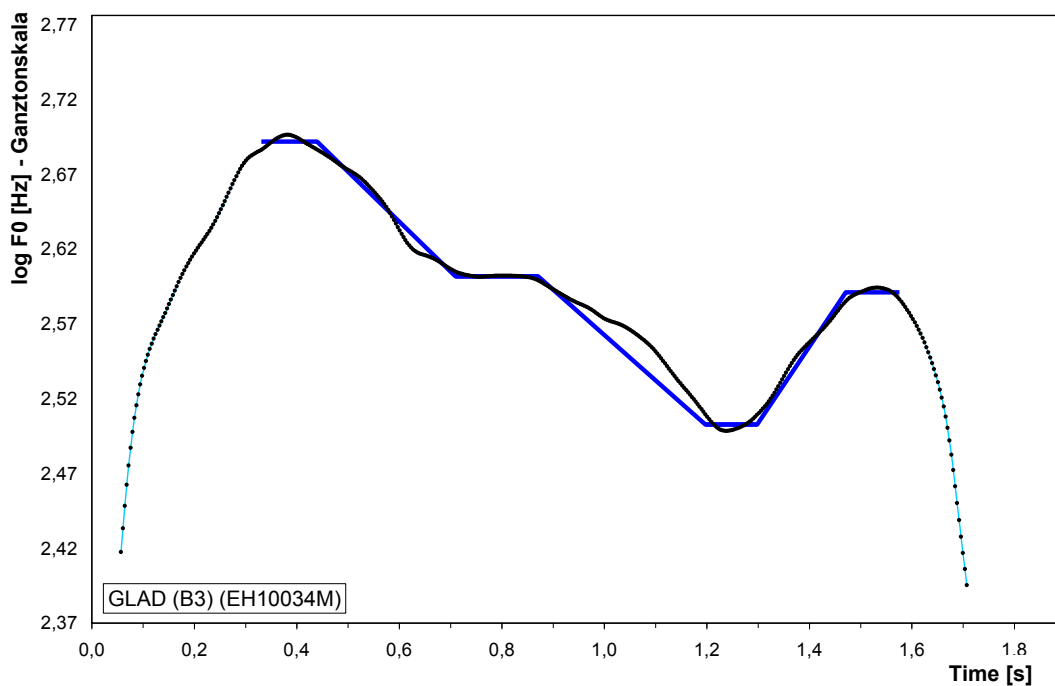


**Abbildung 10** Typ 1b: Segmentierte Lautmelodie (Zwischenbogenpause) ohne Melodieintervall

Typ 1b wird von Typ 2c (vgl. Kapitel 2.4.4.5) unterschieden, bei dem Melodieintervalle vermessen werden können, die dann die innermelodischen Pausen überbrücken.

### 2.4.4.3 Typ 2a

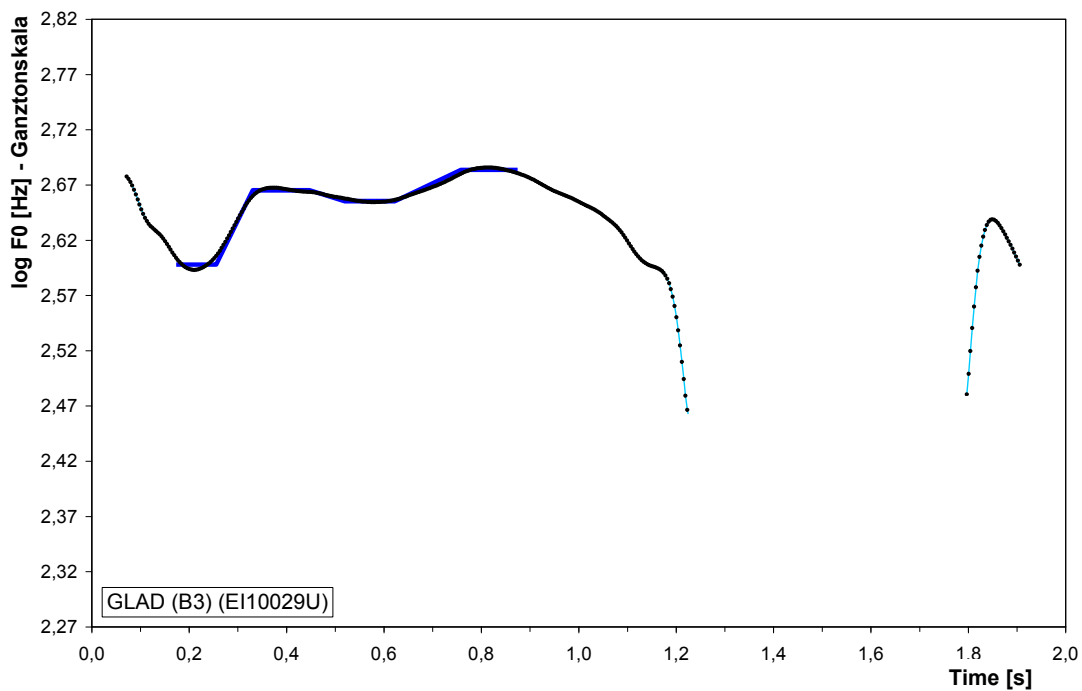
Lässt sich innerhalb einer nicht segmentierten Lautmelodie unter Berücksichtigung der Messkriterien (Tabelle 8) mindestens ein Melodieintervall vermessen, so fällt diese Lautmelodie unter den Typ 2a (Abbildung 11). Die Lautmelodien des Typ 2a sind also dadurch charakterisiert, dass sich auf mindestens einer Bogenstruktur mindestens ein Einzelintervall identifizieren lässt. Das Intervall kann dabei unterschiedliche Muster zeigen (vgl. Kapitel 2.4.5.2).



**Abbildung 11** Typ 2a: Lautmelodie mit komplexem Intervall (drei aufeinanderfolgende Melodieintervalle)

#### 2.4.4.4 Typ 2b

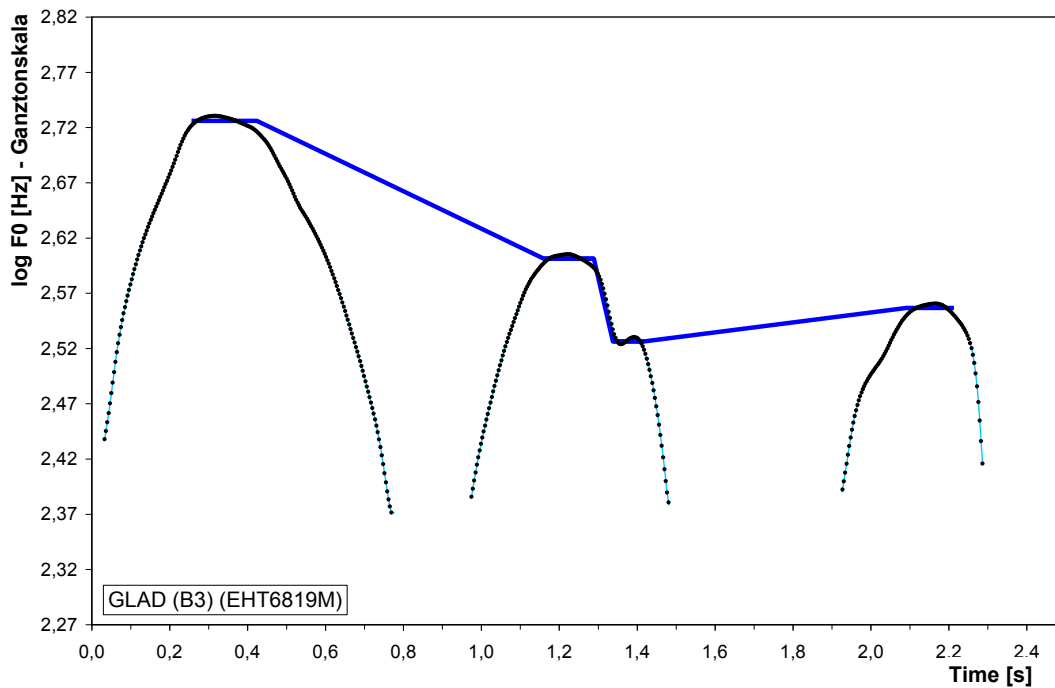
Kann innerhalb eines segmentierten Grundfrequenzverlaufs mindestens ein Einzelintervall vermessen werden, welches jedoch nicht die Segmentierungspause überbrückt, da die Melodiekontur nach oder vor der Segmentierungspause keine Intervallvermessung aufgrund der festgelegten Messkriterien zulässt (z.B. Plateaulänge <50 ms), so wird die Melodie dem Typ 2b zugeteilt (Abbildung 12).



**Abbildung 12** Typ 2b: Segmentierte Lautmelodie mit komplexem Intervall, das die Segmentierungspause nicht überbrückt

### 2.4.4.5 Typ 2c

Der Typ 2c bezeichnet die Melodien, auf deren Grundfrequenzverlauf mindestens ein Intervall vermessen werden kann. Dieses überbrückt die Segmentierungspause. Eine Lautmelodie des Typs 2c beinhaltet also mindestens ein Einzelintervall, das sich über die Segmentierungspause erstreckt (Abbildung 13).



**Abbildung 13** Typ 2b: Segmentierte Lautmelodie mit komplexem Intervall, das sich über die Segmentierungspause erstreckt

### **2.4.5 Intervallidentifikation und Intervallvermessung**

Die im Folgenden verwendeten Intervall-Begrifflichkeiten werden zur Übersicht in Form einer Tabelle im Anhang genauer erläutert (Anlage 1).

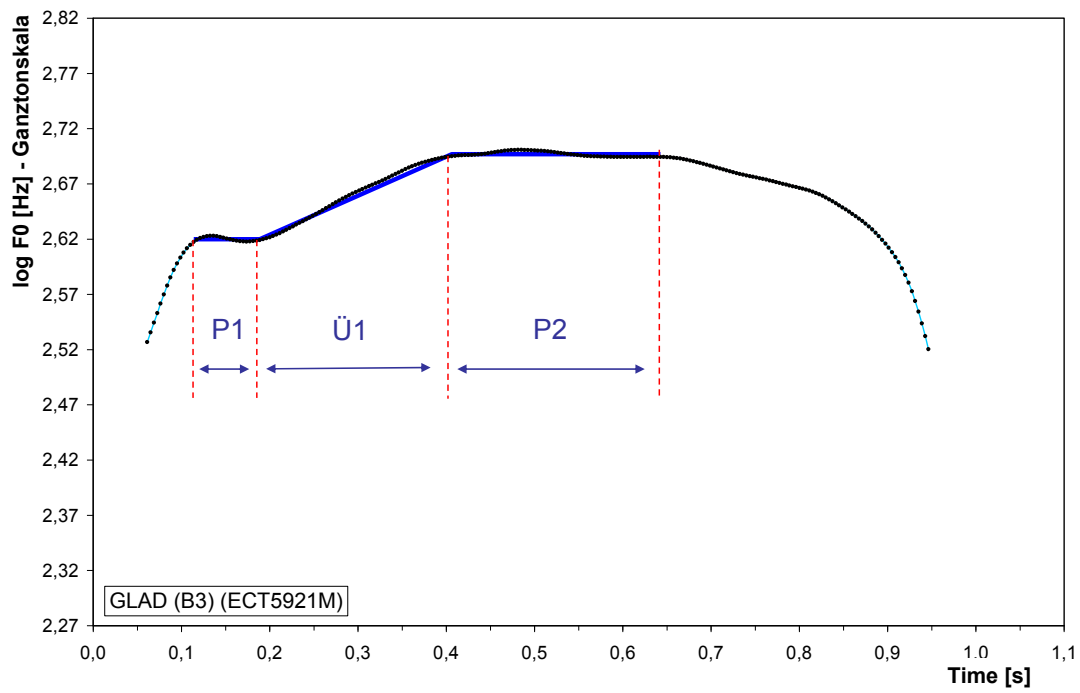
#### **2.4.5.1 Definition Melodieintervall und Intervallmesskriterien**

Ein Intervall bezeichnet in der Musik den Tonhöhenabstand zwischen zwei gleichzeitig (Harmonieintervall) oder nacheinander erklingenden Tönen (Melodieintervall; (Deutsch 1998)). Dabei ist die Melodie in Säuglingslauten, anders als in einem echten musikalischen Intervall, nicht durch diskrete Töne, sondern als Glissandi<sup>2</sup> charakterisiert. Dennoch konnten in vorhergehenden Arbeiten intervallartige Substrukturen innerhalb der Lautmelodien von Säuglingen identifiziert werden (Dobnig 2017; Ehlert 2019; Stephan 2017; Weigl 2012).

In Melodien von Säuglingslauten wurde ein Intervall folgendermaßen definiert: Ein Melodieintervall (Einzelintervall; Abbildung 14) setzt sich immer aus drei Intervallelementen zusammen (vgl. Tabelle 9): einem Anfangsplateau (1. Plateau = P1), einem Übergangsbereich (Übergang = Ü1) sowie einem Endplateau (2. Plateau = P2). In Abbildung 14 ist ein Melodiediagramm mit eingezeichnetem Einzelintervall abgebildet.

---

<sup>2</sup> Glissandi leitet sich von dem Französischen *glisser* „gleiten“ ab und bezeichnet in der Musik eine stetig gleitende Veränderung der Tonhöhe.



**Abbildung 14** Melodie einer Vokalisation mit identifiziertem Einzelintervall (P1=1. Plateau, Ü1=1. Übergang, P2=2. Plateau)



### Messkriterien für die Intervallvermessung

Die Kriterien, die zur Identifikation eines Melodieintervalls in der vorliegenden Arbeit verwendet wurden, sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Für die detaillierteren Erläuterungen, die zur Erarbeitung der Messkriterien geführt haben, wird auf Vorarbeiten verwiesen (Dobnig 2017; Stephan 2017). An dieser Stelle werden lediglich die Messkriterien (Tabelle 8) und die hier im Vergleich zu den Vorarbeiten vorgenommenen Überarbeitungen durch die Autorin (fett markiert) aufgeführt.

**Tabelle 8 Kriterien zur Definition von Melodieintervallen in Säuglingslauten; modifiziert nach Dobnig (2017) und Stephan (2017)**

Messkriterien	
<i>Länge der Plateaus</i>	Die Länge eines Plateaus muss mindestens <b>50 ms</b> betragen.
<i>Plateauvariabilität</i>	Die maximale $F_0$ -Abweichung um ein ermitteltes Plateau darf ober- und unterhalb des eingezeichneten Plateaulevels eine Tonhöhendifferenz von $\frac{1}{4}$ Ton nicht überschreiten.
<i>Sonderfall „Spitzbögen“ (Anlage 2)</i>	Bei einem „Spitzbogen“ wird $\frac{1}{4}$ Ton vom $F_{0max}$ des Bogens abgezogen und auf dieser Höhe das Plateau eingezeichnet (auch hier gilt: Die Plateaulänge muss mindestens 50 ms betragen).
<i>Übergangslänge</i>	Für die Übergangslänge sowie die $F_0$ -Variabilität der Übergänge wurden keine Kriterien festgelegt.
<i>Segmentierungen</i>	<b>Segmentierte Lautmelodien</b> werden in die Intervallanalyse einbezogen.
<b><i>Auditive Analyse</i></b>	Es erfolgt neben der visuell basierten Messung (Melodiediagramm) eine auditive Überprüfung der identifizierten Intervalle mittels eines speziellen PRAAT-Skriptes (Kapitel 2.4.5.3).

### 2.4.5.2 Messgrößen

Die für die Analysen erhobenen Messgrößen sind in Abbildung 15 für einfache Bögen (Einzelbogen: 1B) und in Abbildung 16 beispielhaft für eine komplexere Strukturkategorie (Doppelbogen: 2B) skizziert und werden nachfolgend erläutert (Tabelle 9).

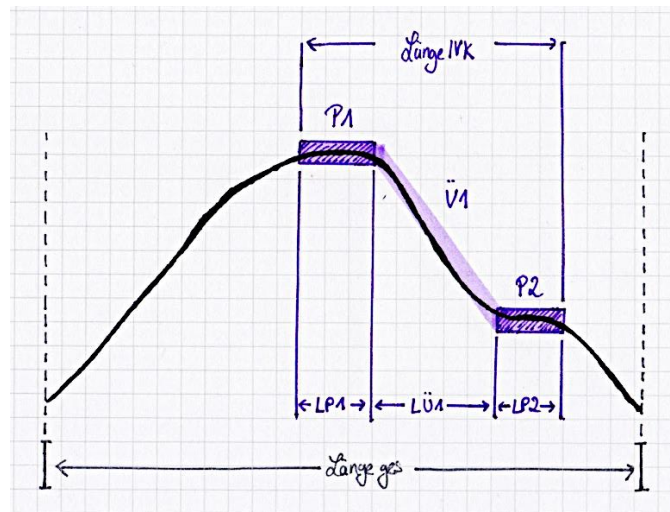


Abbildung 15 Skizzierte Darstellung eines fallenden Einzelintervalls (-F-) im einfachen Bogen (1B)

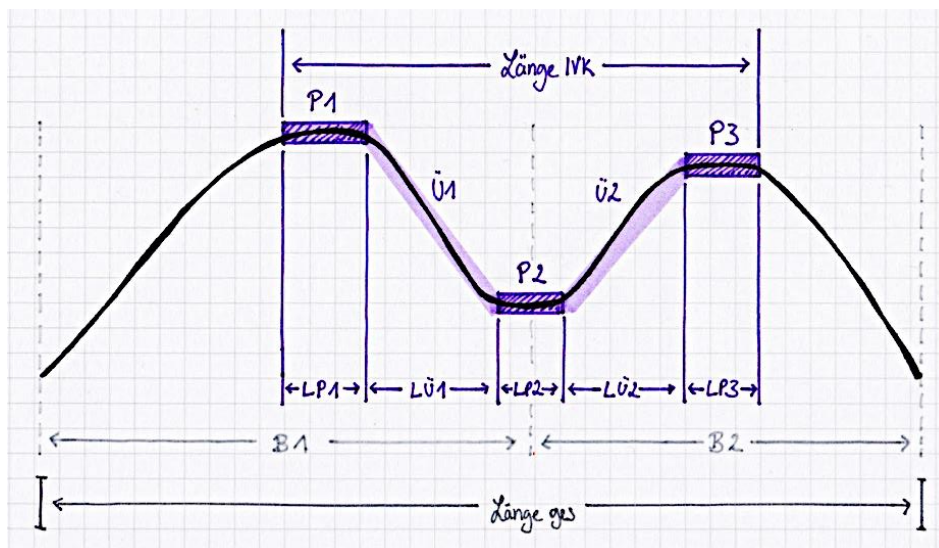


Abbildung 16 Skizzierte Darstellung einer Kombination eines fallenden und steigenden Intervalls (einfaches Intervallmuster; -FS-) im Doppelbogen (2B)

Tabelle 9 Erläuterung der Variablen und Messgrößen (fett) aus Abbildung 15 und Abbildung 16

<b>Länge ges</b>	<b>Vokalisationsgesamtlänge</b>
<b>LB1</b>	<b>Länge 1. Bogen</b>
<b>LB2</b>	<b>Länge 2. Bogen</b>
<b>Länge IV</b>	<b>Länge Intervall</b>
<i>P1</i>	1. Plateau
<i>P2</i>	2. Plateau
<i>P3</i>	3. Plateau
<b>LP1</b>	<b>Länge 1. Plateau</b>
<b>LP2</b>	<b>Länge 2. Plateau</b>
<b>LP3</b>	<b>Länge 3. Plateau</b>
<i>Ü1</i>	Übergang 1
<i>Ü2</i>	Übergang 2
<b>LÜ1</b>	<b>Länge 1. Übergang</b>
<b>LÜ2</b>	<b>Länge 2. Übergang</b>

### Messgrößen der Vokalisationsstruktur

#### *Bogenlänge (LB)*

Die „Bogenlänge“ beschreibt die Länge des Grundfrequenzverlaufs (Melodie) eines Bogens. Sie wird in Sekunden [s] bzw. Millisekunden [ms] angegeben. Je nach Komplexitätsgrad der Bogenstruktur werden einer Vokalisationsmelodie eine oder mehrere Bogenlängen zugewiesen. Einer einfachen Bogenstruktur (1B) wird eine Bogenlänge zugeordnet (LB1). Für eine komplexe Bogenstruktur (z.B. einem Doppelbogen; 2B) wird demnach für jeden Einzelbogen eine Bogenlänge vermessen (z.B. LB1 für den 1. Bogen sowie LB2 für den 2. Bogen einer Doppelbogenstruktur).

#### *Vokalisationsgesamtlänge (Lges)*

Die Gesamtlänge einer Vokalisation wird als „Lges“ angegeben. Sie umfasst die addierten Bogenlängen der Grundfrequenz, die innerhalb einer Expirationsphase produziert wurden.

## **Messgrößen der Intervalle**

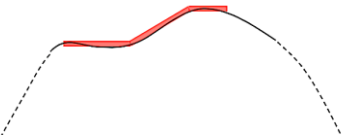
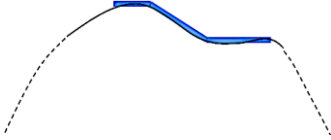
### *Intervallcode (-x-)*

Im Zuge der Intervallvermessung wird jedem Intervall ein Intervallcode zugeteilt. Dieser richtet sich nach der Anzahl der vermessenen Intervalle innerhalb einer Melodie. Wird in einer Lautmelodie ein Einzelintervall vermessen, bestehend aus Plateau – Übergang – Plateau, wird diesem der Code „-1-“ zugeteilt. Hier steht die Ziffer (1) für die Anzahl der identifizierten Intervalle innerhalb der Lautmelodie und der Bindestrich (-) beschreibt den Beginn sowie das Ende eines Intervalls. Beispielsweise beschreibt der Code -12- zwei zusammenhängende Intervalle (Plateau-Übergang-Plateau-Übergang-Plateau). Die Intervalle können noch komplexere Codes annehmen (-1234- und weitere). Unterschieden wird hier generell zwischen zusammenhängenden Intervallen (z.B. -12-) sowie voneinander unabhängigen Intervallen (-1-1-). In den Codes der voneinander unabhängigen Intervalle verbindet lediglich ein Bindestrich die jeweiligen Intervallcodes miteinander.

### *Intervallrichtung (S; F)*

Die Intervalle können sich im Richtungsverlauf unterscheiden. Es wird prinzipiell zwischen steigenden ( $\lrcorner$ , S, rot) und fallenden ( $\llcorner$ , F, blau) Intervallen unterschieden (Tabelle 10). Diese Begriffe erklären sich durch die Frequenzdifferenz der Plateaus. Liegt das zweite Plateau (P2) auf einem höheren Frequenzmaximum als das erste Plateau (P1), so liegt ein steigendes Intervall vor. Ein fallendes Intervall ist somit dadurch charakterisiert, dass das zweite Plateau (P2) ein niedrigeres Frequenzmaximum als das erste Plateau (P1) zeigt. Detaillierte Untersuchungen dazu werden im weiteren Verlauf erläutert. Die Richtungen können in einer Lautmelodie auch in Kombinationen in Form von *Intervallmustern* auftreten (-FS-, -SF-, -FF-, -SS-).

**Tabelle 10** Skizzierter Intervallverlauf (Richtung): Steigendes und fallendes Einzelintervall

Intervallgrundstruktur Der einfache Bogen		
Bogenstruktur mit Intervall	 <p>Steigend</p>	 <p>Fallend</p>

### *Intervallmuster*

Das Intervallmuster beschreibt die Intervallgesamtstruktur einer Lautmelodie. Es charakterisiert die Anzahl zusammenhängender oder unabhängiger Intervalle sowie den Richtungsverlauf des Intervalls.

Da es für eine potenzielle klinische Anwendung der Melodieintervalle als Kenngröße der laryngealen Regelleistung wichtig ist die zu identifizierende Struktur zur Identifikation von Risikokindern simpel zu halten, wird in vorliegender Arbeit eine Unterscheidung zwischen *einfachen* und *komplexen* Intervallmustern vorgenommen. Die *einfachen* Intervallmuster werden in den Untersuchungen vorliegender Arbeit im Vordergrund stehen.

### *Einfaches Intervallmuster*

Das *einfache Intervallmuster* umfasst in vorliegender Arbeit alle Intervalle der Codes -1- und -12-. Also das Einzelintervall (-1-; steigend (-S-) oder fallend (-F-); Abbildung 14 und Abbildung 15) und die simple Kombination beider Richtungen bestehend aus zwei Intervallen (-FS-, -SF-, -FF-, -SS-; Abbildung 16). Das *einfache* Intervallmuster steht hier also für eine simple Intervallgesamtstruktur, die eine potenzielle Anwendung im klinischen Alltag erleichtern soll.

*Komplexes Intervallmuster*

Das *komplexe Intervallmuster* umschreibt alle Intervallgesamtstrukturen der Codes ab drei zusammenhängenden Intervallen (-123-) sowie alle Codes der innerhalb einer Lautmelodie voneinander getrennt auftretenden Intervalle.

*Länge des Plateaus (LP)*

Die Länge eines jeden Plateaus (Intervallelement mit einer Mindestlänge von 50 ms) wird entsprechend seines Auftretens im Verlauf der Melodie als LP1, LP2 und ggfs. weiteren Plateaulängen (LPx) angegeben.

*Länge des Übergangs (LÜ)*

Die Länge des Übergangs (Intervallelement) wird entsprechend seines Auftretens im Verlauf der Melodie als LÜ1, LÜ2 und ggfs. weiteren Übergangslängen (LÜx) bezeichnet.

*Intervalllänge (LängeIV)*

Die Summe aller Intervallelement-Längen eines Intervalls wird als „Intervalllänge“ (LängeIV) angegeben (z.B. Einzelintervall-Länge: Summe der Elementlängen: Plateau + Übergang + Plateau).

*„Steigung“ des Übergangs ([Hz/ms])*

Die Steigung wird in dieser Arbeit als das Frequenzverhältnis (Ratio) der beiden Plateaus eines Intervalls bezogen auf die Übergangszeit (Hub/Zeit [Hz/ms]) definiert.

*Intervallgröße (Cent)*

Die Frequenzverhältnisse der Plateaus und somit die Intervallgrößen werden in dieser Arbeit durch die logarithmische Maßeinheit Cent ausgedrückt. Eine Ausnahme liegt in Kapitel 3.6 vor. Hier werden aufgrund einer vergleichenden Analyse (insbesondere aufgrund der Analysen der Steilheit und der relativen Hübe) die Frequenzverhältnisse in Hertz [Hz] angegeben.

Die Cent-Einheit wird von dem lateinischen *Centum* („hundert“) abgeleitet. 100 Cent beschreiben in der gleichstufigen Stimmung einen Halbton und demnach eine Untereinheit der Oktave, die als 1200 Cent = 1 Oktave definiert ist (Helmholtz 1913). Durch das Addieren der Cent-Werte eines weiteren Halbtonschritts können die größeren Intervalle beschrieben werden. Diese musikalische Einheit ermöglicht eine sehr genaue Beschreibung der Intervallgrößen.

Das Frequenzverhältnis der Plateaus eines Intervalls wird im Zuge der Vermessung im Programm CDAP in Hertz gespeichert. In einem weiteren Schritt werden die Frequenzverhältnisse anhand nachfolgend aufgeführter Formel in Cent umgerechnet:

$$c = 1200 \cdot 3,322038403 \log_{10} (f_2 / f_1)$$

**Formel 1**      **Umrechnungsformel der Intervall-Frequenzverhältnisse: [Hertz] in [Cent]**

Eine Übersicht über die Cent-Werte und die dazugehörigen musikalischen Intervalle in der gleichstufigen Stimmung sind in Tabelle 11 aufgeführt.

**Tabelle 11**      **Frequenzverhältnisse von Intervallen mit dazugehörigen Cent-Werten  
(gleichstufige Stimmung)**

Intervall	Frequenzverhältnis	Cent
<i>Unisono</i>	1,000000 : 1	0
<i>Halbton oder kleine Sekunde</i>	1,059463 : 1	100
<i>Ganzton oder große Sekunde</i>	1,122462 : 1	200
<i>Kleine Terz</i>	1,189207 : 1	300
<i>Große Terz</i>	1,259921 : 1	400
<i>Reine Quarte</i>	1,334840 : 1	500
<i>Überm. Quarte / Verm. Quinte</i>	1,414214 : 1	600
<i>Reine Quinte</i>	1,498307 : 1	700
<i>Kleine Sexte</i>	1,587401 : 1	800
<i>Große Sexte</i>	1,681793 : 1	900
<i>Kleine Septime</i>	1,781797 : 1	1000
<i>Große Septime</i>	1,887749 : 1	1100
<i>Oktave</i>	2,000000 : 1	1200



### 2.4.5.3 Auditive Analyse der Grundfrequenzkontur

Zur Überprüfung der Intervallvermessung wurde hier erstmalig ein PRAAT-Skript verwendet, das einzelne Bereiche der Grundfrequenz „hörbar“ macht. Dieses Skript wurde der Autorin freundlicherweise von Herrn Dr. Jörg Mayer (Betreiber der Plattform Praatpfanne: <http://Praatpfanne.lingphon.net>) zur Verfügung gestellt.

Für die auditive Kontrolle der identifizierten intervallartigen Substrukturen der Melodie sollte der Einfluss höherer Harmonischer (Klang) vermieden werden. Abbildung 17 zeigt den mit PRAAT berechneten Melodieverlauf einer Vokalisation. Anhand eines Cursors können einzelne Bereiche ausgewählt und im Folgenden mit der Funktion „Hum“ hörbar gemacht werden.

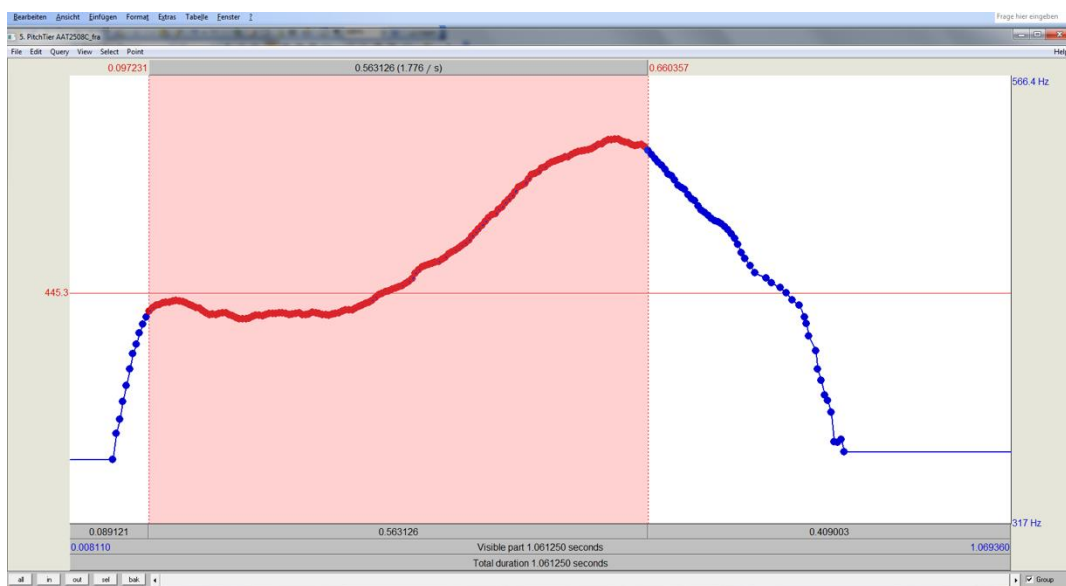








Abbildung 17 Ansicht eines Beispielfensters für die auditive Kontrolle mittels PRAAT (Algorithmus Skriptautor: Dr. Jörg Mayer)

### 2.4.5.4 Spezifische Intervallelemente in 1B- und 2B-Melodien

In Kapitel 3.6 wird über das Ergebnis einer vergleichenden Analyse der Intervallelemente (Tabelle 9) der fallenden und steigenden Einzelintervalle in einfachen Bögen (1B) (Abbildung 15) und Doppelbögen (2B) (Abbildung 16) berichtet. Dafür wurde im Vorfeld ein Modell entwickelt, welches die zu vergleichenden Einzelintervalle als Module auffasst. Die Gegenüberstellung der postulierten Module wird in Tabelle 12 präsentiert.

Die zu vergleichenden Elemente der Module (Tabelle 12) sollen bezüglich temporalen Eigenschaften der Intervalle sowie spezifischer Charakteristika der Intervallrichtungen verglichen werden. Untersucht werden u.a. Frequenzverhältnisse (Ratio), Plateau- und Übergangslängen sowie die „Steilheit“ der Intervallübergänge. Die Steilheit wird in dieser Arbeit als das Frequenzverhältnis (Ratio) der beiden Plateaus über die Übergangszeit (Hub/Zeit [Hz/ms]) definiert.

**Tabelle 12** Gegenüberstellung der zu vergleichenden Intervalle in 1B (-1-) und 2B (-12-)

Einfacher Bogen (1B)	Doppelbogen (2B)
<p style="text-align: center;">-1-</p> 	<p style="text-align: center;">-12-</p> 
<p style="text-align: center;">Fallendes Intervall (-F-)</p>	<p style="text-align: center;">Fallendes Intervall (-F-)</p>
 <p style="text-align: center;">P1-Ü1-P2</p>	 <p style="text-align: center;">P1-Ü1-P2</p>
<p style="text-align: center;">Steigendes Intervall (-S-)</p>	<p style="text-align: center;">Steigendes Intervall (-S-)</p>
 <p style="text-align: center;">P1-Ü1-P2</p>	 <p style="text-align: center;">P2-Ü2-P3</p>

## **2.5 Reproduzierbarkeit und Messgenauigkeit**

### **Eigenkontrolle (intra-rater reliability)**

Um die Zuverlässigkeit und Messgenauigkeit der in Kapitel 2.4.4 beschriebenen Arbeitsschritte zu prüfen, wurde von der Autorin eine Kontrolle im Sinne einer Reliabilitätsanalyse vorgenommen. Zur Intrarater-Reliabilität wurden 96 Vokalisationen (1,5 % des Gesamtdatenkorpus) zufällig aus dem Gesamtdatenkorpus ausgewählt und nach drei Monaten (verblindet) nochmals durch die Autorin bzgl. des Vorkommens bzw. Nicht-Vorkommens mindestens eines Intervalls kategorisiert. Im Ergebnis beträgt der Cohens Kappa Wert 0,895 ( $p < 0,001$ ). Dies lässt auf eine sehr gute (fast perfekte) Reproduzierbarkeit schließen (Altman 1991; Landis und Koch 1977).

Im Hinblick auf die temporalen Eigenschaften der Messgrößen der Intervalle, insbesondere der Intervalllängen ( $N=35$ ), wurde eine Messgenauigkeit von 15,2 ms +/- 16,9 ms ermittelt. Diese Werte zeigen eine hohe Zuverlässigkeit der Messungen an und liegen in der Größenordnung von berichteten Ergebnissen zweier Tester, die ebenfalls gut in die Intervallvermessung eingearbeitet waren (Dobnig 2017; Stephan 2017).

### **Vergleich der Messgenauigkeit mit anderen Autoren**

Die Interrater-Reliabilität der Analyse des Vorkommens bzw. Nicht-Vorkommens mindestens eines Intervalls innerhalb einer Vokalisation zeigte einen Cohens Kappa Wert von 0,874 ( $p < 0,001$ ). Das Ergebnis des Vergleichs der Messgenauigkeit mit anderen Autoren deutet auf eine hohe und somit sehr gute Reproduzierbarkeit (Altman 1991; Landis und Koch 1977).

## 2.6 Statistik

Im Zuge der Datenanalyse mittels des CDAP©-Programms wurden alle Messwerte automatisch parallel in Excel©-Tabellen gespeichert. Die weiteren statistischen Auswertungen der Daten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms IBM SPSS© Statistics 25 für Windows. Die hochkomplexen Datenstrukturen der vorliegenden explorativen Arbeit bedingten überwiegend zunächst deskriptive Analysen mit der Analyse und Darstellung von Verteilungseigenschaften. Grafiken der vorliegenden Arbeit wurden mittels IBM SPSS© Statistics 25 für Windows sowie den Sprachanalyse Programmen CDAP und PRAAT erstellt.

Die relevanten Verteilungseigenschaften verschiedener Messgrößen wurden anhand von Histogrammen, Säulendiagrammen, Kreisdiagrammen sowie Boxplots dargestellt. Für die relevanten Messgrößen wurden zudem der Mittelwert, die Standardabweichung (SD), der Median, das Minimum sowie das Maximum berechnet und tabellarisch aufgeführt. Die hinreichende Normalverteilung der untersuchten Messgrößen wurde mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests überprüft.

Häufigkeitsverteilungen wurden insbesondere durch Boxplots dargestellt. Diese lassen sich hier wie folgt interpretieren: Die farblich markierte Box beinhaltet insgesamt 50 % der untersuchten Daten und entspricht dem Interquartilsabstand. Der untere Rand der Box beschreibt die 25. Perzentile und der obere Rand die 75. Perzentile. Innerhalb der Box liegt der Median, der die 50. Perzentile abbildet. Die Ausläufer, die sogenannten Whisker, beschreiben das Minimum bzw. Maximum, sofern keine Ausreißer vorliegen. Sollten Ausreißer vorliegen, so werden diese als Kreis (sofern der Extremwert zwischen 1,5 und 3 Boxlängen liegt) oder als Stern (sofern der Extremwert mehr als 3 Boxlängen entfernt liegt) dargestellt.

Die Grafiken berücksichtigen den Gesamtuntersuchungszeitraum der vier Lebensmonate. Die spezifischen Werte werden in den Abbildungen meist horizontal nebeneinander aufgeführt. Die wöchentlichen Aufnahmen der Kinder wurden dafür über die Lebensmonate zusammengefasst. Sofern relative

Häufigkeitsangaben tabellarisch aufgeführt wurden, sind diese in Klammern als Prozentangaben (%) berichtet.

Die statistischen Auswertungen wurden überwiegend auf laut- bzw. intervallbasierter Ebene durchgeführt, da je Proband eine ungleiche Anzahl an Lauten und Intervallen in die Analysen eingegangen ist.

In einem ersten Schritt wurden die Häufigkeitsanalysen der Strukturkategorien und Intervallcodes sowie der Intervallmuster innerhalb des Gesamtdatenkorpus durchgeführt. Nachfolgend wurde der Datensatz für die Analysen der Frequenzverhältnisse auf die Richtung der Intervalle (steigende und fallende) und deren Intervallmuster aufgeteilt. Hierbei wurden zur besseren Übersicht die fallenden Intervalle und deren Analysen in den Grafiken in Blau, die Grafiken der steigenden Intervalle in Rot dargestellt.

Die komplexe, hierarchische Datenstruktur erfordert Multilevel-Analysen. Für diese Analyse wurde die Autorin durch Herrn Prof. Dr. Dr. Götz Gelbrich (Institut für Klinische Epidemiologie und Biometrie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg) und in einem früheren Stadium der Arbeit von Herrn Prof. Dr. Adalbert F.X. Wilhelm (Professor für Statistik an der Jacobs Universität Bremen) beraten. Für Teilfragestellungen wurde von Herrn Prof. Dr. Dr. Götz Gelbrich die Methode der Verallgemeinerten Schätzgleichungen (Generalized Estimating Equations (GEE)) durchgeführt (Kapitel 3.1.1). Dieser Teil der vorliegenden Arbeit wurde bereits in einem Fachjournal zur Publikation angenommen (Armbrüster et al. 2020).

Die weiteren komplexen Auswertungen der hier ermittelten Muster und Messwerte erfolgen in Form von Publikationen im Rahmen von Kooperationsprojekten.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Auftrittshäufigkeit von Melodieintervallen (Typisierung der Lautmelodien)

Wie in Kapitel 2.4.4 beschrieben, wurde entsprechend der Zielstellung für die Auswertung der Auftrittshäufigkeit von Melodieintervallen eine Typisierung der hier analysierten, ungestörten Lautmelodien, also solcher mit wohldefinierter Melodiekontur ohne phonatorisches Rauschen oder andere Störungen, durchgeführt. Diese berücksichtigt die Melodiestructur (Segmentiert/Nicht-Segmentiert) und das Vorkommen/Nicht-Vorkommen von Intervallen. Innerhalb dieser Typisierung wurde zwischen folgenden fünf Lautmelodie-Typen unterschieden: Typ 1a (nicht segmentierte Lautmelodien, ohne Intervall), Typ 1b (segmentierte Lautmelodien, ohne Intervall), Typ 2a (nicht segmentierte Lautmelodien, mit Intervall), Typ 2b (segmentierte Lautmelodien mit Intervall, das die Segmentierungspause nicht überbrückt) und Typ 2c (segmentierte Lautmelodien, mit mindestens einem die Segmentierungspause überbrückenden Intervall).

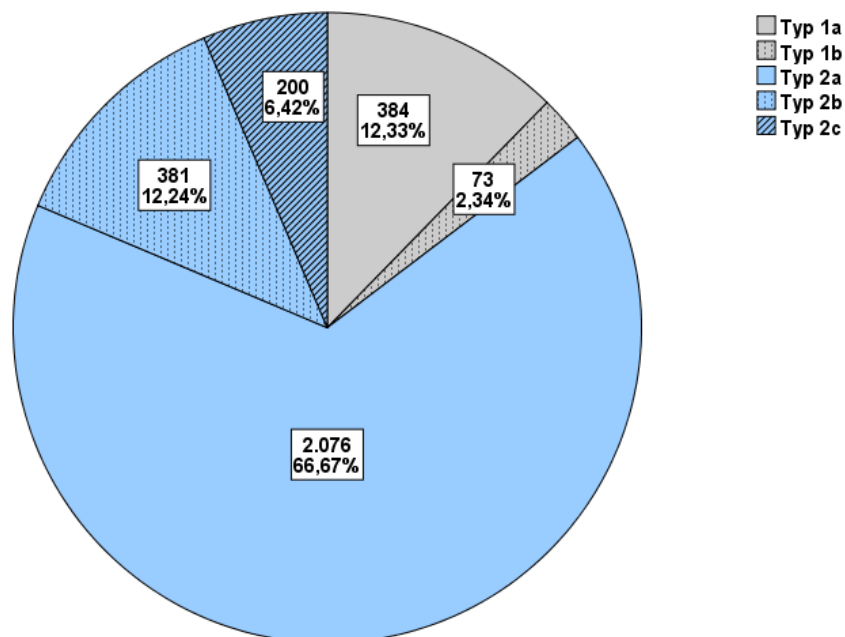
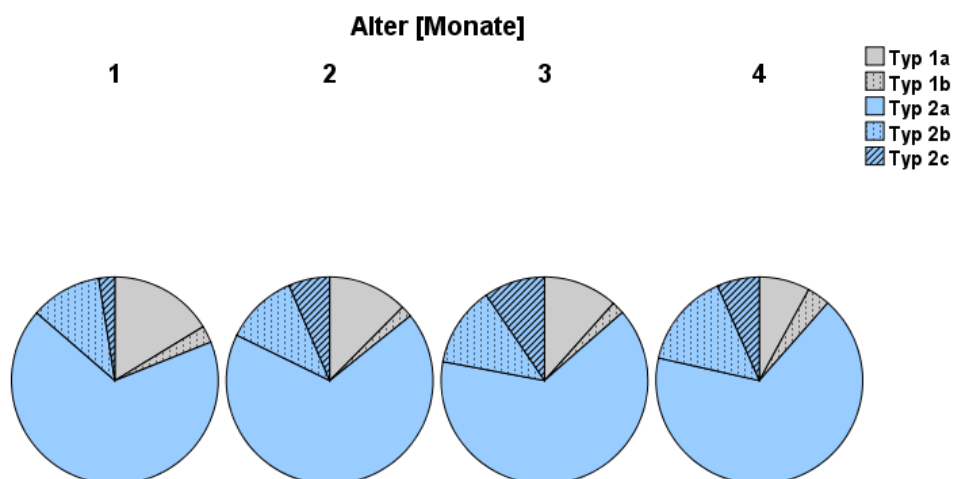


Abbildung 18 Ergebnis der Typisierung aller Lautmelodien

Wie in Abbildung 18 gezeigt wird, machen die Melodien mit Intervall (Typ 2a, 2b, 2c; blau) mit 85,3 % (N=2657) den größten Anteil aller ungestörten Melodiekonturen aus. Typ 1a und 1b (grau, ohne Intervall) bilden im gesamten Untersuchungszeitraum demzufolge nur 14,7 % (N=457) aller selektierten Lautmelodien ab. Wie die Übersichten in Abbildung 19 und Tabelle 13 über den Untersuchungszeitraum der vier Lebensmonate verdeutlichen, nahm das Vorkommen von Intervallen (blau) innerhalb der Lautmelodien (Typ 2a, Typ 2b und Typ 2c) mit dem Alter leicht zu (Tabelle 13). Es wurde hier sichtbar, dass innerhalb der segmentierten Bogenstrukturen in allen vier Monaten mehr Lautmelodien mit Intervall (Typ 2b und 2c) als ohne Intervall (Typ 1b) identifiziert wurden.



**Abbildung 19** Vorkommen (blau)/Nicht-Vorkommen (grau) von Melodieintervallen innerhalb der Lautmelodie über den Untersuchungszeitraum

**Tabelle 13** Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Typen über das Untersuchungsalter

	Alter [Monate]				Gesamt N=3114
	1 N=718	2 N=996	3 N=870	4 N=530	
ohne Melodieintervall					
<i>Typ 1a</i>	117 (16,3)	124 (12,4)	101 (11,6)	42 (7,9)	384 (12,3)
<i>Typ 1b</i>	19 (2,6)	18 (1,8)	17 (2,0)	19 (3,6)	73 (2,3)
mit Melodieintervall					
<i>Typ 2a</i>	484 (67,4)	677 (68,0)	560 (64,4)	355 (67,0)	2076 (66,7)
<i>Typ 2b</i>	80 (11,1)	113 (11,3)	109 (12,5)	79 (14,9)	381 (12,2)
<i>Typ 2c</i>	18 (2,5)	64 (6,4)	83 (9,5)	35 (6,6)	200 (6,4)



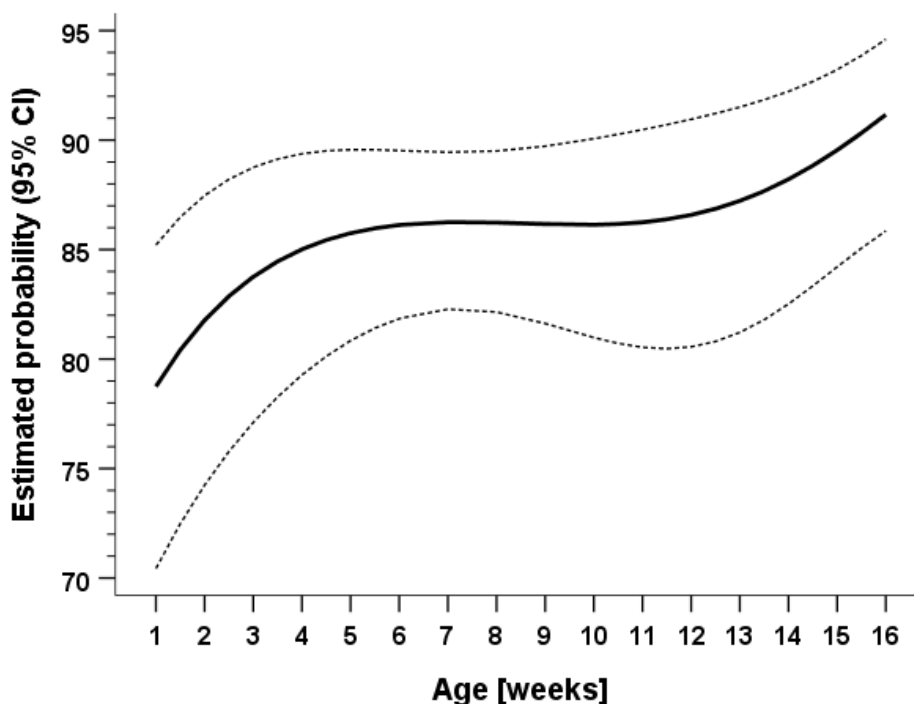
### **3.1.1 Statistische Analyse der Auftrittshäufigkeit von Intervallen (Verallgemeinerte Schätzgleichung)**

Um die zentrale Frage der vorliegenden Arbeit zu beantworten, ob spontane Weinlaute, in denen mindestens ein Melodieintervall identifiziert wurde, signifikant häufiger im Gesamtzeitraum von vier Monaten (16 Lebenswochen) bzw. in den einzelnen Monaten und Wochen beobachtet wurden als solche, die kein Intervall enthielten, wurde von Herrn Prof. Dr. Dr. Götz Gelbrich ein GEE-Modell (Generalized Estimating Equations) berechnet (Kapitel 2.6). Die absoluten und relativen Häufigkeiten der in die Berechnung eingeflossenen binär kodierten Daten sind in Tabelle 14 unter Berücksichtigung des Alters aufgeführt: Unter allen Lautmelodien (N=3114) wurde demnach zwischen solchen Lautmelodien ohne Intervall und Lautmelodien mit Intervall unterschieden.

**Tabelle 14**      **Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Lautmelodien ohne und mit Intervall über den Untersuchungszeitraum**

Alter [Wochen]	Lautmelodie <b>ohne</b> Intervall	Lautmelodie <b>mit</b> Intervall	Summe aller Lautmelodien
1	32 (19,1)	136 (80,9)	168
2	40 (25,6)	116 (74,4)	156
3	33 (20,0)	132 (80,0)	165
4	29 (15,0)	164 (85,0)	193
5	32 (14,5)	189 (85,5)	221
6	35 (16,1)	182 (83,9)	217
7	26 (12,0)	191 (88,0)	217
8	32 (13,6)	203 (86,4)	235
9	25 (12,3)	178 (87,7)	203
10	22 (11,4)	171 (88,6)	193
11	31 (13,0)	208 (87,0)	239
12	25 (13,2)	165 (86,8)	190
13	34 (17,3)	163 (82,7)	197
14	27 (13,7)	170 (86,3)	197
15	19 (13,3)	124 (86,7)	143
16	15 (8,3)	165 (91,7)	180
<b>Gesamt</b>	<b>457</b> (14,7)	<b>2657</b> (85,3)	<b>3114</b>

Abbildung 20 stellt den Graphen der geschätzten Auftrittswahrscheinlichkeit einer Lautmelodie mit Intervall in Abhängigkeit vom Alter (angegeben in Wochen) aller hier untersuchten Vokalisationen mit klar definierten Lautmelodien dar.



**Abbildung 20** Geschätzte Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter

[Nachdruckgenehmigung von S. Karger AG, Basel für Armbrüster et al. 2020 liegt vor]

Die unterbrochenen Linien zeigen das punktweise 95 %-Konfidenzintervall. Die Überdeckungswahrscheinlichkeit liegt somit hier für jedes Alter separat jeweils bei 95 %. Die dazugehörigen geschätzten Wahrscheinlichkeiten der Melodieverläufe mit dem Vorkommen mindestens eines Intervalls werden in Tabelle 15 zusammen mit den 95 %-Konfidenzintervallen gezeigt.

Auffällig ist hier, dass die Auftrittswahrscheinlichkeit von Lautmelodien mit mindestens einem Intervall von der 1. bis zur 6. Woche zunächst zunimmt und das Niveau von der 7. bis zur 10. Woche einstweilen hält. Ab der 11. Woche zeigt sich eine erneute Zunahme der Auftrittswahrscheinlichkeit der Melodien mit Intervall (Abbildung 20, Tabelle 22).

**Tabelle 15**      **Geschätzte Auftrittswahrscheinlichkeiten (Estimate) und Konfidenzintervalle (CI)**

Alter [Wochen]	Estimate (%)	95 % CI
1	78,7	70,4 – 85,2
2	81,8	74,2 – 87,5
3	83,8	77,1 – 88,8
4	85,0	79,3 – 89,4
5	85,8	80,8 – 89,6
6	86,1	81,9 – 89,5
7	86,1	81,9 – 89,5
8	86,1	81,9 – 89,5
9	86,1	81,9 – 89,5
10	86,1	81,9 – 89,5
11	86,2	80,5 – 90,5
12	86,6	80,6 – 91,0
13	87,2	81,2 – 91,5
14	88,2	82,5 – 92,2
15	89,5	84,2 – 93,2
16	91,2	85,9 – 94,6

Das Ergebnis der verallgemeinerten Schätzgleichung zeigt, dass Lautmelodien mit mindestens einem Intervall signifikant häufiger mit zunehmendem Alter auftreten ( $p < 0,001$ ). Außerdem ist die Beziehung nicht linear ( $p = 0,01$  quadratischer Anteil,  $p = 0,03$  kubischer Anteil bei polynomialer Zerlegung). Die höheren Alterspotenzen zeigten keine Signifikanz (4.:  $p = 0,84$ ; 5.:  $p = 0,73$ ). Des Weiteren gab es keine signifikanten Einflüsse durch die Variable „Geschlecht“ ( $p = 0,92$ ) ebenso keine signifikanten Interaktionen zwischen Geschlecht und Alter ( $p = 0,69$ ; quadratischer Anteil  $p = 0,44$ ; kubischer Anteil  $p = 0,36$ ).

### **3.1.1.1 Verallgemeinerte Schätzgleichung unter Berücksichtigung der Komplexität der Intervalle**

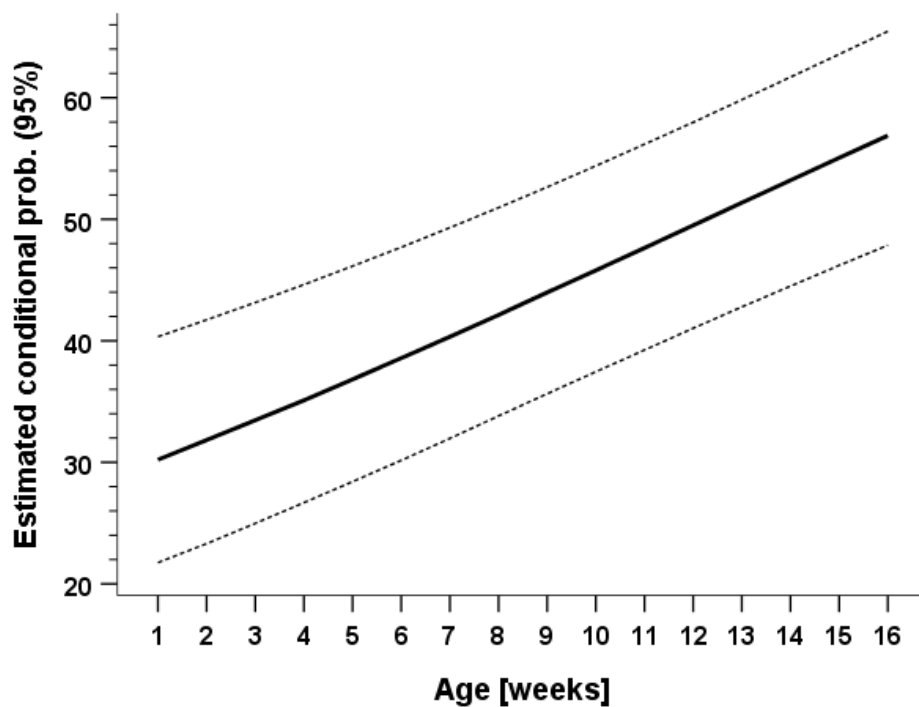
In einem weiteren Modell wurde die Auftrittswahrscheinlichkeit einfacher sowie komplexer Intervallmuster (vgl. Kapitel 2.4.5.2) untersucht. Hierfür wurde ebenfalls ein GEE-Modell (Generalized Estimating Equations) von Herrn Prof. Dr. Dr. Götz Gelbrich berechnet. Die absoluten und relativen Häufigkeiten der in die Berechnung einbezogenen (bedingten) binär kodierten Teildaten ist unter Berücksichtigung des Alters in Tabelle 16 berichtet: Unter allen Lautmelodien mit Intervall (N=2657) wurde zwischen solchen Lautmelodien mit einfachem Intervallmuster und komplexem Intervallmuster unterschieden.

**Tabelle 16** Absolute und relative (%) Häufigkeiten der identifizierten Intervallmuster (einfach oder komplex) über den Untersuchungszeitraum

Alter [Wochen]	Lautmelodie mit <b>einfachem</b> Intervallmuster	Lautmelodie mit <b>komplexem</b> Intervallmuster	Summe aller Lautmelodien mit Intervall
1	95 (69,9)	41 (30,1)	136
2	79 (68,1)	37 (31,9)	116
3	80 (60,6)	52 (39,4)	132
4	108 (65,9)	56 (34,1)	164
5	140 (74,1)	49 (25,9)	189
6	102 (56,0)	80 (44,0)	182
7	113 (59,2)	78 (40,8)	191
8	99 (48,8)	104 (51,2)	203
9	105 (59,0)	73 (41,0)	178
10	109 (63,7)	62 (36,3)	171
11	116 (55,8)	92 (44,2)	208
12	84 (50,9)	81 (49,1)	165
13	82 (50,3)	81 (49,7)	163
14	81 (47,7)	89 (52,3)	170
15	53 (42,7)	71 (57,3)	124
16	73 (44,2)	92 (55,8)	165
<b>Gesamt</b>	<b>1519</b> (57,2)	<b>1138</b> (42,8)	<b>2657</b>

Anhand des GEE-Modells konnte ein (linear) signifikant häufigeres Auftreten von komplexen Intervallmustern in Abhängigkeit des Alters bestätigt werden ( $p < 0.001$ ). Quadratische ( $p = 0,29$ ) und kubische ( $p = 0,18$ ) Potenzen des Alters waren nicht signifikant. Ebenso wurden weder Signifikanzen innerhalb des Geschlechts ( $p = 0,77$ ) noch in Bezug zwischen Geschlecht und Alter ( $p = 0,92$ ) festgestellt.

Abbildung 21 zeigt den Graphen der geschätzten bedingten Auftretswahrscheinlichkeit von Lautmelodien mit komplexen Intervallmustern also unter der Bedingung, dass mindestens ein Einzelintervall in einer Lautmelodie in Abhängigkeit vom Alter (angegeben in Wochen) vorliegt. Die punktwisen 95 %-Konfidenzintervalle sind durch die unterbrochenen Linien dargestellt (Abbildung 21). Die dazugehörige Wahrscheinlichkeitstabelle wird in Tabelle 17 gezeigt.



**Abbildung 21 Bedingte Wahrscheinlichkeit komplexer Intervallmuster**

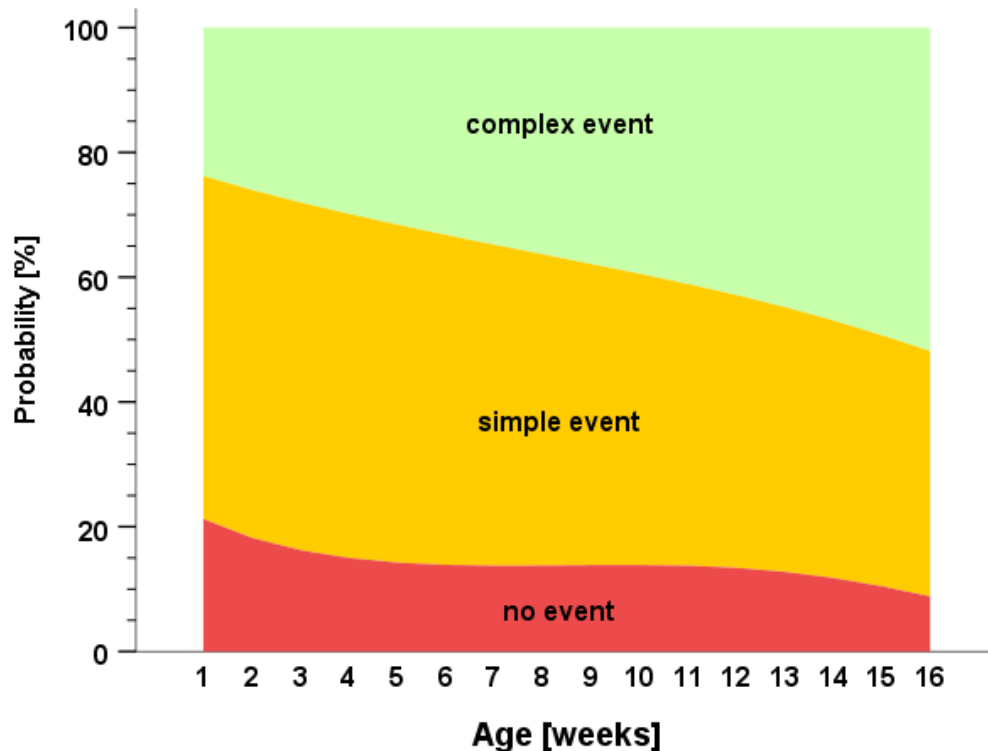
[Nachdruckgenehmigung von S. Karger AG, Basel für Armbrüster et al. 2020 liegt vor]

**Tabelle 17**      **Geschätzte Wahrscheinlichkeiten (Estimate) und Konfidenzintervalle (CI) unter Berücksichtigung der Komplexität**

Alter [Wochen]	Estimate (%)	95 % CI
1	30,2	21,8 – 40,3
2	31,8	23,3 – 41,7
3	33,5	25,0 – 43,1
4	35,1	26,7 – 44,6
5	36,8	28,4 – 46,1
6	38,6	30,2 – 47,7
7	40,3	32,0 – 49,3
8	42,1	33,8 – 51,0
9	44,0	35,6 – 52,7
10	45,8	37,5 – 54,4
11	47,6	39,2 – 56,2
12	49,5	41,0 – 58,0
13	51,4	42,8 – 59,8
14	53,2	44,5 – 61,7
15	55,1	46,2 – 63,6
16	56,9	47,9 – 65,5

Das Ergebnis beider GEE-Modellberechnungen wird in Abbildung 22 dargestellt.





**Abbildung 22** Auftrittswahrscheinlichkeit der Lautmelodien ohne Intervall (rot) und mit einfachen (gelb) oder komplexen (grün) Intervallmustern über den Untersuchungszeitraum

[Nachdruckgenehmigung von S. Karger AG, Basel für Armbrüster et al. 2020 liegt vor]

Die Events (Lautmelodien) mit keinem Intervall (rot), einfachem Intervallmuster (gelb) und komplexem Intervallmuster (grün) sind über das Lebensalter in Wochen dargestellt. Die in Abbildung 22 berechneten Wahrscheinlichkeitswerte sind das Ergebnis folgender Gleichungen:

$$Probability(\text{no event}) = 100 - Probability(\text{event})$$

$$Probability(\text{simple}) = Probability(\text{event}) \cdot [100\% - Probability(\text{complex} | \text{event})]$$

$$Probability(\text{complex}) = Probability(\text{event}) \cdot Probability(\text{complex} | \text{event})$$

Die Auftrittswahrscheinlichkeit einer Lautmelodie mit Intervall ändert sich nichtlinear mit dem Alter. Die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Lautmelodien mit komplexen Intervallen, innerhalb derer, die ein Intervall beinhalten, ist linear. Folglich ist das Gesamtbild ein nichtlineares (Abbildung 22).

### 3.2 Ergebnis der Strukturkategorisierung der Lautmelodie

Ein weiterer Fokus der Arbeit richtet sich auf die Untersuchung der Melodiegestalt (Strukturkategorie; Kapitel 2.4.2) und die Auftrittshäufigkeit der Melodieintervalle in den verschiedenen Strukturtypen. Wie in Kapitel 2.4.2 beschrieben, wurde jeder Lautmelodie dafür eine Strukturkategorie zugewiesen. Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen zunächst die Verteilungen der Strukturkategorien aller untersuchten Melodien über den gesamten Untersuchungszeitraum von vier Monaten, unabhängig davon, ob sie Melodieintervalle enthielten. In die Analysen sind, wie in Kapitel 2.4.1 formuliert, von allen 6130 Aufnahmen nur solche mit klar definierter Lautmelodie eingegangen (N=3114). Die in Abbildung 23 (vgl. auch Spalte „Gesamt“ in Tabelle 18) gezeigten Strukturkategorien sind nach den Hauptstrukturen (B = Bogen, grau gemustert; S = Segmentierung, gelb gemustert) und deren zunehmender Komplexität sortiert dargestellt. Zudem wurden hier auch solche Lautmelodien aufgeführt, deren Grundfrequenzverlauf nicht eindeutig einer Strukturkategorie zugeordnet werden konnte (Strukturkategorie „?“).

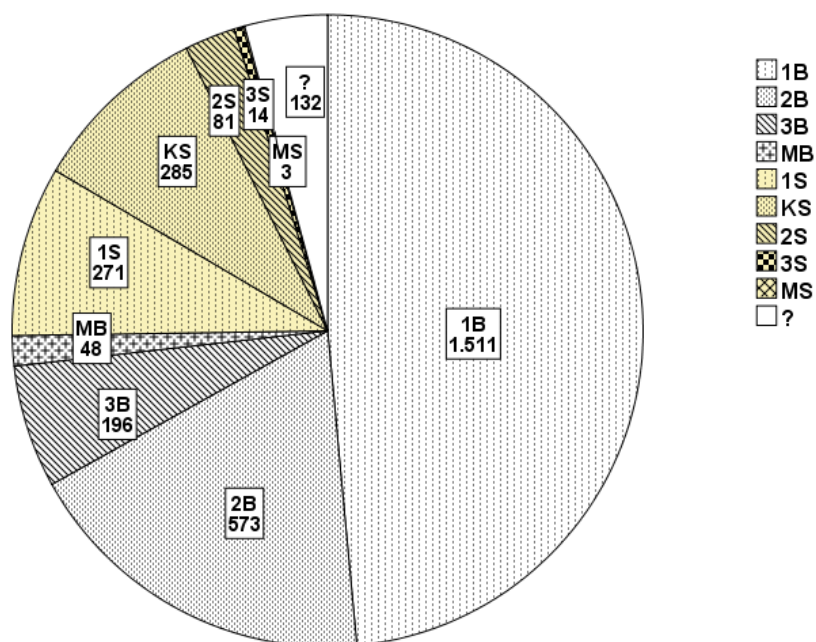
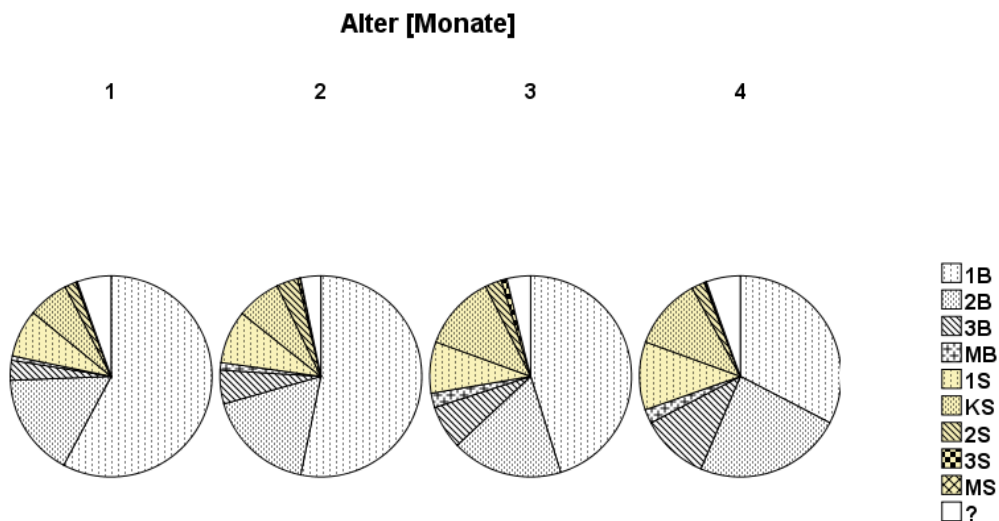


Abbildung 23 Verteilung der Strukturkategorien aller Melodien über den Untersuchungszeitraum

Insgesamt bilden die Melodiestructuren ohne Segmentierung (1B, 2B, 3B, MB) die Mehrheit (74,8 %). Die segmentierten Strukturkategorien (1S, 2S, 3S, MS, KS) kamen in 20,9 % der Laute vor. Die Lautmelodien, die nicht eindeutig einer Strukturkategorie („?“) zugeteilt werden konnten, machten einen Anteil von 4,3 % aus. Setzt man die einzelnen Unterkategorien zu der Hauptstruktur (nichtsegmentiert vs. segmentiert) in Bezug, so kommt in der Kategorie der nichtsegmentierten Melodiestructuren die einfache Bogenstruktur (1B) mit 48,5 % am häufigsten vor. Darauf folgen die Doppelbögen (2B) mit 18,4 %. In der Kategorie der Segmentierungen konnten die komplexen Segmentierungen (KS; bestehend aus mindestens einem Mehrfachbogen und mindestens einer Segmentierung) mit 9,1 % als am häufigsten vorkommend ermittelt werden (Tabelle 18).

Im Verlauf des Untersuchungszeitraums über die ersten vier Lebensmonate zeigte sich eine Änderung in den relativen Häufigkeiten der Strukturkategorien (Abbildung 24 und Tabelle 18). Die einfache Bogenstruktur (1B) nahm mit zunehmendem Lebensalter ab. Im Gegensatz dazu nahm die Doppelbogenstruktur (2B) mit dem Alter zu. Innerhalb der segmentierten Melodien zeigte sich ebenfalls dieser Alterseffekt bei den 1S und KS-Strukturen (die anderen Strukturkategorien kamen seltener vor).



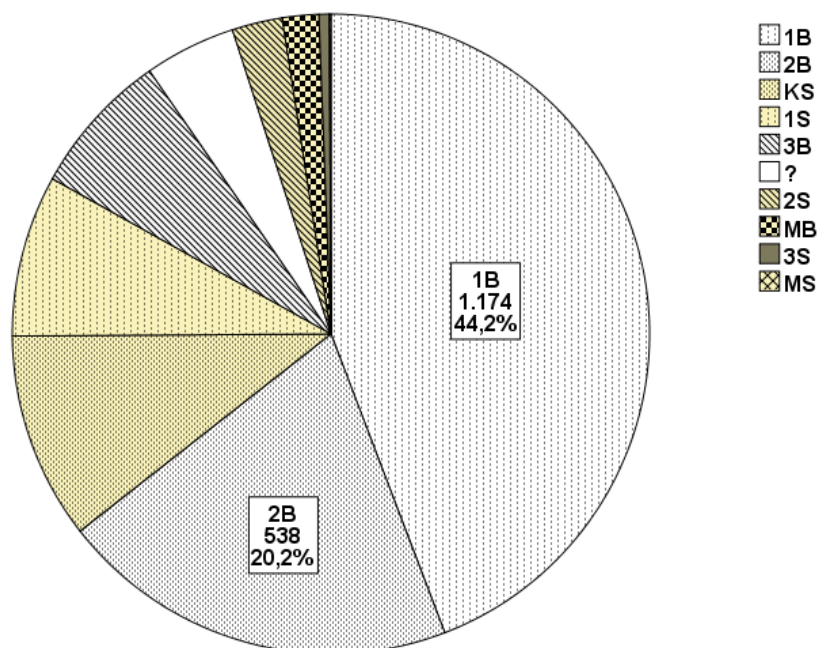
**Abbildung 24** Relative Verteilung der Strukturkategorien aller Melodien im Verlauf der ersten vier Lebensmonate

## Ergebnisse

**Tabelle 18**      **Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Strukturkategorien pro Monat**

	Alter [Monate]				Gesamt N=3114
	1 N=718	2 N=996	3 N=870	4 N=530	
<i>1B</i>	415 (57,8)	530 (53,2)	393 (45,2)	173 (32,6)	1511 (48,5)
<i>2B</i>	119 (16,6)	173 (17,4)	155 (17,8)	126 (23,8)	573 (18,4)
<i>3B</i>	23 (3,2)	54 (5,4)	61 (7,0)	58 (10,9)	196 (6,3)
<i>MB</i>	5 (0,7)	12 (1,2)	20 (2,2)	12 (2,3)	49 (1,6)
<i>1S</i>	55 (7,7)	85 (8,5)	72 (8,3)	59 (11,1)	271 (8,7)
<i>KS</i>	47 (6,5)	71 (7,1)	105 (12,2)	61 (11,5)	284 (9,1)
<i>2S</i>	13 (1,8)	34 (3,4)	23 (2,6)	11 (2,1)	81 (2,6)
<i>3S</i>	1 (0,1)	4 (0,4)	8 (0,9)	1 (0,2)	14 (0,5)
<i>MS</i>	1 (0,1)	1 (0,1)	0 (0,0)	1 (0,2)	3 (0,1)
<i>?</i>	39 (5,4)	32 (3,2)	33 (3,8)	28 (5,3)	132 (4,2)

Die weitere Analyse der Strukturkategorien der Melodien, die ein Intervall enthielten (Typ 2a, 2b, 2c), zeigte über den gesamten Untersuchungszeitraum, dass Melodieintervalle insbesondere in den Melodiestrukturkategorien der Einfach- (1B; N=1174) und Doppelbögen (2B; N=538) auftraten. Diese beiden Melodiestrukturkategorien bildeten zusammen einen relativen Anteil von 64,4 % der Melodien mit Intervallen. Die dazugehörige deskriptive Statistik wird in Abbildung 25 und nach Alter getrennt in Tabelle 19 berichtet.

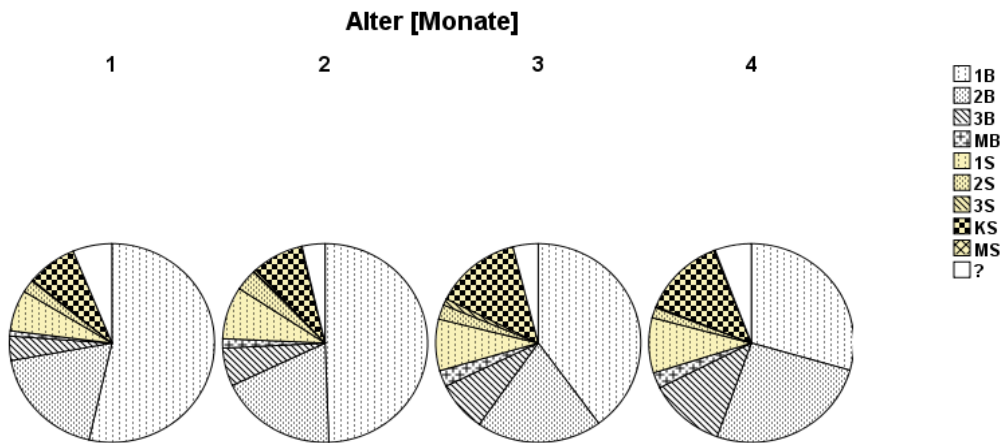


**Abbildung 25** Beobachtete Häufigkeiten der Melodiestrukturkategorien in Melodien mit identifizierten Intervallen

Betrachtet man die monatliche Entwicklung der Strukturkategorien mit identifizierten Melodieintervallen, so zeigt sich auch hier eine Komplexitätssteigerung der Melodiestrukturen mit dem Alter (Abbildung 26). Insbesondere wird die Abnahme einfacher Melodiestrukturen (1B) im 3. und 4. Monat zugunsten der Zunahme komplexer Melodiestrukturen hier deutlich.

In allen Melodiestrukturen wurden demnach Melodieintervalle beobachtet, wobei die häufigsten Strukturkategorien die 1B- und 2B-Strukturen waren. In allen vier Monaten wurden auch Melodieintervalle in segmentierten Melodien beobachtet (Tabelle 19).

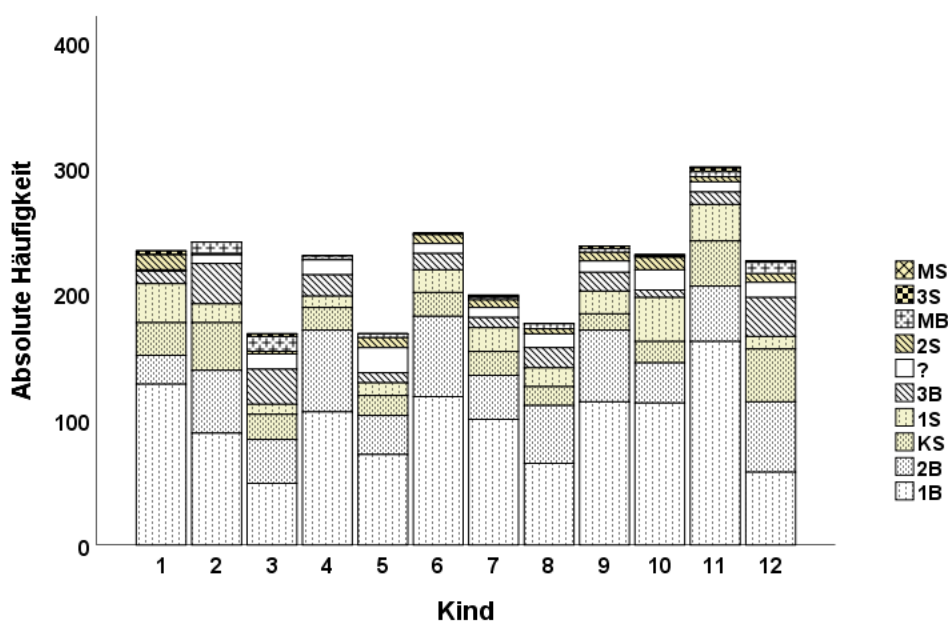
## Ergebnisse



**Abbildung 26** Beobachtungen der Melodiestrukturkategorien über den Untersuchungszeitraum

**Tabelle 19** Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Strukturkategorien aller Melodien mit Intervall über den Untersuchungszeitraum

	Alter [Monate]				Gesamt N=2657
	1 N=582	2 N=854	3 N=752	4 N=469	
<i>1B</i>	312 (53,6)	423 (49,5)	301 (40,0)	138 (29,4)	1174 (44,2)
<i>2B</i>	108 (18,6)	159 (18,6)	149 (19,8)	122 (26,0)	538 (20,2)
<i>3B</i>	23 (4,0)	53 (6,2)	61 (8,1)	57 (12,2)	194 (7,3)
<i>MB</i>	5 (0,9)	12 (1,4)	19 (2,5)	12 (2,6)	48 (1,8)
<i>1S</i>	39 (6,7)	73 (8,5)	63 (8,4)	43 (9,2)	218 (8,2)
<i>KS</i>	46 (7,9)	69 (8,1)	103 (13,7)	61 (13,0)	279 (10,5)
<i>2S</i>	12 (2,1)	30 (3,5)	18 (2,4)	8 (1,7)	68 (2,6)
<i>3S</i>	1 (0,2)	4 (0,5)	8 (1,1)	1 (0,2)	14 (0,5)
<i>MS</i>	0 (0,0)	1 (0,1)	0 (0,0)	1 (0,2)	2 (0,1)
<i>?</i>	36 (6,2)	30 (3,5)	30 (4,0)	26 (5,5)	122 (4,6)



**Abbildung 27 Säulendiagramm der identifizierten Strukturkategorien (kindbasiert)**

Um die Komplexität der Datenstruktur in vorliegender Arbeit zu bewältigen, war die Reduktion auf die häufigsten Beobachtungen (1B, 2B; Abbildung 25) für die weiteren Analysen notwendig und zudem für eine potenzielle spätere klinische Anwendung sinnvoll. Abbildung 27 zeigt, dass die Strukturkategorien 1B und 2B, deren Intervalle im Folgenden weiteruntersucht werden, bei allen Säuglingen am häufigsten (Ausnahme Kind 1) auftraten. Die dazugehörige deskriptive Statistik ist im Anhang (Anlage 3) ersichtlich.

Im Hinblick auf eine potenzielle klinische Anwendung wird in den folgenden Kapiteln insbesondere die Einbettung der einfachen Intervallmuster (-1- und -12-, vgl. Kapitel 2.4.5.2) in die am häufigsten beobachteten Melodistrukturkategorien (1B und 2B) untersucht.

### 3.3 Repertoire beobachteter Intervallcodes

Abbildung 28 präsentiert die Vielfalt der identifizierten Intervallcodes in den analysierten Melodien aller Strukturkategorien (1B, 2B, 3B, MB, 1S, 2S, 3S, MS, KS, ?). Eine Beschreibung zum Intervallcode findet sich in Kapitel 2.4.5.2 (vgl. auch Anlage 1).

In 2657 Melodien konnten 6814 Einzelintervalle vermessen werden (Abbildung 32), die sich in verschiedene Code-Kombinationen zusammensetzten. Die dazugehörige deskriptive Statistik findet sich in Tabelle 20.

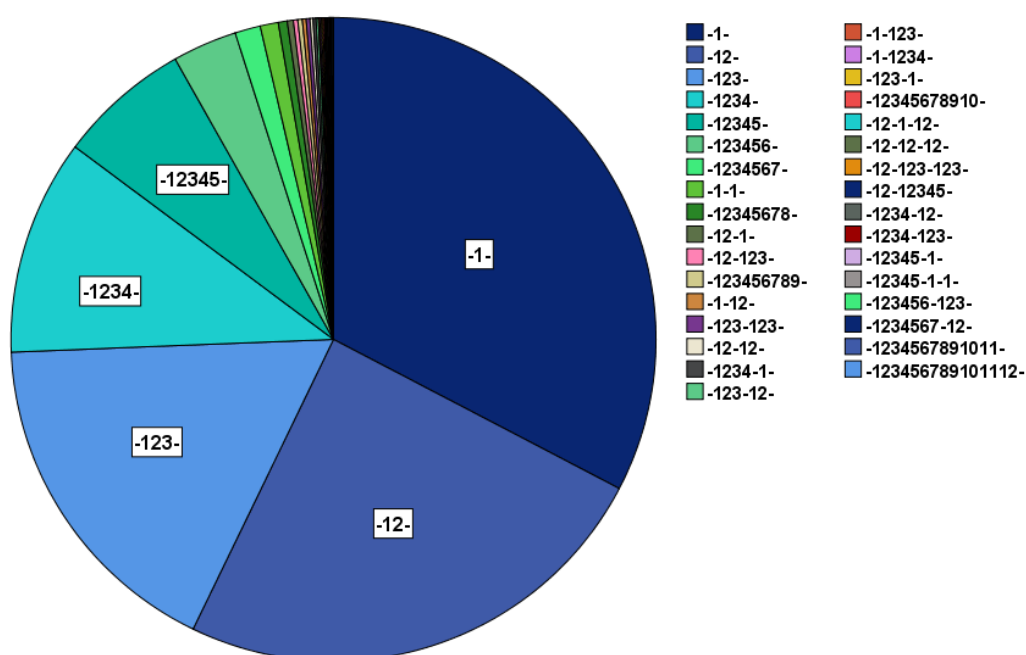


Abbildung 28 Häufigkeit identifizierter Intervallcodes



## Ergebnisse

**Tabelle 20**      **Absolute und relative (%) Häufigkeiten der beobachteten Intervallcodes (N=2657)**

Intervallcode	Gesamt	Intervallcode	Gesamt
-1-	868 (32,7)	-1234-	288 (10,8)
-1-1-	24 (0,9)	-1234-1-	4 (0,2)
-1-12-	5 (0,2)	-1234-12-	1 (0,0)
-1-123-	2 (0,1)	-1234-123-	1 (0,0)
-1-1234-	2 (0,1)	-12345-	176 (6,6)
-12-	651 (24,5)	-12345-1-	1 (<0,1)
-12-1-	8 (0,3)	-12345-1-1-	1 (<0,1)
-12-1-12-	1 (<0,1)	-123456-	86 (3,2)
-12-12-	4 (0,2)	-123456-123-	1 (<0,1)
-12-12-12-	1 (<0,1)	-1234567-	34 (1,3)
-12-123-	6 (0,2)	-1234567-12-	1 (<0,1)
-12-123-123-	1 (<0,1)	-12345678-	12 (0,5)
-12-12345-	1 (<0,1)	-123456789-	6 (0,2)
-123-	457 (17,2)	-12345678910-	2 (0,1)
-123-1-	2 (0,1)	-1234567891011-	1 (<0,1)
-123-12-	3 (0,1)	-123456789101112-	1 (<0,1)
-123-123-	5 (0,2)		

Um den Bezug zur jeweiligen Strukturkategorie herzustellen, zeigt Tabelle 21 die Strukturkategorien der am häufigsten identifizierten Intervallcodes. Die vollständige Tabelle, die alle identifizierten Intervallcodes und ihr Vorkommen innerhalb der verschiedenen Strukturkategorien zeigt, ist im Anhang (Anlage 4) ersichtlich.

**Tabelle 21**      **Absolute Häufigkeiten der häufigsten Intervallcodes innerhalb der jeweiligen Melodiestrukturen**

Intervallcode	Melodiestruktur										Gesamt
	?	1B	1S	2B	2S	3B	3S	KS	MB	MS	
-1-	47	675	90	8	28	3	4	12	0	1	868
-12-	33	287	63	186	14	14	2	48	3	1	651
-123-	10	147	35	152	11	30	3	66	3	0	457
-1234-	10	40	13	115	9	47	2	49	3	0	288
-12345-	3	14	6	48	3	51	2	45	4	0	176
-123456-	3	5	2	12	0	29	0	22	13	0	86
-1234567-	0	2	0	5	1	8	0	9	9	0	34

### 3.3.1 Das Auftreten der Intervallcodes innerhalb der Form-Klassen

Um das Melodieintervallphänomen besser verstehen zu können, wurde eine weitere Struktureigenschaft, nämlich die Bogenform im Sinne der „Intonation“ der Melodie (Kapitel 2.4.3), in Bezug zu den Intervallcodes untersucht.

In Abbildung 29 sind die Intervallcodes in Bezug zu den ermittelten Melodiekonturen der drei Bogenform-Klassen (1 – 3) gesetzt. Die dazugehörige deskriptive Statistik der sieben häufigsten identifizierten Intervallcodes wird in Tabelle 22 berichtet (die vollständige Tabelle aller identifizierten Intervallcodes ist in Anlage 5 aufgeführt).

Die Form-Klasse 1 – fallende Melodiekontur – tritt am häufigsten auf.

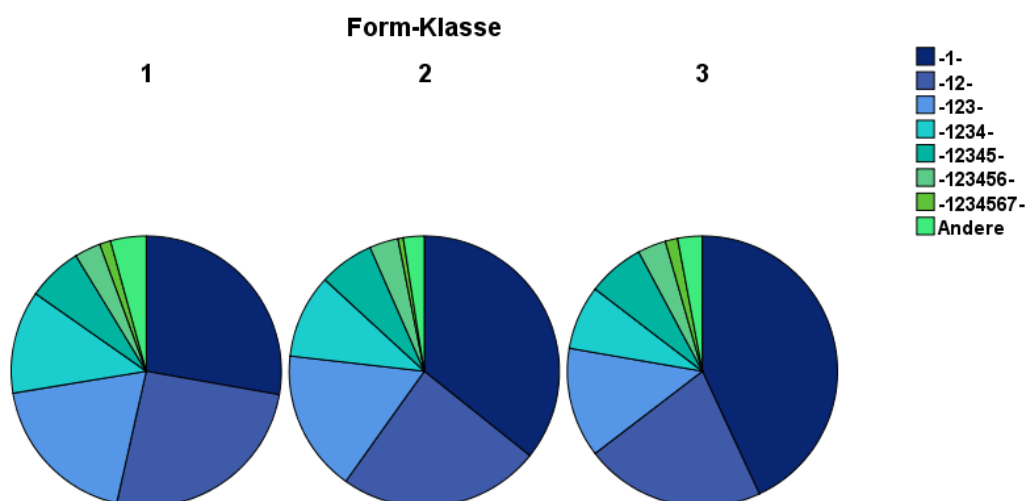


Abbildung 29 Identifizierte Intervallcodes innerhalb der Form-Klassen 1 – 3 (Intonation)

**Tabelle 22 Absolute und relative (%) Häufigkeiten der identifizierten Intervallcodes innerhalb der Form-Klassen**

Intervallcode	Form-Klasse			Gesamt
	1 N=1739	2 N=211	3 N=707	
-1-	464 (26,7)	93 (44,1)	311 (44,0)	868 (32,7)
-12-	431 (24,8)	43 (20,4)	177 (25,0)	651 (24,5)
-123-	319 (18,3)	33 (15,6)	105 (14,9)	457 (17,2)
-1234-	221 (12,7)	19 (9,0)	48 (6,8)	288 (10,8)
-12345-	134 (7,7)	11 (5,2)	31 (4,4)	176 (6,6)
-123456-	69 (4,0)	4 (1,9)	13 (1,8)	86 (3,2)
-1234567-	28 (1,6)	3 (1,4)	3 (0,4)	34 (1,3)

Aus Tabelle 22 geht hervor, dass in fallenden Konturverläufen der Melodie (Form-Klasse 1) Einzelintervalle (-1-) und Doppelintervalle (-12-) am häufigsten auftreten, aber auch komplexere Intervallmuster aus drei und vier zusammengesetzten Einzelintervallen wurden relativ häufig beobachtet. Im steigenden Konturverlauf der Melodie (Form-Klasse 3) fiel die Auftrittshäufigkeit eines Einzelintervalls (-1-) besonders hoch aus.

### 3.3.2 Repertoire der Intervallcodes im einfachen Bogen (1B)

Innerhalb der 1511 Lautmelodien mit 1B-Struktur (Abbildung 23) konnte in 1174 Lautmelodien (77,7 %) mindestens ein Einzelintervall identifiziert werden. Abbildung 30 zeigt die Verteilung der identifizierten Intervallcodes im einfachen Bogen (1B). Die dazugehörige deskriptive Statistik findet sich in Tabelle 23.

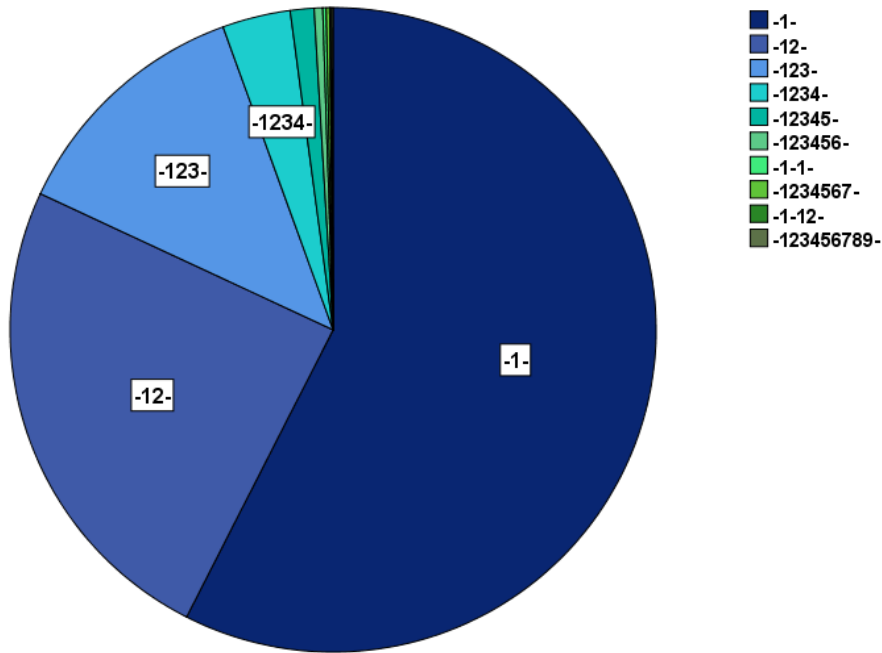


Abbildung 30 Relative Häufigkeiten der Intervallcodes in einfachen Bögen (1B) im Untersuchungszeitraum

Tabelle 23 Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallcodes im einfachen Bogen (1B)

	Häufigkeit N=1174	Prozent (%)
-1-	675	57,5
-12-	287	24,4
-123-	147	12,5
-1234-	40	3,4
-12345-	14	1,2
-123456-	5	0,4
-1-1-	2	0,2
-1234567-	2	0,2
-1-12-	1	0,1
-123456789-	1	0,1

Diese separate Analyse verdeutlicht noch einmal, dass das Einzelintervall (-1-) in der einfachen Bogenstruktur (1B) mit 57,5 % den größten Anteil ergibt (N=675). Der Intervallcode -12-, also zwei kombinierte Einzelintervalle, macht im einfachen Bogen 24,4 % (N=287) aus. Es wurden insgesamt 10 verschiedene Intervallcodes mit bis zu 9 zusammenhängenden Einzelintervallen beobachtet. Allerdings traten diese Codes vergleichsweise selten auf (Tabelle 23). Das Vorkommen von voneinander getrennten Intervallen (-1-1-; -1-12-) innerhalb einer Melodie kam in der 1B-Struktur kaum vor (N=3).

### 3.3.3 Repertoire der Intervallcodes im Doppelbogen (2B)

Aus dem Datenpool von 573 Lautmelodien der 2B-Struktur (Abbildung 23) konnten in 538 Lautmelodien (93,9 %) Intervalle identifiziert werden. Damit zeigten 2B-Strukturen eine außergewöhnlich hohe Auftrittshäufigkeit von Melodieintervallen. Abbildung 31 stellt die Verteilung der identifizierten Intervallcodes im Doppelbogen (2B) dar. Die dazugehörige deskriptive Statistik ist in Tabelle 24 ersichtlich.

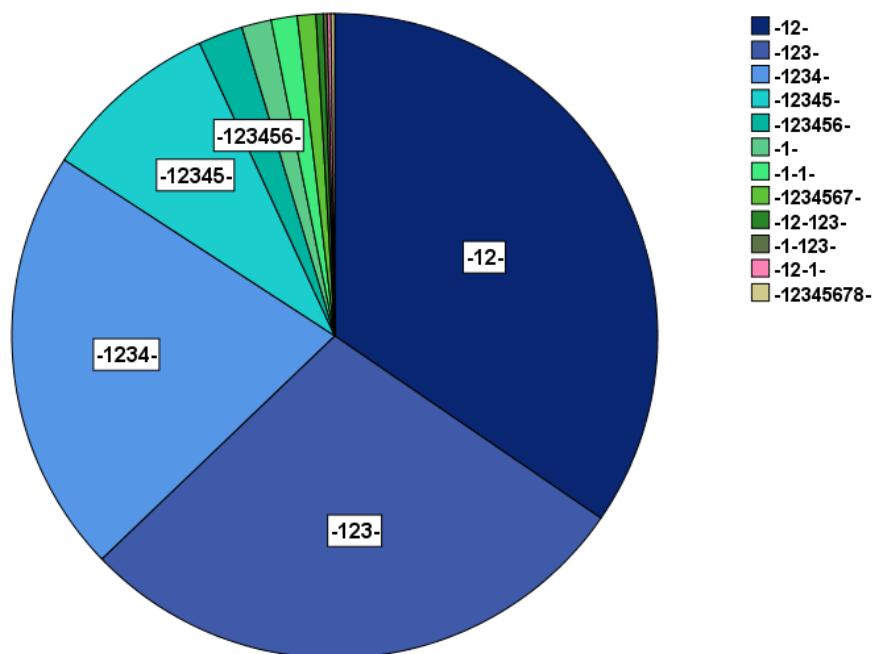


Abbildung 31 Relative Häufigkeiten der Intervallcodes in Doppelbögen (2B) im Untersuchungszeitraum

**Tabelle 24**      **Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallcodes im Doppelbogen (2B)**

	Häufigkeit N=538	Prozent (%)
-12-	186	34,6
-123-	152	28,3
-1234-	115	21,4
-12345-	48	8,9
-123456-	12	2,2
-1-	8	1,5
-1-1-	7	1,3
-1234567-	5	0,9
-12-123-	2	0,4
-1-123-	1	0,2
-12-1-	1	0,2
-12345678-	1	0,2

Wie Abbildung 31 und Tabelle 24 erkennen lassen, konnten im Doppelbogen (2B) 12 unterschiedliche Intervallcodes identifiziert werden. Die Codes sind nach absteigender Häufigkeit in Tabelle 24 berichtet.

Auffällig war hier, dass innerhalb der Strukturkategorie des Doppelbogens (2B) nicht das Einzelintervall (-1-) der häufigste Intervallcode war, wie es in 1B-Melodien (Abbildung 30) beobachtet wurde, sondern der Intervallcode -12- mit 34,6 % den relativ größten Anteil der identifizierten Intervalle bildete (Abbildung 31). Komplexere Intervallmuster sind in 2B-Melodien insgesamt deutlich häufiger beobachtet worden als der Code des Einzelintervalls (-1-, Abbildung 31, Tabelle 24).

Intervallcodes von unabhängigen Intervallen traten im Doppelbogen (2B) etwas häufiger auf (N=11; Tabelle 24) als in 1B-Melodiestructuren (N=3; Tabelle 23).

### 3.3.4 Die Intervallrichtung der identifizierten Intervalle

Betrachtet man alle vermessenen Intervallrichtungen der Einzelintervalle (N=6814) bestehend aus Plateau-Übergang-Plateau unabhängig davon, ob sie als einfache Intervallmuster oder als komplexe Intervallmuster vorkamen, ergaben sich die in Abbildung 32 gezeigten absoluten Häufigkeitsverteilungen. Die fallende Intervallrichtung wurde mit 53,6 % mehrheitlich vermessen (N=3649). Die steigende Intervallrichtung lag in 46,4 % vor (N=3165).

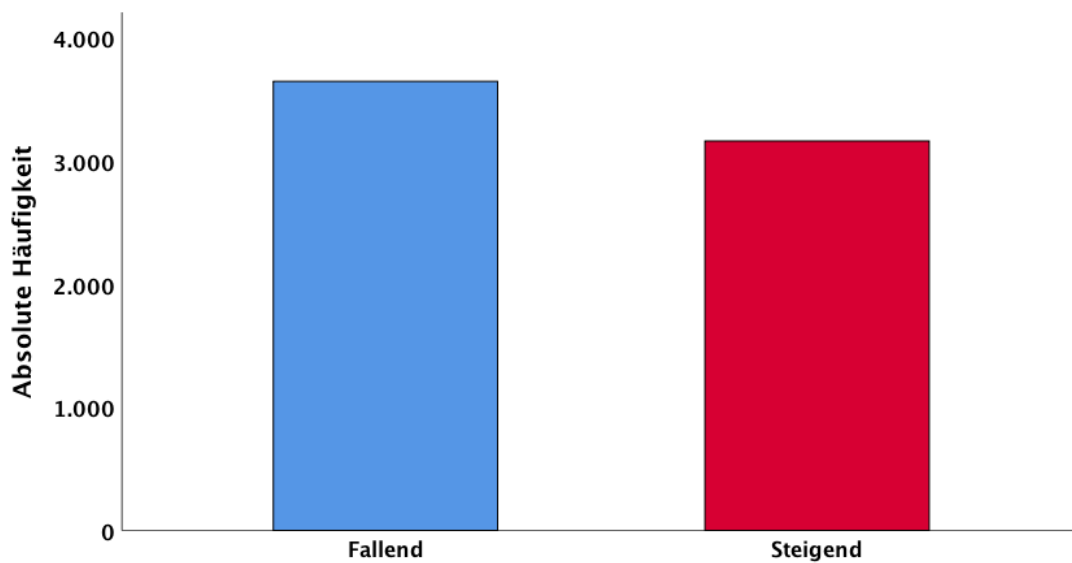


Abbildung 32 Identifizierte Intervallrichtungen aller Einzelintervalle



### 3.3.5 Die Intervallgrößen der identifizierten Intervalle

Abbildung 33 stellt die ermittelten Intervallgrößen [Cent] von allen identifizierten Intervallen unabhängig von der Richtung und dem Intervallcode vor. Die dazugehörige deskriptive Statistik wird in Tabelle 25 berichtet. Der Modalbin liegt bei 75–100 Cent (Wert der eingezeichneten Hilfslinie: 100 Cent) und befindet sich somit im Bereich eines Halbtons (kleine Sekunde) der gleichstufigen Stimmung (Tabelle 11).

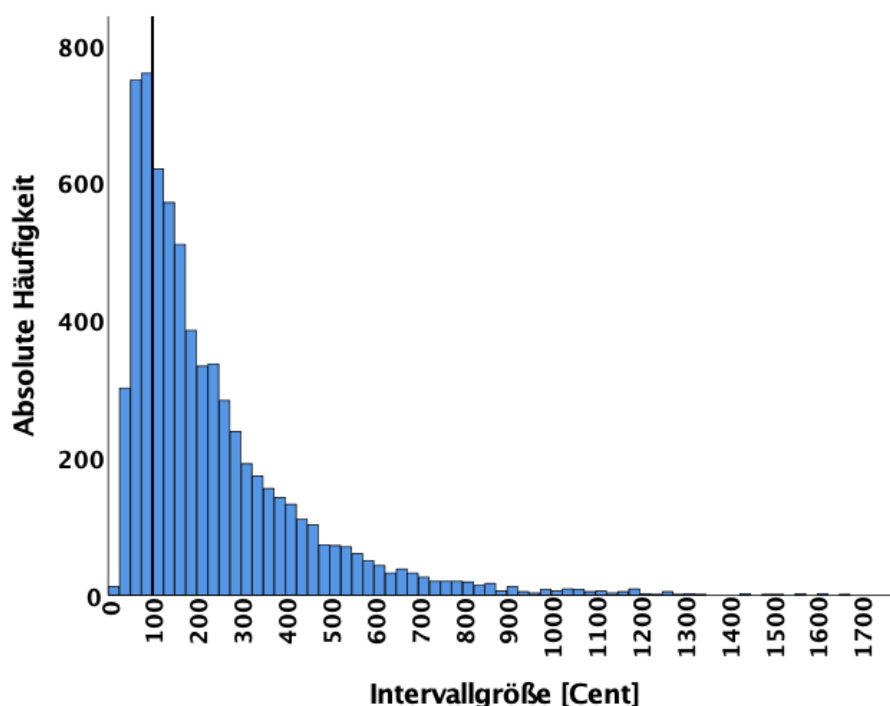


Abbildung 33 Intervallgrößen aller identifizierten Intervalle

Bin-Breite 25; Modalbin 75–100

Tabelle 25 Deskriptive Statistik der identifizierten Intervallgrößen (N=6814)

		Frequenzratio
<i>Median</i>	[Cent]	168,09
<i>Mittelwert</i>	[Cent]	233,50
<i>SD</i>	[Cent]	199,33
<i>Minimum</i>	[Cent]	0,75
<i>Maximum</i>	[Cent]	1666,48

### 3.4 Charakterisierung von einfachen Melodien (1B) und ihrer Melodieintervalle

In diesem Kapitel werden zunächst Zeit- sowie Frequenzcharakteristika der Gesamtgestalt einfacher Bogenstrukturen (1B) berichtet, bevor nachfolgend die am häufigsten beobachteten (Kapitel 3.3.2) Intervallcodes -1- und -12- (einfache Intervallmuster) zu diesen in Bezug gesetzt werden.

#### 3.4.1 Analyse der Dauer und Bogenform der einfachen Melodien

##### 3.4.1.1 Melodiegesamtlänge (1B)

Betrachtet man die gemessenen Gesamtlängen der Melodien mit einfacher Bogenstruktur, zeigt sich anhand der Mediane eine tendenzielle Zunahme der Melodielängen mit dem Alter (Abbildung 34). Im Mittel lagen die gemessenen Längen der 1B-Melodien mit Intervall (alle Intervallcodes) zwischen 0,89 s–1,15 s bzw. 0,79 s–1,02 s (Median). Melodien kürzer als 300 ms wurden methodisch bedingt bereits im Vorselektierungsschritt herausgenommen. Die dazugehörige deskriptive Statistik wird in Tabelle 26 präsentiert.

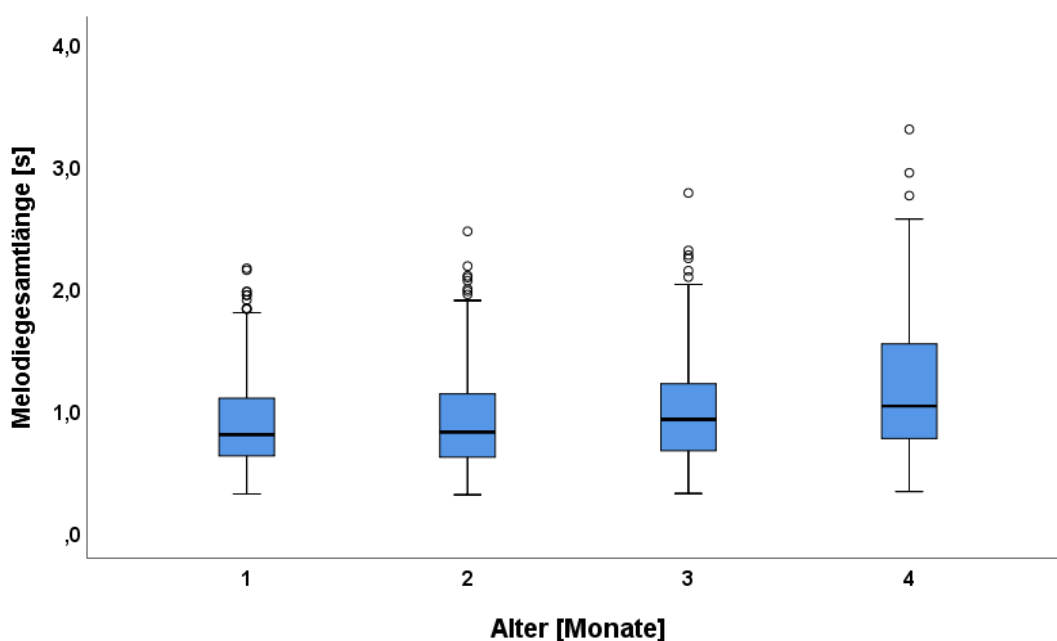


Abbildung 34 Boxplotdiagramm der Melodiegesamtlängen (1B) über den Untersuchungszeitraum

**Tabelle 26** Deskriptive Statistik für die Melodiegesamtlänge (1B) über den Untersuchungszeitraum (alle Intervallcodes)

		Alter [Monate]			
		1	2	3	4
		N=312	N=423	N=301	N=138
<i>Median</i>	[s]	0,79	0,81	0,91	1,02
<i>Mittelwert</i>	[s]	0,89	0,90	0,99	1,15
<i>SD</i>	[s]	0,38	0,39	0,43	0,56
<i>Minimum</i>	[s]	0,31	0,30	0,31	0,33
<i>Maximum</i>	[s]	2,16	2,46	2,78	3,30

### 3.4.1.2 Gestalt der einfachen Melodien (1B)

Um die Melodien nach ihrer Gestalt zu differenzieren und einen potenziellen Einfluss dieser auf das Auftreten von Melodieintervallen zu untersuchen, wurden drei Form-Klassen der Bogengestalt definiert (Kapitel 2.4.3). Sie basieren auf der Lage des  $F_0$ -Maximums ( $F_{0MAX}$ ) in der normierten Melodielänge ( $t_{NORM}$ ; Werte zwischen 0 – 1). Wie in Abbildung 35 dargestellt, änderten sich die Verteilungseigenschaften vom 2. bis zum 3. Monat und eine Abnahme des Medianwerts von  $t_{NORM}(F_{0MAX})$  war zu beobachten. Die dazugehörige deskriptive Statistik ist in Tabelle 27 aufgeführt.

**Tabelle 27** Deskriptive Statistik der Bogenform (1B) im Untersuchungszeitraum

		Alter [Monate]			
		1	2	3	4
		N=312	N=423	N=301	N=138
<i>Median</i>	$[t_{NORM}(F_{0MAX})]$	0,44	0,43	0,27	0,24
<i>Mittelwert</i>	$[t_{NORM}(F_{0MAX})]$	0,43	0,44	0,35	0,29
<i>SD</i>	$[t_{NORM}(F_{0MAX})]$	0,27	0,26	0,26	0,23
<i>Minimum</i>	$[t_{NORM}(F_{0MAX})]$	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>Maximum</i>	$[t_{NORM}(F_{0MAX})]$	>0,099	>0,099	>0,099	>0,099

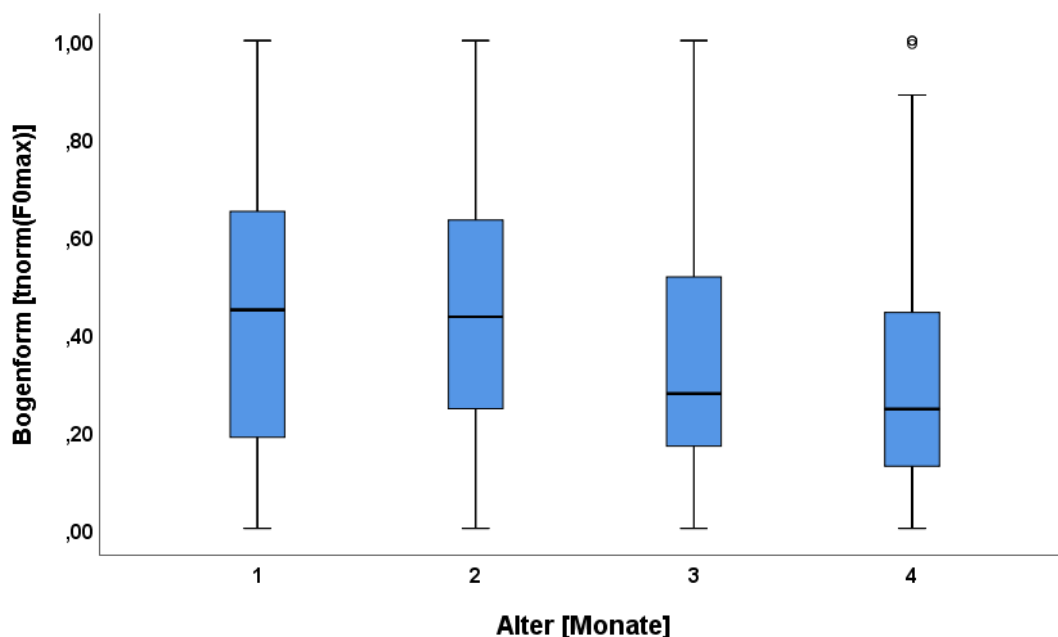


Abbildung 35 Boxplotdiagramm der Bogenform (1B) im Untersuchungszeitraum

Tabelle 28 gibt einen Überblick über die Verteilung der 1B-Melodie Bogenstrukturen in die drei Form-Klassen (1 – 3).

Tabelle 28 Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Form-Klassen in der einfachen Melodiebogenstruktur (1B) über den Untersuchungszeitraum

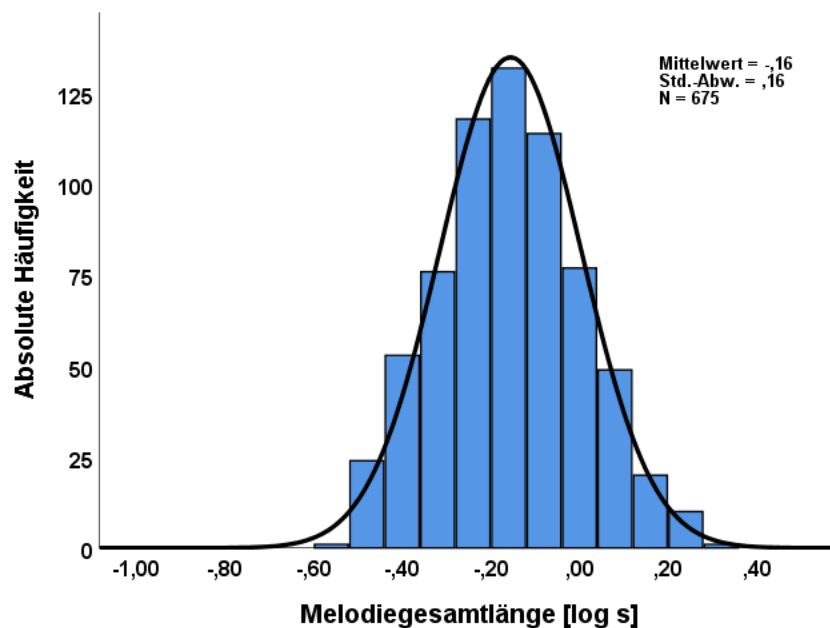
Form-Klasse	Alter [Monate]				Gesamt N=1174
	1 N=312	2 N=423	3 N=301	4 N=138	
1	157 (50,3)	220 (52,0)	210 (69,8)	104 (75,4)	691 (58,8)
2	38 (12,2)	52 (12,3)	22 (7,3)	11 (7,9)	123 (10,4)
3	117 (37,5)	151 (35,7)	69 (22,9)	23 (16,7)	360 (30,6)

Wie in Kapitel 3.3.2 gezeigt wurde, enthielten 1B-Melodien, wenn sie Melodieintervalle aufwiesen, in 81,9 % der Fälle Intervalle des Codes -1- oder -12-. Diese beiden Intervallcodes werden nachfolgend im Hinblick auf temporale Eigenschaften und Verlaufsrichtungen der Muster sowie Frequenzratios (Intervallgrößen) unabhängig voneinander analysiert.

### 3.4.2 Einzelintervalle (-1-) als Substruktur in einfachen Melodien (1B)

#### 3.4.2.1 Temporale Eigenschaften

Um den potenziellen Zusammenhang der zeitlichen Länge der Einzelintervalle (N=675) als Substrukturen in einbögigen Melodien (1B) zu untersuchen, wurde in Abbildung 36 ein Histogramm der logarithmierten Melodiegesamtlängen und vergleichbar hierzu in Abbildung 37 die logarithmierten Intervalllängen aller gemessenen Einzelintervalle (-1-) dargestellt. Für die logarithmierten Werte der Melodiegesamtlänge (Abbildung 36) ergab der Shapiro-Wilk-Test keine hinreichende Normalverteilung ( $p < 0,05$ ). Die Intervalllängen (Abbildung 37) hingegen waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test Log-normalverteilt ( $p = 0,326$ ). Die dazugehörigen deskriptiven Statistiken (entlogarithmiert) sind in Tabelle 29 ersichtlich.



**Abbildung 36** Histogramm der Melodiegesamtlängen (Strukturkategorie 1B; Intervallcode -1-)

Bin-Breite 0,08

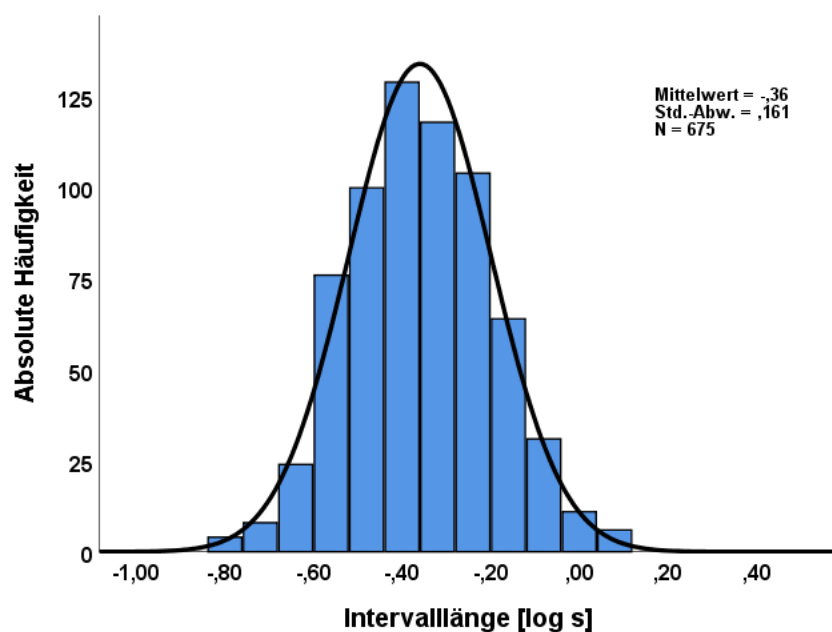


Abbildung 37 Histogramm der Intervalllängen (-1- in 1B)

Bin-Breite 0,08

Tabelle 29 Melodiegesamt- und Intervalllängen (-1- in 1B)

		Melodiegesamtlänge (1B)	Intervalllänge (-1-)
<i>Median</i>	[s]	0,70	0,43
<i>Mittelwert</i>	[s]	0,74	0,46
<i>SD</i>	[s]	0,28	0,18
<i>Minimum</i>	[s]	0,30	0,16
<i>Maximum</i>	[s]	2,1	1,20

Die Längen der Einzelintervalle (Plateau – Übergang – Plateau) variierten in Abhängigkeit von der Melodiegesamtlänge. Abbildung 38 zeigt ein Streudiagramm für den relativ linearen Zusammenhang zwischen Intervalllänge und der Melodiegesamtlänge. In diesem sind fallende (blau) und steigende (rot) Einzelintervalle getrennt voneinander abgebildet.

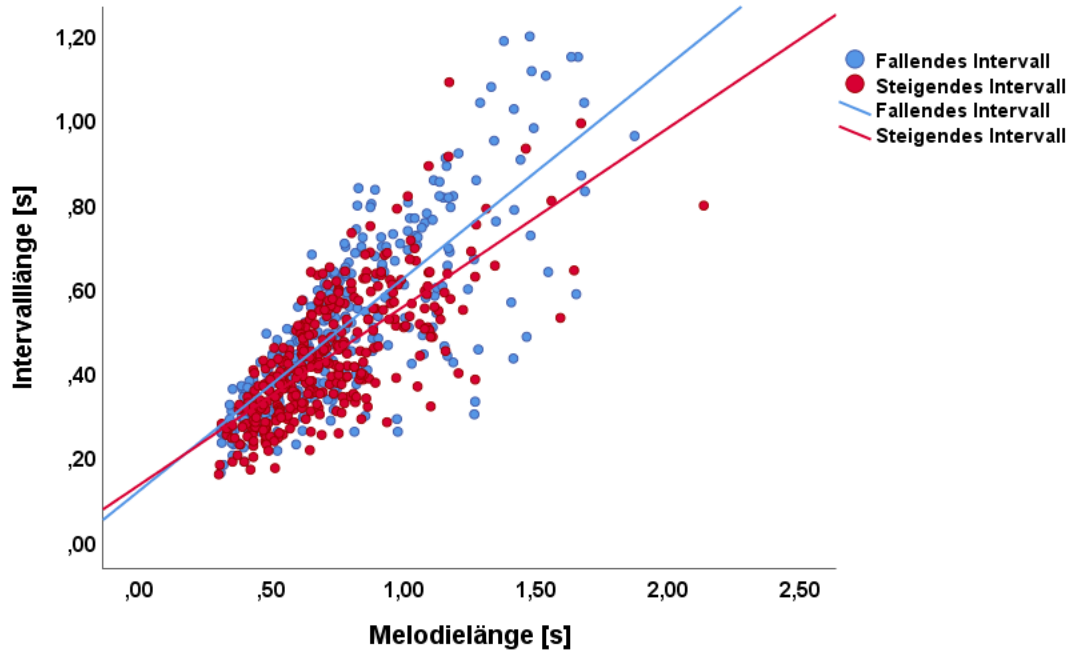


Abbildung 38 Streudiagramm: Zusammenhang zwischen Melodiegesamt- und Intervalllänge (-1- in 1B)

### 3.4.2.2 Verlaufsrichtung der Melodieintervalle (-1- in 1B): Steigende und fallende Intervalle

Im Folgenden werden die beobachteten Verlaufsrichtungen der identifizierten Einzelintervalle (-1-) in 1B-Melodien dargestellt. Im Einzelintervall können zwei Richtungen identifiziert werden: Steigend ( $\lceil$ , -S-) oder fallend ( $\lfloor$ , -F-) (Tabelle 10, vgl. Kapitel 2.4.5.2).

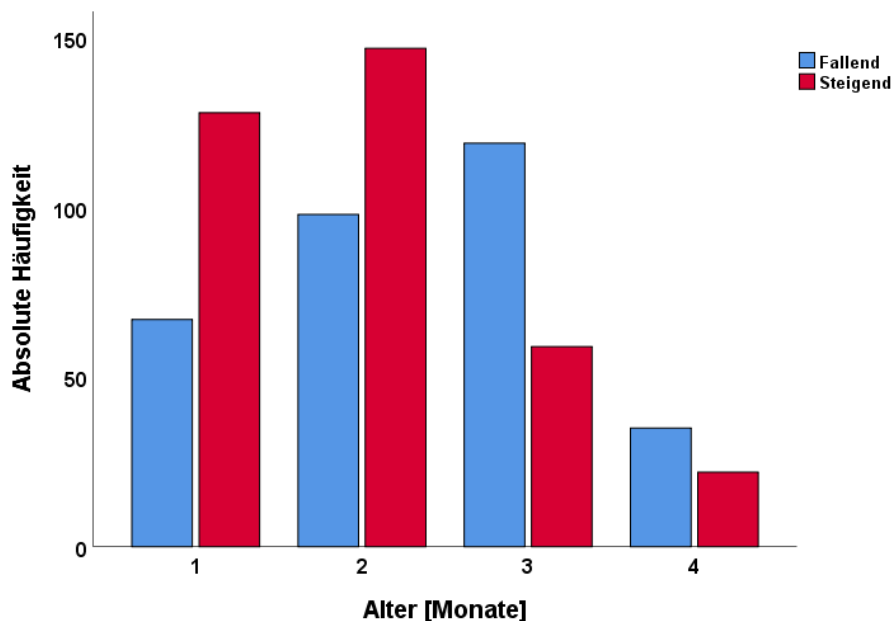


Abbildung 39 Absolute Häufigkeiten der Intervallrichtungen pro Monat (-1- in 1B)

Abbildung 39 zeigt die absoluten Häufigkeiten der Intervallrichtungen der Einzelintervalle (-1-) in 1B-Melodien über den gesamten Untersuchungszeitraum (vier Monate). Die dazugehörige deskriptive Statistik sowie die relativen Häufigkeiten sind in Tabelle 30 berichtet.

Tabelle 30 Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallrichtungen (-1- in 1B)

Intervallrichtung	Alter [Monate]			
	1 <i>N</i> =195	2 <i>N</i> =245	3 <i>N</i> =178	4 <i>N</i> =57
<b>Fallend (-F-)</b>	6 (34,4)	98 (40,0)	119 (66,9)	35 (61,4)
<b>Steigend (-S-)</b>	128 (65,6)	147 (60,0)	59 (33,1)	22 (38,6)



### 3.4.2.3 Frequenzratio der Intervalle (-1- in 1B)

Frequenzverhältnisse, also die Intervallgrößen der Einzelintervalle, werden nachfolgend getrennt voneinander bezüglich der Intervallrichtung (steigende und fallende Intervalle) betrachtet. Die Frequenzverhältnisse werden als Ratio in Cent angegeben (vgl. Kapitel 2.4.5.2). Die Ratios der fallenden Intervalle werden im Histogramm in Abbildung 40 gezeigt und die Ratios der steigenden Intervalle in Abbildung 41. Weder die steigenden noch die fallenden Intervallgrößen zeigten nach dem Shapiro-Wilk-Test eine hinreichende Normalverteilung. Die jeweiligen deskriptiven Statistiken werden in Tabelle 31 beschrieben.

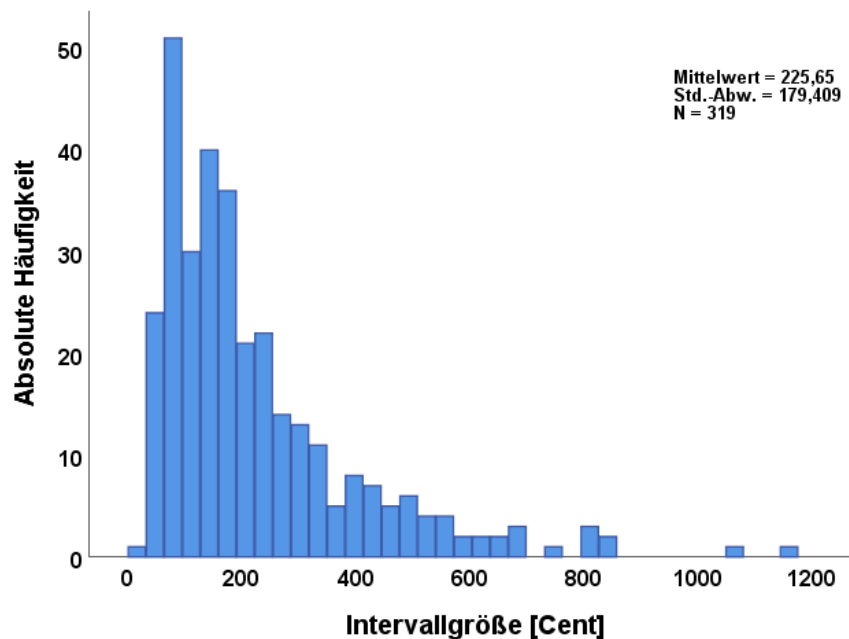
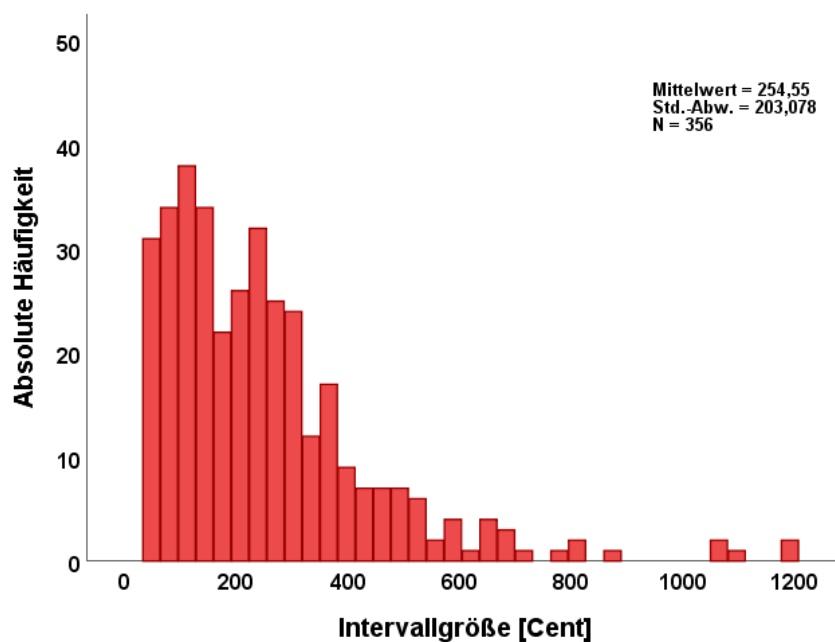


Abbildung 40 Frequenzratios der fallenden Intervalle  $\bar{\square}$  (-1- in 1B)

Bin-Breite 31,8; 1. Modalbin 63,6–95,4; 2. Modalbin 127,2–15

Tabelle 31 Frequenzratios der steigenden und fallenden Intervalle (-1- in 1B)

		Frequenzratio	
		Fallend (F) N=319	Steigend (S) N=356
<i>Median</i>	[Cent]	168,72	212,05
<i>Mittelwert</i>	[Cent]	225,64	254,55
<i>SD</i>	[Cent]	179,40	203,07
<i>Minimum</i>	[Cent]	31,43	33,59
<i>Maximum</i>	[Cent]	1168,78	1624,95



**Abbildung 41** Frequenzratios der steigenden Intervalle  $\lceil$  (-1- in 1B)

Ein Laut (1624,95 Cent) wird aus Gründen der vergleichenden Darstellung zu Abbildung 40 hier nicht angezeigt.

Bin-Breite 31,8; 1. Modalbin: 95,4–127,2; 2. Modalbin 222,6–254,4; 3. Modalbin 349,8–381,6




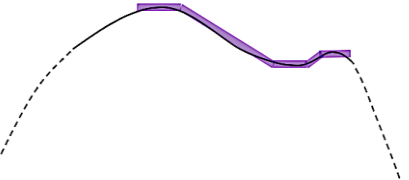

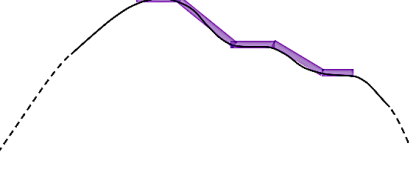


Die Medianwerte der analysierten Frequenzratios der steigenden sowie fallenden Intervalle liegen im linken Bereich des Histogramms: Innerhalb der fallenden Intervalle bei 168 Cent ( $\lrcorner$ ) und bei den steigenden Intervallen bei 212 Cent ( $\lceil$ ). Dieser Wertebereich befindet sich zwischen einer großen Sekunde und einer kleinen Terz der musikalischen Intervalle (vgl. Tabelle 11). Der Unterschied der Medianwerte zwischen steigenden und fallenden Intervallen lag bei 43 Cent (Tabelle 31). Dies entspricht einem musikalischen Intervall von weniger als einem Viertelton-Unterschied. Das kleinste beobachtete musikalische Intervall wurde bei den steigenden Intervallen bei 34 Cent und in fallenden Intervallen bei 31 Cent identifiziert. Das größte gemessene Intervall umfasste in beiden Richtungen mehr als 1000 Cent, also mehr als 10 Halbtöne. Innerhalb der fallenden Intervalle positionierte sich das Maximum bei 1169 Cent, dies entspricht umgerechnet einem Intervall zwischen einer großen Septime und einer Oktave. Innerhalb der steigenden Intervalle zeigte sich das größte Intervall mit 1625 Cent, also einem musikalischen Intervall von mehr als einer Oktave.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Verteilungen markante Peaks zeigen, die bei den fallenden Intervallen bei 63,6–95,4 Cent und 127,2–159 Cent und bei den steigenden Intervallen bei 95,4–127,2 Cent und 222,6–254,4 Cent sowie 349,8–381,6 Cent liegen. Maximalwerte konnten von einer großen Septime bis zu mehr als einer Oktave identifiziert werden.

### 3.4.3 Doppelintervalle (-12-) als Substruktur in einfachen Melodien (1B)

In gleicher Weise, in der die Analyseergebnisse für die Einzelintervalle (-1-) in Kapitel 3.4.2 berichtet wurden, werden diese hier für die Doppelintervalle (-12-) dargestellt. Die Intervalle des Codes -12- zeigten in 1B-Melodien die in Tabelle 32 skizzierten Intervallmuster.

**Tabelle 32** Skizze der beobachteten Intervallmuster des Codes -12- in einbögigen Melodien (1B)

Kombinationen der Einzelintervalle	
Steigend-Fallend <b>-SF-</b> 	
Fallend-Steigend <b>-FS-</b> 	
Fallend-Fallend <b>-FF-</b> 	
Steigend-Steigend <b>-SS-</b> 	

### 3.4.3.1 Temporale Eigenschaften

Abbildung 42 stellt im Histogramm die Verteilung der logarithmierten Werte der Gesamtlängen aller 1B-Melodien dar, die ein Intervall des Codes -12- enthielten. Durch den Shapiro-Wilk-Test konnte gezeigt werden, dass die Log-Normalverteilung hinreichend gegeben war ( $p=0,740$ ). Die logarithmierten Werte der Intervalllängen sind in Abbildung 43 dargestellt. Auch die Intervalllängen wurden mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung untersucht. Dieser ergab eine hinreichende Log-Normalverteilung ( $p=0,950$ ). Die dazugehörigen deskriptiven statistischen Werte (entlogarithmiert) sind in Tabelle 33 berichtet.

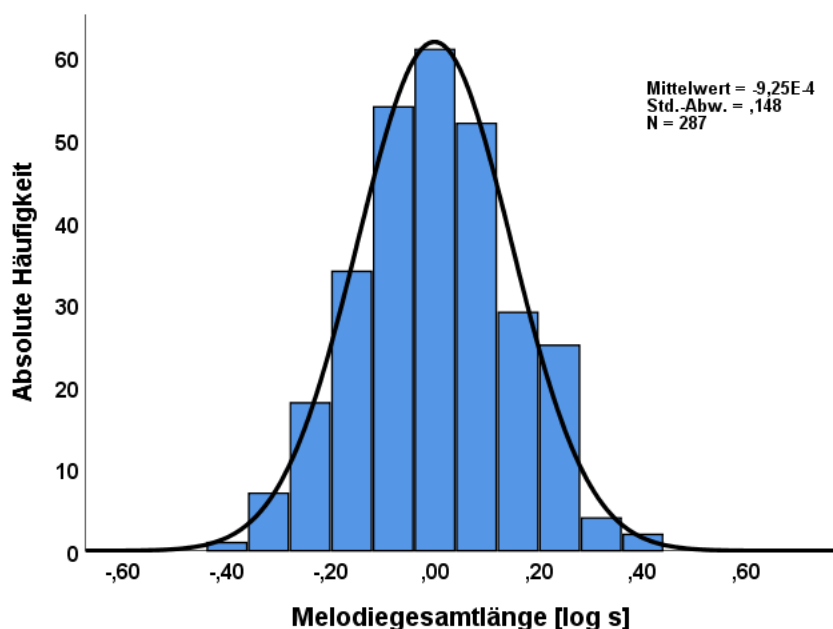
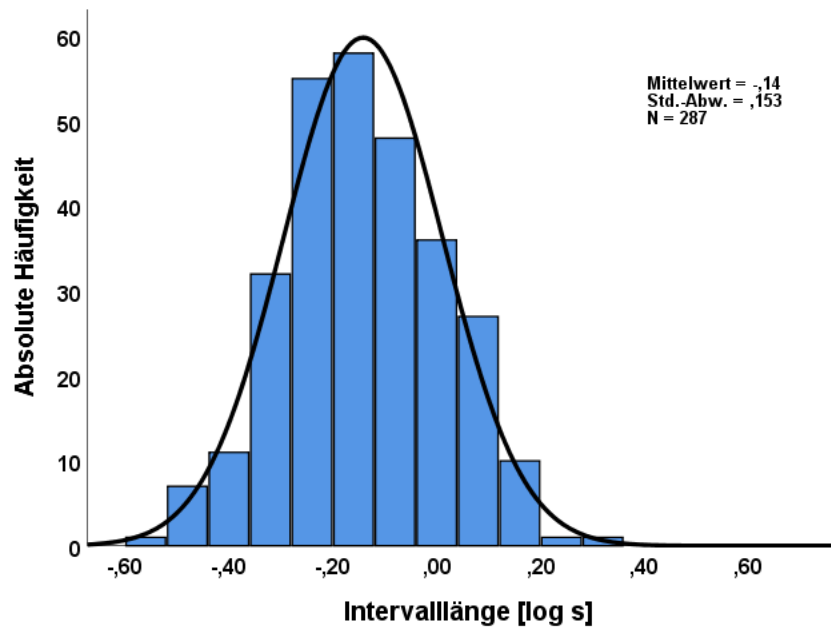


Abbildung 42 Histogramm der Melodiegesamtlängen (-12- in 1B)

Bin-Breite 0,08

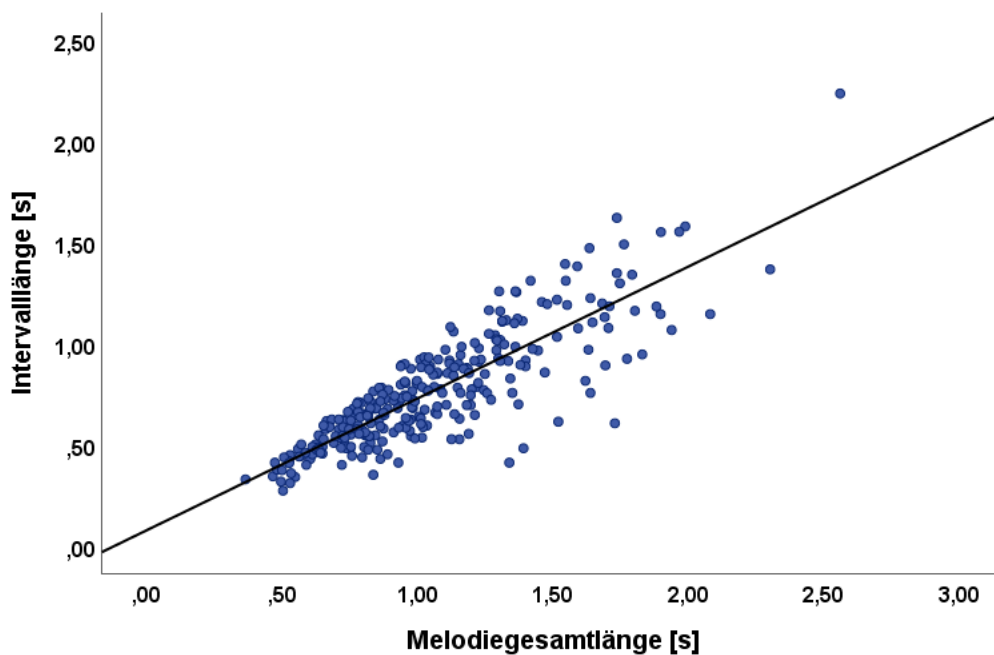
Tabelle 33 Melodiegesamt- und Intervalllängen (-12- in 1B)

		Melodiegesamtlänge N=287	Intervalllänge N=287
<i>Median</i>	[s]	0,99	0,71
<i>Mittelwert</i>	[s]	1,05	0,76
<i>SD</i>	[s]	0,36	0,28
<i>Minimum</i>	[s]	0,36	0,27
<i>Maximum</i>	[s]	2,56	2,24



**Abbildung 43** Histogramm der Intervalllängen (-12- in 1B)  
Bin-Breite 0,08

In Abbildung 44 wird anhand eines Streudiagramms der Zusammenhang zwischen der Intervalllänge (-12-) und der Melodiegesamtlänge (1B) veranschaulicht. Die Analyse lässt einen linearen Zusammenhang beider Messgrößen vermuten.



**Abbildung 44** Streudiagramm: Zusammenhang zwischen Melodiegesamt- und Intervalllänge (-12- in 1B)

### 3.4.3.2 Die Verlaufsrichtung der Intervallmuster (-12- in 1B)

In Abbildung 45 werden die absoluten Häufigkeiten der identifizierten Intervalle des Codes -12- und deren Muster in 1B-Melodien (Tabelle 32) gezeigt. In den ersten beiden Lebensmonaten konnte das Muster -SF- ( $\lrcorner$ ) aus einem steigenden und darauffolgenden fallenden Intervall als häufigstes Intervallmuster definiert werden. Weitere Angaben zur deskriptiven Statistik werden in Tabelle 34 berichtet.

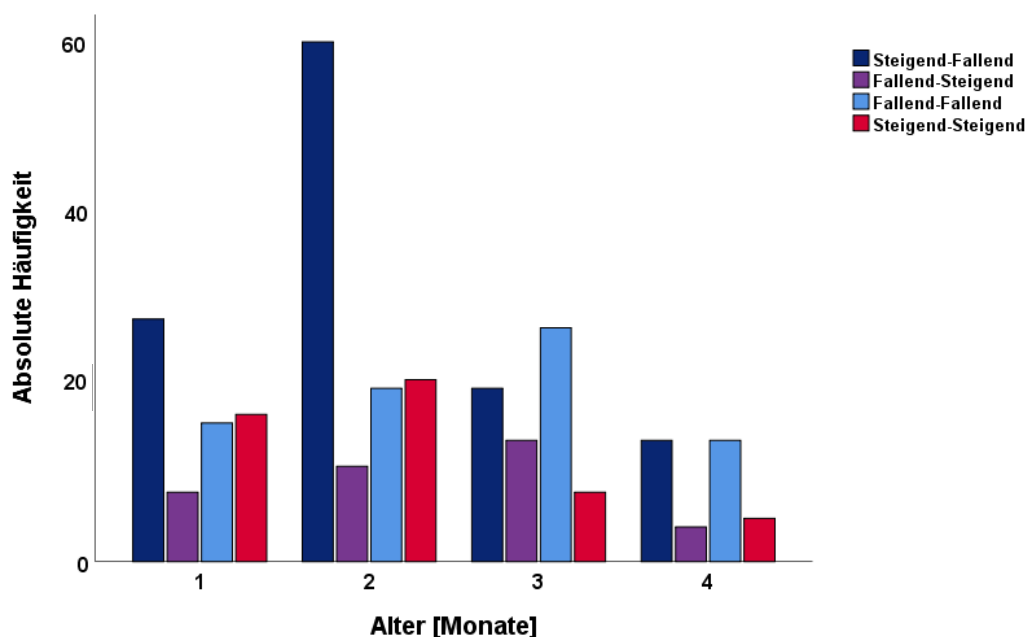


Abbildung 45 Absolute Häufigkeiten der Intervallmuster (-12- in 1B)

Tabelle 34 Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallmuster (-12- in 1B)

	Alter [Monate]			
	1 N=69	2 N=112	3 N=69	4 N=37
$\lrcorner$ Steigend-Fallend N=122	28 (40,6)	60 (53,6)	20 (29,0)	14 (37,8)
$\lrcorner$ Fallend-Steigend N=37	8 (11,6)	11 (9,8)	14 (20,3)	4 (10,8)
$\lrcorner$ Fallend-Fallend N=77	16 (23,2)	20 (17,85)	27 (39,1)	14 (37,8)
$\lrcorner$ Steigend-Steigend N=51	17 (24,6)	21 (18,75)	8 (11,6)	5 (13,5)

### 3.4.3.3 Frequenzratio der Intervalle (-12- in 1B)

Die Verteilungseigenschaften der Intervallgrößen der kombinierten Intervalle des Codes -12- (Tabelle 32) sind nach der Intervallrichtung (-S-,  $\lrcorner$ ; -F-,  $\llcorner$ ) aufgeteilt in Histogrammen (Abbildung 46 – Abbildung 51) getrennt voneinander dargestellt. Je Melodie gehen jeweils zwei Frequenzratios in die Verteilung ein. Diese sind nach Richtung (-F- oder -S-) und Muster, innerhalb derer sie auftraten, auf zwei Histogramme aufgeteilt (-SF- und -FS-). Für die Intervallmuster -FF- und -SS- gehen zwei Frequenzratios gleicher Richtung in die Verteilung ein. Diese sind zusammen in einem Histogramm dargestellt. Die dazugehörige deskriptive Statistik ist in Tabelle 35 beschrieben.

**Tabelle 35** Frequenzratios der steigenden und fallenden Intervalle (-12- in 1B)

		1: -SF-		2: -FS-		3: -FF-	4: -SS-
		Fallend (F) N=122	Steigend (S) N=122	Fallend (F) N=37	Steigend (S) N=37	Fallend (F) N=154	Steigend (S) N=102
<i>Median</i>	[Cent]	177,68	173,95	111,03	88,26	143,72	155,44
<i>Mittelwert</i>	[Cent]	226,26	215,26	152,90	142,90	193,74	196,17
<i>SD</i>	[Cent]	197,05	140,84	125,95	111,69	141,56	154,95
<i>Minimum</i>	[Cent]	29,00	36,00	34,00	31,00	29,00	31,00
<i>Maximum</i>	[Cent]	1114	627,00	629,00	432,00	913,00	852,00



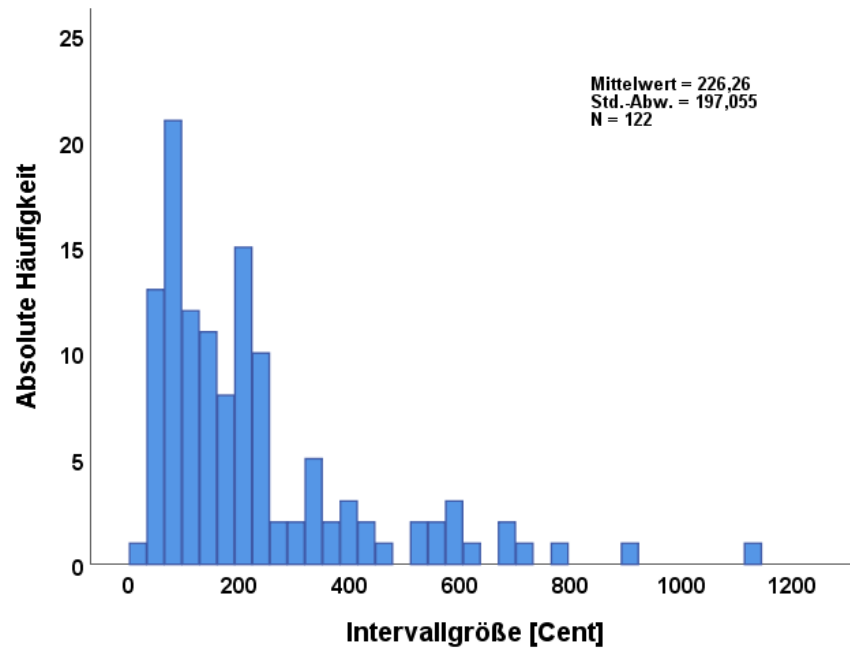


Abbildung 46  $\lrcorner$ -SF- (fallende IV)

Bin-Breite 31,8; 1.Modalbin: 63,6–95,4; 2. Modalbin: 190,8–222,6

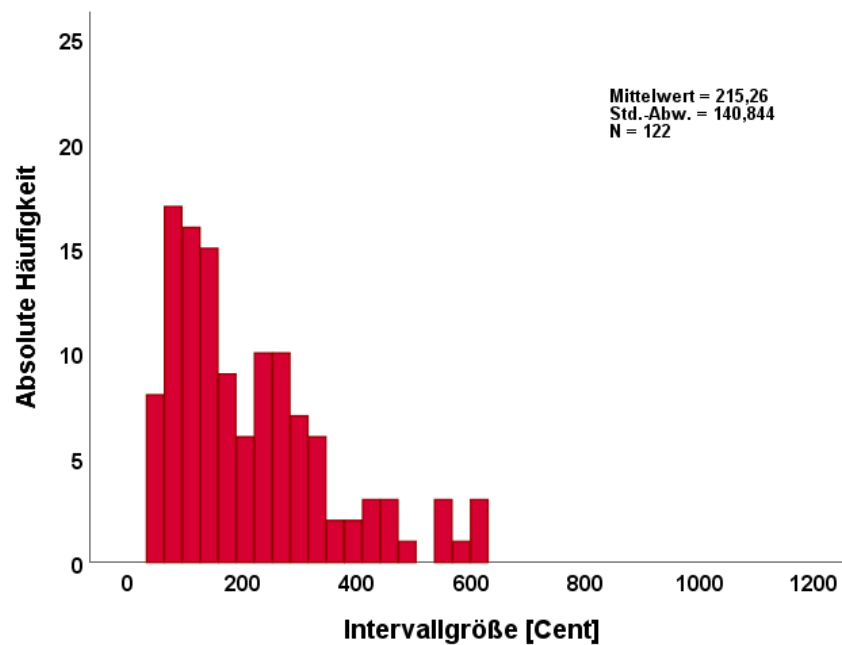


Abbildung 47  $\lrcorner$ -SF- (steigende IV)

Bin-Breite 31,5; 1. Modalbin: 63–94,5; 2. Modalbin: 220,5–283,5

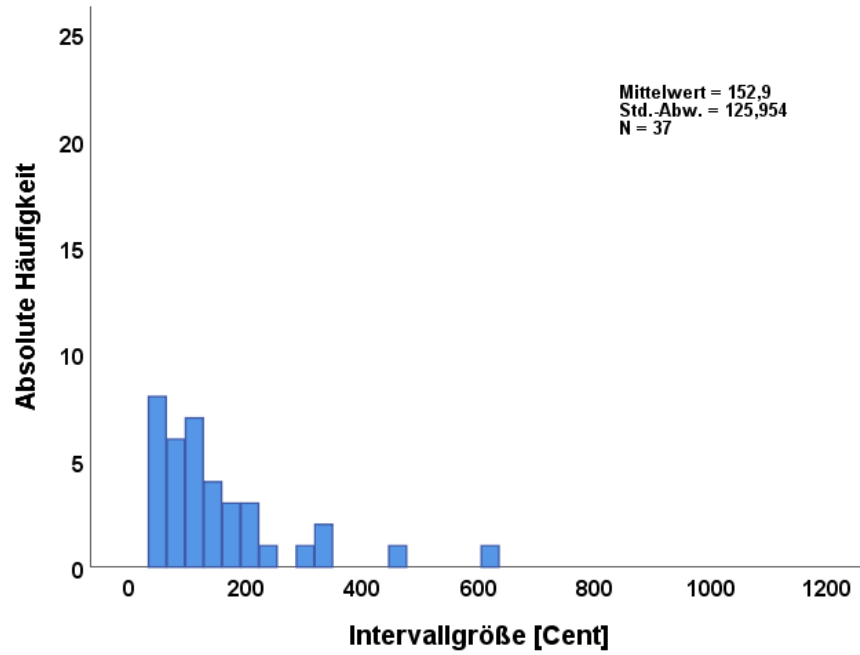



Abbildung 48  -FS- (fallende IV)  
Bin-Breite 31,8; Modalbin: 31,8–63,6

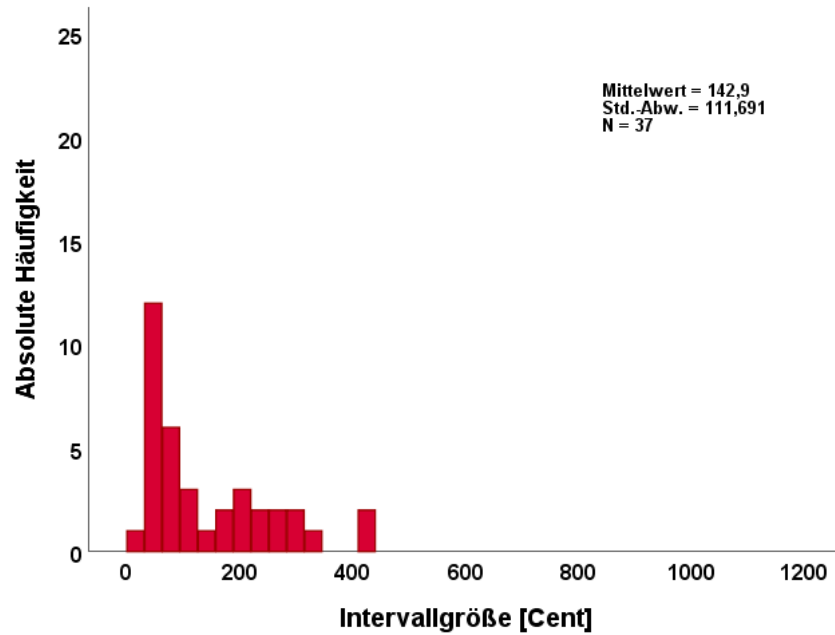



Abbildung 49  -FS- (steigende IV)  
Bin-Breite 31,5; Modalbin: 31,5–62,5

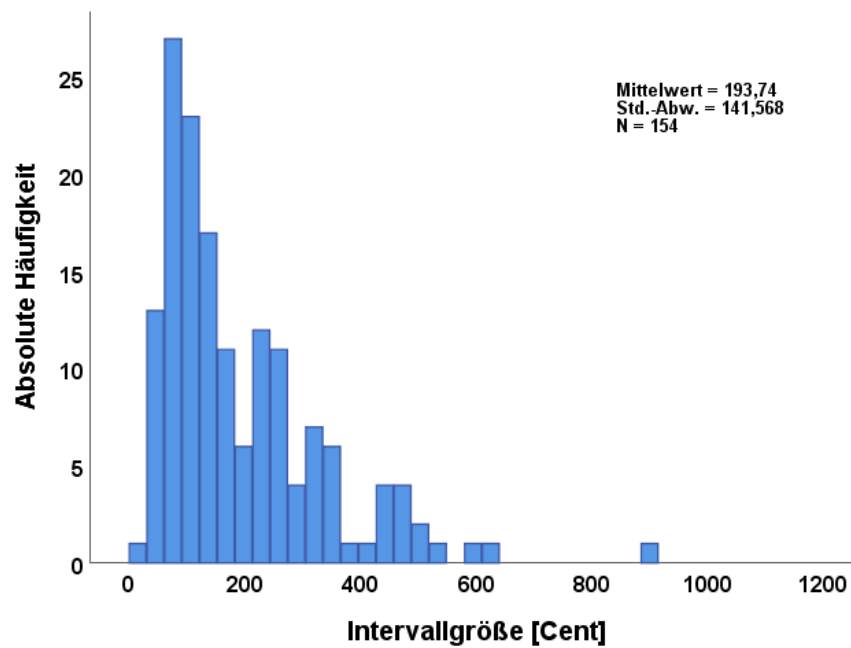



Abbildung 50  -FF- (alle fallenden IV)

Bin-Breite 31,5; 1. Modalbin: 62,5–94; 2. Modalbin: 220,5–252

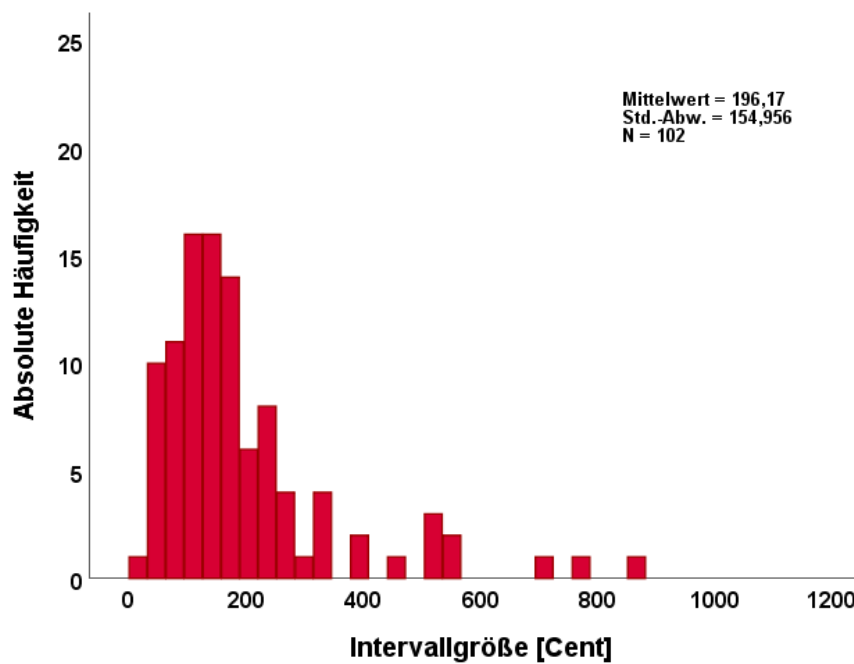



Abbildung 51  -SS- (alle steigenden IV)

Bin-Breite 31,5; Modalbin: 94,5–157,5

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die Intervalle im Modalbin in einem Bereich der kleinen Sekunde bis etwas über eine große Sekunde bündeln. Maximalwerte konnten von einer großen Terz bis hin zu einer großen Septime identifiziert werden. Alle Verteilungen zeigten mehr oder weniger markante Peaks, die im Modalbin den Intervallcodes des Einzelintervalls (-1-) innerhalb 1B-Melodien ähnelten.

### 3.5 Charakterisierung von komplexeren Melodien und ihrer Melodieintervalle

Die Melodiekomplexität ist ein Maß für die Anzahl kombinierter Bögen in einer Lautmelodie (Wermke et al. 2007). Hier wurde die erste Stufe der Komplexität, die Doppelbogenstruktur der Melodie (2B), untersucht.

In diesem Kapitel werden zunächst Zeit- sowie Frequenzcharakteristika der 2B-Melodien vorgestellt, bevor nachfolgend die Ergebnisse der quantitativen Analyse der Intervallcodes -1- und -12- und die identifizierten Intervallmuster berichtet werden.

#### 3.5.1 Analyse der Dauer und Bogenform der doppelböigen Melodien (2B)

##### 3.5.1.1 Melodiegesamtlänge (2B)

Die Melodiegesamtlängen der Doppelbögen zeigten im Verlauf des 2. bis 4. Monats ähnliche Medianwerte (Tabelle 36, Abbildung 52). Sie liegen höher als die Medianwerte des 1. Monats (1,27 s). Die zum Boxplot gehörige deskriptive Statistik wird in Tabelle 36 präsentiert.

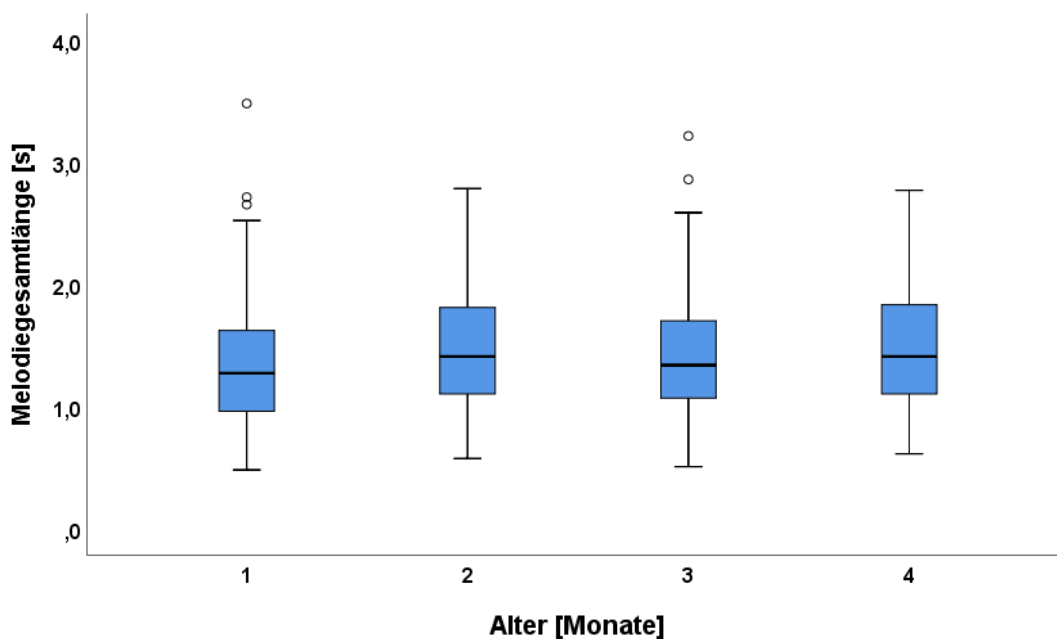


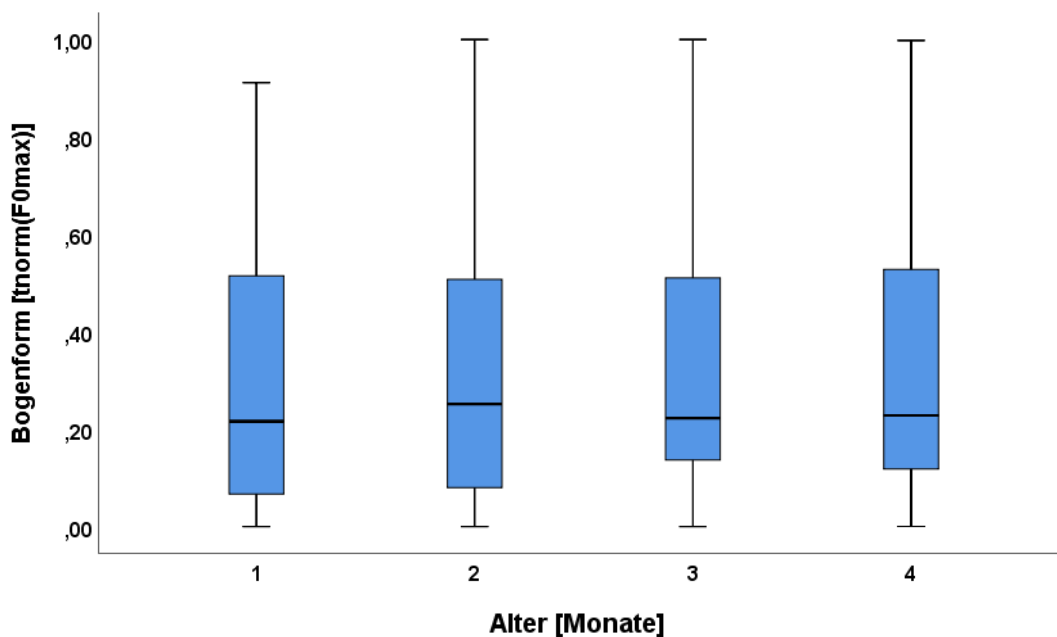
Abbildung 52 Boxplot: Melodiegesamtlänge (2B) pro Monat über den Untersuchungszeitraum

**Tabelle 36** Deskriptive Statistik für die Melodiegesamtlänge (2B) über den Untersuchungszeitraum

		Alter [Monate]			
		1	2	3	4
		<i>N</i> =108	<i>N</i> =159	<i>N</i> =149	<i>N</i> =122
<i>Median</i>	[s]	1,27	1,41	1,33	1,41
<i>Mittelwert</i>	[s]	1,34	1,45	1,40	1,49
<i>SD</i>	[s]	0,55	0,48	0,47	0,49
<i>Minimum</i>	[s]	0,48	0,57	0,51	0,61
<i>Maximum</i>	[s]	3,48	2,79	3,22	2,77

### 3.5.1.2 Gestalt der doppelböigen Melodien (2B)

Im Nachfolgenden werden die Melodiekonturen (Bogenform) und deren Einteilung in die drei Form-Klassen (Kapitel 2.4.3) dargestellt. Wie Abbildung 53 zeigt, liegen die Medianwerte im ersten Viertel der zeitnormierten Lautmelodien ( $t_{\text{NORM}}(F_{0\text{MAX}}) \leq 0,45$ ).



**Abbildung 53** Boxplotdiagramm der Bogenform (2B) über den Untersuchungszeitraum

Dargestellt sind die Verteilungseigenschaften der  $t_{\text{NORM}}(F_{0\text{MAX}})$ -Werte der Gesamtmelodie (nicht der jeweiligen Einzelbögen). Die dazugehörige deskriptive

Statistik ist in Tabelle 37 aufgeführt. Die Werte unterscheiden sich über den Untersuchungszeitraum kaum.

Tabelle 38 zeigt die Häufigkeitsverteilung (absolut und relativ) der Form-Klassen (1 – 3).

**Tabelle 37**      **Deskriptive Statistik der Bogenform (2B) über vier Monate**

		Alter [Monate]			
		1	2	3	4
		<i>N</i> =108	<i>N</i> =159	<i>N</i> =149	<i>N</i> =122
<i>Median</i>	[t <sub>NORM</sub> (F <sub>0MAX</sub> )]	0,21	0,25	0,22	0,22
<i>Mittelwert</i>	[t <sub>NORM</sub> (F <sub>0MAX</sub> )]	0,29	0,32	0,34	0,34
<i>SD</i>	[t <sub>NORM</sub> (F <sub>0MAX</sub> )]	0,26	0,29	0,29	0,30
<i>Minimum</i>	[t <sub>NORM</sub> (F <sub>0MAX</sub> )]	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>Maximum</i>	[t <sub>NORM</sub> (F <sub>0MAX</sub> )]	0,91	>0,099	>0,099	0,99

**Tabelle 38**      **Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Form-Klassen (2B) im Untersuchungszeitraum**

Form-Klasse	Alter [Monate]				Gesamt <i>N</i> =538
	1	2	3	4	
	<i>N</i> =108	<i>N</i> =159	<i>N</i> =149	<i>N</i> =122	
1	79 (73,1)	111 (69,8)	108 (72,5)	86 (70,5)	384 (71,4)
2	6 (5,55)	10 (6,2)	4 (2,7)	7 (5,7)	27 (5,0)
3	23 (21,3)	38 (23,9)	37 (24,8)	29 (23,8)	127 (23,6)

Wie in Kapitel 3.3.3 herausgearbeitet wurde, enthielten 2B-Melodien in 36 % der Fälle Intervalle des Codes -1- und -12- (einfaches Intervallmuster). Diese werden nachfolgend quantitativ charakterisiert.

### **3.5.2 Einzelintervalle (-1-) als Substrukturen im Doppelbogen (2B)**

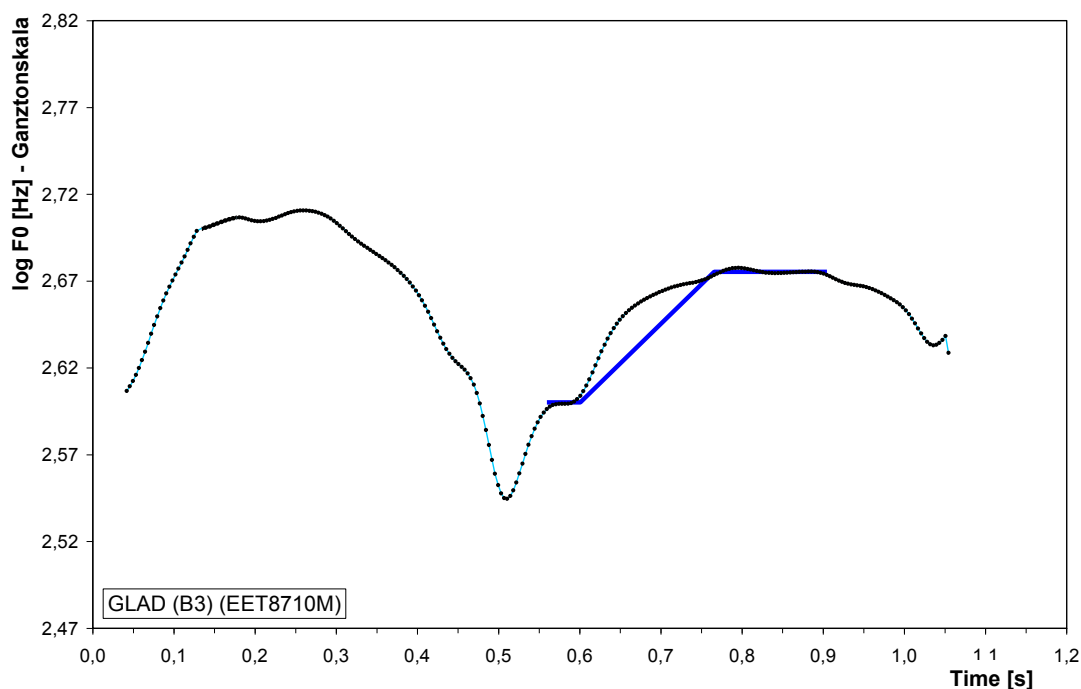
Wie Tabelle 24 in Kapitel 3.3.3 zu entnehmen ist, konnte das Einzelintervall des Codes -1- lediglich in 8 Fällen innerhalb der untersuchten Doppelbögen (2B) identifiziert werden. Aufgrund dieser geringen Anzahl werden im weiteren Verlauf die Charakteristika und temporalen Eigenschaften der Einzelintervalle (-1-) im Doppelbogen nicht im Detail aufgeführt.

Die identifizierten Doppelbögen mit Intervallen des Codes -1- wurden als Sonderfälle eingestuft und können in drei Gruppen zusammengefasst werden, die sich in der Struktur ähneln; diese werden im Folgenden anhand eines jeweiligen Beispiellauts in Form eines Melodie- und Intensitätsdiagramms (Abbildung 54 – Abbildung 56) gezeigt und erläutert.



**Sonderfall 1: Die Übergangszeit zwischen zwei Bögen zeigt eine Länge von <math><50\text{ ms}</math> ( $N=3$ )**

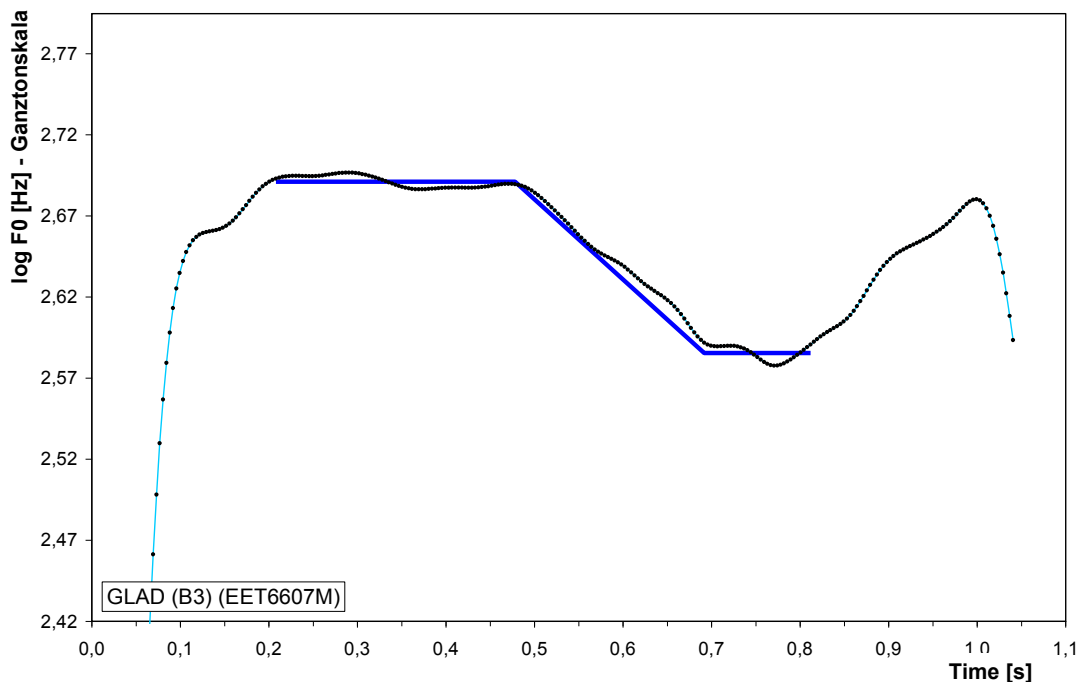
In Abbildung 54 ist ein Beispiellaut abgebildet, bei dem die Übergangszeit zwischen den beiden Bögen mit einer Dauer von weniger als 50 ms gemessen wurde. Bei der Intervallvermessung konnte der Übergangsbereich aufgrund des Mindestlängenkriteriums (Kapitel 2.4.5.1) von 50 ms also für das hier dritte (die beiden Bögen verbindende) Plateau nicht eingehalten werden. Somit wurde der unten gezeigten Lautmelodie der Intervallcode -1-, der Code eines Einzelintervalls, zugewiesen.



**Abbildung 54** Melodiediagramm (CDAP) – Beispiel für eine doppelböigige Melodie mit einem Bogenübergangsbereich <math><50\text{ ms}</math> (2B; -1-)

**Sonderfall 2: Einer der beiden Melodiebögen ist ein „Spitzbogen“ (N=2)**

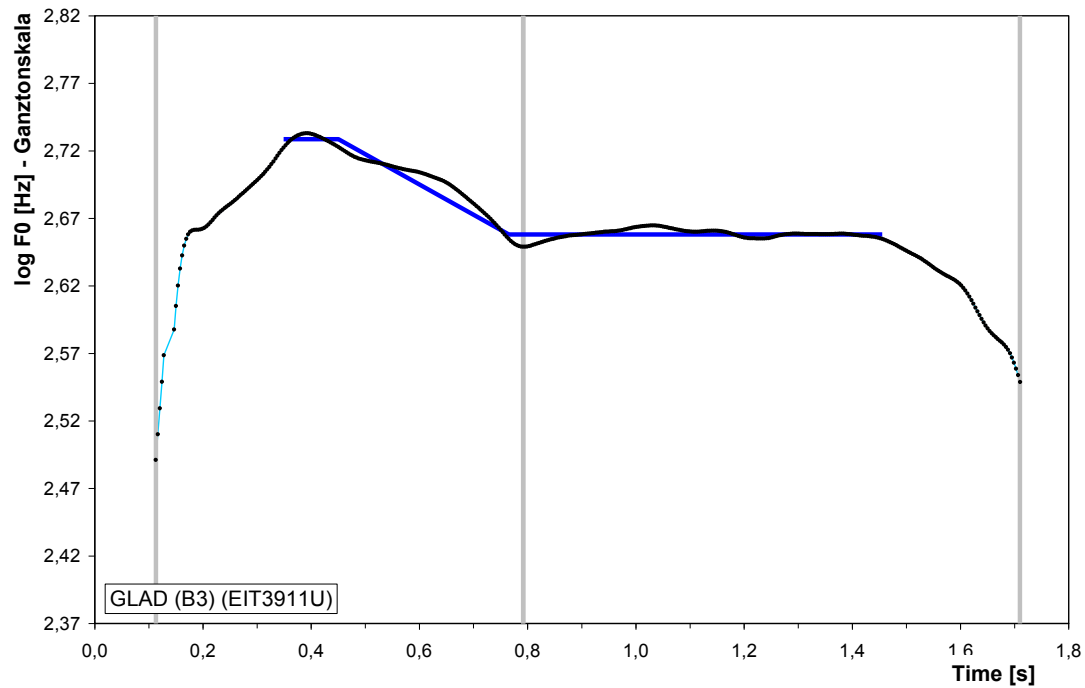
In zwei Doppelbogen-Melodien (2B) konnte aufgrund einer sehr spitzen Form, welche aber die Messkriterien für „Spitzbögen“ nicht erfüllte (Kapitel 2.4.5.1, vgl. Anlage 2), im 2. Bogen kein weiteres Plateau eingezeichnet werden. In einem der beiden Melodien war der erste Bogen ein Spitzbogen. Im hier dargestellten zweiten Laut (Abbildung 55) war der Spitzbogen der zweite Bogen. Auch wenn ein Intervall auditiv zu hören war, konnte den zwei Lauten aufgrund der definierten Messmethode (Kapitel 2.4.5.1) nur der Intervallcode -1- (für das erste Melodieintervall) zugewiesen werden.



**Abbildung 55** Melodiediagramm (CDAP) – Beispiel für eine doppelböge Melodie (2B) mit einem „Spitzbogen“ (Plateaulänge <50 ms)

**Sonderfall 3: 2B-Melodie mit hörbarem Einzelintervall (N=3)**

Drei Lautmelodien wurde gemäß den Kriterien der Strukturkategorie-Einteilung (Kapitel 2.4.2) die Doppelbogenstruktur des Typ IIIa (Wermke 2002) zugeordnet. Gemäß der Intervallvermessungskriterien konnte in den Melodieverlauf ein Einzelintervall (-1-) eingezeichnet werden (Abbildung 56).



**Abbildung 56 Melodiediagramm (CDAP) – Beispiel für eine doppelböige Melodie (2B) mit hörbarem Einzelintervall (-1-)**

### 3.5.3 Doppelintervalle (-12-) als Substruktur der doppelböigen Melodien (2B)

#### 3.5.3.1 Temporale Eigenschaften

Im Folgenden werden die Melodiegesamtlängen (Abbildung 57) der Doppelbogenstruktur (2B) mit Intervallen des Codes -12- und deren Intervalllängen (Abbildung 58) berichtet. Gemäß dem Shapiro-Wilk-Test waren die Melodiegesamtlängen ( $p=0,635$ ) sowie die Intervalllängen ( $p=0,489$ ) hinreichend Log-normalverteilt. In Tabelle 39 werden die dazugehörigen deskriptiven Statistiken gezeigt.

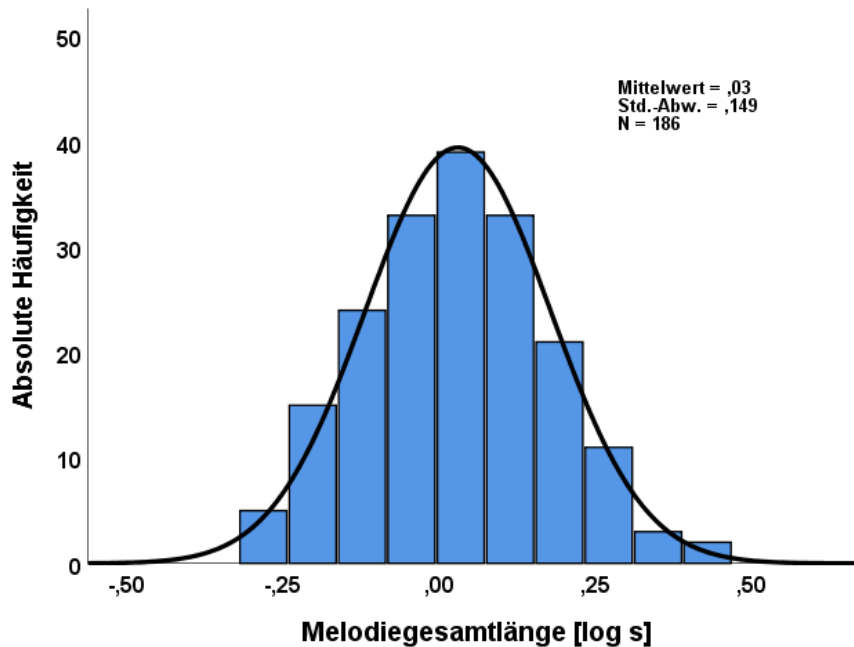
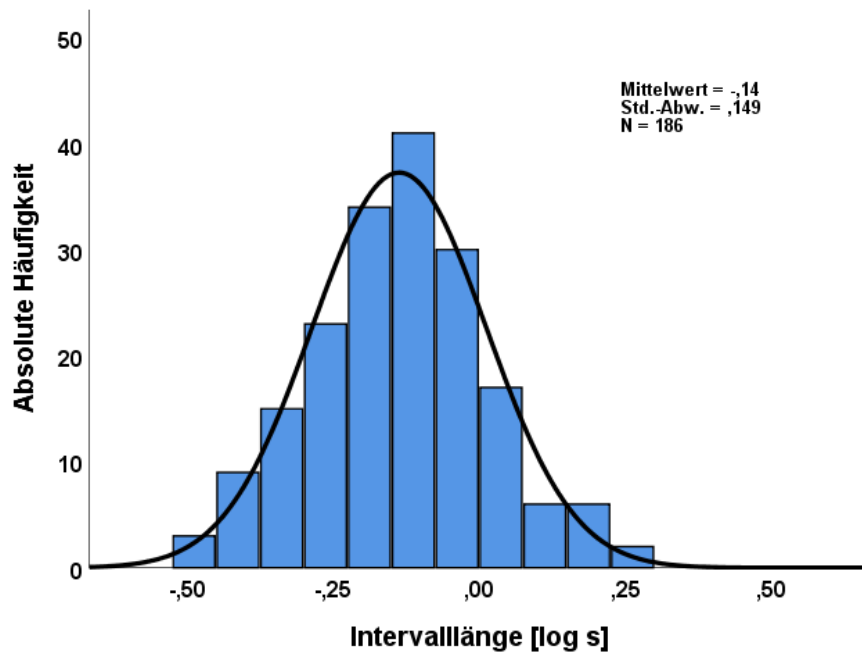


Abbildung 57 Histogramm der Melodiegesamtlängen (-12- in 2B)

Bin-Breite 0,079



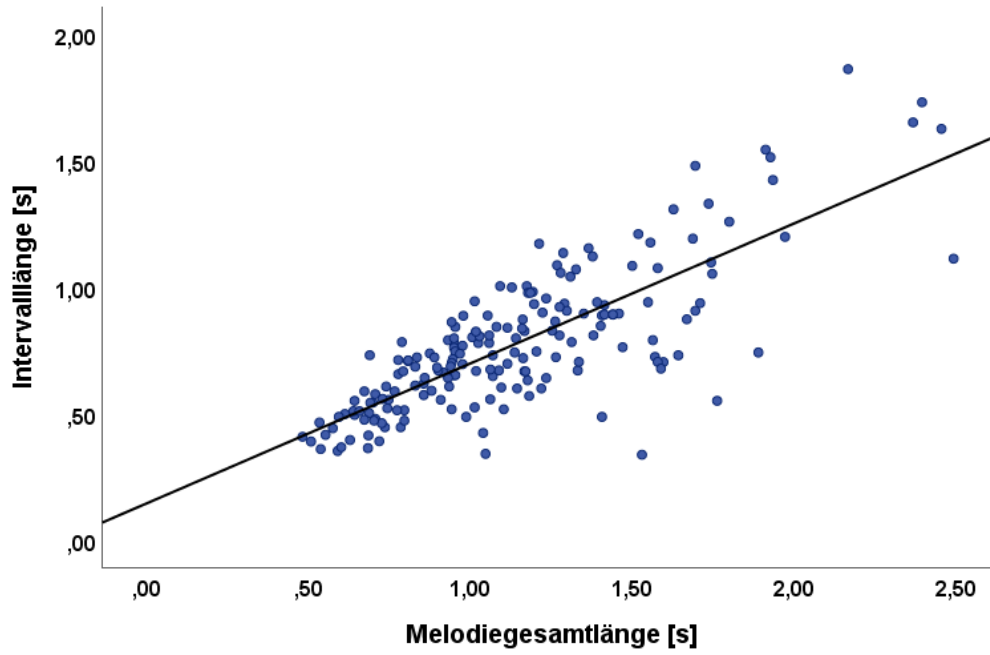
**Abbildung 58** Histogramm der Intervalllängen (-12- in 2B)

Bin-Breite 0,075

**Tabelle 39** Melodiegesamt- und Intervalllängen (-12- in 2B)

		Melodiegesamtlänge N=186	Intervalllänge N=186
<i>Median</i>	[s]	1,06	0,72
<i>Mittelwert</i>	[s]	1,13	0,77
<i>SD</i>	[s]	0,39	0,27
<i>Minimum</i>	[s]	0,48	0,33
<i>Maximum</i>	[s]	2,49	1,86

Die Längen der Intervalle des Codes -12- variierten zwischen 0,33 s–1,86 s. Der Zusammenhang zwischen der Melodiegesamtlänge und der Intervalllänge wird in Abbildung 59 anhand eines Streudiagramms veranschaulicht.

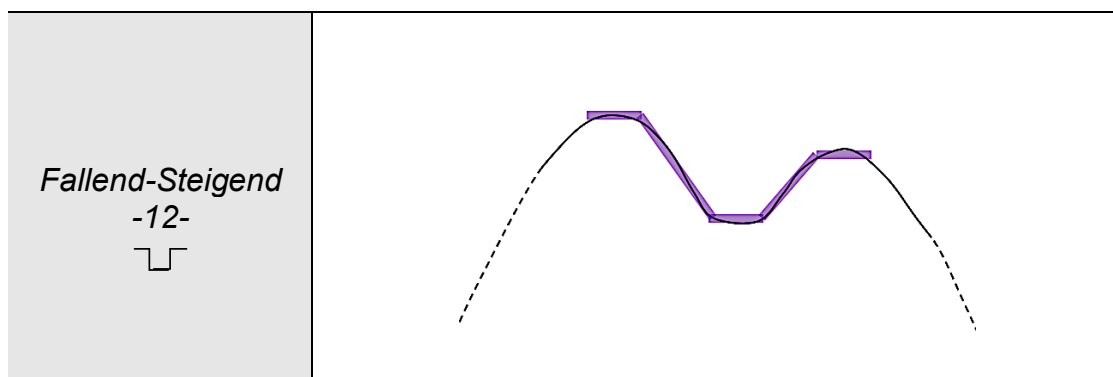


**Abbildung 59** Streudiagramm: Zusammenhang zwischen Melodiegesamt- und Intervalllänge (-12- in 2B)

### 3.5.3.2 Die Verlaufsrichtung der Intervallmuster (-12- in 2B)

In doppelböigen Melodien (2B) wurden die gleichen Intervallmuster identifiziert, die auch in einböigen Melodien (1B) auftraten (Tabelle 32; Kapitel 3.4.3). Das in Tabelle 40 skizzierte Muster einer Fallend-Steigend-Kombination (-12-, -FS-, 2B) machte in den untersuchten 2B-Lautmelodien den größten Anteil aus (Abbildung 60). Sie ähnelt der Fallend-Steigend-Struktur in 1B-Melodien (Tabelle 32), jedoch verbindet das Muster in 2B-Melodien zwei ausgeprägte Bögen miteinander. Neben der vorherrschenden Struktur -FS- wurden in 2B-Melodien aber auch die anderen Intervallmuster (vgl. Tabelle 32) identifiziert. Die weiteren einfachen Intervallmuster wurden in Doppelbögen vorherrschend auf einem der Bögen analysiert. Das Muster, welches beide Bögen einbezog, war demnach ausschließlich das in Tabelle 40 dargestellte (-FS-).

**Tabelle 40** Skizze des am häufigsten beobachteten Intervallmusters in 2B-Melodien. Kombination: Fallendes und steigendes Intervall (-FS-)



Wie in Abbildung 60 dargestellt, konnten alle der in Tabelle 32 gezeigten Intervallmuster in 2B-Melodien analysiert werden.

Im Gegensatz zu den identifizierten Verlaufsrichtungen der Intervallmuster des Codes -12- in 1B (vgl. Kapitel 3.4.3.2), in denen pro Lebensmonat unterschiedliche Muster mehrheitlich vorkamen, überwog innerhalb der -12-Codes in 2B-Melodien deutlich das Muster aus einem fallenden (F) und einem nachfolgendem steigenden (S) Intervall (-FS-) über alle Monate (Tabelle 40).

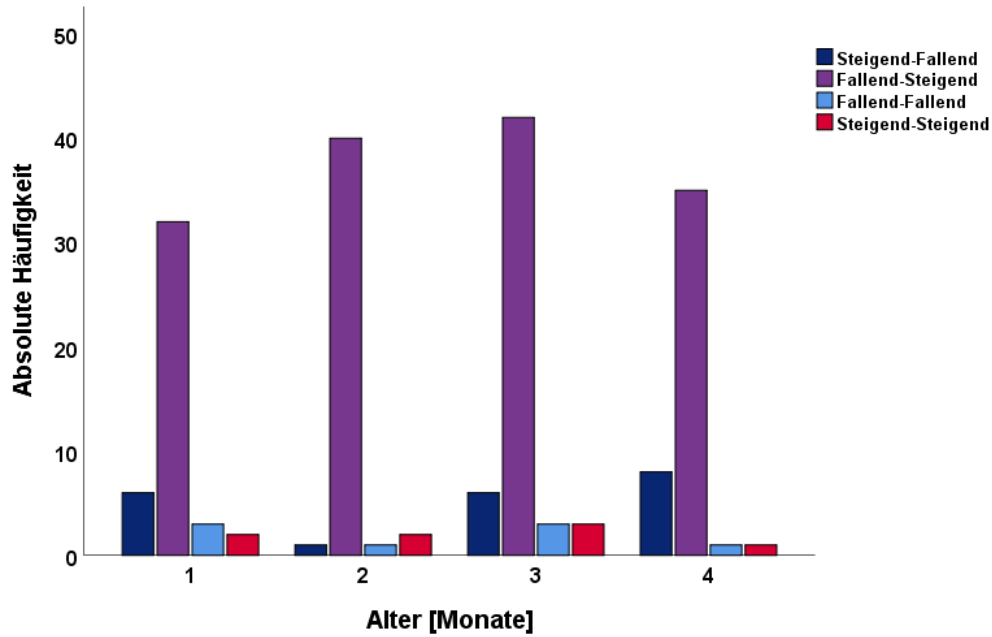


Abbildung 60 Absolute Häufigkeiten der Intervallmuster (-12- in 2B)

Tabelle 41 zeigt die Werte der absoluten sowie relativen Häufigkeiten (pro Monat) der Intervallmuster in 2B-Melodien.

Tabelle 41 Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallmuster (-12- in 2B)

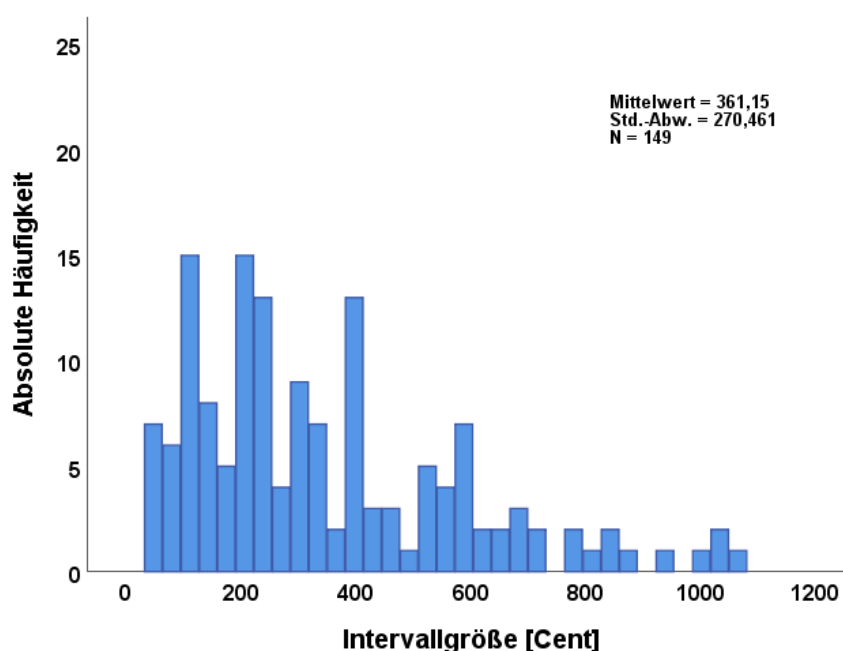
	Alter [Monate]				Gesamt N=186
	1 N=43	2 N=44	3 N=54	4 N=45	
⌋⌋ Steigend-Fallend N=21	6 (13,95)	1 (2,3)	6 (11,1)	8 (17,8)	21 (11,3)
⌋⌋ Fallend-Steigend N=149	32 (74,4)	40 (90,9)	42 (77,8)	35 (77,8)	149 (80,1)
⌋⌋ Fallend-Fallend N=8	2 (4,65)	2 (4,5)	3 (5,55)	1 (2,2)	8 (4,3)
⌋⌋ Steigend-Steigend N=8	3 (7,0)	1 (2,3)	3 (5,55)	1 (2,2)	8 (4,3)

Aufgrund des Vorherrschens des Fallend-Steigend-Musters (-12-; -FS-) aus Tabelle 40 und des gleichzeitig sehr geringen Auftretens der anderen Intervallmuster werden nachstehend ausschließlich die Ergebnisse der quantitativen Analyse der doppelböigen Melodien des -FS- Intervallmusters untersucht.



### 3.5.3.3 Frequenzratio spezifischer Intervallmuster (-FS-; -12-) in doppelböigen Melodien (2B)

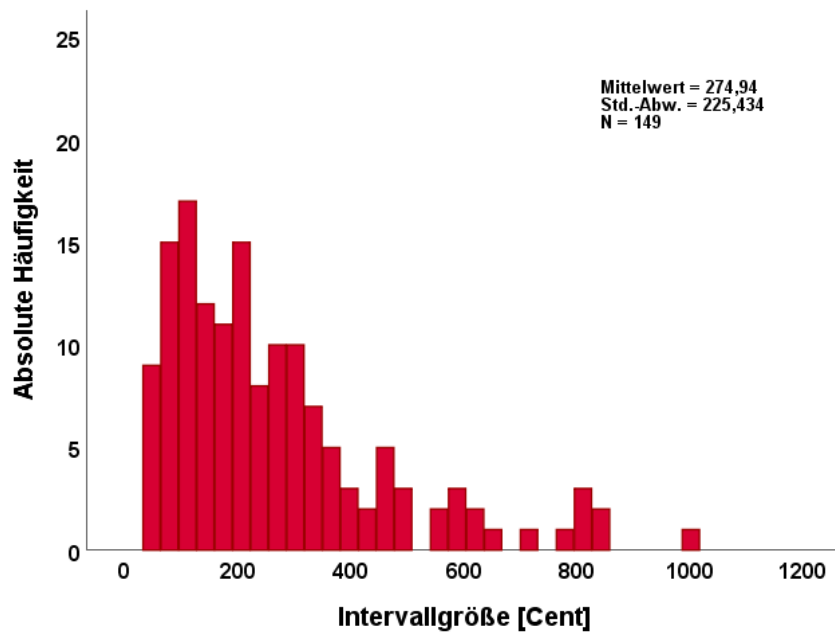
Die Verteilungseigenschaften der Frequenzratios der Intervalle des Bogenübergangsbereichs (-FS-) (Tabelle 40) werden im Folgenden für die fallenden und steigenden Intervalle des -12- Codes getrennt voneinander aufgeführt. Die berechneten Ratios der fallenden Intervalle sind in Abbildung 61 gezeigt und die Ratios der steigenden Intervalle in Abbildung 62. Die dazugehörige deskriptive Statistik ist in Tabelle 42 aufgeführt.



**Abbildung 61** Frequenzratio der fallenden Intervalle des -FS- Musters  $\square$  (-12- in 2B)

Aus Gründen der vergleichenden Darstellung zu Abbildung 62 sind zwei Werte hier nicht dargestellt: CV2811M (1512,64 Cent) und DT3802M (1443,07 Cent).

Bin-Breite 31,8; 1. Modalbin: 95,4–127,2; 2. Modalbin 190,8–222,6; 3. Modalbin 381,6–413,4



**Abbildung 62** Frequenzratio der steigenden Intervalle des -FS- Musters  $\square$  (-12- in 2B)

Aus Gründen der vergleichenden Darstellung zu Abbildung 61 ist ein Wert hier nicht dargestellt: CV2811M (1617,08 Cent)

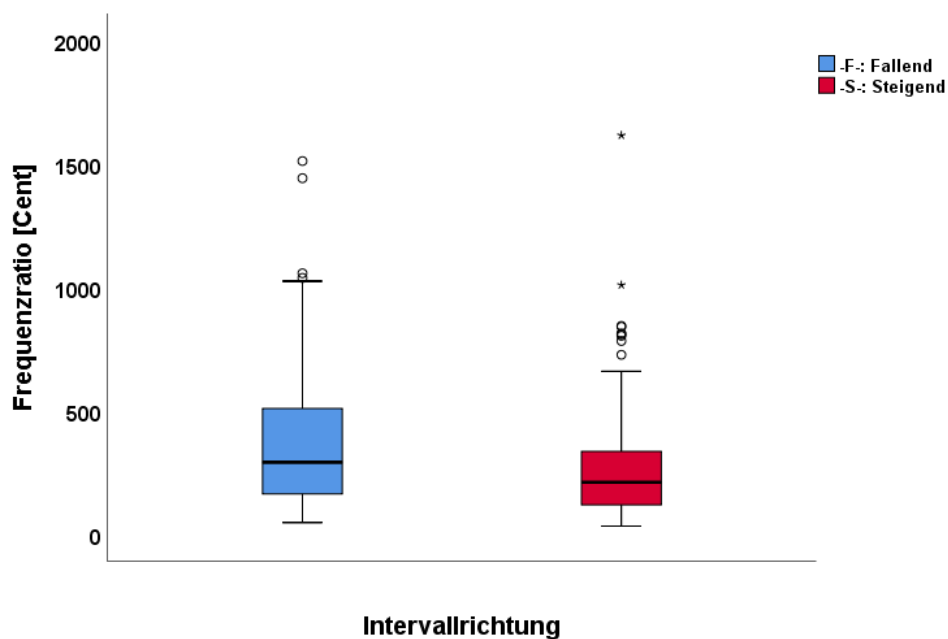
Bin-Breite 31,8; 1. Modalbin: 95,4–127,2; 2. Modalbin 190,8–222,6; 3. Modalbin 254,4–318

Vergleicht man die Histogramme der fallenden (Abbildung 61) sowie steigenden (Abbildung 62) Ratios der Einzelintervalle des Codes -12- und -FS- Musters, so wird sichtbar, dass die Histogramme an gleichen Positionen Peaks der absoluten Häufigkeiten (1. Modalbin 95,4–127,2 Cent und 2. Modalbin 190,8–222,6 Cent) zeigen. Das Minimum (47 Cent) liegt bei den fallenden Intervallen bei einem Wert, der kleiner ist als ein Halbton (100 Cent). Bei den steigenden Intervallen tritt das Minimum noch niedriger (32 Cent) auf. Der Maximalwert erreicht mit 1513 Cent ein die Oktave übersteigendes musikalisches Intervall. Auch in der Ratio-Verteilung der steigenden Intervalle geht das größte Intervall über die Oktave mit einem Wert von 1617 Cent hinaus.

**Tabelle 42** Absolute Häufigkeiten der in Cent umgerechneten ermittelten Ratios der Plateaus der fallenden und steigenden Intervalle (-FS- in 2B)

		Frequenzratio	
		<i>Fallend (F)</i> N=149	<i>Steigend (S)</i> N=149
<i>Median</i>	[Cent]	291,34	210,17
<i>Mittelwert</i>	[Cent]	361,14	274,94
<i>SD</i>	[Cent]	270,46	225,43
<i>Minimum</i>	[Cent]	46,53	32,43
<i>Maximum</i>	[Cent]	1512,64	1617,08

Die beiden Intervallrichtungen und deren Frequenzratios sind in Abbildung 63 vergleichend dargestellt. Anhand der Abbildung wird deutlich, dass die fallenden Einzelintervalle in dem hier untersuchten -FS- Muster (-12-) im Vergleich zu den steigenden Einzelintervallen einen höheren Medianwert zeigen.



**Abbildung 63** Boxplotdiagramm: Frequenzratios der Einzelintervallrichtungen im Muster -FS- im Vergleich (-12- in 2B)

### **3.6 Modulvergleich der steigenden und fallenden Intervalle innerhalb 1B- und 2B-Melodien**

Wie in Kapitel 3.4.2.2 und 3.4.3.2 gezeigt wurde, konnten in den hier untersuchten einbögigen Melodien (1B) fallende und steigende Einzelintervalle isoliert sowie in Kombination in verschiedenen Intervallmustern identifiziert werden (Tabelle 32). In Doppelbögen (2B) trat überwiegend das Muster eines fallenden und nachfolgend steigenden Intervalls (-FS-) auf (Tabelle 40). Die Autorin untersucht im Folgenden die Intervallelemente der steigenden und fallenden Intervalle vergleichend in 1B- sowie 2B-Melodiestrukturen.



Für die Untersuchung der Annahme, dass Einzelintervalle (-1-) zu Doppelintervallen (-12-) kombiniert werden, wurden die Intervallelemente der steigenden und fallenden Einzelintervalle (-S- und -F-) der einfachen Bögen (1B) mit den jeweiligen Intervallelementen der steigenden und fallenden Intervalle des Codes -12- des Musters -FS- der Doppelbögen (2B) verglichen (vgl. Tabelle 12, Abbildung 15, Abbildung 16). Hierbei werden jeweils die Intervallelemente gleicher Richtung gegenübergestellt. Es werden nachfolgend Plateaulängen (LP1, LP2, LP3), Übergangslängen (LÜ1, LÜ2) und Frequenzeigenschaften (Hub und Steigung der Übergänge) der Richtungen analysiert. Tabelle 12 erläutert die hier zu vergleichenden Intervallelemente tabellarisch in Kapitel 2.4.5.4. Die Autorin hat die zu untersuchenden Module der Intervalle in Abbildung 15 (beispielhaft für ein fallendes Intervall, analoges gilt für ein steigendes Intervall) und Abbildung 16 (Intervallmuster aus fallendem und steigendem Intervall) skizziert.

Die zu vergleichenden Elemente der Module (Tabelle 12) sollen bezüglich temporaler Eigenschaften der Intervalle sowie spezifischer Charakteristika der Intervallmuster verglichen werden (Tabelle 9). Untersucht werden u.a.: Frequenzverhältnisse (Ratio), Plateau- und Übergangslängen und die „Steigung“ der Intervallübergänge. Die Steigung wurde in dieser Arbeit als das Frequenzverhältnis (Ratio) der beiden Plateaus über die Übergangszeit (Hub/Zeit [Hz/ms]) definiert (vgl. Kapitel 2.4.5.2).

### 3.6.1 Vergleich der fallenden Intervalle in 1B- (-1-) und 2B-Melodien (-12-)

#### 3.6.1.1 Temporale Eigenschaften der Melodiebögen mit fallendem Intervall

##### Intervall

Abbildung 64 zeigt die Häufigkeiten der logarithmierten Bogenlängen der einfachen Bogenstruktur mit fallendem Melodieintervall (1B: ) sowie des 1. Bogens der Doppelbogenmelodie mit dem fallenden Melodieintervall zum Bogenübergang (2B: ). Die Längen der Bogenmelodie innerhalb der 1B-Melodien zeigen nach dem Shapiro-Wilk-Test keine Log-Normalverteilung ( $p=0,030$ ). Der Shapiro-Wilk-Test ergab hingegen, dass die 2B-Melodien Log-normalverteilt ( $p=0,117$ ) waren. Die nicht logarithmierten Werte werden in Tabelle 43 beschrieben.

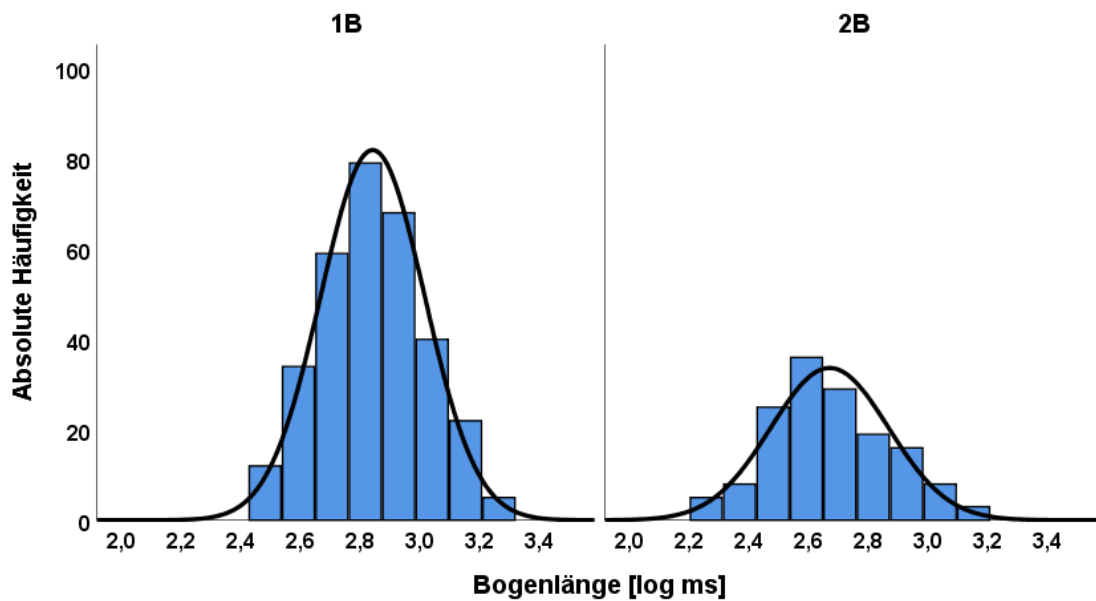


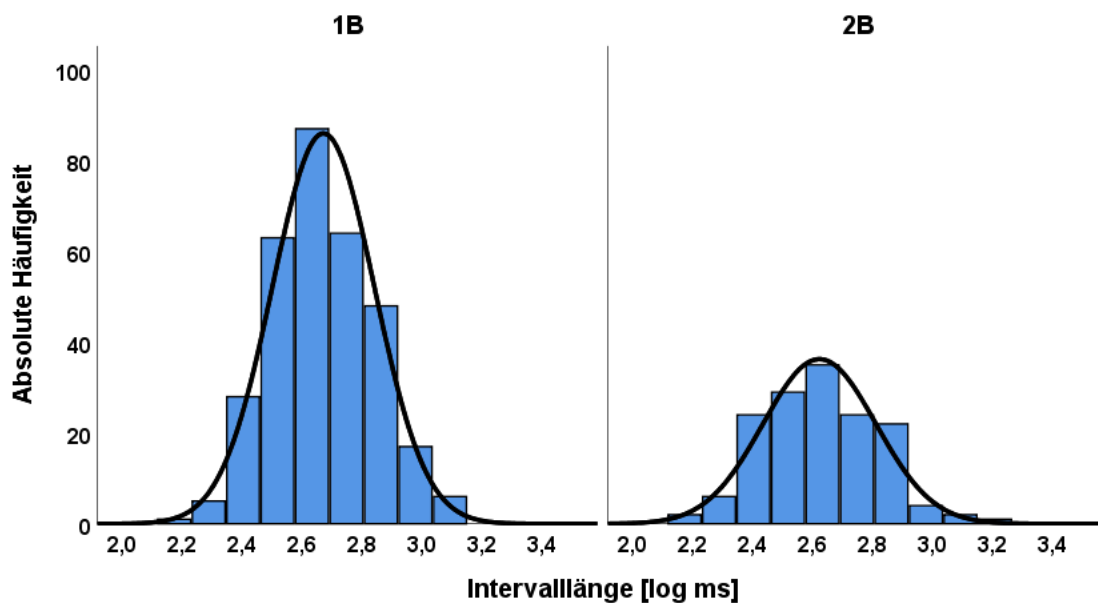
Abbildung 64 Histogramme der Bogenlängen in 1B  und des 1. Bogens in 2B  mit fallendem Intervall

Bin-Breite 0,112

**Tabelle 43** Deskriptive Statistik der Bogenlängen (nicht logarithmiert) in Melodien mit fallendem Intervall

		Bogenlänge	
		1B N=319	2B N=149
<i>Median</i>	[ms]	701,25	446,25
<i>Mittelwert</i>	[ms]	750,29	519,46
<i>SD</i>	[ms]	309,89	257,13
<i>Minimum</i>	[ms]	300,00	183,75
<i>Maximum</i>	[ms]	1736,25	1526,25

Abbildung 65 zeigt die logarithmierten Längen der fallenden Einzelintervalle in 1B-Melodien und die fallenden Einzelintervalle des -12- Codes in 2B-Melodien im Histogramm. Die Intervalllängen sind in beiden Melodiestructuren nach Berechnung des Shapiro-Wilk-Tests hinreichend Log-normalverteilt (1B:  $p=0,306$ ; 2B:  $p=0,537$ ). Die nicht logarithmierten Werte sind in Tabelle 44 berichtet.



**Abbildung 65** Histogramme der Intervalllängen der fallenden Intervalle in 1B und 2B

Bin-Breite 0,115

**Tabelle 44**      **Deskriptive Statistik zu den Intervalllängen (nicht logarithmiert)**

		Intervalllänge	
		<i>1B</i> N=319	<i>2B</i> N=149
<i>Median</i>	[ms]	461,25	412,50
<i>Mittelwert</i>	[ms]	505,05	460,97
<i>SD</i>	[ms]	204,08	216,16
<i>Minimum</i>	[ms]	161,25	150,00
<i>Maximum</i>	[ms]	1196,25	1548,75

### 3.6.1.2 Ergebnis der Analyse der Intervallplateaulängen (fallende Intervalle)

Die Analyse der Plateaulängen in fallenden Intervallen in 1B- und 2B-Melodien erfolgte, um Ähnlichkeiten der Intervallelemente zu untersuchen, welche Hinweise auf eine modulare Kombination von Einzelintervallen (-1-) zu Doppelintervallen (-12-) liefern können.

Betrachtet man die im Boxplot (Abbildung 66) blau dargestellten Plateaulängen des 1. Plateaus (LP1) der fallenden Intervalle, so zeigte sich im Vergleich zwischen den Intervallen innerhalb der 1B- und 2B-Melodien ein Längenunterschied von nur 22,5 ms (Mediandifferenz). Die deskriptiven statistischen Werte sind in Tabelle 45 aufgeführt. Das Minimum von 50 ms ist methodenbedingt.

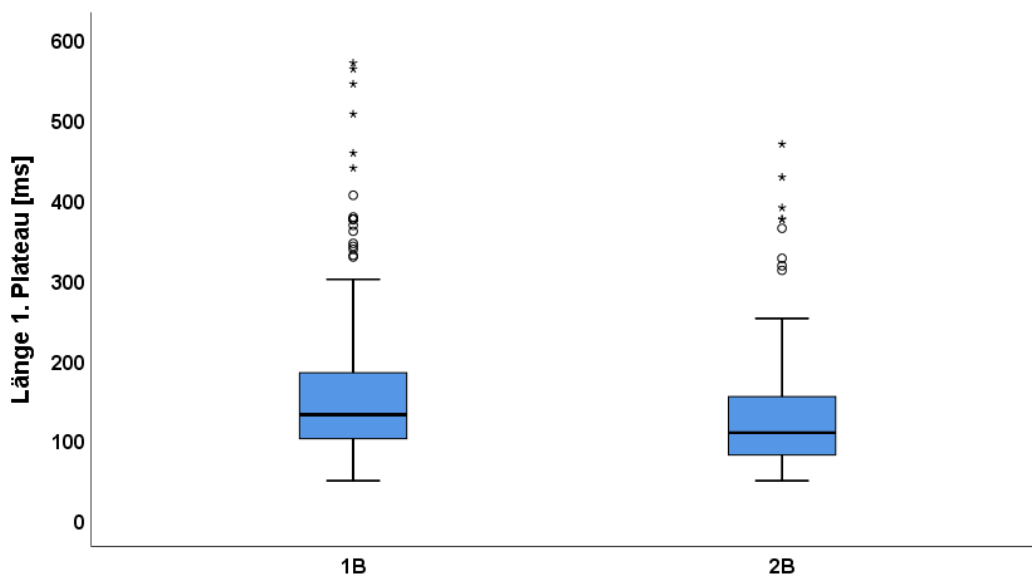


Abbildung 66 Längen des 1. Plateaus der fallenden Intervalle in 1B  und 2B 



Abbildung 67 zeigt die Längen der 2. Plateaus (LP2). Hier ist die Medianwertdifferenz geringfügig größer (34 Cent) (Tabelle 45).

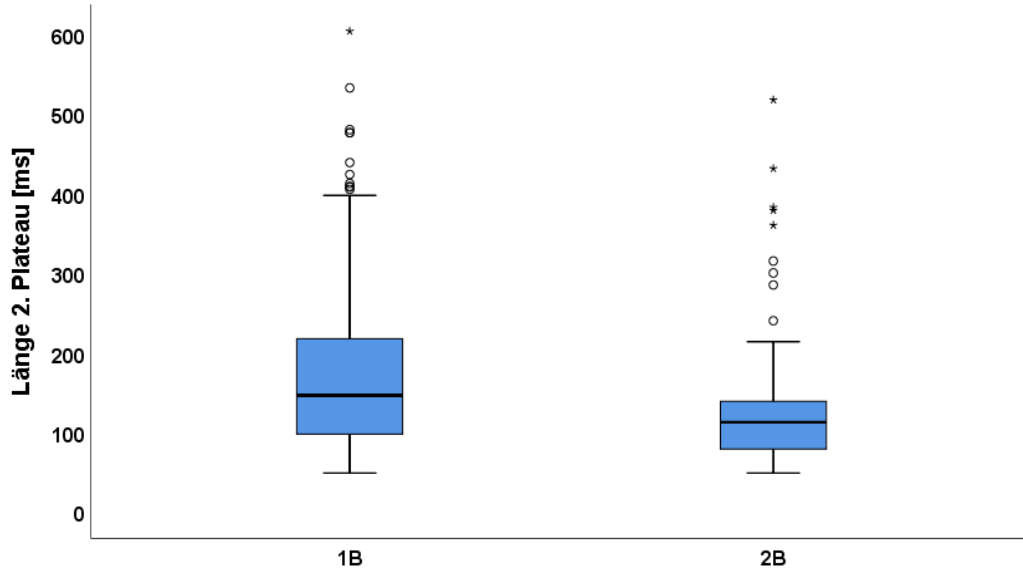


Abbildung 67 Längen des 2. Plateaus der fallenden Intervalle in 1B  und 2B 

Tabelle 45 Längen der Plateaus der fallenden Intervalle in 1B und 2B

		Länge	Länge	Länge	Länge
		1. Plateau	1. Plateau	2. Plateau	2. Plateau
		1B	2B	1B	2B
		N=319	N=149	N=319	N=149
<i>Median</i>	[ms]	131,25	108,75	146,25	112,50
<i>Mittelwert</i>	[ms]	152,84	131,51	171,20	124,18
<i>SD</i>	[ms]	87,18	77,67	98,76	73,04
<i>Minimum</i>	[ms]	50,00	50,00	50,00	50,00
<i>Maximum</i>	[ms]	570,00	468,75	603,75	517,50

### 3.6.1.3 Ergebnis der Analyse der Intervallübergangslängen der fallenden Intervalle

Bei Betrachtung der Übergangslängen (LÜ1) vom höheren Frequenzplateau zum tieferen Plateau wird im Boxplot (Abbildung 68) sichtbar, dass die Übergänge der fallenden Intervalle in 2B-Melodien geringfügig länger sind als die Übergangslängen der Einzelintervalle in 1B-Melodien (Medianwertdifferenz: 28 Cent). Die dazugehörigen statistischen Werte sind in Tabelle 46 aufgeführt.

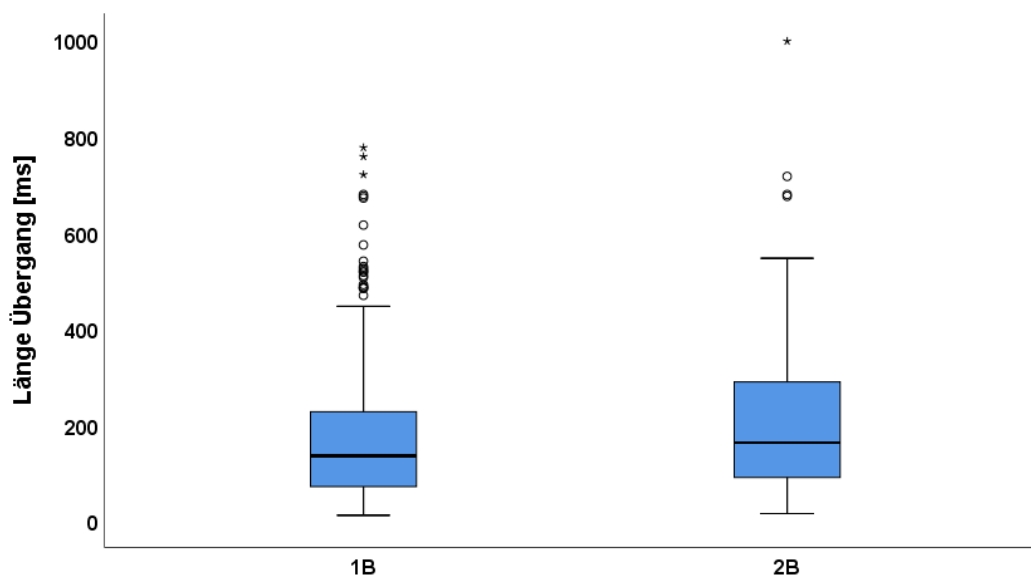


Abbildung 68 Boxplot der Übergangslängen der fallenden Intervalle in 1B und 2B

Tabelle 46 Übergangslängen der fallenden Intervalle in 1B (-1-) und 2B (-12-)

		Länge Übergang	Länge Übergang
		1B	2B
		N=319	N=149
<i>Median</i>	[ms]	135,00	162,50
<i>Mittelwert</i>	[ms]	181,00	205,27
<i>SD</i>	[ms]	147,19	162,08
<i>Minimum</i>	[ms]	11,25	15,00
<i>Maximum</i>	[ms]	776,25	997,50

### 3.6.1.4 Frequenzverhältnis (Ratio) der fallenden Intervalle

In Abbildung 69 sind die relativen Hübe der fallenden Intervalle der 1B- sowie 2B-Melodien dargestellt. Der Median unterscheidet sich um eine Differenz von 0,08. Die dazugehörige deskriptive Statistik wird in Tabelle 47 ersichtlich.

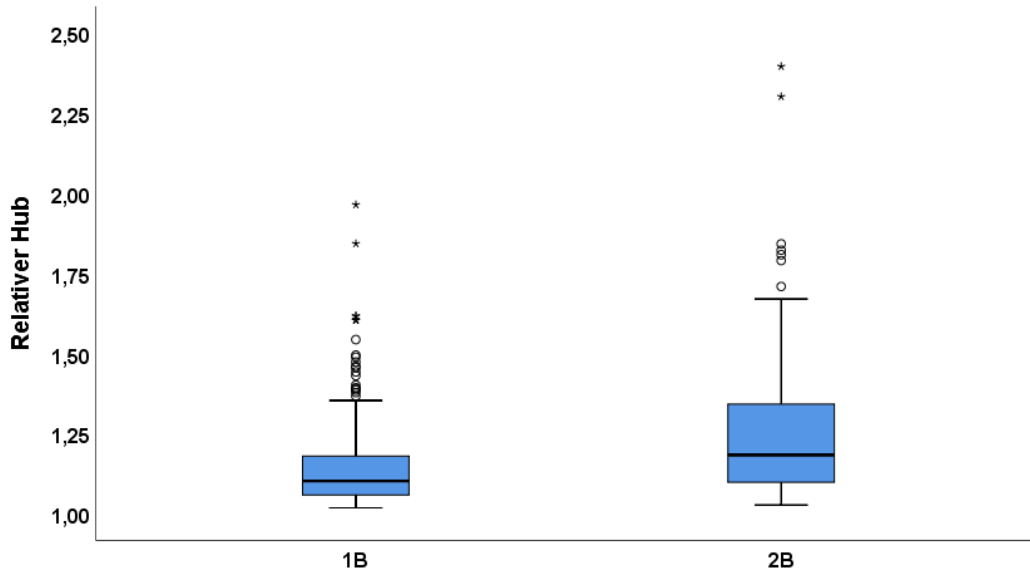


Abbildung 69 Boxplot der relativen Hübe der fallenden Intervalle in 1B und 2B

Tabelle 47 Relativer Hub der fallenden Intervalle in 1B und 2B

	Relativer Hub [P1/P2]	
	1B N=319	2B N=149
<i>Median</i>	1,10	1,18
<i>Mittelwert</i>	1,14	1,24
<i>SD</i>	0,13	0,22
<i>Minimum</i>	1,01	1,02
<i>Maximum</i>	1,96	2,39

### 3.6.1.5 Hub Übergangsgeschwindigkeit der fallenden Intervalle (Steigung)

Abbildung 70 zeigt die Verteilung des Quotienten der absoluten Hubdifferenz [Hz] durch die Übergangszeit [ms] im Boxplot. Diese Kenngröße wird in vorliegender Arbeit als „Steigung“ (Hub/Zeit; [Hz/ms]) definiert (Kapitel 2.4.5.2). Die dazugehörige deskriptive Statistik wird in Tabelle 48 gezeigt.

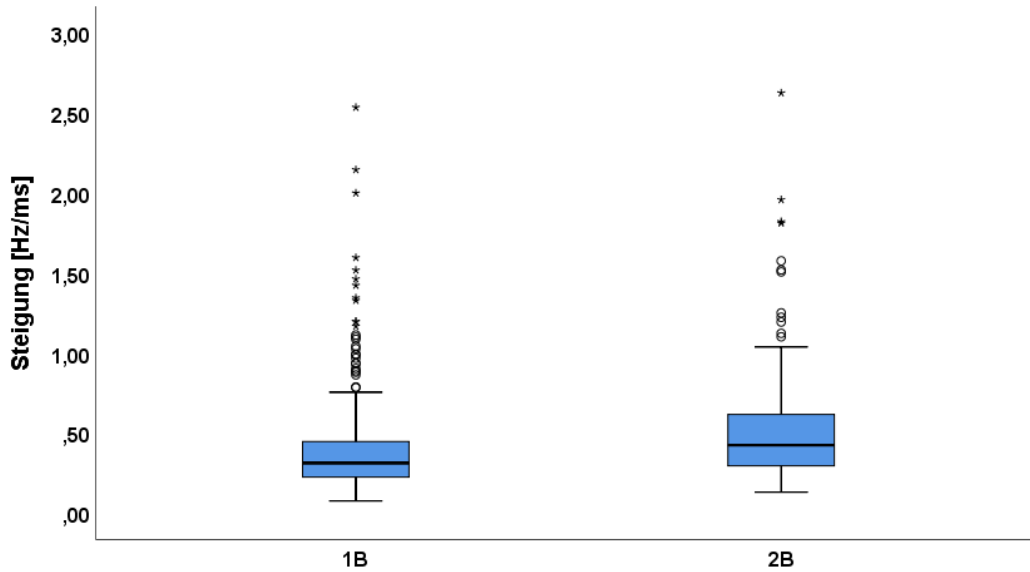


Abbildung 70 Steigung des Übergangs der fallenden Intervalle in 1B und 2B

Tabelle 48 Deskriptive Statistik zur Steigung des Übergangs in fallenden Intervallen

		Steigung P1/P2 [Hub/Zeit]	
		1B N=319	2B N=149
<i>Median</i>	[Hz/ms]	0,31	0,42
<i>Mittelwert</i>	[Hz/ms]	0,39	0,53
<i>SD</i>	[Hz/ms]	0,31	0,38
<i>Minimum</i>	[Hz/ms]	0,07	0,13
<i>Maximum</i>	[Hz/ms]	2,53	2,62

### 3.6.2 Vergleich der steigenden Intervalle in 1B- (-1-) und 2B-Melodien (-12-)

#### 3.6.2.1 Temporale Eigenschaften der Melodiebögen mit steigendem Intervall

Abbildung 71 zeigt die Verteilung der logarithmierten Bogenlängen der einfachen Bogenmelodien (1B) mit steigendem Einzelintervall (↗) sowie des 2. Bogens der Doppelbogenstruktur (2B) mit steigendem Intervall des -FS- Intervallmusters des Codes -12- (↗↘). Die Bogenlängen beider Melodiestructuren wurden mittels des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung untersucht. Dieser ergab nach Logarithmieren eine hinreichende Normalverteilung (1B:  $p=0,482$ ; 2B:  $p=0,369$ ). Die nicht logarithmierten Werte sind in Tabelle 49 aufgeführt.

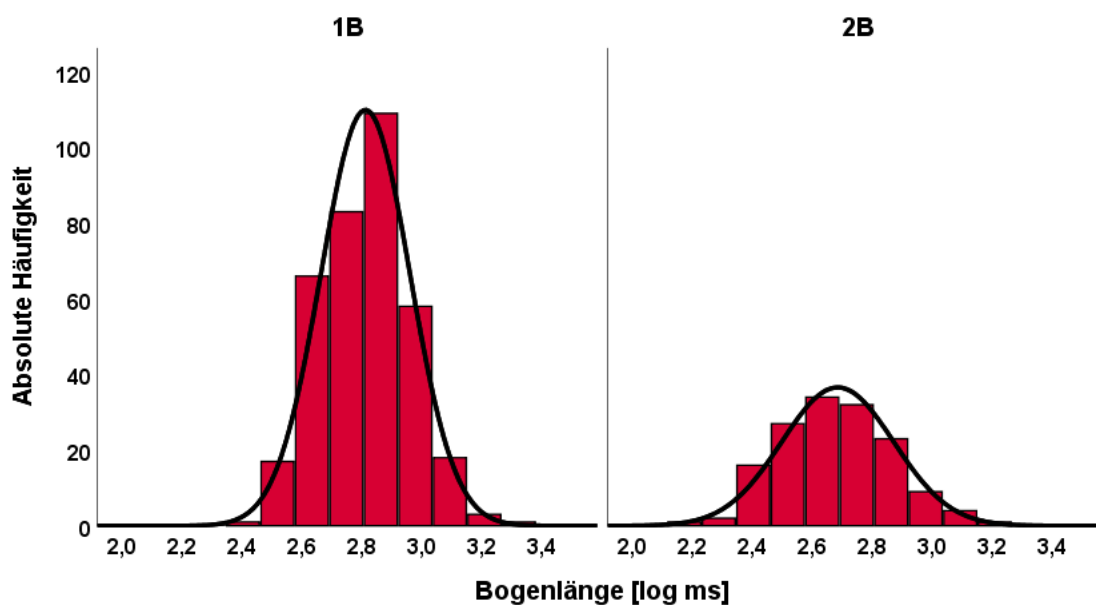


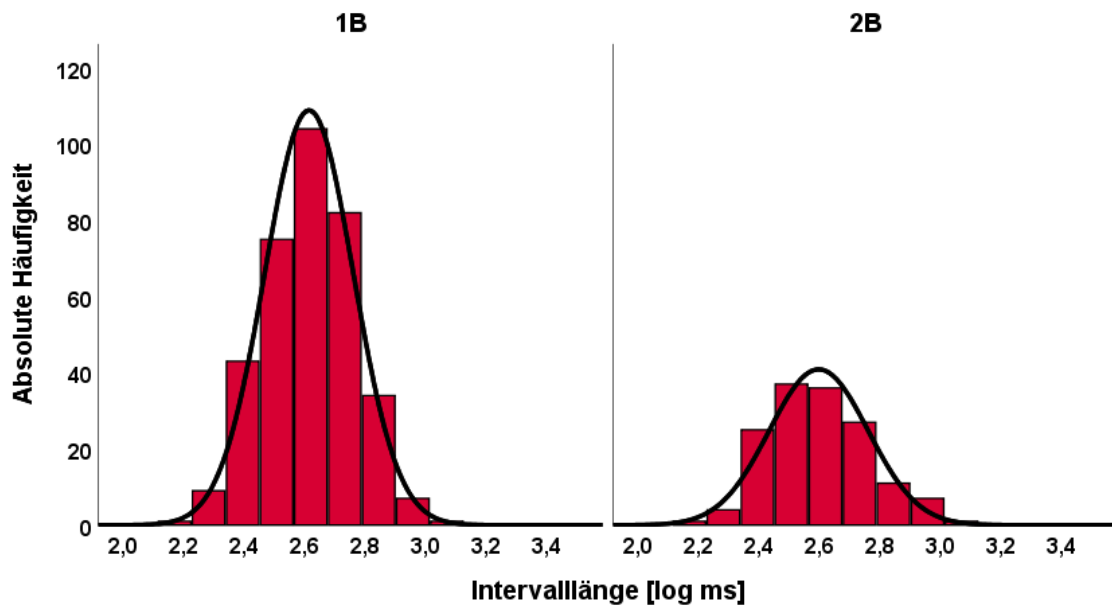
Abbildung 71 Histogramme der Bogenlängen in 1B ↗ und der 2. Bögen in 2B ↗↘ Melodien mit steigendem Intervall

Bin-Breite 0,115

**Tabelle 49** Deskriptive Statistik zu den Bogenlängen (nicht logarithmiert)

		Bogenlänge	
		1B N=356	2B N=149
Median	[ms]	652,50	468,75
Mittelwert	[ms]	685,74	530,47
SD	[ms]	244,93	246,25
Minimum	[ms]	300,00	146,25
Maximum	[ms]	2066,25	1537,50

Abbildung 72 zeigt die logarithmierten Intervalllängen der steigenden Intervalle in den 1B- und 2B-Melodien im Histogramm. Die Intervalllängen beider Strukturkategorien sind gemäß dem Shapiro-Wilk-Test Log-normalverteilt (1B:  $p=0,579$ ; 2B:  $p=0,142$ ).



**Abbildung 72** Histogramme der Intervalllängen der steigenden Intervalle in 1B  und 2B 

Bin-Breite 0,1125

**Tabelle 50**      **Deskriptive Statistik zu den Intervalllängen (nicht logarithmiert)**

		Intervalllänge	
		1B N=356	2B N=149
<i>Median</i>	[ms]	409,59	377,20
<i>Mittelwert</i>	[ms]	433,98	424,60
<i>SD</i>	[ms]	148,39	175,43
<i>Minimum</i>	[ms]	157,50	153,75
<i>Maximum</i>	[ms]	1087,50	1128,75

### 3.6.2.2 Ergebnis der Analyse der Intervallplateaulängen (steigende Intervalle)

Betrachtet man die in Abbildung 73 dargestellten 1. Plateaulängen (LP1) der steigenden Intervalle, so wird deutlich, dass die 1. Plateaulängen der steigenden Intervalle in 1B-Melodien im Vergleich zu den 1. Plateaulängen der steigenden Intervalle in 2B-Melodien im Median eng beieinander liegen (Medianwertdifferenz: 11 ms). Das Minimum von 50 ms ist methodenbedingt. Die dazugehörigen statistischen Werte werden in Tabelle 51 präsentiert.

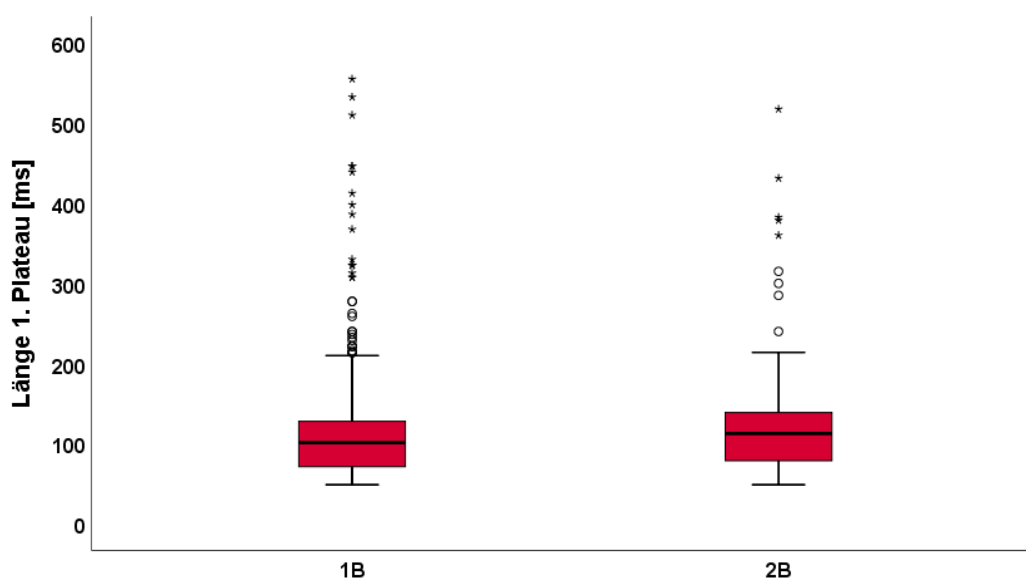


Abbildung 73 Längen des 1. Plateaus im 1B und des 2. Plateaus in 2B des steigenden Intervalls

Tabelle 51 Plateaulängen der steigenden Intervalle in 1B und 2B

		Länge 1. Plateau	Länge 1. Plateau	Länge 2. Plateau	Länge 2. Plateau
		1B	2B	1B	2B
		N=356	N=149	N=356	N=149
<i>Median</i>	[ms]	101,25	112,50	135,00	120,00
<i>Mittelwert</i>	[ms]	118,44	124,18	163,22	150,58
<i>SD</i>	[ms]	78,55	73,04	90,49	100,79
<i>Minimum</i>	[ms]	50,00	50,00	50,00	50,00
<i>Maximum</i>	[ms]	554,99	517,50	645,00	633,00



In Abbildung 74 sind die Längen der 2. Plateaus (LP2) der steigenden Intervalle innerhalb der 1B-Melodien sowie die Längen der 2. Plateaus der steigenden Intervalle in 2B-Melodien dargestellt. Der Medianwert der 1B ist hier nur geringfügig größer (15 ms) (Tabelle 51).

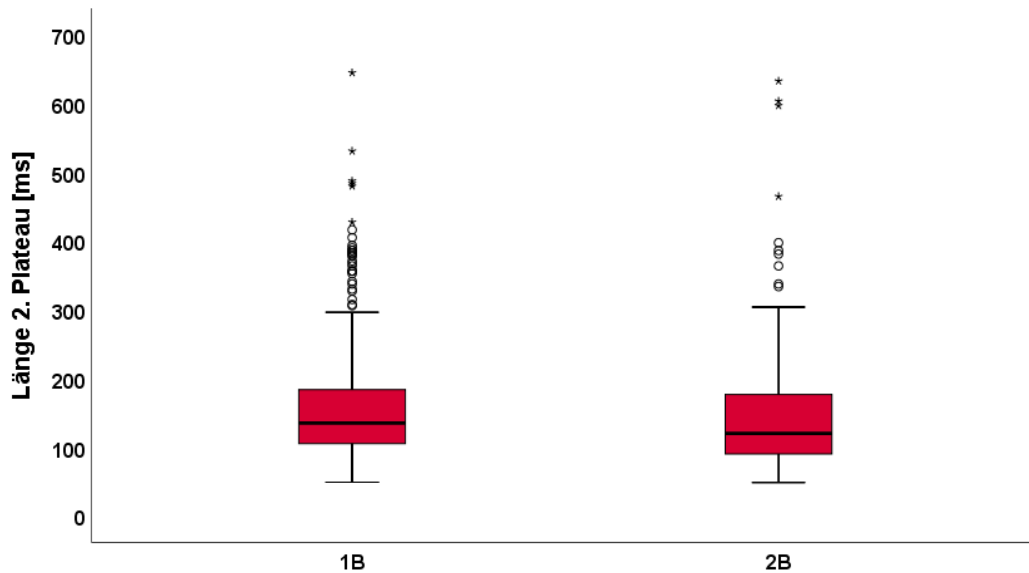


Abbildung 74 Längen des 2. Plateaus in 1B  und des 2. Plateaus in 2B  der steigenden Intervalle

### 3.6.2.3 Ergebnis der Analysen der Intervallübergangslängen der steigenden Intervalle

In Abbildung 75 sind die Übergangslängen vom niedrigeren Frequenzplateau zum höheren Plateau der steigenden Intervalle der 1B- und 2B-Melodien abgebildet. Im Boxplot wird deutlich, dass sich die Verteilungen der Längenanalyse ähneln (Medianwertdifferenz: 11 ms). Die dazugehörige deskriptive Statistik ist in Tabelle 52 berichtet.

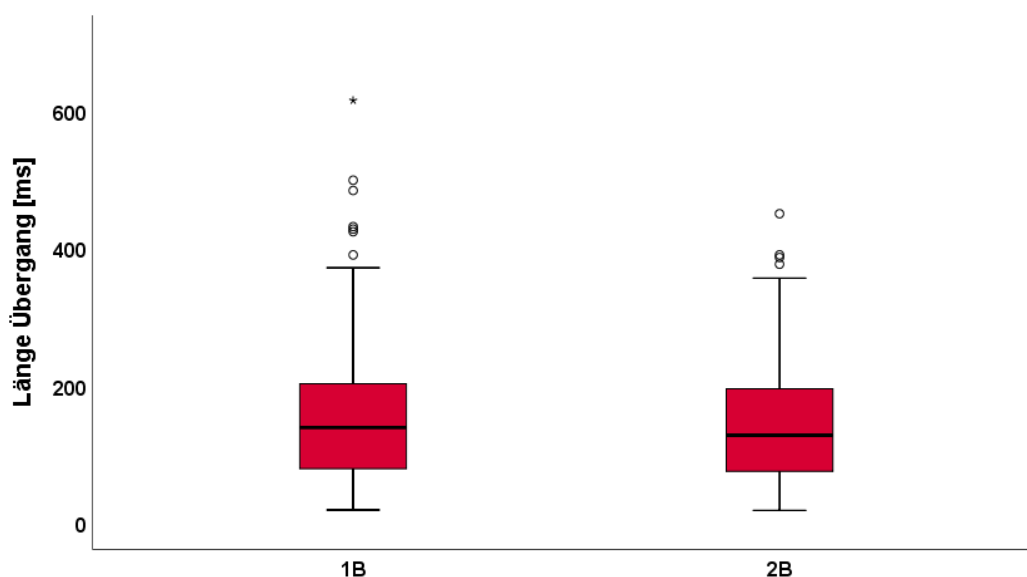




Abbildung 75 Boxplot der Übergangslängen der steigenden Intervalle in 1B  und 2B 

Tabelle 52 Übergangslängen des steigenden Intervalls in 1B und 2B

		Länge Übergang	
		1B	2B
		N=356	N=149
<i>Median</i>	[ms]	138,75	127,50
<i>Mittelwert</i>	[ms]	152,31	149,83
<i>SD</i>	[ms]	94,42	95,26
<i>Minimum</i>	[ms]	18,75	18,00
<i>Maximum</i>	[ms]	615,00	450,00

### 3.6.2.4 Frequenzverhältnis (Ratio) der steigenden Intervalle

In Abbildung 76 werden die annähernd gleichen Verteilungseigenschaften der relativen Hübe der Frequenzverhältnisse zwischen dem vorderen (tieferen) sowie hinteren (höheren) Plateau der steigenden Intervalle gezeigt. Der Medianwert unterscheidet sich um eine Differenz von 0,01 und ist demnach noch geringer als die Differenz des Medians innerhalb der fallenden Intervalle (vgl. Abbildung 69, Tabelle 47). Die deskriptive Statistik wird in Tabelle 53 erläutert. Die statistischen Kenngrößen der relativen Hübe weisen hier eine sehr hohe Ähnlichkeit auf.

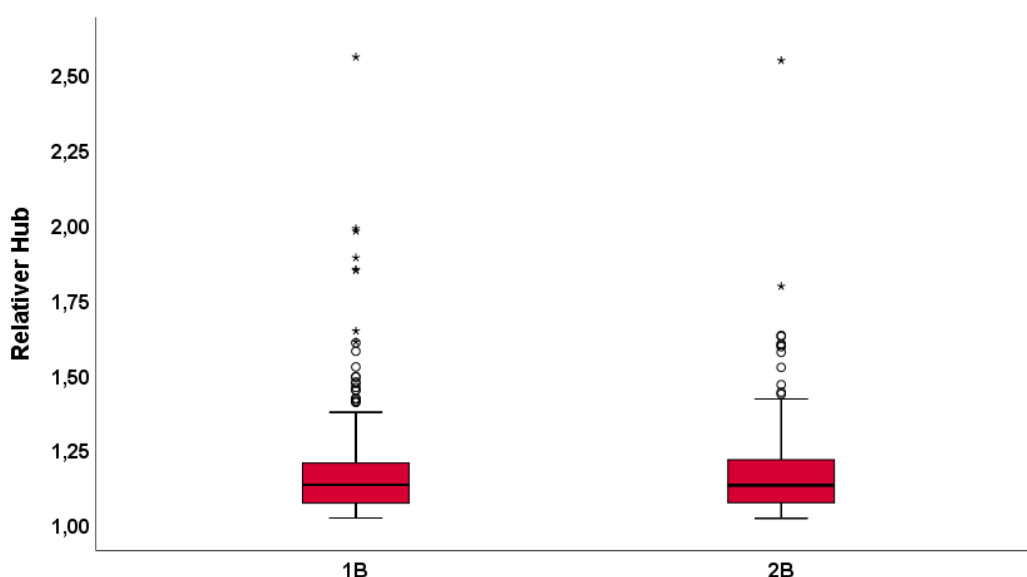


Abbildung 76 Boxplot der relativen Hübe der steigenden Intervalle in 1B und 2B

Tabelle 53 Relativer Hub der steigenden Intervalle in 1B und 2B

	Relativer Hub P1/P2	Relativer Hub P2/P3
	1B N=356	2B N=149
<i>Median</i>	1,13	1,12
<i>Mittelwert</i>	1,16	1,18
<i>SD</i>	0,16	0,18
<i>Minimum</i>	1,02	1,01
<i>Maximum</i>	2,55	2,54

### 3.6.2.5 Hub Übergangsgeschwindigkeit der steigenden Intervalle (Steigung)

In Abbildung 77 ist der Quotient der absoluten Hubdifferenz [Hz] durch die Übergangszeit [ms] im Boxplot gezeigt. Diese Kenngröße wird hier als „Steigung“ (Hub/Zeit; [1/ms]) bezeichnet und drückt die Übergangsgeschwindigkeit von einem Plateau zum darauffolgenden Plateau des Melodieintervalls aus (Kapitel 2.4.5.2). Die deskriptive Statistik ist in Tabelle 54 berichtet. Es zeigen sich auch hier sehr große Ähnlichkeiten innerhalb der Werte der 1B- und 2B-Melodien.

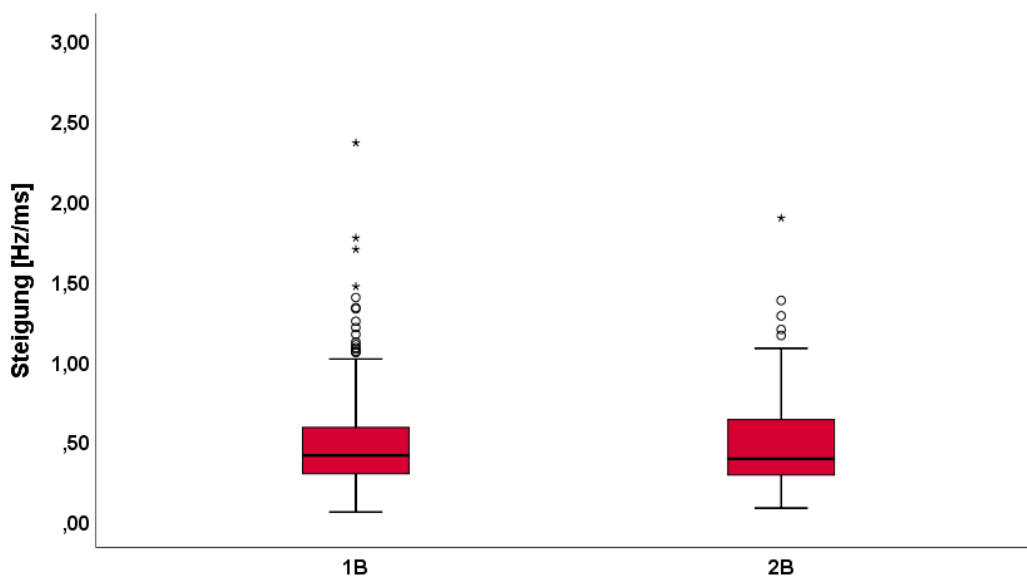


Abbildung 77 Steigung des Übergangs der steigenden Intervalle in 1B  und 2B 

Tabelle 54 Deskriptive Statistik zur Steigung des Übergangs in steigenden Intervallen

		Steigung [Hub/Zeit]	Steigung [Hub/Zeit]
		1B N=356	2B N=149
<i>Median</i>	[Hz/ms]	0,40	0,38
<i>Mittelwert</i>	[Hz/ms]	0,46	0,47
<i>SD</i>	[Hz /ms]	0,28	0,28
<i>Minimum</i>	[Hz /ms]	0,05	0,07
<i>Maximum</i>	[Hz /ms]	2,35	1,88

## 4 Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, aufbauend auf Vorarbeiten, intervallartige Substrukturen in Melodiekonturen (Melodieintervalle) von Säuglingslauten quantitativ mit modifizierter Messmethodik zu analysieren (Armbrüster et al. 2017; Dobnig 2017; Ehlert 2019; Stephan 2017; Weigl 2012; Wermke und Mende 2009). Diese Substrukturen sind in Anlehnung an musikalische Intervalle als Strukturen definiert, die in ihrer Grundform aus drei Elementen, zwei Frequenzplateaus und einem Übergang zwischen den Plateaus, bestehen (Kapitel 2.4.5.1). Diese Grundelemente können auch in Kombination mit unterschiedlicher Anzahl und/oder unterschiedlichem Richtungsverlauf (aufsteigend bzw. abfallend; Kapitel 2.4.5.1; Kapitel 3.3) vorliegen.

Die oben genannten Vorarbeiten lieferten Hinweise darauf, dass diese Substrukturen nicht zufällig entstehen, sondern laryngeale Regelmechanismen bei der vorsprachlichen Lautproduktion von Säuglingen zu reflektieren scheinen. Da es sich bei diesen Phänomenen um vergleichsweise sehr schnelle Grundfrequenzvariationen und damit Oszillationsveränderungen der Stimmlippen handelt, könnten sie geeignet sein, die Reife und Funktion bzw. Dysfunktion laryngealer Regelmechanismen zu beschreiben.

Im Verlauf der Voruntersuchungen zur vorliegenden Arbeit wurden wiederholt methodische Modifikationen vorgenommen, die sich aus den Ergebnissen des Fortgangs der Analysen ergaben. Insbesondere zeigte sich an den Verteilungseigenschaften temporaler Messgrößen der genannten Vorarbeiten (Verteilung zeigte Artefakte an der unteren Grenze), dass es notwendig und sinnvoll war, die Mindestdauer zur Identifikation eines Intervallplateaus von 100 ms (Dobnig 2017; Ehlert 2019; Stephan 2017) auf 50 ms herunterzusetzen (Kapitel 2.4.5.1). Das war neben der Prüfung der generellen Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der Längsschnittstudie von Ehlert (2019) ein wesentlicher methodischer Aspekt für die Motivation vorliegender Arbeit und ihr Ziel, einen Beitrag zur Erarbeitung von Referenzwerten für die *Vorsprachliche Diagnostik* an

gesunden, normalhörenden Säuglingen ohne orofaziale Spaltbildungen zu liefern.

Da es sich um retrospektive Analysen vorliegender Aufnahmen handelte, war die Fallzahl begrenzt. Es wurden hier dennoch 3114 Einzelvokalisationen aus einem von der Autorin audio-visuell voranalysierten Gesamtrepertoire von 6130 Vokalisationen interaktiv mit Hilfe der angegebenen Software eigenständig vermessen. Kindbasierte (head count) Analysen wurden, sofern sinnvoll, durchgeführt und sind jeweils sowohl im Ergebnisteil als auch in der Diskussion benannt. Die Autorin ist sich bewusst, dass dieses Vorgehen bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden muss.

Die Ergebnisse der durchgeführten Analysen werden nachfolgend sortiert nach inhaltlich zusammengehörenden Aspekten diskutiert.

### **4.1 Auftrittshäufigkeit der Melodieintervalle in den ersten vier Lebensmonaten**

Ehlert (2019) zeigte erstmalig deskriptiv, dass es eine mit dem Alter ansteigende Auftrittshäufigkeit von Melodieintervallen im spontanen Weinen über die ersten vier Lebensmonate gibt. Vergleichsanalysen anderer Arbeiten liegen bisher nicht vor, da der Ansatz, diese Phänomene systematisch zu erforschen, bisher nur am ZVES verfolgt wird.

Ehlert hat in ihren Untersuchungen keine Vorselektierung der Lautäußerungen vorgenommen und berichtet, dass im Datenkorpus in 39,7 % der Vokalisationsmelodien Intervalle auftraten. Das erscheint zunächst wenig, rechnet man Ehlerts Befunde (2019) aber in analoger Weise zum Vorgehen in der vorliegenden Arbeit um (Kapitel 2.4.1), steigt der Anteil der Melodien mit Intervallphänomenen auf 78,2 % (N=2403). Das entspricht der Größenordnung, die hier am gleichen Datenkorpus ermittelt wurde (85,3 %, N=2657). Der etwas höhere Prozentsatz ist methodisch bedingt, da die Mindestlänge für ein Intervallplateau auf 50 ms herabgesetzt wurde (Kapitel 2.4.5.1) und dadurch mehr Intervalle identifiziert werden konnten. Damit konnten diese Befunde reproduziert werden.

Eine statistische Analyse mittels Generalized estimating equations (GEE) hat hier erstmals belegt, dass Säuglinge im Alter vom 1. – 4. Monat signifikant mehr Melodien mit Intervallen erzeugen als Melodien ohne Intervalle (Kapitel 3.1.1.1). Die statistische Analyse zeigte weiterhin ein Ansteigen der Auftrittshäufigkeit von Melodieintervallen mit dem Lebensalter. Ehlerts (2019) Vermutungen einer altersabhängigen Zunahme von Melodieintervallen konnten hier damit ebenfalls reproduziert und erstmals statistisch belegt werden.

Im Unterschied zur Arbeit von Ehlert (2019) wurde zusätzlich untersucht, inwieweit die Auftrittshäufigkeit in Zusammenhang mit der Gesamtgestalt der Melodie (Kapitel 3.2 und Kapitel 3.3.1) steht. Da sich im Verlauf des Untersuchungszeitraums der ersten vier Lebensmonate die Gestalt der Melodie nach einem regelhaften Programm verändert (Wermke und Mende 2016), ist es im Hinblick auf die zukünftige potenzielle klinische Relevanz der Phänomene für die Vorsprachliche Diagnostik von Säuglingen unterschiedlichen Alters notwendig, bei der Auftrittshäufigkeit intervallartiger Phänomene auch die Strukturkategorie der Melodiekontur (Komplexitätsgrad der Melodie) als Einflussfaktor zu berücksichtigen. Auch gibt es erste Hinweise darauf, dass entwicklungsverzögerte Säuglinge mit einem Risiko für eine Sprech- und Spracherwerbsstörung (z.B. Säuglinge mit orofazialen Spaltbildungen) eine verringerte Melodiekomplexität im Alter von zwei bis drei Monaten zeigen (Wermke et al. 2011). Die Ergebnisse dieser spezifischen Analysen der Auftrittshäufigkeit werden im nächsten Kapitel berichtet.

### **4.1.1 Auftrittshäufigkeit der Melodieintervalle in Abhängigkeit von der Melodiestructur**

Eine Entwicklung der Lautmelodie (nach dem postulierten Entwicklungsprogramm nach Wermke und Mende (Wermke 2002; Wermke und Mende 1992; 2016)) bzw. ganz allgemein die Entwicklung prosodie-relevanter Eigenschaften scheint für eine ungestörte Entfaltung des Sprech- und Spracherwerbs eine wichtige Voraussetzung zu sein (Delack und Fowlow 1978; Koopmans van Beinum und Van der Stelt 1986; Vihman 1996; Wermke et al.

2007). Das Melodieentwicklungsprogramm vorsprachlicher Laute nach Wermke und Mende (2016) beginnt mit der vorherrschenden Produktion von Lauten mit einfacher Melodiekontur, d.h. Einzelbögen (Module), die mit zunehmendem Lebensalter zu komplexen Melodiestructuren unterschiedlicher Rhythmen kombiniert werden. Das Programm ist universell und wurde auch bei Säuglingen mit LKGS beobachtet (Birr 2009; Wermke et al. 2011). Der entwicklungsdiagnostisch relevante Komplexitätszuwachs im 2. und 3. Lebensmonat wird durch einen Einfluss hormoneller Faktoren auf die Organisation und Funktionen der an der Sprache beteiligten Gehirnstrukturen erklärt (Wermke et al. 2014; Wermke et al. 2018). Diese minipubertären Einflüsse haben über die Melodieentwicklung hinaus auch Einfluss auf die Artikulationsfähigkeit im Babbel-Alter (Quast 2017). Ab dem 3. Lebensmonat zeigt der Säugling auch einen zunehmend intentionalen Einfluss der Resonanzverhältnisse im Vokaltrakt auf die laryngeale Melodieproduktion (Kempf 2009; Wermke et al. 2005; Wermke et al. 2002b). Eine Abstimmung (Tuning) zwischen Melodie und Resonanz führt dabei zu einer Variation in der Klangvielfalt der Laute bei den artikulatorischen „Übungen“. Der Säugling trainiert die Kombination von Phonation (Melodie) und Artikulation bis zur ersten Wortbildung. Daraus entwickelt sich das Sprechen.

Wie von dem Melodiekomplexitätsmodell postuliert, zeigte sich bei der Analyse der melodischen Strukturkategorien der gesunden Säuglinge in der vorliegenden Arbeit ein Überwiegen der einfachen, einbögigen Melodien (1B-Struktur, Kapitel 3.2) in den ersten beiden Lebensmonaten und eine Abnahme ihrer relativen Auftrittshäufigkeit im 3. und 4. Monat (45 % – 32 %) zugunsten der komplexeren Melodiestructuren. Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit anderen Arbeiten (Wermke 2002; Wermke und Mende 1992; 2009; 2011; 2016).

Die vorliegende Arbeit hat untersucht, inwieweit Melodieintervalle im Zusammenhang mit der Gesamtgestalt der Melodie stehen. Dabei zeigte sich der beschriebene Entwicklungstrend in gleicher Weise in den Melodien mit identifizierten Intervallen.



Damit sind die hier analysierten Melodien repräsentativ im Sinne des genannten Entwicklungsmodells und die beobachteten Intervallsubstrukturen mehr als ein spezielles Phänomen nur bestimmter Melodiekonturen (Gesamtgestalten).

Eine andere Frage bestand darin, ob die Melodiegestalt die Komplexität der Intervallcodes beeinflusst. Zum Beispiel konnten in Einzelbögen in dem hier untersuchten Datenkorpus die Einzelintervalle des Codes -1- mit Abstand als das vorherrschende Intervall identifiziert werden (N=675, 77,8 %). Dagegen konnten bereits in Doppelbogenstrukturen eine Vielzahl unterschiedlicher Intervallcodes beobachtet werden. In den Doppelbögen wurden mit großer Mehrheit Intervallcodes des Doppelintervalls -12- (einfaches Intervallmuster) sowie komplexere Intervallmuster identifiziert, zu denen insbesondere die Codes -123- und -1234- zählten. Es wird hier postuliert, dass je komplexer die Bogenstruktur ist, desto komplexer auch die Vielfalt der Intervallcodes und somit auch der Intervallmuster ist. Auch hier zeigte sich – auf anderer Ebene – eine Entwicklung vom einfachen zum komplexeren Muster (Code).

### **4.1.2 Intervalle in segmentierten Melodien**

Als Neuerung zu Vorläuferarbeiten wurde in vorliegender Arbeit erstmalig auch dem Auftreten von Melodieintervallen innerhalb segmentierter Melodiestructuren besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Es wurde beschrieben, dass Melodieintervalle in segmentierten Melodien zwei Grundformen zeigen. Melodieintervalle können entweder auf einem Bogen auftreten, der vor oder nach einer Segmentierungspause liegt (Kapitel 2.4.4.4) und/oder die Pausen überspannen (Kapitel 2.4.4.5). Die segmentierten Melodien mit Intervall wurden hier spezifisch in die Analysen einbezogen, da Segmentierungen nach Vorarbeiten des ZVES bei Säuglingen mit orofazialer Spaltbildung häufiger vorkommen (Conrad et al. 2020; Ostermann 2010). Ostermann (2010) hat in seinen Untersuchungen an zwei und drei Monate alten Säuglingen mit orofazialer Spaltbildung in 27,9 % (N=1861) der untersuchten Laute segmentierte Vokalisationen analysiert. Innerhalb seiner Kontrollgruppe der Säuglinge ohne Spaltbildung waren es 19 % (N=4655). Die segmentierten Vokalisationen

nahmen in seinen Untersuchungen innerhalb der Kontrollgruppe vom 2. zum 3. Monat zwar gering zu (2. Monat: 18,1 %; 3. Monat 20 %), allerdings lag ihre Häufigkeit deutlich unterhalb der relativen Häufigkeiten der Vokalisationen mit Segmentierung der Säuglinge mit orofazialen Spaltbildungen (2. Monat: 29,2 %; 3. Monat: 26 %).

Diese Ergebnisse stimmen mit denen vorliegender Arbeit überein. Auch in dem hier untersuchten Datenkorpus konnten über den gesamten Untersuchungszeitraum von vier Lebensmonaten 21,9 % segmentierte Laute vermessen werden. In der Gegenüberstellung des 2. zum 3. Monat konnte – in Übereinstimmung mit Untersuchungen von Ostermann (2010) – eine Zunahme im Auftreten von segmentierten Vokalisationen der gesunden hier untersuchten Säuglinge festgestellt werden (2. Monat 20,7 % und 3. Monat 25,6 %). Segmentierungen liefern einen rhythmischen Kontrast und sind für die rhythmische Entwicklung und die späteren Silben- und Wortbetonungen möglicherweise besonders wichtig (Pachtner 2016; Robb et al. 2019).

In Beantwortung der Frage nach dem Vorkommen von Melodieintervallen in segmentierten Melodien wurde gefunden, dass segmentierte Melodien zu 89 % Intervalle enthielten (Kapitel 3.1). Die relative Auftrittshäufigkeit von Melodieintervallen in segmentierten Strukturen nahm vom 1. Monat (84 %) zum 3. Monat (92 %) zu und im 4. Monat ging die relative Häufigkeit wieder geringfügig zurück (86 %; Abbildung 19). Ähnliche Auftrittshäufigkeiten zeigten die Melodien des Typs 2c (segmentierte Melodien mit mindestens einem Intervall, das die Segmentierungspause überbrückt, Kapitel 2.4.4.5). Insgesamt machten die Laute des Typs 2c unter allen segmentierten Lauten einen Anteil von 31 % aus. Hier nahm die relative Auftrittshäufigkeit vom 1. Monat (15 %) zum 3. Monat (40 %) noch deutlicher zu (Abbildung 19). Den leichten Rückgang im 4. Monat (26 %) kann man dadurch erklären, dass es ab dem 3. Monat zu intentionalen Artikulationen kommt, und die Kontrastierungen (Rhythmisierung), die durch die Intervalle über die Segmentierungspausen entstehen, dabei jetzt durch Konsonanten „ersetzt“ bzw. „ergänzt“ werden. Dies stimmt mit den Entwicklungsbefunden zu artikulatorischen Phänomenen in diesem Alter

überein, die von Robb et al. (2019) untersucht wurden. Robb et al. (2019) zeigten, dass sich laryngeale Konstriktionsphänomene, die eine Vorstufe der Artikulation im Vokaltrakt sind (Esling et al. 2015), insbesondere in den ersten zwei Lebensmonaten als Segmentierungsphänomene zeigen. Zwischen dem 3. und 5. Lebensmonat ändern sich diese aber in der relativen Auftrittshäufigkeit sowohl im Weinen als auch in Komfortvokalisationen nicht. Auch begründeten Robb et al. (2019) dies mit der Reifung und dem zunehmenden Einfluss des Vokaltraktes auf die Lauteigenschaften. Neben den Konstriktionsphänomenen sind möglicherweise auch die Intervallphänomene in segmentierten Melodien als rhythmisches Kontrastierungselement zu interpretieren. Allerdings wäre es notwendig, auch die Intervallphänomene bis zum Alter des kanonischen, also zielsprachlich geprägten Brabbelns ab dem 7. Monat zu untersuchen.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass Melodieintervalle regelmäßig in segmentierten Melodien auftreten (Abbildung 18) und es möglich ist, die für Säuglinge mit orofazialer Spaltbildung typischen Vokalisationen (Ostermann 2010) anhand von Melodieintervallen zu untersuchen.

## **4.2 Vielfalt der beobachteten Intervallcodes**

In der mit vorliegender Arbeit direkt vergleichbaren Dissertation von Ehlert (2019) wurde berichtet, dass Intervallphänomene in unterschiedlichsten Codes in Säuglingslauten der ersten vier Lebensmonate vorkommen (Kapitel 3.3). Solche Phänomene fanden sich in der Regel an den steigenden und fallenden Flanken der einzelnen Melodiebögen, kamen aber auch in Übergangsbereichen einzelner Bögen innerhalb derselben Melodie vor (Tabelle 32, Tabelle 40). Eine ähnliche Vielfalt der Intervallcodes wurde auch in der vorliegenden Arbeit gefunden. Da die Analysen durch die Autorin vorliegender Arbeit unabhängig und verblindet von den Analysen Ehlerts (2019) vorgenommen wurden, konnte die vorliegende Arbeit diese Ergebnisse reproduzieren.

In Kapitel 3.3 wurde die Vielfalt der analysierten Codes der Melodieintervalle charakterisiert. Diese stehen als Referenzrepertoire nachfolgenden Arbeiten bei Säuglingen mit orofazialer Spaltbildung, bei Säuglingen mit Hörminderung oder Untersuchungen der Lautmelodien von Säuglingen, die in einer bi- oder

multilingualen Sprachumgebung aufwachsen, zur Verfügung. Daher wurden alle Befunde in Tabellen ausführlich dargestellt und durch Tabellen in der Anlage ergänzt. Es ist bekannt, dass Melodieeigenschaften sehr früh durch die Umgebungssprache geprägt werden (Mampe et al. 2009; Prochnow 2013; Wermke et al. 2016). Ein multilingualer Vergleich von Melodieintervallen in zukünftigen Arbeiten könnte helfen, das Phänomen besser zu verstehen, indem geeignete Variationsmaße die Auftrittshäufigkeiten oder Messgrößen ergänzen.

Das Grundmelodieintervall (Modul), bestehend aus Plateau-Übergang-Plateau (Einzelintervall), trat im Repertoire sowohl als einzelnes Ereignis in 32,7 % (N=868) der Melodien auf, konnte aber auch mehrfach (64,5 %; N=1714) oder getrennt voneinander (2,8 %; N=75) innerhalb einer Melodie vorkommen. Zusätzlich wurden unterschiedliche Intervallmuster dieses Grundintervalls beobachtet (Kapitel 3.3). Ehlert (2019) identifizierte in 50 % der Fälle Einzelintervalle. Dies ist im Vergleich zu den Ergebnissen vorliegender Arbeit ein höherer Anteil und kann durch die methodischen Veränderungen insbesondere der Verkürzung der Mindestplateaulänge auf 50 ms begründet sein.

Die Frage nach dem Einfluss der „Intonationskontur“ der Melodie auf die Komplexität und Vielfalt der Intervallcodes konnte dahingehend beantwortet werden, dass die Intervallcodes mit zunehmender Bogenanzahl in den nicht segmentierten Melodien zunahm. Außerdem zeigten fallende Bogenkonturen häufiger größere Intervallcodes als steigende. Während Letzteres wahrscheinlich physiologisch erklärbar ist, müssen weitere Forschungen den ersten Befund erklären helfen.

Für zukünftige Untersuchungen dieser Phänomene sollte berücksichtigt werden, dass die Auftrittshäufigkeit der Intervallcodes sehr unterschiedlich ist. Es gibt Anzeichen dafür, dass sie einerseits von der Melodielänge und -struktur abhängen könnten. Andererseits erklären diese zwei Faktoren die beobachtete Gesamtvielfalt und deren Variation jedoch nicht hinreichend.

Aus klinischer Perspektive scheint eine tiefergehende diesbezügliche Analyse zukünftig allerdings sekundär. Vielmehr sieht die Autorin vorliegender Arbeit die Konzentration auf die häufigsten Intervallcodes und Muster als aussichtsreichere Strategie, um Frühindikatoren laryngealer Regeldysfunktionen zu identifizieren. Das wäre für die potenzielle spätere Anwendbarkeit in der Vorsprachlichen Diagnostik praktikabler und zeitsparender.

Vor diesem Hintergrund erfolgte in vorliegender Arbeit nach einer Häufigkeits- und Reproduzierbarkeitsanalyse eine detaillierte quantitative Analyse nur für die beiden Intervalle der Codes -1- und -12- (einfache Intervallmuster) innerhalb 1B- und 2B-Melodien (Kapitel 3.2 und Kapitel 3.3).

Für diese Varianten (-1-; -12- innerhalb 1B- und 2B-Melodien) wurden quantitative Referenzwerte erarbeitet und in Tabellen unter den jeweiligen Kapiteln berichtet. Sie stehen zukünftigen Arbeiten als vorläufige Referenzwerte zur Verfügung. Es liegen dazu bisher keine Vergleichswerte aus der Literatur vor.

### **4.3 Intervallgröße**

Melodieintervalle, wie sie hier untersucht wurden, sind typische Eigenschaften von Musik und Sprache (Patel et al. 2006; Zatorre und Baum 2012). Zwischen dem Vorkommen von Intervallen in der Musik und beim Lautieren wie Sprechen besteht allerdings ein wesentlicher Unterschied: Es gibt klare Kategorien für Intervalle in der Musik (z.B. Sekunde, Terz, Quarte, Oktave) und es kommt eine größere Vielfalt an definierten Intervallgrößen in der Musik vor (Zatorre und Baum 2012). Außerdem basiert jede Musikkultur darauf, dass ganz bestimmte Intervalle präzise gespielt oder gesungen werden, während dies beim Sprechen nicht notwendig ist. Tonale Sprachen bilden dabei eine gewisse Ausnahme, sind jedoch diesbezüglich auch nicht mit Musik zu vergleichen.

Zatorre und Baum (2012) haben in Verhaltensstudien gezeigt, dass selbst wenn man alle Grundfrequenzvariationen aus gesprochener Sprache entfernt, die Botschaft des Gesagten noch verständlich blieb. Dies gilt eingeschränkt auch für tonale Sprachen. Diese Erkenntnis bedeutet, dass konkrete Frequenzintervalle

beim Sprechen keine entscheidende Bedeutung für die Verständlichkeit haben. Natürlich aber spielt die Frequenzvariation per se eine große Rolle, da sie das wesentliche Element der emotionalen und linguistischen Prosodie beim Sprechen ist.

Beim Spracherwerb orientieren sich Säuglinge in den ersten Lebensmonaten vor allem an der Melodiekontur, da sie segmentale Eigenschaften des Gehörten (z.B. Silben) zwar wahrnehmen, aber noch nicht verarbeiten können (Friederici et al. 2007; Sansavini et al. 1997; Trehub et al. 1984; Vihman 1996). Säuglinge scheinen das Gesagte musikalisch erfassen zu wollen. Das können sie bereits, da die neuronale Architektur zur Verarbeitung verschiedener musikalisch relevanter akustischer Größen (z.B. Konsonanz versus Dissonanz, Rhythmusverletzung) ab der Geburt vorliegt (Háden et al. 2015; Perani et al. 2010; Trehub 2001).

Perani et al. (2010) haben die Gehirnaktivität von ein bis drei Tage alten Neugeborenen mit Hilfe funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRI) untersucht, während sie Ausschnitte westlicher tonaler Musik und deren experimentellen Modifikationen hörten. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass hier Halbtonshifts zur Modifikation verwendet wurden. Während die Musik hämodynamische Veränderungen in der rechten Hemisphäre in primären und höheren Ordnungsstrukturen des auditorischen Kortex auslöste, verringerte sich die Hirnaktivität signifikant im rechten auditorischen Kortex bei den modifizierten Musikbeispielen. Die Autoren postulieren im Ergebnis ihrer Untersuchungen, dass bereits bei Neugeborenen eine rechthemisphärische Dominanz für die Verarbeitung von Musikinformatoren vorliegt und somit eine neuronale Architektur zur Verarbeitung von Musik, bereits ab der Geburt vorhanden zu sein scheint (Perani et al. 2010, S. 4761).

Diese Studien belegen, dass bereits Neugeborene die in der vorliegenden Arbeit untersuchten melodischen Eigenschaften wahrnehmen können. Bezüglich der Wahrnehmung von Frequenzratios (Intervalle) gibt es eine Arbeit, die ebenfalls von Untersuchungen an zwei bis drei Tage alten Neugeborenen berichtet: Stefanics et al. (2009) zeigten mit Hilfe von ereigniskorrelierten

Hirnpotenzialmessungen (EKP), dass die auditorische Verarbeitung von Tonhöhenintervallen bei Neugeborenen mit der von Erwachsenen vergleichbar ist (Stefanics et al. 2009, S. 307). Die Autoren verwendeten für die Intervallverarbeitungsmessung der (schlafenden) Neugeborenen Tonstimuli, die nur 50 ms lang waren. Dies war ein Grund für die Modifikation der Mindestplateaulängen von 100 ms in Vorarbeiten auf 50 ms, die von der Autorin vorliegender Arbeit angewendet wurde (Kapitel 2.4.5.1). Der Standardstimulus, den Stefanics et al. in ihrer Studie verwendeten, bestand aus zwei Halbtönen bei unterschiedlicher Frequenz. Der Deviant war mit sieben Halbtönen sehr prominent. Stefanics et al. (2009) postulierten, wie Perani et al. (2010) später auch, die Beteiligung grundlegender und übergeordneter kortikaler Verarbeitungsmechanismen an den beobachteten Leistungen, die bereits, wenn auch nicht so ausgeprägt, den Leistungen Erwachsener ähnelten und bereits ab der Geburt funktionsfähig seien (Stefanics et al. 2009, S. 307).

Man kann also davon ausgehen, dass die hier analysierten Melodieintervalle tatsächlich auch vom Säugling wahrnehmbar sind und somit der auditiven Kontrolle unterliegen könnten. Eine weitere Erklärung für die beobachteten Intervallphänomene ist rein stimmphysiologischer Natur. Die Intervalle könnten z.B. Folge zu steiler Melodiebogenflanken bei ganz bestimmten Intensitätsverhältnissen sein und eine Art Verzögerung der Stimmlippenschwingung reflektieren. In der Fachliteratur wurden trotz intensiver Recherche durch die Autorin dafür allerdings keine Hinweise gefunden.

Verschiedene Autoren haben die musikalischen Intervallgrößen beim Sprechen mit denen in der Musik verglichen (Ross et al. 2007; Schwartz et al. 2003). Ebenso kann man die Ratioverteilung gemessener Intervalle auch in Melodien von Säuglingslauten aus musikalischer Perspektive bzw. anhand des musikalischen Ordnungssystems der Intervalle analysieren (Armbrüster et al. 2017; Weigl 2012). Dabei zeigte sich bisher, dass der Halbton (100 Cent) das häufigste vorkommende Intervall in Vokalisationen von Säuglingen ist. Das begründete u.a. auch die für die Identifizierung und Vermessung der Intervallphänomene hier verwendeten Kriterien (Kapitel 2.4.5.1). Es kommen

auch die anderen musikalischen Intervalle vor (Abbildung 33). Diese zeigen jedoch keine markanten Peaks. Es ist nicht zu erwarten, dass Säuglinge in diesem Alter bereits Prägungen ihrer Lautproduktion durch das Hören der sie umgebenden westlichen Musik aufweisen (zumindest gibt es bisher keinen überzeugenden Hinweis darauf). Ein systematischer Vergleich zwischen Lautmelodien von Säuglingen von professionellen Musikerinnen zu Lautmelodien von Säuglingen von Müttern ohne ausgiebige musikalische Betätigung während der Spätschwangerschaft oder in den ersten postnatalen Monaten könnte hier eine neue Erkenntnis liefern.

In der Sprechmelodie und in Säuglingslauten sind Intervalle nicht wie in der Musik Verhältnisse diskreter Töne, sondern sie ergeben sich aus Substrukturen, die innerhalb kontinuierlicher Frequenzvariationen auftreten (Kapitel 2.4.5.1). Die Analyse dieser Intervalle in dem musikalischen System hat hier Folgendes gezeigt:

Innerhalb der 1B-Strukturen zeigten die fallenden Intervalle im Median Werte von 111 Cent bis 177 Cent, also Werte, die im Musikalischen in etwa einer Frequenzdifferenz eines Halbtons (100 Cent) und Ganztons (200 Cent) entsprechen. In 2B-Strukturen konnten innerhalb der fallenden Intervalle Frequenzdifferenzen der Medianwerte bis zu 290 Cent ermittelt werden und diese gleichen einem musikalischen Intervall der kleinen Terz. Die steigenden Intervalle wiesen in der 1B-Struktur Medianwerte von 88 Cent bis 212 Cent auf. Dies sind Werte, die einem musikalischen Intervall von weniger als einem Halbton bis hin zu einem Ganztonintervall entsprechen. Die steigenden Intervalle innerhalb der 2B-Struktur zeigten im Median einen Wert von 210 Cent, also von einem Ganztonintervall im musikalischen Sinne. Insgesamt liegen die Intervallgrößen mit einem großen Anteil der identifizierten Intervalle zwischen einem Halb- und Ganzton, wobei der Modalbin im Halbtonbereich lag (Abbildung 33) (Armbrüster et al. 2017).

Da Vorgängerarbeiten (Dobnig 2017; Ehlert 2019; Stephan 2017) methodische Unterschiede aufweisen, lassen sich die Ergebnisse nicht direkt vergleichen. Dennoch zeigen die hier ermittelten Cent-Werte eine Übereinstimmung der



vermessenen Intervallgrößen in Vorgängerarbeiten über das Gesamtdatenkollektiv. Ehlert (2019) postulierte das vermehrte Auftreten von einer kleinen Sekunde (Halbton) und einer großen Sekunde (Ganzton) innerhalb ihrer Ergebnisse über die ersten vier Lebensmonate (Ehlert 2019, S. 114). Auch Stephan (2017, S. 95) und Dobnig (2017) fanden ähnliche Ergebnisse innerhalb ihrer Untersuchungen an Säuglingslauten der 1. Lebenswoche. In ihren Arbeiten lag das Halbtonintervall zu 51,7 %–55,9 % vor und das Ganztonintervall in 18,7 %–19,3 %.

### *Spielt der Halbton eine besondere Rolle in Musik und Sprache?*

In der westlichen Musik ist der Halbton essentiell für die Dur-/Mollunterscheidung und er ist auch das kleinste wahrnehmbare Intervall für Musiker (Zarate et al. 2012), obwohl die differenzielle Wahrnehmungsschwelle für Frequenzänderung deutlich niedriger ist (Hall und Hess 1984).

Der Grund dafür, dass sich Nicht-Musiker von Musikern in der Intervалldifferenzierungsleistung unterscheiden, wird von Zarate et al. (2012) mit der ersten von zwei existierenden Theorien, nämlich der Erfahrung mit westlicher Musik erklärt. Das Training westlicher Musik kann die Wahrnehmungsgrenze der Intervалldiskriminierung auf einen Halbton beschränken, auf das Intervall, das vorherrschend in westlicher Musik und Sprache. Der Halbton könnte eine Intervallgrenze für die akustische Verarbeitung darstellen (Zarate et al. 2012, S. 992).

Das kann allerdings die Präferenz des Halbtons in Säuglingslauten nicht erklären oder sollte der pränatale Einfluss der Musikhör- und Musikumgebungseinflüsse der schwangeren Frauen doch das Ungeborene prägen? Zumindest gibt es einige Studien, die dies nicht ausschließen (Granier-Deferre et al. 2011; Ullal-Gupta et al. 2013).

Trehub et al. beschreiben, dass Säuglinge beim Hören von Melodien mit mehrheitlich erklingenden konsonanten Intervallen besonders aufmerksam sind und die Musik eine positivere Wirkung auf die Säuglinge ausübt als Melodien mit erklingenden dissonanten Intervallen (Trehub 2001, S. 5). Die Autoren erklären, dass diese Präferenz durch ein Überwiegen konsonanter Intervalle innerhalb der

Umgebung des Säuglings, wie der Sprachmelodie, der Umgebungsgeräusche und -klänge resultieren könnte (Trehub 2001, S. 5). Trehub et al. postulierten später, dass bereits Säuglinge fähig sind Halbtonschritte innerhalb einer Melodie detektieren zu können, wenn die Intervalle zwischen den Stimuli kurz sind und die Original- und Vergleichsmelodien in derselben Tonart erklingen (Trehub 2010, S. 74).

Für die klinische Perspektive der vorliegenden Analysen ist dies gegenwärtig noch von zweitrangiger Bedeutung und die Verteilungseigenschaften der ermittelten Intervallgrößen stellen unabhängig von ihrem musikalischen Bezug eine erste Referenzgröße für weiterführende Studien dar.

### *Spielt die Intervallrichtung eine Rolle?*

Die Melodiekontur, also die Richtung, in der eine Frequenzänderung in der Zeit erfolgt, hat für die Sprache und für die Musik eine besondere Bedeutung. Die Bedeutung des Gesagten kann sich dadurch – gleich der Kontur – verändern. Zum Beispiel lässt sie uns zwischen Fragesätzen oder Aussagesätzen unterscheiden.

Das zeigt, dass die Intervalle und die Verlaufsrichtung der Intervallmuster für die Wahrnehmung der Konturinformationen fundamental wichtig sind. Die Melodiekonturen treten perzeptuell besonders deutlich hervor und scheinen leichter im Gedächtnis zu bleiben als ganz spezifische Intervallkonstellationen (bei Nichtmusikern und Säuglingen). Außerdem dauert das Decodieren von spezifischen Intervallen länger im Gehirn als die Konturinformationsdecodierung (Dowling 1978). Trainor und Trehub (1992) stellen die Hypothese auf, dass Säuglinge die Melodiekontur detektieren können, jedoch nicht die spezifischen Intervallinformationen. Die Fähigkeit, die Kontur erkennen zu können, wird in der Fachliteratur als ein grundlegender Mechanismus des Säuglings angesehen, der sogar angeboren sein könnte (Carral et al. 2005; Friederici et al. 2007; Moon und Cooper 1993; Nazzi et al. 1998 ). Neuronale Korrelate für Melodiekontur und Musikempfindung scheinen unterschiedlich zu sein (Lee et al. 2011; Stewart et al. 2002).

Insbesondere für das Kurzzeitgedächtnis einfacher Melodien ist bekannt, dass es oftmals bei Erwachsenen ausreicht, wenn die Tonabfolge in Erinnerung bleibt. Für die Wiedererkennung transponierter von identischen oder leicht veränderten Melodien zeigte sich in Höruntersuchungen, dass hier die Melodiekontur die für die Erkennung entscheidende musikalische Größe war (Dowling und Fujitani 1971). Die Melodiekontur ist auch die psychoakustische Größe anhand derer Säuglinge die Stimme der Umgebung im Gedächtnis behalten bzw. wiedererkennen. Dies ermöglicht es dem Säugling, seine Umgebungssprecher mit unterschiedlichen Tonhöhen wiederzuerkennen.

Um dennoch einen zusätzlichen Hinweis darauf zu erhalten, inwieweit Melodieintervalle mit der Melodiestructur und -kontur zusammenhängen, wurde eine einfache Intonationsanalyse basierend auf der Gesamtgestalt der Melodiekontur durchgeführt. Diese erfolgte für die am häufigsten beobachteten Strukturkategorien, also für einbögige (Kapitel 3.4.1.2) sowie doppelböigige (Kapitel 3.5.1.2) Melodien. Dem Ansatz von Mampe et al. (2009) folgend wurde die Melodiedauer normiert und der Zeitpunkt des Erreichens des Melodiemaximums ( $t_{\text{NORM}}(F_{0\text{MAX}})$ ) bestimmt. Es wurden drei „Intonations-Klassen“ gebildet (Form-Klassen 1–3), die fallende und steigende Melodieverläufe kontrastieren und zudem eine weitere symmetrische Klasse im Übergangsbereich identifizieren (Kapitel 2.4.3). Mampe et al. (2009) haben gezeigt, dass bereits Neugeborene, die mit deutscher Umgebungssprache aufwachsen, eine für die deutsche Sprache typische fallende Intonation in ihren Schreimelodien bevorzugten (Form-Klasse 1). Französische Neugeborene dagegen präferierten die steigende Melodiekontur (Form-Klasse 3).

Die Gestaltanalysen in der vorliegenden Arbeit belegten das Vorherrschen und Zunehmen der fallenden Intonationsklasse über die ersten vier Lebensmonate – ein Befund, den man für gesunde, deutschsprachig aufwachsende Säuglinge erwarten würde. Die Melodiekontur (Gestalt) der hier untersuchten Laute zeigte insbesondere in 1B-Melodien einen hohen Anteil der Form-Klasse 1 (58,8 %), der fallenden Melodieintonation. Der Anteil von Melodien dieser Konturklasse

stieg mit zunehmendem Alter (1. Monat: 50,3 % – 4. Monat: 74,5 %). Besonders markant war die Zunahme der fallenden Intonation im 3. und 4. Monat (Kapitel 3.4.1.2). Auch die Befunde von Höhle et al. (2009) berichten ein zunehmendes Vorherrschen des trochäischen Rhythmus mit dem Alter deutscher Kinder, insbesondere zwischen dem 4. und 6. Monat. In 2B-Melodien war die Intonation von Anfang an vorherrschend fallend (71,4 %), wohingegen die beiden anderen Form-Klassen 2 und 3 nicht nur insgesamt seltener waren, sondern auch keine Veränderung über das Alter zeigten (Kapitel 3.5.1.2). Die Analyse der doppelböigen Melodien (2B) zeigte von Anfang an ein Bevorzugen der trochäischen Intonation. Dies bedeutet, dass das Melodiemaximum des ersten Bogens höher liegt als das des zweiten Bogens der Melodie. Diese Intonationsklasse ist auch die typische Intonation für doppelsilbige Wörter der deutschen Sprache. Die „Intonationsbefunde“ sind ein stützendes Argument für die Annahme, dass die hier untersuchten Probanden eine unauffällige vorsprachliche Entwicklung zeigten. Dies stützt die Befunde von Mampe et al (2009).

#### **4.4 Entwicklungsphänomen: Modulkombination (1B zu 2B)**

Neben der Beantwortung der vorrangig gestellten klinischen Fragen konnte als wichtiger Nebenbefund der Grundlagenforschung für das vokale Entwicklungsmodell ein interessanter Aspekt beschrieben werden. Für das postulierte Entwicklungsmodell der zunehmenden Melodiekomplexität der Vokalisation im Verlauf der vorsprachlichen Entwicklung ist es entscheidend, die Bogenübergänge zwischen zwei Bögen (Modulen) zu einem Doppelbogen als echte Übergänge zu charakterisieren. Das wurde hier gezeigt, indem die Intervallmodelle in charakteristischer Weise die beiden Bögen in 2B-Melodien verbanden und der Bogenübergang durch ein Plateau definiert wurde. Den Übergang beider Bögen als Bestandteil eines Intervallelements (Plateau) zu charakterisieren, könnte ein sehr entscheidendes Kriterium für den Beleg der Bogenkombination als erste Komplexitätsstufe sein. Dies könnte ein Kriterium dafür sein, dass es sich tatsächlich um eine intentionale Kombination von zwei Bögen handelt oder um eine eher zufällige  $F_0$ -Modulation.

Für die Interpretation, dass es sich tatsächlich um eine intentionale Kombination zweier Bögen handelt, spricht der Befund, dass 94 % der Doppelbögen Melodieintervalle enthielten und in mindestens 34 % der Bogenübergang durch ein Plateau eines Intervalls des Codes -12- zu charakterisieren war (Kapitel 3.5.3.2).

Die deskriptive Statistik des in Kapitel 3.6 vorgestellten Modulvergleichs von steigenden und fallenden Intervallen in Einzel- und Doppelbögen zeigte ein invariantes Verhältnis der Intervalle innerhalb 1B- und 2B-Melodien. Im Hinblick auf die untersuchten Messgrößen präsentierten sich große Übereinstimmungen im direkten Vergleich der Intervalle gleicher Richtung in 1B- und 2B-Melodien. Die in Kapitel 3.6 tabellarisch aufgeführten und sich zum Teil stark ähnelnden Werte (vgl. Kapitel 3.6.2.4) können auf eine modulare Kombination von Einzelintervallen zu Doppelintervallen und noch komplexeren Kombinationen unterschiedlicher Codes und Muster deuten, wobei statistische Überprüfungen (mit Hilfe multivarianter Methoden) hierzu noch ausstehen.

#### **4.5 Melodieintervalle – ein potenzieller Frühindikator für die laryngeale Regelleistung im Säuglingsweinen?**

Die Lautproduktion eines gesunden Säuglings lässt sich stark vereinfacht anhand der Theorie des „Quelle-Filter-Modells“ nach Fant (1960) beschreiben: Der Larynx (Quelle) produziert Schallwellen, die den Primärklang erzeugen. Durch Passieren des Filters, in diesem Fall der Vokaltraktstrukturen (insbesondere der Epiglottis, dem Pharynx, der Mundhöhle und der Nasenhöhlen) werden die Primärklänge modifiziert. Lage und Größe der Vokaltraktstrukturen verändern sich im Säuglingsalter durch Wachstum und Reifung beträchtlich.

Die neurophysiologische Reifung der Artikulation erfolgt im Wechselspiel mit der anatomisch-funktionellen Reifung der Vokaltrakts und beteiligter Hirnstrukturen. Lange Zeit nahm man an, dass das lineare Quelle-Filter-Modell adäquat sei, um die beobachteten Lauteigenschaften zu erklären. Neuere Forschungsergebnisse belegen jedoch, dass der Filter (Vokaltrakt) auf die Quelle (Larynx) nicht-linear rückkoppelt, und auch die auditive Rückkopplung ermöglicht, die gehörten Laute

unmittelbar noch während ihrer Produktion zu verändern (Titze 1993; Titze 1994). Bereits in den Säuglingslauten der ersten Lebensmonate und nicht erst im Babbel-Alter spielt die Rückkopplung des Vokaltrakts auf die laryngeale Lautproduktion eine Rolle (Fuamenya 2011).

Dadurch sind Phonationseigenschaften bereits im Neugeborenen- und frühen Säuglingsalter durch die Vokaltraktstrukturen beeinflusst. Bei Säuglingen mit orofazialen Spaltbildungen ist dies besonders markant (Birrr 2009; Dirauf 2010; Fuamenya et al. 2015; Ostermann 2010).

Aus klinischer Perspektive ergibt sich aus den Veränderungen im 1. Lebensjahr (Vorperian et al. 2005) die Schwierigkeit, bei der *Vorsprachlichen Diagnostik* (VD) robuste Messgrößen innerhalb eines fortlaufend reifenden und sich nach dem vorsprachlichen Entwicklungsprogramm verändernden System zu erarbeiten. Wenn man bedenkt, dass die individuelle Entwicklung sehr variabel ist, auch wenn sie einem universalen Entwicklungs- und Reifungsprogramm folgt, erschwert dies die Identifikation von Frühindikatoren für Entwicklungsstörungen zusätzlich. Durch intensive Forschungen am ZVES ist es dennoch gelungen, als weltweit ersten potenziell geeigneten Frühindikator einer abweichenden bzw. verzögerten vorsprachlichen Entwicklung mit Langzeiteffekten auch bis zum Alter von drei Jahren die Melodiegesamtgestalt zu identifizieren (Wermke et al. 2011; Wermke et al. 2007). Danach zeigte sich, dass die Komplexität der Melodie im spontanen Weinen und in Komfortlauten eine der wesentlichen Voraussetzungen für eine ungestörte Prosodie- und damit Sprachentwicklung zu sein scheint (Wermke und Mende 2016).

Da es sich bei der Melodiekomplexität (Gesamtgestalt) um vergleichsweise zeitlich langsame Prozesse (Frequenzmodulationen) handelt, erschien es sinnvoll, nach einem weiteren Indikator zu suchen, der kurzzeitliche temporale Eigenschaften der Melodie charakterisieren kann. Dazu gibt es Vorarbeiten, die sich mit der Erfassung von Unregelmäßigkeiten der Grundfrequenzschwingungen (Jitter, Perturbationsquotienten) sowie der Variation der Amplitude (Shimmer) des Audiosignals befasst haben

(Carding et al. 2004; Fuller und Horii 1986; Herzel et al. 1995; Lind und Wermke 2002). Diese Messgrößen haben sich jedoch aus verschiedenen Gründen bisher nicht als praktikabel bzw. klinisch ausreichend robust erwiesen (Lind 2007). Ein anderer Ansatz zur Charakterisierung der Kurzzeitvariabilität ist es, die Variation der Grundfrequenz innerhalb von Melodien durch Mittelungen über mehrere gleichabständige Abschnitte zu berechnen. Diese Methode ist bisher nur im cross-lingualen Vergleich eingesetzt worden (Wermke et al. 2016). Für klinische Fragestellungen ist die Methode zu unspezifisch.

Ein besserer und sehr innovativer Ansatz zur Charakterisierung kurzzeitlicher respiratorisch-laryngealer Regelmechanismen könnten die hier untersuchten Melodieintervalle sein. Die ermittelten Zeiten der Plateaus, der Übergänge sowie der Intervalllängen sind schnell genug, um auch sehr kurzzeitliche (ab 50 ms) Regelstörungen zu erfassen, und es können faktisch gemeinsam mit der Melodie Komplexitätsanalysen ermittelt werden. Das wäre zeitsparend, sofern man ein automatisches Skript (z.B. in Matlab) dazu verwendet.

Ein wesentlicher Schritt bis zur Anwendung fehlt jedoch noch – das Phänomen muss besser verstanden werden. Bisher weiß man, dass diese kurzzeitlichen Grundfrequenzveränderungen regelhaft bei gesunden Säuglingen in den ersten vier Monaten vorkommen.

Man vermutet, dass die Melodieintervalle ein universales Phänomen laryngealer Regelmechanismen sind (Dobnig 2017; Stephan 2017). Die ursprüngliche Annahme, dass sich solche treppenartigen Phänomene vor allen Dingen bei Säuglingen zeigen, die in tonaler Umgebungssprache aufwachsen, wurde durch die Arbeit von Dobnig (2017), zumindest bei Neugeborenen, nicht bestätigt. Das bedeutet nicht, dass dies ausgeschlossen ist, jedoch konnte der Datenkorpus von Dobnig (2017) mit dem von ihr verwendeten methodischen Vorgehen keine Hinweise darauf in ihrer Stichprobe liefern. Vielmehr zeigten sich im Vergleich mit einer Arbeit mit deutschen Neugeborenen sehr universale Phänomene, die gleichzeitig nur wenig variierende temporale Messgrößen beinhalteten (Stephan 2017).

Melodieintervalle kommen, so hat die vorliegende Arbeit gezeigt, in allen Melodiestrukturen vor und sind unabhängig davon, welchen Vokalisationstyp Säuglinge präferieren. Es wurde gezeigt, dass segmentierte Melodien ebenso Melodieintervalle aufwiesen, wie auch die nicht unterbrochenen Melodien. Die meisten ungestörten Melodien, die nicht durch phonatorische Rauschbanden oder irreguläre Stimmlippenschwingungen charakterisiert waren und ohnehin eine (temporäre) Dysfunktion oder Unreife reflektierten, zeigten Melodieintervalle. Es handelt sich also um ein Phänomen, das häufig genug auftritt.

Natürlich sind dies alles bisher erste Postulate, die durch systematische Studien geprüft werden müssen, aber die bisher zusammengetragenen Befunde und Argumente lassen Melodieintervalle aus Sicht der Autorin tatsächlich als einen potenziellen Frühindikator für laryngeale Dysfunktionen im Weinen erscheinen. Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass insbesondere innerhalb der steigenden Intervalle – vor allem in den Strukturkategorien (1B und 2B) und deren vermessenen Intervallmuster – eine geringe temporale Variabilität vorlag. Demnach wird im Ergebnis der vorliegenden Arbeit postuliert, dass Melodieintervalle dazu geeignet sein könnten, Komplexitätsstrukturen quantitativ zu charakterisieren und damit laryngeale Regelmechanismen zu beschreiben. Für das weitere Vorgehen schlägt die Autorin die besondere Konzentration auf die Messgrößen der steigenden Intervalle vor. In diesen scheinen leistungsfähige regulatorische Kontrollprozesse notwendig zu sein, um Melodieintervalle entgegen der abnehmenden Intensität (Atmung) zu erzeugen. Dahingegen scheinen fallende Intervalle durch physiologische Faktoren und eine gewisse Relaxation (z.B. der Abnahme des subglottischen Druck) einen Einfluss auf die Kenngrößen zu nehmen und könnten die gesuchte Dysfunktion maskieren. Die Invarianten innerhalb der steigenden Intervalle scheinen eine gute Voraussetzung zu sein, um in der Erforschung der Vorsprachlichen Diagnostik Fortschritte hinsichtlich der Entdeckung verdeckter Syndrome bei Säuglingen zu erzielen.



Die offensichtliche Zusammensetzung der Einzelintervalle zu Doppel- und Mehrfachintervallen ist entwicklungstheoretisch sehr interessant und bestätigt die Annahme, dass hier keine zufälligen Prozesse ablaufen. Daher kann im Ergebnis bei aller Limitation aufgrund der hohen Variabilität bei gleichzeitig vergleichsweise geringer Anzahl an Stichproben und fehlenden multivarianten statistischen Modellen zumindest hypothesengenerierend postuliert werden, dass steigende Melodieintervalle geeignete Messgrößen liefern könnten, um laryngeale Dysfunktionen bei Säuglingen mit orofazialen Spaltbildungen nachzuweisen.

Bei Erwachsenen sind ähnliche Phänomene mit Hilfe mathematischer Modelle und künstlicher Signale untersucht worden (Aalto et al. 2011). Allerdings können diese Analysen bisher selbst bei Erwachsenen noch nicht alle beobachteten Stimmphänomene erklären. Bei Säuglingen liegen noch weniger Studien dazu vor (Herzel et al. 1995; Mende et al. 1990). Mangels fehlender Forschung muss man bisher annehmen, dass die hier untersuchten Melodieintervalle zu einem großen Teil durch stimmphysiologische Vorgänge erzeugt werden. Weitere Forschungen dazu sind am ZVES eingeleitet und sollen helfen, die intervallartigen Phänomene besser zu verstehen.

#### **4.6 Limitationen und Vorschläge für weiterführende Analysen aus klinischer Perspektive**

Trotz akribischer Vorarbeiten und theoretischer Überlegungen zum Untersuchungsansatz waren bestimmte methodische Limitationen nicht zu vermeiden. In erster Linie basieren die Befunde im Wesentlichen auf dem Signallevel (event count), da Mittelungen über die Probanden aufgrund der hierarchischen Datenstruktur und der gefundenen Alterseffekte bei der Stichprobe von nur 12 Säuglingen nicht sinnvoll gewesen wären.

Es war hier nicht das Ziel, inter-individuelle Unterschiede zu analysieren, sondern zunächst Melodieintervalle allgemein zu charakterisieren und geeignete Hypothesen für nachfolgende Untersuchungen mit größerer Probandenzahl zu erarbeiten. Dennoch ist die Analyse auf Signallevel-Ebene allein prinzipiell eine methodische Limitation, auch wenn eine große Zahl an Einzellauten ausgewertet

wurde. Die Probandenzahl konnte hier nicht erhöht werden, da die geforderten zeitlich dichten (wöchentlichen) Aufnahmen nur von 12 Säuglingen im Archiv vorlagen. Für mehr Probanden muss eine eigene prospektive Studie geplant werden.

Nach dem Ergebnis scheint dies eine sinnvolle Weiterführung, wenn gleichzeitig ein Kollektiv mit Risikokindern, wie z.B. Säuglinge mit orofazialen Spaltbildungen, in die Studienplanung einbezogen wird. Die durch die bisherigen Vorarbeiten und die vorliegende Arbeit erarbeiteten methodischen Messroutinen, Referenzdaten und theoretischen Konzepte erlauben jetzt eine solche Studienplanung inklusive statistischer Fallzahlplanung.

Im Ergebnis der Erfahrung und Befunde schlägt die Autorin vor, in einer solchen Studie den Fokus auf steigende Melodieintervalle zu legen, da diese intentional erzeugt werden müssen, während fallende Intervalle durch physiologische Entspannungsmechanismen der Stimmlippenschwingungen beeinflusst sind.

Die Arbeit hat gezeigt, dass die Variabilität der temporalen Messgrößen für die Elemente der steigenden Intervalle viel geringer ist als für die der fallenden Intervalle. Mit diesem Konzept scheint es aus Sicht der Autorin aussichtsreich, tatsächlich einen Indikator für die Leistungsfähigkeit respiratorisch-laryngealer Regelmechanismen zu erarbeiten und diesen zukünftig im klinischen Kontext zur Dysfunktionsdiagnostik einsetzen zu können.

Eine vergleichende Untersuchung von Säuglingen mit und ohne orofaziale Spaltbildungen hätte dabei gleichzeitig den Vorteil, dass man das Entstehen von Melodieintervallen, insbesondere die Interaktion mit Vokaltraktresonanzen, besser verstehen würde. Es gibt zahlreiche Befunde und mathematische Modellierungen, die zeigen, dass es eine wechselseitige Beeinflussung zwischen der Lautquelle (Larynx) und des Filtersystems (Vokaltrakt) gibt (Titze 1993; Titze 1994). Aufgrund der hohen Grundfrequenz in Säuglingslauten ähnelt ein Teil der Effekte, die man in der Melodieproduktion beobachtet, der Sängerstimme, insbesondere der Sopranstimme, sodass ähnliche Tuning-Phänomene zwischen Phonation und Vokaltraktresonanz in den Säuglingslauten beobachtet wurden (Kempf 2009; Kob et al. 2011; Wermke et al. 2005; Wermke et al. 2002b).

Für weiterführende Arbeiten in dieser Forschungsrichtung sollten also nicht nur die Melodie- und Intensitätsdiagramme analysiert werden, sondern diese zusätzlich mit potenziellen Tuning-Phänomenen zwischen Melodie und Formanten ergänzt werden, so wie es bereits in Vorarbeiten des ZVES angewendet wurde. Die Autorin schlägt vor, die hier beschriebenen Melodieintervallmessungen mit Tuning-Messungen (Kempf 2009) in einer nächsten Studie vergleichend zwischen Säuglingen mit und ohne orofaziale Spaltbildungen zu kombinieren.

## 5 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, intervallartige Substrukturen (Melodieintervalle) auf der Melodiekontur von Säuglingslauten im Längsschnitt über die ersten vier Lebensmonate zu analysieren. Es sollte belegt werden, dass gesunde Säuglinge Melodieintervalle regelhaft erzeugen. Dabei war auch die Frage zu beantworten, ob Melodien mit Intervallen häufiger vorkommen als Melodien ohne Intervall über den Untersuchungszeitraum der ersten vier Lebensmonate. Neben Häufigkeitsanalysen sollten auch Analysen temporaler Eigenschaften erfolgen und Frequenzratios (Intervallgrößen) ermittelt werden. Langzeitziel dieser Analysen ist es, potenzielle Risikokinder einer späteren Sprech- und Sprachentwicklungsstörung so früh wie möglich anhand einer nicht-invasiven Vorsprachlichen Diagnostik identifizieren zu können.

Der Datenkorpus, der für die vorliegende retrospektive Pilotstudie zur Verfügung stand, umfasste mehr als 6000 Vokalisationen von 12 gesunden Säuglingen mit deutscher Umgebungssprache. Die Vokalisationen lagen der Autorin in Form von anonymisierten Aufnahmen im Archiv des ZVES vor. Aus einem Gesamtdatenkorpus von 6130 Vokalisationen wurden in einer komplexen Vorselektierungs-Routine mittels audio-visueller Analyse insgesamt 3114 Vokalisationen für die finalen Melodieintervallanalysen als geeignet befunden. Unter Methodenmodifikation zu Vorarbeiten, wie einer herabgesetzten Plateaumindestlänge auf 50 ms und unter Einbezug rhythmisch-segmentierter Vokalisationen in die Analysen wurden die Aufnahmen anhand von Melodie- und Intensitätsdiagrammen sowie semi-automatisch zugehörigen Messroutinen im Cry-Data-Analysis-Program (CDAP) analysiert und Melodieintervalle vermessen. Des Weiteren wurden Analysen der Melodiestrukturkategorien, die den Komplexitätsgrad der Konturen reflektieren, und der Bogenformen (Intonation) durchgeführt, um das Auftreten identifizierter Intervallcodes und deren Muster zu diesen in Bezug zu setzen.

Das melodische Einzelintervall (Plateau-Übergang-Plateau) wurde als Modul definiert, das zu Doppelintervallen und noch komplexeren Kombinationen unterschiedlicher Codes und Muster zusammengesetzt wird. Das Repertoire dieser Kombinationsmuster wurde in der Arbeit detailliert aufgezeigt.

Ein Modul-Vergleich der steigenden und fallenden Einzelintervalle in Einfach- und Doppelbögen konnte eine hohe Übereinstimmung hinsichtlich spezieller Messgrößen (Plateaulänge, Übergangslänge, Steigung, Frequenzratio), insbesondere der steigenden Intervalle im einfachen Intervallmuster, belegen.

Für die über den Untersuchungsraum analysierten Auftrittshäufigkeiten der Intervalle konnte mittels einer verallgemeinerten Schätzgleichung (GEE-Model) eine signifikante Zunahme des Intervallauftritts festgestellt werden, die durch einen nichtlinearen Alterseffekt gekennzeichnet war. Die Intervallkomplexität nahm linear signifikant mit dem Lebensalter zu. Es wurden keine Geschlechtseffekte festgestellt.

Als vorherrschende Intervallgröße wurde die kleine Sekunde (Halbton) über den Untersuchungszeitraum gefunden. Die Intervallgrößen und ein Großteil der Analysen der temporalen Messgrößen erfolgte auf signalbasierter Ebene und wurde deskriptiv vergleichend zwischen den Richtungen bzw. den Mustern der Intervalle untersucht und als Referenzwerte in umfangreichen Tabellen berichtet.

Die Ergebnisse vorliegender Arbeit belegten durch Analysen unterschiedlicher Messgrößen, wie z.B. dem Komplexitätsgrad der Melodie und deren regelrechter Entwicklung mit dem Alter, dass alle hier analysierten Vokalisationen von Probanden stammten, die sich unauffällig entwickelten. Somit wurde sichergestellt, dass die erarbeiteten Referenzwerte für nachfolgende Studien die Verhältnisse bei gesunden Säuglingen widerspiegeln. Melodieintervalle werden als eine Messgröße für die Kurzzeitvariabilität der Grundfrequenz ( $F_0$ ) und damit der laryngealen Regelleistung angesehen. Die Ergebnisse vorliegender Arbeit sollen als vorläufige Vergleichswerte für geplante Analysen an Vokalisationen von Säuglingen mit orofazialen Spaltbildungen dienen.

Für eine Weiterführung dieses Untersuchungsansatzes in einer prospektiven Studie unter Einbeziehung von Säuglingen mit orofazialer Spaltbildung sind damit geeignete Voraussetzungen erarbeitet worden.

## 6 Literaturverzeichnis

- Aalto, A., Aalto, D., Malinen, J. und Vainio, M. (2011). Interaction of vocal fold and vocal tract oscillations. Beitrag präsentiert bei: 24th Nordic Seminar on Computational Mechanics (Aalto University).
- Altman, D. G. (1991). *Practical Statistics for Medical Research*, Chapman & Hall, London.
- Armbrüster, L., Mende, W., Ehlert, H., Wermke, G. und Wermke, K. (2017). Musical Intervals in Baby Sounds. Beitrag präsentiert bei: 10th International Conference of Students of Systematic Musicology (London: [https://sysmus17.qmul.ac.uk/wpcontent/uploads/2017/08/armbruster\\_intervals\\_baby\\_sounds.pdf](https://sysmus17.qmul.ac.uk/wpcontent/uploads/2017/08/armbruster_intervals_baby_sounds.pdf) [Stand:21.05.20]).
- Armbrüster, L., Mende, W., Gelbrich, G., Wermke, P., Götz, R. und Wermke, K. (2020). Musical Intervals in Infants' Spontaneous Crying over the first 4 Months of Life. *Folia Phoniatr Logop*, DOI: 10.1159/000510622.
- Bartram, B. C., Beckmann, J. P., Breyer, F., Fey, G., Fonatsch, C., Irrgang, B., Taupitz, J., Seel, K.-M. und Thiele, F. (2000). Humangenetische Diagnostik. In: *Wissenschaftliche Grundlagen und gesellschaftliche Konsequenzen* 1. Aufl., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Bergé, S. J., Plath, H., Van de Vondel, P. T., Appel, T., Niederhagen, B., Von Lindern, J. J., Reich, R. H. und Hansmann, M. (2001). Fetal cleft lip and palate: sonographic diagnosis, chromosomal abnormalities, associated anomalies and postnatal outcome in 70 fetuses. *Ultrasound Obstet Gynecol* 18, 422-431.
- Birr, M. (2009) Melodiekomplexität – ein geeigneter Frühindikator potentieller Sprachentwicklungsstörungen bei Säuglingen mit orofazialen Spalten? Melodiestruckturenanalysen in Lautäußerungen der ersten zwölf Lebenswochen. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Boersma, P. und Weenink, D. (2011). Praat: Doing phonetics by computer. URL: <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/> [Stand:02.05.2020].
- Bosma, J. F., Truby, H. M. und Lind, J. (1965). Cry motions of the newborn infant. *Acta Paediatr.* 54, 60-92.
- Burdi, A. R. (2006). Developmental Biology and Morphogenesis of the Face, Lip and Palate. In: *Cleft Lip and Palate*, Hrsg. Berkowitz, S., 2. Aufl., Springer-Verlag, New York, S. 3-12.

- Carding, P. N., Steen, I. N., Webb, A., Mackenzie, K., Deary, I. J. und Wilson, J. A. (2004). The reliability and sensitivity to change of acoustic measures of voice quality. *Clin. Otolaryngol.* *29*, 538-544.
- Carral, V., Huotilainen, M., Ruusuvirta, T., Fellman, V., Näätänen, R. und Escera, C. (2005). A kind of auditory 'primitive intelligence' already present at birth. *Eur. J. Neurosci.* *21*, 3201-3204.
- Ceponiene, R., Hukki, J., Cheour, M., Haapanen, M. L., Koskinen, M., Alho, K. und Naatanen, R. (2000). Dysfunction of the auditory cortex persists in infants with certain cleft types. *Dev. Med. Child Neurol.* *42*, 258-265.
- Ceponiene, R., Hukki, J., Cheour, M., Haapanen, M. L., Ranta, R. und Naatanen, R. (1999). Cortical auditory dysfunction in children with oral clefts: relation with cleft type. *Clin. Neurophysiol.* *110*, 1921-1926.
- Chapman, K. L., Hardin-Jones, M., Schulte, J. und Halter, K. A. (2001). Vocal development of 9-month-old babies with cleft palate. *J. Speech Lang. Hear. Res.* *44*, 1268-1283.
- Cheour, M., Ceponiene, R., Hukki, J., Haapanen, M. L., Naatanen, R. und Alho, K. (1999). Brain dysfunction in neonates with cleft palate revealed by the mismatch negativity. *Clin. Neurophysiol.* *110*, 324-328.
- Chollet, M. B., DeLeon, V. B., Conrad, A. L. und Nopoulos, P. (2014). Morphometric analysis of brain shape in children with nonsyndromic cleft lip and/or palate. *J. Child Neurol.* *29*, 1616-1625.
- Cohen, M. M. (1978). Syndromes With Cleft Lip and Cleft Palate. *Cleft Palate-Craniofacial J.* *15*, 306-328.
- Conrad, A. L., Wermke, K., Eisenmann, M., Kuhlmann, E., Benavides, A., Kosciak, T. und Magnotta, V. (2020). Preliminary evaluation of pre-speech and neurodevelopmental measures in 7-11-week-old infants with isolated oral clefts. *Pediatr. Res.*, DOI: 10.1038/s41390-020-0887-5.
- Delack, J. B. und Fowlow, P. J. (1978). The ontogenesis of differential vocalizations: Development of prosodic contrastivity during the first year of life. In: *The development of communication*, Hrsg. Waterson, N. und Snow, C., Chichester, Wiley, S. 93-110.
- Deutsch, D. (1998). *The Psychology of Music*. In: *Cognition and Perception*, 2. Aufl., Academic Press, S. 215-264.
- DeVolder, I., Richman, L., Conrad, A. L., Magnotta, V. und Nopoulos, P. (2013). Abnormal cerebellar structure is dependent on phenotype of isolated cleft of the lip and/or palate. *Cerebellum* *12*, 236-244.



- Dirauf, S. (2010) Strukturmerkmale der Melodie und des Rhythmus in vorsprachlichen Lautäußerungen – Eine Untersuchung von Säuglingslauten orofazialer Spaltträger der 13. bis zur 25. Lebenswoche. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Dobnig, D. (2017) Quantitative Analyse von F0-Intervallstrukturen in Lautäußerungen von Neugeborenen mit tonaler Sprachumgebung – Ein Beitrag zur Identifikation potenzieller Risikomarker für Sprachentwicklungsstörungen. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Dokou, P. (2007) Über die Bedeutung von Melodie und Rhythmus in der vorsprachlichen Entwicklung von Säuglingen unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Bedürfnisse von Kindern mit orofazialen Spalten – Ein Beitrag zur Entwicklung geeigneter Frühförderkonzepte. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Dowling, W. J. (1978). Scale and contour: Two components of a theory of memory for melodies. *Psychol. Rev.* 85, 341-354.
- Dowling, W. J. und Fujitani, D. S. (1971). Contour, interval, and pitch recognition in memory for melodies. *J. Acoust. Soc. Am.* 49, 524-531.
- Ehlert, H. (2019) Eigenschaften von Tonintervallen in Melodien von Babylauten als Referenzgrößen für vokale Regelleistungen in der Vorsprachlichen Diagnostik. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Esling, J. H., Benner, A. und Moisik, S. R. (2015). Laryngeal articulatory function and speech origins. Beitrag präsentiert bei: 18th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS 2015) Satellite Event: The Evolution of Phonetic Capabilities: Causes constraints, consequences (pp. 2-7). (Glasgow: Little, H.).
- Etz, T., Reetz, H. und Wegener, C. (2012). A classification model for infant cries with hearing impairment and unilateral cleft lip and palate. *Folia Phoniatr Logop* 64, 254-261.
- Fant, G. (1960). *Acoustic Theory of Speech Production*, The Hague, Mouton.
- Friederici, A. D., Friedrich, M. und Christophe, A. (2007). Brain Responses in 4-Month-Old Infants Are Already Language Specific. *Curr. Biol.* 17, 1208-1211.

- Fuamenya, N. A. (2011) Quantitative Analyse von subharmonischen und Geräuschphänomenen in Vokalisationen junger Säuglinge: Vergleich von Säuglingen mit und ohne orofaziale Spaltbildungen. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Fuamenya, N. A., Robb, M. P. und Wermke, K. (2015). Noisy but effective: crying across the first 3 months of life. *J. Voice* 29, 281-286.
- Fuller, B. F. und Horii, Y. (1986). Differences in fundamental frequency, jitter, and shimmer among four types of infant vocalizations. *J. Commun. Disord.* 19, 441-447.
- Gao, W., Lin, W., Grewen, K. und Gilmore, J. H. (2017). Functional Connectivity of the Infant Human Brain: Plastic and Modifiable. *Neuroscientist* 23, 169-184.
- Granier-Deferre, C., Bassereau, S., Ribeiro, A., Jacquet, A.-Y. und 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, e17304.
- Gschwend, G. (2000). Neurophysiologische Grundlagen der Hirnleistungsstörungen, 2. Aufl., Karger, Basel.
- Háden, G. P., Honing, H., Török, M. und Winkler, I. (2015). Detecting the temporal structure of sound sequences in newborn infants. *Int. J. Psychophysiol.* 96, 23-28.
- Hall, D. E. und Hess, J. T. (1984). Perception of Musical Interval Tuning. *Music Percept.* 2, 166-195.
- Hanny, K. H., de Vries, I. A. C., Haverkamp, S. J., Oomen, K. P. Q., Penris, W. M., Eijkemans, M. J. C., Kon, M., Mink van der Molen, A. B. und Breugem, C. C. (2016). Late detection of cleft palate. *Eur. J. Pediatr.* 175, 71-80.
- Hauschildt, S. (2006) Akustische Eigenschaften von Säuglingslauten bei eingesetzter versus nicht eingesetzter Oberkieferplatte - ein Beitrag zur Untersuchung des Einflusses der kieferorthopädischen Frühbehandlung auf die vorsprachliche Entwicklung von Kindern mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Segelspalte. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Helmholtz, H. (1913). Die Lehre von den Tonempfindungen – als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, 6. Aufl., F. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

- Herzel, H., Berry, D., Titze, I. und Steinecke, I. (1995). Nonlinear dynamics of the voice: Signal analysis and biomechanical modeling. *Chaos* 5, 30-34.
- Hinrichsen, K. V. (1990). Gesichtsentwicklung. In: *Humanembryologie*, Hrsg. Hinrichsen, K. V., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, S. 650-692.
- Höhle, B., Bijeljic-Babicb, R., Herolda, B., Weissenbornd, J. und Nazzib, T. (2009). Language specific prosodic preferences during the first half year of life: Evidence from German and French infants. *Infant Behav. Dev.* 32, 262-274.
- Holland, D., Chang, L., Ernst, T. M., Curran, M., Buchthal, S. D., Alicata, D., Skranes, J., Johansen, H., Hernandez, A., Yamakawa, R., Kuperman, J. M. und Dale, A. M. (2014). Structural growth trajectories and rates of change in the first 3 months of infant brain development. *JAMA Neurol.* 71, 1266-1274.
- Hunter, A. G. (2002). Medical genetics: 2. The diagnostic approach to the child with dysmorphic signs. *Can. Med. Assoc. J.* 167, 367-372.
- Jones, K. L. und Adam, M. P. (2015). Evaluation and diagnosis of the dysmorphic infant. *Clin. Perinatol.* 42, 243-261.
- Jugessur, A. und Murray, C. J. (2005). Orofacial clefting: recent insights into a complex trait. *Curr. Opin. Genet. Dev.* 15, 270-278.
- Jurkutat, A. (2009) Sprachentwicklungsstörungen bei Kindern mit orofazialen Spaltbildungen. Dissertation, Humanwissenschaftliche Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Kempf, A. (2009) Untersuchung des Beginns artikulatorischer Vorgänge in den Lautproduktionen von Säuglingen mit orofazialen Spalten. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Knickmeyer, R. C., Gouttard, S., Kang, C., Evans, D., Wilber, K., Smith, J. K., Hamer, R. M., Lin, W., Gerig, G. und Gilmore, J. H. (2008). A structural MRI study of human brain development from birth to 2 years. *J Neurosci.* 28, 12176-12182.
- Kob, M., Henrich, N., Herzel, H., Howard, D., Tokuda, I. und Wolfe, J. (2011). Analysing and Understanding the Singing Voice: Recent Progress and Open Questions. *Curr. Bioinform.* 6, 362-374.
- Koopmans van Beinum, F. J. und Van der Stelt, J. M. (1986). Early stages in the development of speech movements. In: *Precursors of Early Speech*. Wenner-Gren Center International Symposium Series., Hrsg. Lindblom, B. und Zetterström, R., Palgrave Macmillan, London, S. 37-50.

- LaGasse, L. L., Neal, A. R. und Lester, B. M. (2005). Assessment of infant cry: acoustic cry analysis and parental perception. *Ment. Retard. Dev. Disabil. Res. Rev.* 11, 83-93.
- Landis, J. und Koch, G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* 33, 159-174.
- Lee, Y.-S., Janata, P., Frost, C., Hanke, M. und Granger, R. (2011). Investigation of melodic contour processing in the brain using multivariate pattern-based fMRI. *Neuroimage* 57, 293-300.
- Lind, K. (2007) Untersuchung spektraler und melodischer Eigenschaften von Säuglingsschreien: Eine Longitudinalstudie über die ersten 16 Lebenswochen im Rahmen der Deutschen Sprachentwicklungsstudie. Dissertation, Biologische Fakultät, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Lind, K. und Wermke, K. (2002). Development of the vocal fundamental frequency of spontaneous cries during the first 3 months. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 64, 97-104.
- Mahler, E. A., Johannsen, J., Tsiakas, K., Kloth, K., Lüttgen, S., Mühlhausen, C., Alhaddad, B., Haack, T. B., Strom, T. M., Kortüm, F., Meitinger, T., Muntau, A. C., Santer, R., Kubisch, C., Lessel, D., Denecke, J. und Hempel, M. (2019). Exome Sequencing in Children: Undiagnosed Developmental Delay and Neurological Illness. *Dtsch Arztebl Int.* 116, 197-204.
- Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A. und Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Curr. Biol.* 19, 1994-1997.
- Mangold, E., Kreiß, M. und Nöthen, M. M. (2017). Syndromale und nichtsyndromale orofaziale Spalten. *medizinische genetik* 4, 397-412, DOI: 10.1007/s11825-017-0163-1.
- Mangold, E., Ludwig, K. U. und Nöthen, M. M. (2011). Breakthroughs in the genetics of orofacial clefting. *Trends Mol Med* 17, 725-733.
- Mende, W., Wermke, K., Schindler, S., Wilzopolski, K. und Hock, S. (1990). Variability of the cry melody and the melody spectrum as indicators for certain CNS disorders. *Early Child Dev. Care* 65, 95-107.
- Moon, C. und Cooper, R. P. (1993). Two-day old infants prefer native language. *Infant Behav. Dev.* 16, 495-500.
- Mossey, P. A. und Castilla, E. E. (2001). Global Registry and Database on Craniofacial Anomalies: Report of a WHO Registry Meeting on Craniofacial Anomalies, World Health Organization, Bauru, Brazil.

- Myrcik, K. (2016) Untersuchung der Melodiestructur in spracherwerbsrelevanten Vokalisationen von Säuglingen mit und ohne familiäre Disposition für eine spezifische Spracherwerbsstörung. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Naatanen, R. und Winkler, I. (1999). The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience. *Psychol. Bull.* 125, 826-859.
- Nazzi, T., Bertocini, J. und Mehler, J. (1998 ). Language discrimination by newborns: Toward an understanding of the role of rhythm. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 24, 756-766.
- Nopoulos, P., Langbehn, D. R., Canady, J., Magnotta, V. und Richman, L. (2007). Abnormal brain structure in children with isolated clefts of the lip or palate. *JAMA Pediatr.* 161, 753-758.
- Ostermann, T. (2010) Die Analyse segmentierter vorsprachlicher Melodiestructuren von Säuglingen mit orofazialen Spalten im Alter von 2-3 Monaten. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Pachtner, S. (2016) Quantitative Charakterisierung akustischer und phonetischer Eigenschaften kanonischer Babblers von gesunden Kindern mit deutscher Umgebungssprache. Dissertation, Fakultät für Humanwissenschaften, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Patel, A. D., Iversen, J. R. und Rosenberg, J. C. (2006). Comparing the rhythm and melody of speech and music: The case of British English and French. *J. Acoust. Soc. Am.* 119, 3034-3047.
- Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Spada, D., Andreolli, G., Rovelli, R., Baldoli, C. und Koelsch, S. (2010). Functional specializations for music processing in the human newborn brain. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 107, 4758-4763.
- Prechtl, H., Beintema, D. (1964). *The Neurological Examination of the Full-term Newborn Infant*, Clinics in Developmental Medicine, No. 12, Heinemann, London.
- Prochnow, A. (2013) Der Erwerb melodisch-rhythmischer Grundbausteine im Rahmen der vorsprachlichen Entwicklung - eine vergleichende Analyse der Schreie von schwedischen und deutschen Neugeborenen. Dissertation, Fakultät für Humanwissenschaften, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.

- Quast, A. (2017) Die Bedeutung der "Minipubertät" im frühkindlichen Spracherwerb: Welchen Einfluss haben postnatale Sexualhormonkonzentrationen auf melodische, artikulatorische und temporale Eigenschaften von Komfortlauten von Säuglingen im fünften Lebensmonat?. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Robb, M. P., Yavarzadeh, F., Schluter, P. J., Voit, V., Shehata-Dieler, W. und Wermke, K. (2019). Laryngeal Constriction Phenomena in Infant Vocalizations. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 63, 49-58.
- Ross, D., Choi, J. und Purves, D. (2007). Musical intervals in speech. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 9852-9857.
- Sansavini, A., Bertocini, J. und Giovanelli, G. (1997). Newborns discriminate the rhythm of multisyllabic stressed words. *Dev. Psychol.* 33, 3-11.
- Sarimski, K. (2014). *Entwicklungspsychologie genetischer Syndrome*, 4. Aufl., Hogrefe Verlag.
- Schwartz, D. A., Howe, C. H. und Purves, D. (2003). The Statistical Structure of Human Speech Sounds Predicts Musical Universals. *J. Neurosci.* 23, 7160-7168.
- Sereschk, N. (2019) Temporale Eigenschaften ingressiver und egressiver Phonationsleistungen gesunder Neugeborener. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Sivertsen, A., Wilcox, A., Johnson, G. E., Abyholm, F., Vindenes, H. A. und Lie, R. T. (2008). Prevalence of Major Anatomic Variations in Oral Clefts. *Plast. Reconstr. Surg.* 121, 587-595.
- Slavotinek, A. und Ali, M. (2015). Recognizable Syndromes in the Newborn Period. *Clin. Perinatol.* 42, 263-280.
- Splinter, K., Adams, D. R., Bacino, C. A., Bellen, H. J., Bernstein, J. A., Cheatle-Jarvela, A. M., Eng, C. M., Esteves, C., Gahl, W. A., Hamid, R., Jacob, H. J., Kikani, B., Koeller, D. M., Kohane, I. S., Lee, B. H., Loscalzo, J., Luo, X., McCray, A. T., Metz, T. O. und Mulvihill, J. J. (2018). Effect of Genetic Diagnosis on Patients With Previously Undiagnosed Disease. *N Engl J Med* 379, 2131-2139.
- Srivastava, S., Cohen, J. S., Vernon, H., Barañano, K., McClellan, R., Jamal, L., Naidu, S. und Fatemi, A. (2014). Clinical Whole Exome Sequencing in Child Neurology Practice. *Ann Neurol* 76, 473-483.

- Steck-Walter, S. (2007) Quantitative Strukturanalyse vorsprachlicher Vokalisationen von Säuglingen mit orofazialen Spalten im zweiten Lebenshalbjahr bei kieferorthopädischer Frühbehandlung. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Stefanics, G., Háden, G. P., Sziller, I., Balázs, L., Beke, A. und Winkler, I. (2009). Newborn infants process pitch intervals. *Clin. Neurophysiol.* 120, 304-308.
- Stephan, S. (2017) Quantitative Analyse von F0-Intervallstrukturen in den Lautäußerungen von gesunden, normalhörenden Säuglingen. Dissertation, Medizinische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Stewart, L., Overath, T., Warren, J. D., Foxton, J. M. und Griffiths, T. D. (2002). fMRI evidence for a cortical hierarchy of pitch pattern processing. *PLoS One* 3, e1470.
- Stuppia, L., Capogreco, M., Marzo, G., La Rovere, D., Antonucci, I., Gatta, V., Palka, G., Mortellaro, C. und Tetè, S. (2011). Genetics of syndromic and nonsyndromic cleft lip and palate. *J Craniofac Surg* 22, 1722-1726.
- ten Dam, E., van der Heijden, P., Korsten-Meijer, A. G., Goorhuis-Brouwer, S. M. und van der Laan, B. F. (2013). Age of diagnosis and evaluation of consequences of submucous cleft palate. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 77, 1019-1024.
- Titze, I. R. (1993). *Vocal Fold Physiology*, Singular Publishing Group, San Diego, California.
- Titze, I. R. (1994). *Principles of Voice Production*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Tolarova, M. und Cervenka, J. (1998). Classification and Birth Prevalence of Orofacial Cleft. *Am. J. Med. Genet.* 25, 126-137.
- Trainor, L. J. und Trehub, S. E. (1992). A comparison of infants' and adults' sensitivity to Western musical structure. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 18, 394-402.
- Trehub, S. E. (2001). Musical predispositions in infancy. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 930, 1-16.
- Trehub, S. E. (2010). In the Beginning: A Brief History of Infant Music Perception. *Music. Sci.* 14, 71-87.
- Trehub, S. E., Bull, D. und Thorpe, L. A. (1984). Infants' perception of melodies: the role of melodic contour. *Child Dev* 55, 821-830.

- Ullal-Gupta, S., Vanden Bosch der Nederlanden, C. M., Tichko, P., Lahav, A. und Hannon, E. E. (2013). Linking prenatal experience to the emerging musical mind. *Front. Syst. Neurosci.* *48*, 1-7.
- Vihman, M. (1996). *Phonological Development. The origins of language in the child*, Basil Blackwell, Oxford.
- Voigt M., S. K., Jahrig K. (1996). Analysis of a 1992 birth sample in Germany. 1: New percentile values of the body weight of newborn infants. *Geburtshaus Frauenheilkunde* *56*, 550-558.
- Vorperian, H., Kent, R., Lindstrom, M., Kalina, C., Gentry, L. und Yandell, B. (2005). Development of vocal tract length during early childhood: A magnetic resonance imaging study. *J. Acoust. Soc. Am.* *117*, 338-350.
- Weigl, R. (2012) Lärm oder Lied? Analyse musikalischer Intervalle in den Lautäußerungen von Säuglingen als komplexe vorsprachliche Fähigkeit. Diplomarbeit (Psychologie), Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Wermke, K. (1987) Begründung und Nachweis der Eignung des Säuglingsschreies als Indikator für zentralnervöse Funktionsstörungen des Neugeborenen: Fallstudien unter Einsatz eines speziellen Computerverfahrens. Dissertation, Biologische Fakultät, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Wermke, K. (2002) Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten Zwillingen in den ersten 5 Lebensmonaten. Habilitationsschrift, Humboldt-Universität, Berlin.
- Wermke, K., Birr, M., Voelter, C., Shehata-Dieler, W., Jurkutat, A., Wermke, P. und Stellzig-Eisenhauer, A. (2011). Cry melody in 2-month-old infants with and without clefts. *Cleft Palate Craniofac J.* *48*, 321-330.
- Wermke, K., Hain, J., Oehler, K., Wermke, P. und Hesse, V. (2014). Sex hormone influence on human infants' sound characteristics: melody in spontaneous crying. *Biol. Lett.* *10*, 20140095.
- Wermke, K., Hauser, C., Komposch, G. und Stellzig-Eisenhauer, A. (2002a). Spectral analysis of prespeech sounds (spontaneous cries) in infants with unilateral cleft lip and palate (UCLP): a pilot study. *Cleft Palate Craniofac J.* *39*, 285-294.
- Wermke, K., Leising, D. und 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*, 961-973.



- Wermke, K. und Mende, W. (1992). Sprache beginnt mit dem ersten Schrei. *Spektrum der Wissenschaften* 12, 115-118.
- Wermke, K. und Mende, W. (2000). Developmental changes of infant cries during the first months of life: the evolution of complex vocalizations. In Workshop "Development and Interaction of Linguistic and Non-Linguistic Cognition in Infants" (Berlin).
- Wermke, K. und Mende, W. (2009). Musical elements in human infants' cries: In the beginning is the melody. *Music. Sci.* 13, 151-175.
- Wermke, K. und Mende, W. (2011). From Emotion to Notion: The Importance of Melody. In: *The Oxford Handbook of Social Neuroscience*, Hrsg. Decety, J. und Cacioppo, J. T., Oxford University Press, New York, S. 624-648.
- Wermke, K. und Mende, W. (2016). From Melodious Cries to Articulated Sounds: Melody at the Root of Language Acquisition. In: *Melodies, Rhythm and Cognition in Foreign Language Learning*, Hrsg. Fonseca-Mora, M. C. und Gant, M., Cambridge Scholars Publishing, Lady Stephenson Library, Newcastle upon Tyne, S. 24-47.
- Wermke, K., Mende, W., Kempf, A., Manfredi, C., Brusciaglioni, P. und Stellzig Eisenhauer, A. (2005). Interaction patterns between melodies and resonance frequencies in infants' pre-speech utterances. Beitrag präsentiert bei: *Models and analysis of vocal emissions for biomedical applications* (29.-31. Oktober, Firenze, Italy: [https://www.isca-speech.org/archive/maveba\\_2005/mv05\\_187.html](https://www.isca-speech.org/archive/maveba_2005/mv05_187.html) [Stand:21.05.20]).
- Wermke, K., Mende, W., Manfredi, C. und Brusciaglioni, P. (2002b). Developmental aspects of infant's cry melody and formants. *Med. Eng. Phys.* 24, 501-514.
- Wermke, K., Quast, A. und Hesse, V. (2018). From melody to words: The role of sex hormones in early language development. *Horm. Behav.* 104, 206-215.
- Wermke, K., Sereschk, N., May, V., Salinger, V., Sanchez, M. R., Shehata-Dieler, W. und Wirbelauer, J. (2019). The Vocalist in the Crib: the Flexibility of Respiratory Behaviour During Crying in Healthy Neonates. *J. Voice* S0892-1997, 3012-3014.
- Wermke, K., Teiser, J., Yovsi, E., Kohlenberg, P. J., Wermke, P., Robb, M., Keller, H. und Lamm, B. (2016). Fundamental frequency variation within neonatal crying: Does ambient language matter? *Speech, Lang. Hear.* 19, 211-217.

- Yang, F. F., McPherson, B., Shu, H. und Xiao, Y. (2012). Central auditory nervous system dysfunction in infants with non-syndromic cleft lip and/or palate. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 76, 82-89.
- Zarate, M. J., Ritson, C. R. und Poeppel, D. (2012). Pitch-interval discrimination and musical expertise: is the semitone a perceptual boundary? *J. Acoust. Soc. Am.* 132, 984-993.
- Zatorre, R. J. und Baum, S. R. (2012). Musical melody and speech intonation: Singing a different tune? *PLOS Biol.*, e1001372.
- Zeipert, B. (2004) Vorsprachliche Lautäußerungen (Säuglingsschreie) von Kindern mit Lippen-, Kiefer- und Gaumenspalten im ersten Lebenshalbjahr - eine Längsschnittstudie. Dissertation, Medizinische Fakultät, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.

## 7 Eigene Publikationen

Armbrüster, L., Mende, W., Ehlert, H., Wermke, G., & Wermke, K. (2017). Musical Intervals in Baby Sounds. Vortrag gehalten auf der 10th International Conference of Students of Systematic Musicology, Queen Mary University London.

Armbrüster, L., Mende, W. & Wermke, K. (2019). Richness of Musical Intervals in Melodies of Infants. Vortrag gehalten auf der 12th International Conference of Students of Systematic Musicology, Hochschule der populären Künste, Berlin.

Armbrüster, L., Mende, W., Gelbrich, G., Wermke, P., Götz, R. & Wermke, K. (2020). Musical Intervals in Infants' Spontaneous Crying over the first 4 Months of Life. *Folia Phoniatr Logop*, DOI: 10.1159/000510622.

## 8 Anhang

### 8.1 Anlage 1

**Tabelle A55 Erläuterungen der Intervall-Begrifflichkeiten**

<i>Intervall</i>	Ein Melodieintervall (Einzelintervall), in vorliegender Arbeit oftmals vereinfacht nur „Intervall“ genannt, zeigt nach Definition einen Tonhöhenabstand, der durch laryngeal produzierte F <sub>0</sub> -Plateaus als Substruktur der Melodie entsteht.
<i>Intervallelement</i>	Das Einzelintervall setzt sich immer aus drei „Intervallelementen“ zusammen: Plateau-Übergang-Plateau.
<i>Intervalllänge</i>	Die Summe aller Intervallelement-Längen (Plateau-Übergang-Plateau) eines Intervalls beschreibt die Gesamtlänge des Intervalls (Intervalllänge).
<i>Intervallcode</i>	Jedes Intervall wird anhand eines „Intervallcodes“ charakterisiert. Der Code gibt Auskunft über die Anzahl der verbundenen bzw. unabhängigen Intervalle einer Melodie (z.B. -1- oder -1-123-).
<i>Intervallrichtung</i>	Ein Intervall kann zwei Richtungen zeigen: Steigend (S) oder Fallend (F). Es können verschiedene Kombinationen der Richtungen beobachtet werden.
<i>Intervallgröße</i>	Der Tonhöhenabstand (Frequenzratio) zwischen beiden Plateaus eines Intervalls beschreibt die „Intervallgröße“. Die Intervallgröße wird in Cent angegeben.
<i>Intervallmuster</i>	Intervalle unterscheiden sich in ihrer Anzahl verbundener oder unabhängiger Intervalle sowie in ihrem Richtungsverlauf (Intervallgesamtstruktur). Die vielfältigen Kombinationen von fallenden und steigenden Intervallen werden als „Intervallmuster“ beschrieben und können als Richtungs-codes (z.B. -FS-) angegeben sein. Es wird zwischen einfachen und komplexen Intervallmustern unterschieden.
<i>Einfaches Intervallmuster (klinisch relevant)</i>	Das einfache (simple) Intervallmuster umfasst alle Intervalle der Codes -1- und -12-. Also das Einzelintervall (-1-) als fallendes (-F-) oder steigendes (-S-) Intervall und die einfache Kombination beider Richtungen (-FS-, -SF-, -SS- und -FF-) bestehend aus zwei Intervallen (-12-).
<i>Komplexes Intervallmuster</i>	Zeigt ein Grundfrequenzverlauf (Melodie) drei (-123-) oder mehr verbundene Intervalle, so liegt ein komplexes Intervallmuster vor. Auch werden alle voneinander unabhängig auftretende Intervalle innerhalb eines Grundfrequenzverlaufs zu den komplexen Intervallmustern gezählt.

## 8.2 Anlage 2

### Sonderfall „Spitzbogen“

Der „Spitzbogen“ stellt einen Sonderfall innerhalb der Intervallvermessung dar. In Abbildung A78 ist skizzenhaft das Vorgehen der Intervallvermessung an einem Spitzbogen dargestellt. Zur Erläuterung wurde ein  $\frac{1}{4}$  Ton-Raster hinter den zu analysierenden Bereich gelegt. Der grüne Pfeil stellt dar, dass der Abstand der gestrichelten (schwarzen) Linien des Rasters einen  $\frac{1}{4}$  Ton breit sind. Für die Vermessung wird vom  $F_{0\max}$  des Spitzbogens (hier als 2. Bogen des Grundfrequenzverlaufs)  $\frac{1}{4}$  Ton abgezogen. Die relevanten  $F_0$  Werte für die Einzeichnung eines Plateaus werden neu definiert (Beginn rote gestrichelte Linien) und anschließend wird die potenzielle Plateaulänge vermessen. Diese muss eine Mindestlänge von 50 ms haben, um als Plateau nach den Messkriterien für die Intervallvermessung gewertet zu werden. Beträgt sie weniger als 50 ms (siehe Abbildung A78) wird kein Plateau eingezeichnet und folglich an dieser Stelle kein Intervallelement definiert.

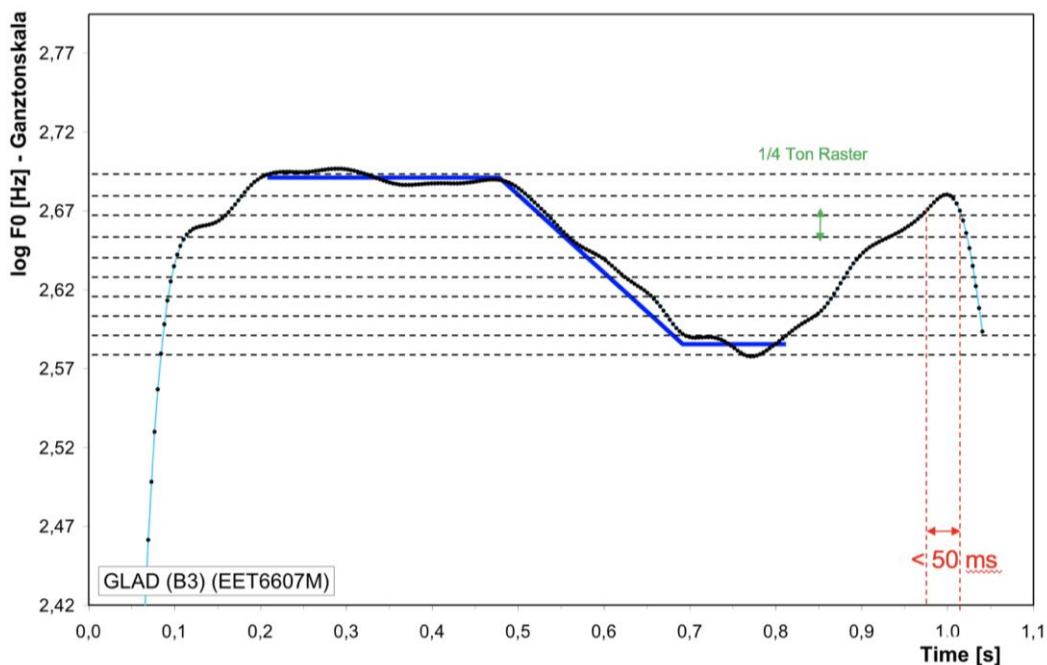


Abbildung A78 1. Beispiel: Sonderfall „Spitzbogen“ mit skizzierter Erläuterung

Auch in Abbildung A79 ist ein Grundfrequenzverlauf dargestellt, in welchem gemäß des „Spitzbogen“-Kriteriums kein Plateau auf dem Bogen nach der Segmentierungspause eingezeichnet werden konnte.

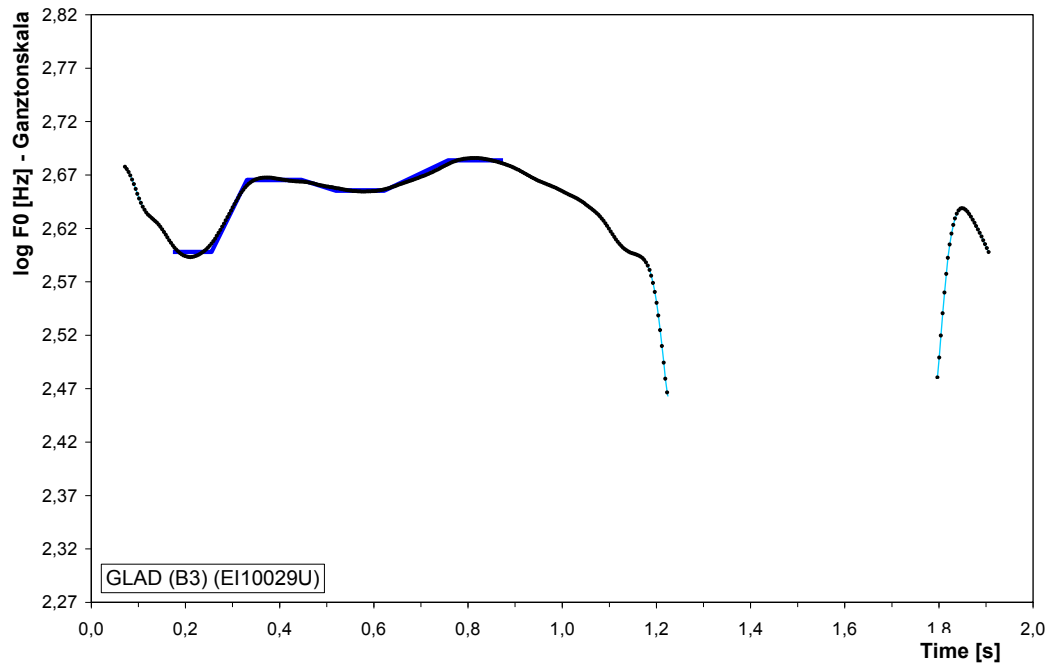


Abbildung A79 2. Beispiel: Sonderfall „Spitzbogen“

## 8.3 Anlage 3

Tabelle A56 Absolutes und relatives (%) Vorkommen der Melodiestrukturen pro Kind (nicht segmentierte Strukturkategorien)

Kind	Melodiestruktur				
	?	1B	2B	3B	MB
1	1	128	23	10	0
	(0,8)	(10,9)	(4,3)	(5,2)	(0,0)
2	7	89	50	32	9
	(5,7)	(7,6)	(9,3)	(16,5)	(18,8)
3	12	49	35	28	11
	(9,8)	(4,2)	(6,5)	(14,4)	(22,9)
4	12	106	65	17	3
	(9,8)	(9,0)	(12,1)	(8,8)	(6,3)
5	20	72	31	8	3
	(16,3)	(6,1)	(5,8)	(4,1)	(6,3)
6	8	118	64	13	0
	(6,5)	(10,1)	(11,9)	(6,7)	(0,0)
7	8	100	35	8	2
	(6,5)	(8,5)	(6,5)	(4,1)	(4,2)
8	11	65	46	16	4
	(8,9)	(5,5)	(8,6)	(8,2)	(8,3)
9	8	114	57	15	2
	(6,5)	(9,7)	(10,6)	(7,7)	(4,2)
10	16	113	32	6	1
	(13,0)	(9,6)	(5,9)	(3,1)	(2,1)
11	8	162	44	10	4
	(6,5)	(13,8)	(8,2)	(5,2)	(8,3)
12	12	58	56	31	9
	(9,8)	(4,9)	(10,4)	(16,0)	(18,8)
Gesamt	123	1174	538	194	48
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)

**Tabelle A57 Absolutes und relatives (%) Vorkommen der Melodiestrukturen pro Kind (segmentierte Strukturkategorien)**

Kind	Melodiestruktur					Gesamt
	1S	2S	3S	KS	MS	
1	31 (14,3)	12 (17,6)	3 (21,4)	26 (9,3)	0 (0,0)	234 (8,8)
2	15 (6,9)	1 (1,5)	0 (0,0)	37 (13,3)	0 (0,0)	240 (9,0)
3	8 (3,7)	2 (2,9)	2 (14,3)	20 (7,2)	0 (0,0)	167 (6,3)
4	9 (4,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	18 (6,5)	0 (0,0)	230 (8,7)
5	10 (4,6)	8 (11,8)	0 (0,0)	16 (5,7)	0 (0,0)	168 (6,3)
6	18 (8,3)	7 (10,3)	1 (7,1)	19 (6,8)	0 (0,0)	248 (9,3)
7	19 (8,8)	6 (8,8)	1 (7,1)	19 (6,8)	1 (50,0)	199 (7,5)
8	15 (6,9)	4 (5,9)	0 (0,0)	15 (5,4)	0 (0,0)	176 (6,6)
9	18 (8,3)	7 (10,3)	2 (14,3)	14 (5,0)	0 (0,0)	237 (8,9)
10	35 (16,1)	10 (14,7)	1 (7,1)	17 (6,1)	0 (0,0)	231 (8,7)
11	29 (13,4)	4 (5,9)	3 (21,4)	36 (12,9)	1 (50,0)	301 (11,3)
12	10 (4,6)	7 (10,3)	1 (7,1)	42 (15,1)	0 (0,0)	226 (8,5)
Gesamt	217 (100)	68 (100)	14 (100)	279 (100)	2 (100)	2657 (100)



## 8.4 Anlage 4

Tabelle A58 Absolute Häufigkeiten der Intervallcodes innerhalb der Melodiestrukturen

Intervallcodes	Melodiestruktur										Gesamt
	?	1B	1S	2B	2S	3B	3S	KS	MB	MS	
-1-	47	675	90	8	28	3	4	12	0	1	868
-1-1-	5	2	5	7	0	0	0	5	0	0	24
-1-12-	1	1	0	0	0	1	0	2	0	0	5
-1-123-	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
-1-1234-	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
-12-	33	287	63	186	14	14	2	48	3	1	651
-12-1-	3	0	1	1	1	0	0	1	1	0	8
-12-1-12-	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
-12-12-	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	4
-12-12-12-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
-12-123-	2	0	1	2	0	0	0	1	0	0	6
-12-123-123-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
-12-12345-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-123-	10	147	35	152	11	30	3	66	3	0	457
-123-1-	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
-123-12-	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3
-123-123-	0	0	0	0	0	1	0	3	1	0	5
-1234-	10	40	13	115	9	47	2	49	3	0	288
-1234-1-	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	4
-1234-12-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
-1234-123-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
-12345-	3	14	6	48	3	51	2	45	4	0	176
-12345-1-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
-12345-1-1-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-123456-	3	5	2	12	0	29	0	22	13	0	86
-123456-123-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
-1234567-	0	2	0	5	1	8	0	9	9	0	34
-1234567-12-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
-12345678-	1	0	0	1	0	3	0	1	6	0	12
-123456789-	0	1	0	0	0	0	1	2	2	0	6
-12345678910-	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
-1234567891011-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
-123456789101112-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Gesamt	123	1174	217	538	68	194	14	279	48	2	2657

## 8.5 Anlage 5

Tabelle A59 Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Intervallcodes innerhalb der Bogenform-Klassen

Intervallcode	Form-Klasse			Gesamt
	1	2	3	
-1-	462 (27,8)	114 (35,7)	292 (43,1)	868 (32,6)
-1-1-	14 (0,8)	1 (0,3)	9 (1,3)	24 (0,9)
-1-12-	5 (0,3)	0 (0,0)	0 (0,0)	5 (0,2)
-1-123-	2 (0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	2 (0,1)
-1-1234-	2 (0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	2 (0,1)
-12-	428 (25,7)	77 (24,1)	146 (21,5)	651 (24,5)
-12-1-	7 (0,4)	0 (0,0)	1 (0,1)	8 (0,3)
-12-1-12-	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (0,1)	1 (<0,1)
-12-12-	2 (0,1)	1 (0,3)	1 (0,1)	4 (0,2)
-12-12-12-	1 (<0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (<0,1)
-12-123-	6 (0,4)	0 (0,0)	0 (0,0)	6 (0,2)
-12-123-123-	1 (<0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (<0,1)
-12-12345-	1 (<0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (0,0)
-123-	314 (18,9)	54 (16,9)	89 (13,1)	457 (17,2)
-123-1-	1 (<0,1)	1 (0,3)	0 (0,0)	2 (0,1)
-123-12-	3 (0,2)	0 (0,0)	0 (0,0)	3 (0,1)
-123-123-	2 (0,1)	1 (0,3)	2 (0,3)	5 (0,2)
-1234-	204 (12,3)	32 (10,0)	52 (7,7)	288 (10,8)
-1234-1-	3 (0,2)	1 (0,3)	0 (0,0)	4 (0,2)

## Anhang

-1234-12-	0 (0,0)	1 (0,3)	0 (0,0)	1 (<0,1)
-1234-123-	1 (<0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (<0,1)
-12345-	109 (6,6)	21 (6,6)	46 (6,8)	176 (6,6)
-12345-1-	1 (<0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (<0,1)
-12345-1-1-	1 (<0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (<0,1)
-123456-	52 (3,1)	11 (3,4)	23 (3,4)	86 (3,2)
-123456-123-	0 (0,0)	1 (0,3)	0 (0,0)	1 (<0,1)
-1234567-	22 (1,3)	2 (0,6)	10 (1,5)	34 (1,3)
-1234567-12-	1 (<0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (<0,1)
-12345678-	7 (0,4)	0 (0,0)	5 (0,7)	12 (0,5)
-123456789-	4 (0,2)	1 (0,3)	1 (0,1)	6 (0,2)
-12345678910-	2 (0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	2 (0,1)
-1234567891011-	1 (<0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (<0,1)
-123456789101112-	1 (<0,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (<0,1)
Gesamt	1660 (100)	319 (100)	678 (100)	2657 (100)

### Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt Frau Professorin Dr. Kathleen Wermke für die Überlassung des Promotionsthemas und für ihre professionelle Unterstützung bei der Durchführung meiner Promotion. Insbesondere ihre herzliche Betreuung, ihr permanentes Engagement und ihre Leidenschaft für die wissenschaftliche Arbeit haben meine Zeit im ZVES und mich geprägt.

Herrn Peter Wermke gilt mein großer Dank für seine kompetente, freundliche und geduldige Unterstützung bei allen „digitalen“ Anliegen und besonders für seine sehr zeitaufwändige und intensive Hilfestellung bei der Erstellung der Datentabellen. Ich bedanke mich für die Bereitstellung der von ihm entwickelten Analysesoftware CDAP und für die Anpassung der Software an die besonderen Anforderungen meiner Arbeit.

Ich bedanke mich besonders bei Herrn Professor Dr. Dr. Götz Gelbrich für die statistische Betreuung und für die Berechnung der Verallgemeinerten Schätzgleichungen. Herrn Prof. Dr. Adalbert Wilhelm gilt mein herzlicher Dank für seine statistische Beratung in einer frühen Phase der Arbeit.

Für die Erstellung und Bereitstellung eines spezifischen PRAAT-Skripts, das eine auditive Kontrolle der ermittelten Grundfrequenz- und Intervallbereiche ermöglichte, möchte ich mich bei Herrn Dr. Jörg Mayer (Betreiber der Plattform Praatpfanne: <http://Praatpfanne.lingphon.net>) bedanken.

Die kollegiale und hilfsbereite Stimmung im ZVES war immer motivierend. Ich möchte mich bei allen Studentinnen und Studenten bedanken, die diese Zeit mit mir geteilt haben. Besonders mit Gesine Wermke verbindet mich wissenschaftliche Zusammenarbeit und die Teilnahme an Kongressen und Publikationen in London und Berlin.

## Danksagung

---

Von Herzen bedanke ich mich bei meiner Familie und bei meinen Freundinnen und Freunden, die mich alle auf ihre Weise während meiner Studien- und Promotionszeit begleitet und unterstützt haben.

Meine musikalische Bildung hat mich inspiriert, für meine Promotion am ZVES motiviert und die vorliegende Arbeit mit ermöglicht. Aus diesem Grund möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich musikalisch unterrichtet und geprägt haben. Ganz besonders gilt mein Dank Frau Angela Reichardt und Herrn Ulrich Eick-Kerssenbrock.