

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit
der Universität Würzburg
Poliklinik für Kieferorthopädie
Direktorin: Prof. Dr. med. dent. Angelika Stellzig-Eisenhauer

**Eigenschaften von Tonintervallen in Melodien von Babylauten als
Referenzgrößen für vokale Regelleistungen in der Vorsprachlichen
Diagnostik**

Inaugural Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Hanna Ehlert

aus Salzkotten

Würzburg, Juni 2018

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

Korreferentin: Prof. Dr. med. Wafaa Shehata-Dieler

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 19.06.2019

Die Promovendin ist Zahnärztin.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung.....	1
2 Material und Methoden	7
2.1 Vorbereitende Lautanalyse.....	8
2.1.1 Reliabilitätskontrolle der automatisch ermittelten Grundfrequenzverläufe (Melodie).....	9
2.2 Identifizierung und Vermessung von Intervallstrukturen in Weinlauten von Säuglingen	11
2.2.1 Definition eines Intervalls und verwendete Messkriterien.....	12
2.2.2 Intervallstrukturen.....	14
2.2.3 Quantitative Analyse der zeitlichen Eigenschaften und der Frequenzeigenschaften	18
2.2.3.1 Analyse der zeitlichen Eigenschaften.....	19
2.2.3.2 Analyse der Frequenzverhältnisse	19
2.3 Statistische Auswertung	22
3 Ergebnisse.....	24
3.1 Auftrittshäufigkeiten der identifizierten Intervallstrukturen	24
3.1.1 Analyse der Strukturkategorien	28
3.2 Auftrittshäufigkeiten der Intervallrichtungen.....	33
3.2.1 Strukturkategorie <i>Isoliertes Einzelintervall</i>	34
3.2.2 Strukturkategorie <i>Zwei zusammenhängende Intervalle</i>	38
3.3 Quantitative Charakterisierung der Intervallelemente der Strukturkategorien <i>isoliertes Einzelintervall (-1-)</i> und <i>zwei zusammenhängende Intervalle (-12-)</i>	42
3.3.1 Zeitliche Eigenschaften von Intervallen der Strukturkategorie <i>Isoliertes Einzelintervall</i>	42
3.3.2 Zeitliche Eigenschaften von Intervallen der Strukturkategorie <i>Zwei zusammenhängende Intervalle</i>	60
3.3.3 Steilheit des Übergangs zwischen zwei Plateaus der Intervallkategorie -1- (Frequenzwechsel)	81

3.3.4	Steilheit des Übergangs zwischen zwei Plateaus der Intervallkategorie -12- (Frequenzwechsel)	87
3.3.5	Mittlere Grundfrequenz der beiden Plateaus in der Strukturkategorie <i>isoliertes Einzelintervall</i> (-1-)	92
3.3.6	Mittlere Grundfrequenz der Plateaus in der Strukturkategorie <i>zwei zusammenhängende Intervalle</i> (-12-).....	97
3.4	Analyse der ermittelten Frequenzverhältnisse für die Intervallplateaus unter Berücksichtigung „musikalischer“ Intervalle .	100
4	Diskussion und Interpretation	108
4.1	Analyse der Intervalleigenschaften über den Untersuchungszeitraum.....	110
4.1.1	Zusammensetzung der Intervallstrukturen zu Strukturkategorien	111
4.1.2	Eigenschaften von Intervallen bei Berücksichtigung ihrer Intervallrichtung	112
4.1.3	Zeitliche Eigenschaften der Intervalle und Intervallelemente.....	115
4.1.4	Analyse der mittleren Grundfrequenzen der Plateaus (gMW(F_0))	119
4.1.5	Intervallgrößen	120
5	Zusammenfassung	124
6	Literaturverzeichnis.....	126

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispiel eines A: Frequenzspektrogramms (lineare Achsenskalierung) mit B: zugehörigem F_0 -Verlauf (logarithmische Skalierung)	10
Abbildung 2:	Beispiel für eine Melodie mit drei zusammenhängenden Intervallen (CDAP)	14
Abbildung 3:	Beispiele für Arten von Intervallstrukturen (CDAP)	16
Abbildung 4:	Beispiel einer Schreimelodie mit vermessenen Intervallen der Strukturkategorie -12-1- (f-s-f)	18
Abbildung 5:	Boxplots: Relative Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstruktur über die ersten 16 Lebenswochen (Kindniveau).....	27
Abbildung 6:	Streudiagramm mit Lowess-Kurve (f-Wert 30%): Relative Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstruktur über die ersten 16 Lebenswochen (Kindniveau)	28
Abbildung 7:	Beobachtete Intervallkategorien entsprechend ihrer Häufigkeiten gemittelt über die ersten 16 Lebenswochen.....	30
Abbildung 8:	Boxplot: relative Häufigkeiten der 4 häufigsten Intervallkategorien über die ersten 16 Lebenswochen (Kindniveau).....	32
Abbildung 9:	Boxplots: Relative Häufigkeit fallender Intervalle (\neg) der Kategorie -1- über den gesamten Untersuchungszeitraum (Anteil fallender + steigender Intervalle = 1).....	36
Abbildung 10:	Streudiagramm mit Lowess-Kurve (f-Wert 30%): Relative Häufigkeit fallender Intervalle (\neg) der Kategorie -1- über den gesamten Untersuchungszeitraum (Anteil fallender + steigender Intervalle = 1).....	37
Abbildung 11:	Boxplots: Relative Häufigkeit fallender Intervalle (\neg) der Kategorie -12- über den gesamten Untersuchungszeitraum (Anteil fallender + steigender Intervalle = 1).....	40
Abbildung 12:	Streudiagramm mit Lowess-Kurve (f-Wert 30%): Relative Häufigkeit fallender Intervalle (\neg) der Kategorie -12- über den gesamten Untersuchungszeitraum (Anteil fallender + steigender Intervalle = 1).....	41
Abbildung 13:	Boxplots: Intervalllänge über die ersten 16 Lebenswochen	44
Abbildung 14:	Boxplots: Intervalllänge getrennt nach der Intervallrichtung....	45
Abbildung 15:	Boxplots: Plateaulänge vorn (LV) über die ersten 16 Lebenswochen	47
Abbildung 16:	Boxplots: Plateaulänge hinten (LH) über die ersten 16 Lebenswochen	48

Abbildung 17:	Boxplots: Übergangslänge (LU) über die ersten 16 Lebenswochen	50
Abbildung 18:	Boxplots: relative Anteile der Intervallelemente der fallenden und steigenden IVs an der jeweiligen Intervalllänge über die Zeit	53
Abbildung 19:	Boxplot: relative Anteile der Intervallelemente an der jeweiligen Intervalllänge kindbasiert.....	54
Abbildung 20:	Boxplots: relative Anteile der Intervallelemente an der jeweiligen Intervalllänge, aufgeteilt nach der Richtung	55
Abbildung 21:	Histogramm: Verhältnis der beiden Plateaulängen (LV / LH) zueinander A: linear; B: logarithmiert N=1213; alle Intervalle der Kategorie -1-	56
Abbildung 22:	Streudiagramm: Plateaulänge vorn (LV) und zugehörige Plateaulänge hinten (LH) annähernd isochrone Intervalle: für $-0,04 > \lg(LV/LH) > 0,014$; N= 176.....	57
Abbildung 23:	Histogramm, gestapelt: Verhältnis der Plateaulängen zueinander (LV/ LH) [logarithmiert]; gestapelt nach dem Verhältnis der Übergangslänge zu den Plateaulängen	58
Abbildung 24:	Histogramm: Verhältnis der beiden Plateaulängen (LV / LH) für alle Intervalle der Kategorie -1- für LV > LU und LH > LU A: linear B: logarithmiert N=644	59
Abbildung 25:	Boxplots: Gesamtlänge der Intervallstruktur -12- über die ersten 16 Lebenswochen	62
Abbildung 26:	Boxplots: Gesamtlänge der Intervallstruktur -12- für die einzelnen Kinder	62
Abbildung 27:	Boxplots: Gesamtlänge der Intervallstruktur -12- unterteilt in die Varianten <i>fallend-fallend</i> , <i>fallend-steigend</i> , <i>steigend-fallend</i> , <i>steigend-steigend</i>	63
Abbildung 28:	Boxplots: Intervalllänge (IV 1 und 2) über die ersten 16 Lebenswochen	66
Abbildung 29:	Boxplots: Intervalllänge in Untergruppen der Strukturkategorie -12-	67
Abbildung 30:	Boxplots: Plateaulängen in Sekunden [s]; nach Wochen (A) und Varianten der Strukturkategorie -12- (B) 1 vorderes Plateau; 2 mittleres Plateaus; 3 hinteres Plateau..	71
Abbildung 31:	Boxplots: Übergangslänge in Sekunden [s]; aufgeteilt nach Wochen (A) und Varianten der Strukturkategorie -12- (B)	74
Abbildung 32:	Boxplots: Übergangslänge in Sekunden [s]; Untergruppen der Strukturkategorie -12- in drei Zeitabschnitten	75

Abbildung 33:	Boxplots: Übergangslänge in Sekunden [s] über die ersten 16 Lebenswochen nach Intervallrichtung (fallend bzw. steigend)	76
Abbildung 34:	Boxplots: relative Plateaulänge im Verhältnis zur Summe der drei Plateaulängen der Kategorie -12-	77
Abbildung 35:	Boxplots: relative Plateaulänge im Verhältnis zur Summe der drei Plateaulängen der Kategorie -12-; jedes Plateau (1, 2, 3) über die ersten 16 Lebenswochen.....	78
Abbildung 36:	Boxplots: Übergangslängen relativ zur Länge der Gesamtstruktur -12-	78
Abbildung 37:	Histogramm: Verhältnis der beiden Plateaulängen (LV / LH) der Einzelintervalle (1, 2) zueinander logarithmiert N=567 ...	80
Abbildung 38:	Boxplot: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression in [Hz/s]) zwischen zwei Plateaus (Kategorie -1-) über die ersten 16 Lebenswochen, aufgeteilt in steigende und fallende Intervalle.....	84
Abbildung 39:	Interquartilsabstände: Steilheit des Übergangs zwischen 2 Plateaus (Faktor der linearen Regression) über die ersten 16 Lebenswochen getrennt nach Intervallrichtung	85
Abbildung 40:	Boxplots: Kindmittelwerte der Steilheit des Übergangs (lineare Regression) in Absolutbeträgen über die ersten vier Lebenswochen	86
Abbildung 41:	Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der Kategorie -12- (IV 1) über die ersten 16 Lebenswochen in [Hz/s]; Werte der fallenden Intervalle als Absolutbetrag dargestellt	91
Abbildung 42:	Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der Kategorie -12- (IV 1) über die ersten 16 Lebenswochen in [Hz/s]; Werte der fallenden Intervalle als Absolutbetrag dargestellt	92
Abbildung 43:	Boxplots: mittlere Grundfrequenz der vorderen (V) und hinteren (H) Plateaus, getrennt nach der Richtung (fallend, N=665; steigend N=548) Achsenskalierung der y-Achse: gMW(F_0) in Hertz [Hz], für A und B unterschiedlich skaliert	94
Abbildung 44:	Boxplots: mittlere Grundfrequenz der vorderen (V) und hinteren (H) Plateaus, getrennt nach Richtung und Kindern Achsenskalierung der y-Achse: gMW(F_0) in Hertz (Hz)	95
Abbildung 45:	Boxplots: mittlere Grundfrequenz der vorderen (V) und hinteren (H) Plateaus, getrennt nach Richtung und Wochen Achsenskalierung der y-Achse: gMW(F_0) in Hertz (Hz)	96

Abbildung 46:	Boxplots: mittlere Grundfrequenz ($gMWF_0$) der vorderen und hinteren Plateaus in der Strukturkategorie -12-; getrennt nach der Richtung und in erstes und zweites Intervall	98
Abbildung 47:	Boxplots: mittlere Grundfrequenz ($gMWF_0$) der vorderen (V), mittleren (M) und hinteren (H) Plateaus; unterteilt nach der Untergruppe in <i>fallend-fallend</i> , <i>fallend-steigend</i> , <i>steigend-fallend</i> , <i>steigend-steigend</i> ; Intervallniveau	99
Abbildung 48:	Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse fallender Intervalle in Prozent, eingeteilt in kontinuierliche Kategorien um die musikalischen Intervalle	102
Abbildung 49:	Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse steigender Intervalle in Prozent, eingeteilt in kontinuierliche Kategorien um die musikalischen Intervalle	102
Abbildung 50:	Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse zwischen vorderem und hinterem Plateau; Bins in Vierteltonabständen	103
Abbildung 51:	Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse zwischen vorderem und hinterem Plateau; Bins in Achteltonabständen	104
Abbildung 52:	Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse zwischen vorderem und hinterem Plateau; Bins in Sechzehntel-(1/16)-Tonabständen	104
Abbildung 53:	Häufigkeitsverteilung der (-1-)-Intervalle getrennt nach Quartilsgrenzen der Intervallgrößen	106

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl vermessener Vokalisationen pro Kind über den gesamten Untersuchungszeitraum; Angabe des Geschlechts (m=männlich und w=weiblich)	8
Tabelle 2:	Theoretisch mögliche Intervallvarianten* nach der Anzahl ihrer Intervalle (IV) pro Laut	17
Tabelle 3:	Intervalle mit zugehörigen Frequenzverhältnissen und Bereichserweiterung für die Häufigkeitsanalyse	21
Tabelle 4:	Zeitliche Verteilung der ausgewerteten Laute (Ges) sowie der absoluten und relativen Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstrukturen (IV) pro Kind (Woche 1-4)	25
Tabelle 5:	Zeitliche Verteilung der ausgewerteten Laute (Ges) sowie der absoluten und relativen Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstrukturen (IV) pro Kind (Woche 5-8)	25
Tabelle 6:	Zeitliche Verteilung der ausgewerteten Laute (Ges) sowie der absoluten und relativen Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstrukturen (IV) pro Kind (Woche 9-12)	26
Tabelle 7:	Zeitliche Verteilung der ausgewerteten Laute (Ges) sowie der absoluten und relativen Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstrukturen (IV) pro Kind (Woche 13-16)	26
Tabelle 8:	Strukturkategorien (Sk) mit relativen Häufigkeiten pro Lebenswoche	29
Tabelle 9:	Test auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilk (p-Werte): relativer Anteil der Strukturkategorie an der Gesamtzahl von Signalen mit Intervall	33
Tabelle 10:	Ergebnisse der Korrelationsanalysen zwischen Auftrittshäufigkeit und Alter für die ersten 16 Lebenswochen .	33
Tabelle 11:	Absolute und relative Häufigkeiten steigender und fallender Intervalle der Kategorie -1-	35
Tabelle 12:	Test auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilk (p-Werte); Verteilung der relativen Anteile fallender Intervalle über die Kinder pro Woche	37
Tabelle 13:	Korrelation der relativen Häufigkeiten fallender Intervalle mit dem Lebensalter (erste 16 Lebenswochen)	38
Tabelle 14:	absolute und relative Häufigkeiten steigender und fallender Intervalle der Kategorie -12-	39
Tabelle 15:	Untergruppen der Strukturkategorie -12- hinsichtlich der Intervallrichtung: relative und absolute Häufigkeiten	42
Tabelle 16:	Deskriptive Statistik (Intervallniveau): Intervalllänge insgesamt (Lges) in Sekunden [s]	44

Tabelle 17:	Deskriptive Statistik: vordere Plateaulänge (LV) in Sekunden [s]	46
Tabelle 18:	Deskriptive Statistik: hintere Plateaulänge (LH) in Sekunden [s]	48
Tabelle 19:	Deskriptive Statistik: Übergangslänge zwischen 2 Plateaus (LU) in Sekunden [s]	49
Tabelle 20:	Deskriptive Statistik: Anteil Plateau vorn (Av); Anteil Plateau hinten (Ah); Übergang (Ü) Relativwerte als Anteil der jeweiligen IV-Länge.....	52
Tabelle 21:	Deskriptive Statistik: Gesamtlänge der Intervallstruktur -12- über die ersten 16 Lebenswochen in Sekunden.....	61
Tabelle 22:	Deskriptive Statistik: Intervalllänge (Lges) in Sekunden [s] für Intervall 1 der Struktur -12-	64
Tabelle 23:	Deskriptive Statistik: Intervalllänge (Lges) in Sekunden [s] für Intervall 2 der Struktur -12-	65
Tabelle 24:	Deskriptive Statistik: Plateaulänge vorn (LV) in Sekunden [s] für Intervall 1 der Struktur -12-	68
Tabelle 25:	Deskriptive Statistik: Plateaulänge Mitte der Struktur -12-	69
Tabelle 26:	Deskriptive Statistik: Plateaulänge hinten (LH) in Sekunden [s] für Intervall 2 der Struktur -12-	69
Tabelle 27:	Deskriptive Statistik: Übergangslänge (LU) in Sekunden [s] für Intervall 1 der Struktur -12-	72
Tabelle 28:	Deskriptive Statistik: Übergangslänge (LU) in Sekunden [s] für Intervall 2 der Struktur -12-	73
Tabelle 29:	Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus fallender Intervalle der Kategorie -1- in [Hz/s].....	82
Tabelle 30:	Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus steigender Intervalle der Kategorie -1- in [Hz/s].....	83
Tabelle 31:	Mediane der Kindmittelwerte für die Übergangsteilheit in vier aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten der ersten 16 Lebenswochen	86
Tabelle 32:	Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der fallenden Intervalle der Kategorie -12- (IV 1) in [Hz/s].....	87
Tabelle 33:	Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der steigenden Intervalle der Kategorie -12- (IV 1) in [Hz/s].....	88

Tabelle 34:	Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der fallenden Intervalle der Kategorie -12- (IV 2) in [Hz/s].....	89
Tabelle 35:	Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der steigenden Intervalle der Kategorie -12- (IV 2) in [Hz/s].....	90
Tabelle 36:	Deskriptive Statistik: mittlere Grundfrequenz (gMW(F ₀)) der vorderen (V) und hinteren (H) Plateaus, getrennt nach der Richtung (steigend/ fallend)	93
Tabelle 37:	Anzahl N der Intervalle der Kategorie -1- pro Kind nach Intervallrichtung.....	95
Tabelle 38:	Deskriptive Statistik: mittlere Grundfrequenz (gMWF ₀) der vorderen und hinteren Plateaus getrennt nach der Richtung und in erstes und zweites Intervall	97
Tabelle 39:	Deskriptive Statistik: mittlere Grundfrequenz (gMWF ₀) der vorderen, mittleren und hinteren Plateaus getrennt nach Untergruppen der Kategorie -12-	99
Tabelle 40:	Absolute und relative Häufigkeiten der Frequenzverhältnisse in Kategorien um die musikalischen Intervalle; Gesamtheit der vermessenen Intervalle geteilt in fallende und steigende Intervalle	101
Tabelle 41:	Frequenzverhältnisse (FQ) der Quartilsgrenzen	105

Abkürzungsverzeichnis

Av	zeitlicher Anteil vordere Plateaulänge am Gesamtintervall (relativ)
Ah	zeitlicher Anteil hintere Plateaulänge am Gesamtintervall (relativ)
Aü	zeitlicher Anteil Übergangslänge am Gesamtintervall (relativ)
CDAP©	Cry Data Analysis Program
f-f	fallend-fallend
f-s	fallend-steigend
FQ	Frequenzverhältnisse
gMW(F_0)	geometrischer Mittelwert der Grundfrequenz
IQR	interquartile range
IV	Intervallvermessung
LH	Länge des hinteren Plateaus
LV	Länge des vorderen Plateaus
LU	Übergangslänge zwischen zwei Plateaus
$Q_{0,25}$	Q_1 , unteres Quartil
$Q_{0,75}$	Q_3 , oberes Quartil
s-f	steigend-fallend

s-s steigend-steigend

SSW Schwangerschaftswoche

1 Einleitung

Wichtige Voraussetzungen zum Erlernen der menschlichen Sprache sind in der Entwicklung eines Kindes schon früh auszumachen, lange vor der Verwendung von ganzen Wörtern und Sätzen. Die Anfänge der Sprach- und Sprechentwicklung lassen sich bereits in den Lautäußerungen von Neugeborenen und jungen Säuglingen erkennen (Lieberman 1985).

Dies macht sich die Vorsprachliche Diagnostik auch am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) zu Nutzen. Die Vorsprachliche Diagnostik ist eine Untersuchungsmethode, die es erlaubt, akustische und prälinguistische Eigenschaften kindlicher Vokalisationen nichtinvasiv zu untersuchen und die Ergebnisse für eine Entwicklungseinschätzung zu verwenden. Dies ist insbesondere für Risikokinder, wie zum Beispiel Säuglinge mit einer Lippen-Kiefer-Gaumen-Segel-Spalte oder einer Hörstörung, wichtig.

Zum Spracherwerb gehören eine regelhafte, ungestörte auditive Wahrnehmung und Lautproduktion. Da der erste prägende Kontakt eines Kindes mit seiner Muttersprache schon im Mutterleib beginnt, wird offensichtlich, wie früh das Kind biologisch auf die Sprache und das Sprechen „vorbereitet“ wird: Nach der 22. Schwangerschaftswoche (SSW) ist das Ohr eines gesunden Fötus voll entwickelt (Lenarz und Boenninghaus 2012). Ab der 25. SSW können im Hirnstamm und im Kortex elektrische Potenziale auditiv hervorgerufen werden (Starr, Amlie et al. 1977). Bei Föten konnte ein reflektorisches Blinzeln durch akustische Reize ausgelöst werden; dieses Phänomen konnte vereinzelt zwischen der 24. und 25. SSW und kontinuierlich ab der 28. SSW nachgewiesen werden (Birnholtz und Benacerraf 1983). Hepper und Shahidullah (1994) konnten motorische Reaktionen sogar schon in der 19. SSW beobachten; diese zeigten sich in Bewegungen der Föten bei Tönen von 500 Hz, in den Folgewochen auch bei anderen Frequenzen (250 Hz ab 27. SSW; 1000 Hz und 3000 Hz ab der 33. SSW). Auch konnten Studien zeigen, dass

Föten nicht nur intrauterin hören können, sondern das Gehörte verarbeiten und speichern: Eine postnatale Reaktion auf pränatal gehörte Laute, Geräusche oder Melodien wurde durch verschiedene Autoren bestätigt (Hepper 1988, Partanen, Kujala et al. 2013). Eine besondere Bedeutung kommt der Melodie beim pränatalen Hören zu. Während hochfrequente Laute und segmentale Lauteigenschaften der Sprache nur gedämpft im Mutterleib ankommen, ist die Intonation (Melodiekontur) für einen Fötus beinahe unverändert wahrzunehmen (Querleu, Renard et al. 1988, Spence und Freeman 1996). Inwieweit sich diese pränatalen Einflüsse und Erfahrungen auf die Lautproduktion auswirken, zeigen vor allem weitere Arbeiten zur Prägung durch die Muttersprache (Mampe, Friederici et al. 2009, Wermke, Ruan et al. 2016, Wermke, Teiser et al. 2016), sowie durch „lautlose“ Vorübungen: So reagieren Kinder auf die Laute, die sie intrauterin wahrnehmen, mit Bewegungen im Vokaltrakt: In Ultraschalluntersuchungen von 17 Föten in der 32. und 36. SSW konnten signifikante Unterschiede in Lippenbewegungen der Föten beobachtet werden, je nachdem, ob ihnen kurz vor und während der Ultraschallaufnahmen gezielt „akustische Stimuli“ vorgespielt wurden (Reissland, Francis et al. 2016). Diese Stimuli bestanden aus einer definierten Aneinanderreihung des Lautes „Ma“, in festgelegter Länge, Zeitabstand und Anzahl, gesprochen von einer weiblichen Stimme. Wurden den Föten während des Scans solche Laute vorgespielt, so reagierten sie vermehrt mit bestimmten Lippenbewegungen („mouth stretch“, Reissland, Francis et al. 2016, S. 1,3-6). Dies zeigt, dass intrauterines Hören offenbar bereits eine Verknüpfung zwischen Gehörtem und orofazialen Gesten herstellt. Ähnliches fanden Gingras, Mitchell et al. (2005), die fötale Reaktionen auf vibro-akustische Reize (ca. 100 Hz, 95 dB, 0.5 Sekunden Dauer) untersucht haben. In Ultraschalluntersuchungen konnten die Forscher ein mögliches fötales Korrelat zu muskulären Aktivitäten beim späteren Weinen Neugeborener finden: Brustkorbhebungen bzw. -senkungen (wie bei Sequenzen späterer Einatmungs- und Ausatmungsphasen) und eine spezifische Zungenlage.

Fötale Erfahrungen ermöglichen zusammen mit angeborenen Entwicklungsprogrammen, dass bereits kurz nach der Geburt typische

Strukturen in den kindlichen Lautäußerungen zu identifizieren sind, die vor allem durch ihre melodischen Eigenschaften charakterisiert sind (Wermke und Mende 2009). Die Melodiekontur scheint auch durch die sprachliche Umgebung beeinflusst zu werden (Mampe, Friederici et al. 2009, Wermke, Ruan et al. 2016, Wermke, Teiser et al. 2016). Spezifische Melodieeigenschaften zeigten sich auch bei Neugeborenen mit tonaler Sprachumgebung (z.B. Mandarin und Lamnso) bzw. bei Sprachen mit melodischem Akzent (z.B. Japanisch) (Dahlem 2008, Feng 2018): Sowohl bei japanischen wie auch bei chinesischen Neugeborenen wurden jeweils in der ersten Lebenswoche plateau- bzw. treppenartige Phänomene innerhalb der sonst bogenartigen Melodieverläufe beobachtet. Diese Phänomene entstehen dadurch, dass die Grundfrequenz über eine kurze Zeit auf einem Plateau gehalten wird, also für eine bestimmte Zeitspanne mit nur geringen Abweichungen auf einer Tonhöhe bleibt, bevor sie auf ein anderes Plateau, also in eine andere Tonhöhe wechselt. Sie erinnern an Intervallstrukturen in der Musik und stellen Frequenzmodulationen dar, die die Leistungsfähigkeit der laryngealen Stimmerzeugung reflektieren. Die Frage, ob spezifische Intervallphänomene dabei von der mütterlichen Sprache und/ oder einer musikalischen Betätigung beeinflusst werden, ist spracherwerbstheoretisch und damit sprachdiagnostisch von Bedeutung. Eine systematische Untersuchung steht diesbezüglich noch aus, da keine Langzeituntersuchung nach der Neugeborenenperiode bzw. bis zur Sprachproduktion im engeren Sinne vorliegen.

Ein möglicher Erklärungsansatz für Intervallphänomene in Säuglingslauten wurde von Wermke und Mende (2009) postuliert. Hier wurde angenommen, dass Intervallphänomene sehr früh einen „musikalischen Ursprung“ der Sprache aus evolutionsbiologischer Perspektive reflektieren. Die phylogenetische Perspektive, dass die Evolution der Sprache durch Singen und Tänze, also „Musik“, vorbereitet wurde, gilt inzwischen als sehr wahrscheinlich (Mithen 2006). Damit könnte man auch das Auftreten musikalischer Elemente beim Spracherwerb in der Ontogenese erklären. Inwieweit die prä- und postnatale Hörerfahrung mit der Musikkultur dazu führen, ob bestimmte

Intervalle bevorzugt erzeugt werden, ist noch nicht untersucht. Eine Hörprägung könnte sich, so die beiden Autoren, auch in der Ontogenese zeigen, indem die Intervalle, die in der westlichen Musikkultur vorkommen, besonders häufig in den Säuglingsvokalisationen von Kindern, die darin aufwachsen, auftreten könnten. Sie fanden in einer Zwillingsstudie tatsächlich, dass die Melodien von Säuglingslauten Frequenzverhältnisse aufweisen, die auch musikalische Intervalle einschließen (Wermke 2002, Wermke und Mende 2009).

In Fortsetzung dieser ersten Befunde identifizierte Weigl (2012) am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) im Rahmen ihrer Diplomarbeit (Psychologie) erstmalig mittels einer auditiven Analyse Intervalle in Säuglingslauten der zweiten Lebenswoche. Alle identifizierten Intervalle wurden entsprechend ihrer Frequenzverhältnisse geordnet und graphisch dargestellt. Dabei zeigte sich eine Verteilung, in der die Häufigkeiten mit steigender Intervallgröße abnahmen. Intervalle mit einem Halbtonabstand traten am häufigsten auf.

Der Befund, dass das musikalische Intervall von der Größe eines Halbtons vorrangig auftritt, kann möglicherweise mit einer kulturellen Prägung durch die musikalische und sprachliche Umgebung erklärt werden. Wie Han, Sundararajan et al. (2011) herausfanden, können in westlichen Sprachen vor allem Tonhöhenunterschiede zwischen 100 und 200 Cents gemessen werden, was gleichzeitig den hauptsächlich auftretenden Intervallen in der westlichen Musik entspricht.

So interessant die bisherigen Erklärungsansätze für die gefundenen Intervallstrukturen in Melodien der Säuglinge auch erscheinen, bleibt dennoch die Frage danach, ob es sich nicht einfach um physiologisch bedingte „Stufen“ handelt, die vielleicht durch eine gewisse Unreife und damit Trägheit in der respiratorisch-laryngealen Koordination bei 1-2 Wochen alten Säuglingen erklärbar sind. Diese auf physiologischen Vorgängen beruhende Erklärung wird dadurch gestützt, dass ein erster Vergleich der Auftrittshäufigkeit von Intervallstrukturen in den Melodien von Weinglauten von Neugeborenen mit

Deutsch bzw. Mandarin (tonale Sprache) als Umgebungssprache bisher keine Unterschiede lieferte (Dobnig 2017, Stephan 2017). Im Gegenteil, bei einer Klassifizierung und dadurch Einordnung der vermessenen Intervalle in Bins um die musikalischen Intervalle zeigte sich bei Weigl (2012) eine Häufigkeitsverteilung, in der die Intervallanzahl von der Prime bis zur Intervallgröße von einem $\frac{3}{4}$ -Tonhöhenunterschied anstieg und für größere Intervalle kontinuierlich abfiel. Ausgenommen war die Häufigkeit der kleinen Sekunde. Diese überragte zahlenmäßig ($\approx 30\%$) deutlich die übrige Verteilung. Bei Dobnig (2017) und Stephan (2017) zeigte sich diese markante Überzahl der Halbtonintervalle sogar noch deutlicher ($\approx 50\%$ der Intervalle).

Um die Intervallphänomene in Säuglingslauten besser zu verstehen, sind eine Analyse der Laute von älteren Probanden bzw. Längsschnittuntersuchungen sinnvoll, um zu prüfen, ob die treppenartigen Strukturen auch später in der kindlichen Entwicklung noch regelhaft auftreten oder ob sie auf die ersten beiden Lebenswochen beschränkt sind und damit eher einer physiologischen Unreife in der Koordination der beteiligten Strukturen zuzuschreiben sind (und somit bei Säuglingen unterschiedlicher Sprach- und Musikkultur gleichermaßen auftreten).

Auch eine physiologische Erklärung wäre diagnostisch relevant, da die Untersuchung der Schreimelodie Rückschlüsse auf die „*an der Lautgebung beteiligten Gehirnfunktionen*“ (Wermke und Mende (1992), S.116) zulässt.

Die vorliegende Arbeit sollte daher dazu dienen, die bisherigen Untersuchungen zur vokalen Kontrollfähigkeit durch weitere Intervallanalysen zu ergänzen. Wie bei Weigl (2012) sollten in Schreimelodien intervallartige Strukturen identifiziert und quantitativ untersucht werden. Dies geschah unter Anwendung der von Dobnig (2017) und Stephan (2017) verwendeten Messkriterien (Kapitel 2.2.1). Im Unterschied zu diesen Vorarbeiten wurden nicht nur Lautäußerungen von Neugeborenen untersucht, sondern Lautäußerungen im Längsschnitt von 1 bis 112 Tagen. Damit sollte ein möglicher Entwicklungseffekt untersucht werden.

Einleitung

Um den Einfluss von Variabilitätserhöhenden Faktoren zu reduzieren, wurden nur gesunde Kinder mit demselben sprachlichen Hintergrund (Deutsch) untersucht.

2 Material und Methoden

In der vorliegenden Arbeit wurden spezielle strukturelle Phänomene, nämlich intervallartige Elemente, in den Melodien (Grundfrequenzverläufen) spontaner Lautäußerungen von Säuglingen im Längsschnitt über die ersten 16 Lebenswochen untersucht. Die hier ausgewerteten Lautaufnahmen lagen in anonymisierter Form 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 vor. Sie waren im Rahmen der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften Leipzig geförderten „Deutschen Sprachentwicklungsstudie“ (GLaD-Study) erstellt worden. Dadurch hatte die Autorin vorliegender Arbeit keinen Einfluss auf die Datenerhebung und hat, wie nachfolgend erläutert, für die eigene Analyse geeignete Probanden bzw. Lautaufnahmen aus dem Archiv ausgewählt.

Alle Probanden der „Deutschen Sprachentwicklungsstudie“ waren gesunde, unauffällige, termingerecht geborene Kinder. Die Rekrutierung erfolgte basierend auf entsprechenden Einschlusskriterien, die bereits in vorhergehenden Arbeiten ausführlich erläutert worden sind (z.B. Lind 2007). Alle Probanden wurden regelmäßig medizinisch untersucht. Für die hier durchgeführte zeitlich engmaschige Längsschnittanalyse konnten aus dem Archiv nur Längsschnittdaten von 12 geeigneten Probanden verwendet werden. Für die Zielstellung der Arbeit sollten nur solche Probanden aus der ehemaligen GLaD-Studie eingeschlossen werden, von denen wiederholte, zeitlich dichte Aufnahmen im Untersuchungsalter der ersten 16 Lebenswochen vorlagen (die Studie sah routinemäßig längere Aufnahmepausen vor). Es sollten von den Kindern mit maximal einer Ausnahme zu jeder Untersuchungswoche Aufnahmedaten vorliegen. Zusätzliche Ausschlusskriterien waren eine medizinisch auffällige Entwicklung bis zum Alter von 2 Jahren und ein bestehendes familiäres Risiko für eine angeborene, spezifische

Spracherwerbsstörung in der Kernfamilie (routinemäßig in der GLaD-Studie erfasst).

Insgesamt wurden 6046 Vokalisationen (Einzellaute) der 12 Probanden über den Untersuchungszeitraum ausgewertet (Tabelle 1). Als Einzellaut wurde die Phonation innerhalb einer Ausatemungsphase definiert. Nachfolgend sind die Analyseschritte beschrieben.

Tabelle 1: Anzahl vermessener Vokalisationen pro Kind über den gesamten Untersuchungszeitraum; Angabe des Geschlechts (m=männlich und w=weiblich)

Kind	m/w	Woche																Ges
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
AA	w	34	34	13	32	58	45	26	17	22	18	50	29	15	9	6	9	417
BD	w	28	22	25	26	23	35	33	29	75	10	48	22	19	24	16	0	435
BZ	m	8	22	11	16	16	15	25	19	19	20	30	18	12	29	30	64	354
CV	w	25	65	78	29	73	66	42	8	58	48	25	63	17	59	47	60	763
DT	m	35	0	16	37	12	17	37	40	14	48	39	16	35	24	18	25	413
DW	w	16	4	33	24	25	26	31	24	34	28	46	21	29	29	25	31	426
DZ	w	38	3	21	32	48	21	27	15	16	18	22	17	25	39	33	60	435
EC	m	36	22	7	16	15	19	37	63	20	19	18	15	31	27	9	14	368
EE	w	34	66	53	44	33	35	56	29	45	50	23	36	62	41	24	28	659
EH	m	41	43	37	37	43	20	40	35	19	31	90	39	34	37	55	23	624
EI	m	60	28	50	39	58	53	70	46	62	24	31	52	26	19	27	48	693
FK	m	23	19	42	32	41	27	0	21	33	43	25	24	37	52	18	22	459
Ges		378	328	386	364	445	379	424	346	417	357	447	352	342	389	308	384	6046

2.1 Vorbereitende Lautanalyse

Alle Lautäußerungen der hier untersuchten Probanden waren am ZVES bereits mithilfe des Sprachanalyzesystem CSL© (Computerized-Speech-Lab; Firma Kay PENTAX/ USA) spektral voranalysiert. Diese Schmalbandspektrogramme konnten zusammen mit den Soundfiles im ZVES-eigenen CDAP© (Cry Data Analysis Program) -System (Autor: P. Wermke) aufgerufen werden.

2.1.1 Reliabilitätskontrolle der automatisch ermittelten Grundfrequenzverläufe (Melodie)

Gemäß der Vorgehensweise bei der Vorsprachlichen Diagnostik im ZVES wurden die Grundfrequenz(F_0)-Verläufe automatisch mittels einer Praat©-Routine im Bereich zwischen 200 Hz und 700 Hz ermittelt (open source, Praat (Boersma und Weenink 2011)). Alle ermittelten Melodien wurden nachfolgend im CDAP-System grafisch dargestellt und anhand der Frequenzspektren kontrolliert. Es gab jedoch Signale, deren F_0 -Verläufe den Bereich von 200 Hz bis 700 Hz überschritten. Des Weiteren wiesen einige Signale Rauschbanden oder Störgeräusche auf, die zu Fehlern bei der Analyse mittels automatischer Praat-Routine führen konnten. Dies erforderte eine interaktive Überprüfung aller mittels automatischer Routine errechneten Grundfrequenzverläufe (Melodien).

Die interaktive Kontrolle der automatisch ermittelten Melodieverläufe erfolgte mit Hilfe des EFA-Moduls (Energie – Frequenz – Amplitude) des CDAP©-Systems am ZVES durch die Autorin vorliegender Arbeit. Dafür wurde der jeweilige Frequenzverlauf mit dem zugehörigen Schmalbandspektrogramm visuell verglichen. Die Frequenzdaten waren dabei immer in Hertz (Hz) über die Zeit in Sekunden (s) dargestellt. Die Achsen des Frequenzverlaufdiagramms waren variabel. So konnten sie der Lautlänge (x-Achse) sowie dem Frequenzhub (y-Achse) angepasst werden, oder es konnten gewählte Abschnitte in normierten Skalen betrachtet werden. Darüber hinaus bestand die Möglichkeit, die y-Achse in linearer sowie in logarithmierter Form zu skalieren. Im Folgenden sind die F_0 -Verläufe immer in logarithmierter, also ‚gehörst richtiger‘ Darstellung abgebildet.

Programmbedingt sind die Dezimalzahlen in den Abbildungen des CDAP-Systems (Abbildung 1 - 4) durch einen Punkt getrennt und nicht, wie in der deutschen Schreibweise üblich, durch ein Komma.

Abbildung 1 zeigt das Beispiel eines Frequenzspektrogramms mit dem zugehörigen F_0 -Verlauf. Das Spektrogramm hat eine lineare Achsenskalierung

(Frequenzskala bis 4 kHz), der F_0 -Verlauf hingegen wurde logarithmiert wiedergegeben. Da die zeitlichen Einteilungen beider Darstellungen beinahe gleich sind (leichte Verschiebungen durch die Bildschirmgrafik möglich), lassen sich die Melodiebewegungen anhand der oberen Harmonischen gut nachvollziehen. Im dargestellten Beispiel (Abb.1) ist deutlich zu erkennen, dass die mittels Praat errechnete Melodie korrekt ist.

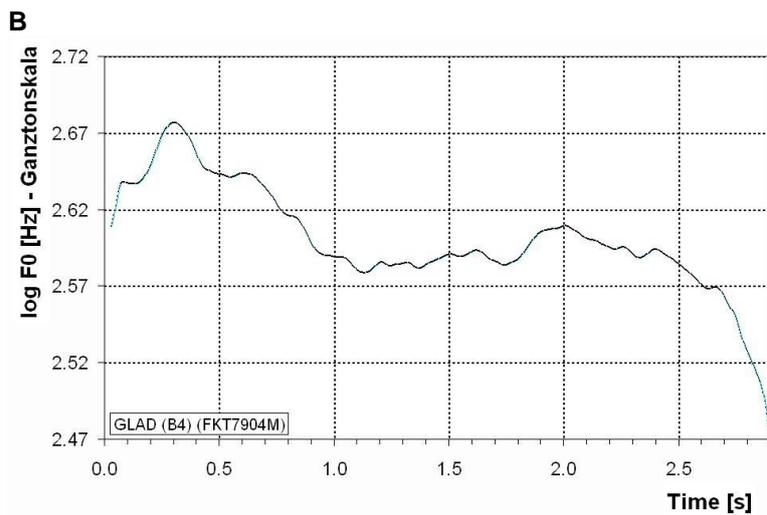
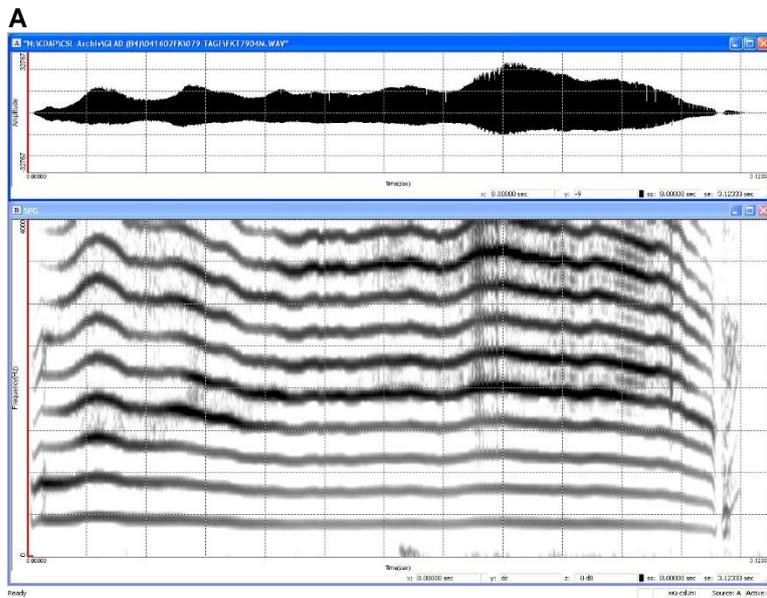


Abbildung 1(A, B): Beispiel eines
A: Frequenzspektrums (lineare Achsenskalierung) mit
B: zugehörigem F_0 -Verlauf (logarithmische Skalierung)

Lagen dagegen offensichtliche Berechnungsfehler der automatischen Routine vor, wurden diese vermerkt und die F_0 -Verläufe nachfolgend durch die Autorin mittels Praat manuell (Boersma und Weenink 2011) nachberechnet. Dazu wurden die Programmparameter, insbesondere der Frequenzbereich, entsprechend angepasst. Das erforderliche Skript stammte von Prochnow (2013). Die korrigierten Signalverläufe wurden zurück ins CDAP© überspielt und dort weiterverarbeitet. Das EFA-Modul des CDAP-Systems ließ außerdem eine Korrektur von lokalen Artefakten in der Melodie zu.

Der korrekte Grundfrequenzverlauf jedes Einzellautes wurde im CDAP© final durch einen 40Hz Tiefpassfilter geglättet und dann abgespeichert. Diese gefilterten Melodien lieferten das Ausgangsmaterial für die hier durchgeführte Intervallstrukturanalyse.

2.2 Identifizierung und Vermessung von Intervallstrukturen in Weinlauten von Säuglingen

Ziel der Arbeit war es, in den Grundfrequenzverläufen (Melodien) der Einzellaute Intervallstrukturen zu identifizieren und zu untersuchen. Ausgangsmaterial dieser Untersuchung waren die zuvor in CDAP© und Praat vorverarbeiteten Einzellaute (s. Kapitel 2.1).

Die Intervallvermessung wurde ebenfalls unter Verwendung des Programms CDAP© (Modul Intervallvermessung) vorgenommen. Es bietet neben der Möglichkeit einer grafischen Darstellung des Grundfrequenzverlaufs des jeweiligen Schreis in einer flexiblen Skalierung der Achsen sowie einem Wechsel zwischen linearer oder logarithmischer Darstellung (s. Kapitel 2.1.1) die Möglichkeit der Vermessung der Melodiebereiche und der Speicherung der entsprechenden Parameter.

Um die Identifizierung und anschließende Vermessung möglichst objektiv und reproduzierbar vornehmen zu können, wurde zunächst eine „Intervallstruktur“ definiert und die Kriterien für die Messungen festgelegt. Vorangegangene Arbeiten von Weigl (2012), Dobnig (2017) und Stephan (2017) dienten hierbei als Vorlagen. Die von Weigl erstmals beschriebenen Intervallstrukturen wurden rein auditiv identifiziert und dann quantitativ beschrieben ohne vorgegebene Kriterien zu berücksichtigen. Dobnig (2017) und Stephan (2017) hingegen haben zur weiteren Objektivierung der Intervalle Kriterien für die verwendeten Messgrößen festgelegt. Diese wurden für die vorliegende Arbeit nur geringfügig modifiziert, wie weiter unten (s. Kapitel 2.2.1) beschrieben.

2.2.1 Definition eines Intervalls und verwendete Messkriterien

Ein Intervall wurde hier folgendermaßen definiert: Das Intervall setzt sich aus drei Elementen, nämlich einem vorderen Plateau, einem hinteren Plateau und dem dazwischenliegenden Übergang zusammen.

Zur Identifizierung und Charakterisierung der einzelnen Intervalle wurden hier die von Dobnig (2017) und Stephan (2017) in Zusammenarbeit mit der Leiterin des ZVES, Frau Prof. Dr. K. Wermke, entwickelten Messkriterien folgendermaßen (mit genannter Modifikation) angewandt:

Ein Plateau muss die Mindestlänge von 100 ms aufweisen. Die Abweichung der einzelnen Melodiepunkte von der mittleren Plateauhöhe darf nicht mehr als einen Viertelton betragen.

Bei Melodiebögen (Maximum abgeflacht) wurde so vorgegangen, dass ein Plateau im Bogenmaximum nur vermessen wurde, wenn bei einem Vierteltonabstand vom Bogenmaximum eine Flankendifferenz von mindestens 100 ms erreicht wurde. Dies gilt auch für Kehlen im Fall von Bogentälern.

Für die Länge und die F_0 -Variabilität des Übergangs zwischen den beiden Plateauelementen eines Intervalls wurden keine Kriterien festgelegt.

Allerdings musste ein durchgehender Frequenzverlauf ohne Unterbrechungen (Pause) und ohne ausgeprägte Melodieschwankungen vorliegen.

Laute von unter 300ms Gesamtlänge, sogenannte Kurzlaute, wurden nicht analysiert.

Modifikationen zur Messmethode (Dobnig 2017) und (Stephan 2017)

Plötzliche Frequenzsprünge (Shifts) innerhalb der Melodie wurden in die Intervallidentifikation mit einbezogen.

Als wesentliches zusätzliches Kriterium wurde hier ein visuell bestimmtes Formkriterium im Sinne einer „Strukturerhaltung“ eingeführt. Das bedeutet, dass intervallartige Strukturen nicht als solche identifiziert und/oder vermessen wurden, wenn sie nur unvollständige Substrukturen betrafen. Dieses Kriterium wurde in Anlehnung an die Theorie der auditiven Wahrnehmung („auditory grouping“ (Thorpe und Trehub 1989 (S.122), Darwin 1997 (S. 327), jeweils im Titel, S.1) eingeführt. So wurden in Melodien mit Tremolo und/oder Vibratoeigenschaften nicht etwa einzelne Melodiebereiche herausgegriffen, die formal den Vermessungskriterien entsprachen. Es musste das gesamte plateauartige Bogenmaximum vermessen werden (Gesamtstruktur), nicht nur ausgewählte Teile davon.

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel, in dem die identifizierten Intervalle den genannten Anforderungen entsprechen. In dem Signal wurden drei Intervalle identifiziert und vermessen, bestehend aus vier zusammenhängenden Plateaus. Das erste Intervall beginnt mit einem im Maximum abgeflachten Melodiebogen, dessen Flankenabstand bei einer Tonhöhendifferenz von $\frac{1}{4}$ Tonhöhe vom Melodiemaximum die geforderte Mindestlänge von 100 ms aufweist und somit den Anforderungen an ein Plateau genügt. Darauf folgen abwechselnd je drei Übergänge und Plateaus. Auch bei diesen Plateaus wurden die Mindestlänge und die maximale Tonhöhendifferenz eingehalten. Die

Übergänge verbinden die Plateaus durch einen durchgehenden Melodieverlauf ohne Unterbrechungen.

Alle identifizierten Intervalle waren auch hörbar.

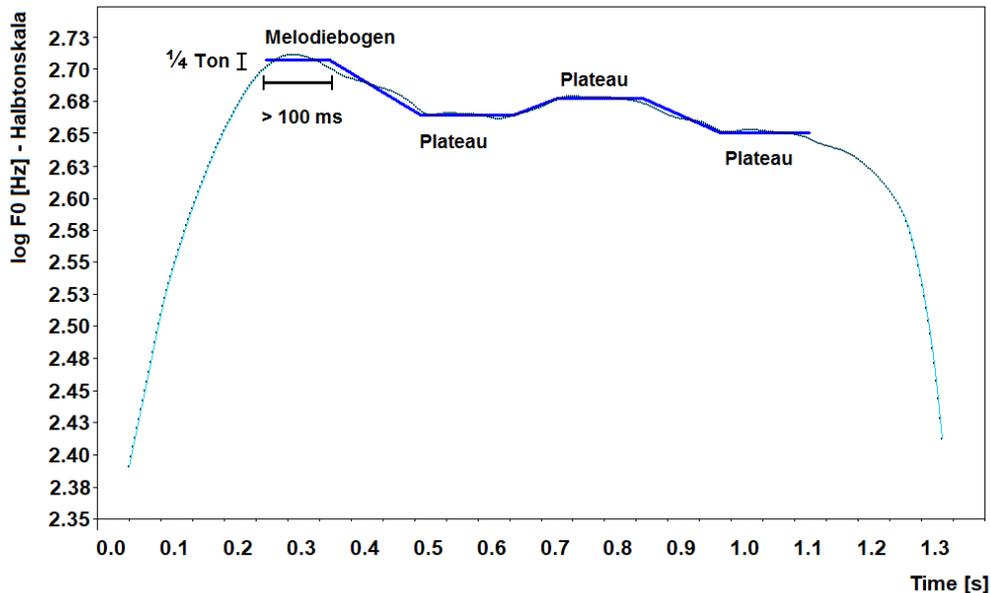


Abbildung 2: Beispiel für eine Melodie mit drei zusammenhängenden Intervallen (CDAP)

2.2.2 Intervallstrukturen

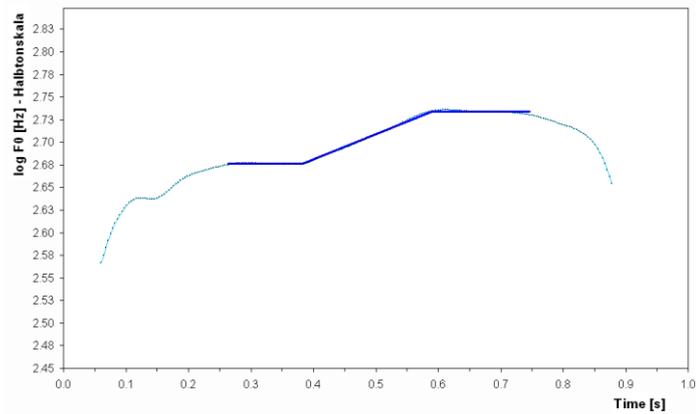
Eine Intervallstruktur innerhalb der Melodie könnte als einzelnes Intervall vorliegen oder sich aus verschiedenen vielen zusammenhängenden oder getrennten Intervallen ergeben.

Lagen in einem Laut also mehr als zwei durch einen Übergang verbundene Plateaus vor, so wurden mehrere Intervalle vermessen. Sie konnten sowohl getrennt vorliegen, als auch direkt aufeinanderfolgen. Die unterschiedlichen Intervallformen sind in Abbildung 3 A-C anhand von typischen Beispielen dargestellt. Allerdings ist hier nur eine Einteilung in sehr einfache Strukturen vorgenommen worden. Eine Vielzahl an Variationen ergab sich durch die Kombination der einzelnen Formen und die Unterscheidung zwischen fallenden und steigenden Intervallen (Tabelle 2).

Das erste Beispiel in Abbildung 3 zeigt das *isolierte Einzelintervall*, d.h. es wurde in der Melodie nur eine einzige intervallartige Struktur identifiziert, die die Messkriterien erfüllte. Das zweite und dritte Beispiel hingegen zeigen Melodien, in denen mehr als ein Intervall anhand der Kriterien identifiziert wurde. Traten solche Intervalle getrennt auf, hatte jedes Intervall ein eigenes vorderes Plateau, einen Übergang und ein eigenes hinteres Plateau. Lagen die Intervalle jedoch zusammenhängend vor, konnten einzelne Plateaus zu zwei verschiedenen Intervallen gehören. In letzterem Fall entsprach das hintere Plateau des ersten Intervalls dem vorderen Plateau des nachfolgenden Intervalls. So ergaben sich im dritten Beispiel bei einer Anzahl von vier Plateaus drei Intervalle, demgegenüber fanden sich in Beispiel 2 nur zwei Intervalle bei derselben Anzahl Plateaus.

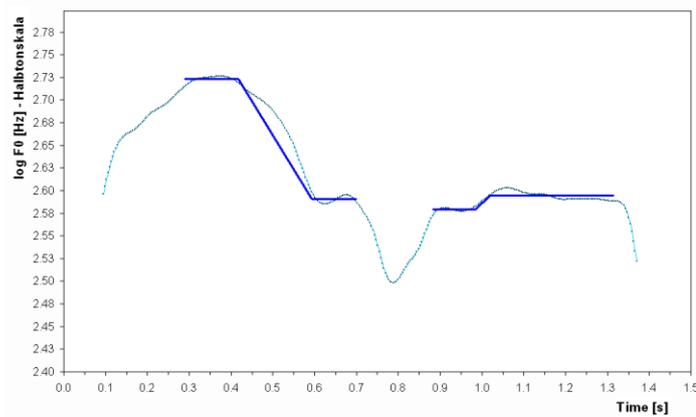
A

Einzelintervall
(steigend [s])



B

Intervalle getrennt
(2 Einzelintervalle;
fallend-steigend;
[f-s])



C

3 Intervalle
zusammenhängend
(steigend-fallend-
fallend; [s-f-f])

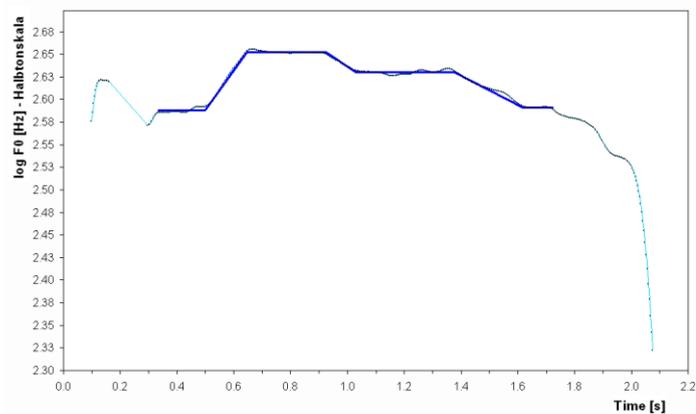
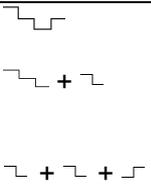
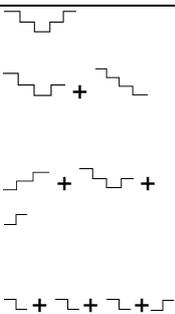


Abbildung 3 A – C: Beispiele für Arten von Intervallstrukturen (CDAP)
Anwelle in Bildteil A (bei ca. 0.1 s) hätte nur bei einem 50 ms-Kriterium für die Plateaumindestlänge einbezogen werden können; in einer Folgearbeit wurde dieser Ansatz verfolgt

Die unterschiedlichen Varianten von Intervallen, die denkbar sind, sind in Tabelle 2 noch einmal für eine Intervallzahl von bis zu vier Intervallen pro Laut beispielhaft dargestellt.

Tabelle 2: Theoretisch mögliche Intervallvarianten* nach der Anzahl ihrer Intervalle (IV) pro Laut

Anzahl IV	Möglichkeiten	Anzahl Varianten; (Zusammensetzung, fallend[f]/ steigend[s])	Anzahl Varianten gesamt	Beispiel schematisch
1	2 Plateaus	2	2	
2	3 Plateaus: 2 zusammenhängende IV 4 Plateaus: 2 getrennte IV	4 (2 ²) 4 (2 ²)	8	
3	4 Plateaus: 3 zusammenhängende IV 5 Plateaus: 2 zusammenhängende IV + 1 Einzel-IV 6 Plateaus: 3 Einzel-IV	8 (2 ³) 16 (2*2 ³) 8 (2 ³)	32	
4	5 Plateaus: 4 zusammenhängende IV 6 Plateaus: 3 zusammenhängende IV +3 zusammenhängende IV 7 Plateaus: 3 zusammenhängende IV + 2 zusammenhängende IV + 1 Einzel-IV 8 Plateaus: 4 Einzel-IV	16 (2 ⁴) 32 (2*2 ⁴) 96 (6*2 ⁴) 16 (2 ⁴)	160	

*Die theoretischen Varianten können für ≥ 5 Intervalle entsprechend fortgeführt werden; die tatsächlich auftretenden Intervallstrukturen sind im Ergebnisteil (3.1.1) aufgeführt.

Um diese Varianten eindeutig benennen zu können, wurden sie nach ihren Strukturen kategorisiert. Dabei wurde jede Strukturkategorie durch eine Zeichenfolge aus Ziffern und Querstrichen beschrieben.

Eine Ziffer steht für ein Intervall, ein Strich steht an Anfang und Ende einer zusammenhängenden Intervallfolge. Ein einzelnes in einem Laut auftretendes Intervall (Plateau-Übergang-Plateau), hier als *isoliertes Einzelintervall* bezeichnet, ist folglich als -1- betitelt. Bei zusammenhängenden Intervallen innerhalb eines Lautes erhält das zweite Intervall eine 2, das dritte eine 3 usw. Ein neues Intervall im selben Laut wurde wieder mit der Ziffer 1 betitelt (Abbildung 4).

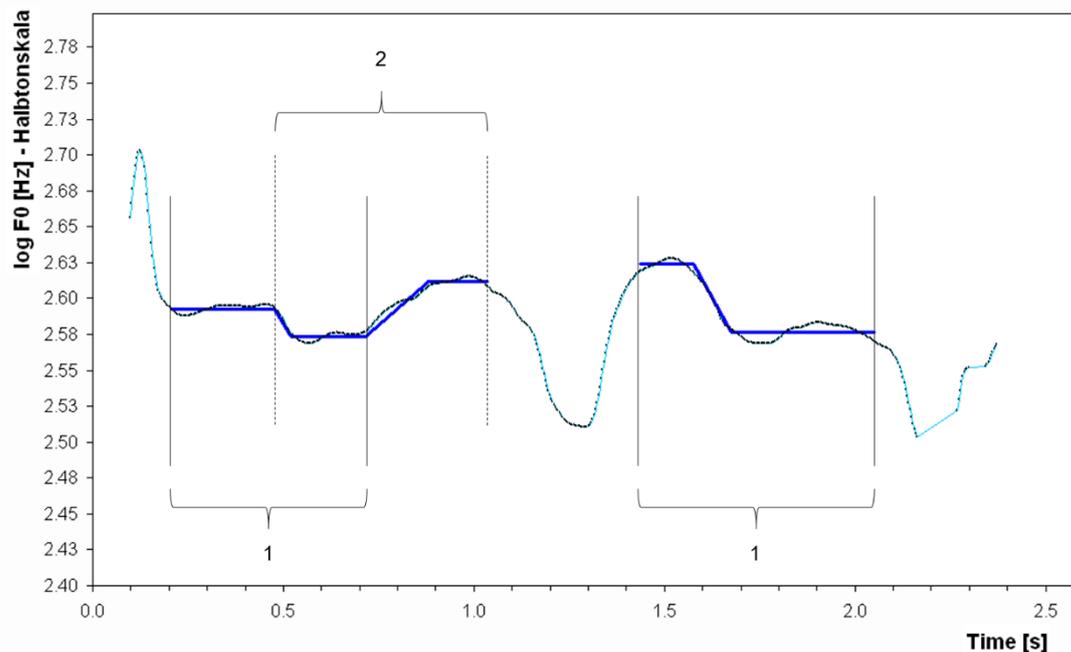


Abbildung 4: Beispiel einer Schreimelodie mit vermessenen Intervallen der Strukturkategorie -12-1- (f-s-f); die Zeichenabfolge wird nach -12- unterbrochen, da die Plateaulänge der Melodiesenke innerhalb einer Differenz von $\frac{1}{4}$ TH < 100 ms ist. Danach ergibt sich ein von der ersten Struktur getrenntes Intervall. (CDAP)

2.2.3 Quantitative Analyse der zeitlichen Eigenschaften und der Frequenzeigenschaften

In der quantitativen Lautanalyse wurden die zeitlichen Eigenschaften der Intervalle bzw. ihrer Teile und die Frequenzeigenschaften der Plateaus untersucht. Dazu wurden die Grenzen der Intervalle bzw. der drei Intervallelemente mittels Cursorsetzung manuell markiert. Die Kenndaten innerhalb der gesetzten Cursor, also die zeitliche Dauer in Sekunden und die Frequenzwerte in Hertz, wurden in Verbindung mit den zugehörigen Aufnahme­daten (Proband-ID, Aufnahmealter, Vokalisationscode) automatisch

in Excel©-Tabellen abgespeichert. Anschließend konnte der Intervallverlauf zur Kontrolle grafisch angezeigt werden (Abbildung 3).

2.2.3.1 Analyse der zeitlichen Eigenschaften

Die Intervalle und deren Elemente (Plateaus, Übergangsbereich) wurden auf ihre zeitlichen Längen hin untersucht.

Dazu wurden die absoluten Werte der Elemente, der Intervalle und auch der komplexen übergeordneten Strukturkategorien (s. Kapitel 2.2.1) ausgewertet. Auch wurden die Längen der einzelnen Elemente relativ zur Intervalllänge und den Längen der anderen Elemente ausgewertet. Darüber hinaus wurden die absoluten und relativen temporalen Werte in unterschiedlichen Gruppierungen untersucht, aufgeteilt nach Anzahl und Struktur der Intervalle im Signal (s. Kapitel 3.1.1), nach der Intervallrichtung (s. Kapitel 3.2) oder nach Längen- und Frequenzeigenschaften der Elemente. Die jeweils verwendete Unterteilung ist an den entsprechenden Stellen im Ergebnisteil aufgeführt.

2.2.3.2 Analyse der Frequenzverhältnisse

Es wurden Analysen für die absoluten Frequenzhöhen der Plateaus der identifizierten Intervalle durchgeführt (nur für die Strukturkategorien -1- und -12-; s. Kapitel 3.1.1). Der Frequenzwert eines Plateaus ergibt sich aus dem geometrischen Mittelwert der Grundfrequenz ($gMW(F_0)$) aller Melodiewerte des Plateaubereichs.

Die Verhältnisse von vorderem zu hinterem Plateau wurden anhand der absoluten Frequenzhöhen ermittelt (Formel 1).

Formel 1: Relatives Frequenzverhältnis der beiden Plateaus eines Intervalls
A – Plateau mit höherem F_0 -Niveau
B – Plateau mit niedrigerem F_0 -Niveau

$$Q_f = \frac{gMW(F_0)A}{gMW(F_0)B}$$

Gemäß der Vorgehensweise von Weigl (2012) wurden die Auftrittshäufigkeiten der so ermittelten Quotienten in einer Einteilung um die musikalischen Intervalle dargestellt. Diese Einteilung (Häufigkeitsverteilung mit Bins um die musikalischen Intervalle) wurde basierend auf der gleichschwebend-temperierten Unterteilung einer Oktave in 12 Halbtöne (HT) vorgenommen:

Formel 2: Frequenzverhältnis der „gleichschwebend-temperierten Stimmung im Oktavraum“ (Q) für n Halbtöne

$$Q = \sqrt[12]{2}^n; n = 0, \dots, 12$$

Um alle ermittelten Frequenzverhältnisse, auch die, die nicht den musikalischen Intervallen entsprechen, lückenlos in eine geordnete Häufigkeitsverteilung einordnen zu können, wurde wie bei Weigl (2012) die BIN-Breite (Staffelung der Frequenzverhältnisse um die Werte der Intervalle) nach Formel 3 ermittelt.

Formel 3: Frequenzverhältnis der Intervallgrenzen (G); für n Halbtöne

$$G = \sqrt[12]{2}^{n+0,5}; n = 0, \dots, 12$$

Die Grenzwerte der Intervalle geben für jeden Halbtonabstand N diejenige Frequenz an, bis zu der dieser Halbton für das Verhältnis zweier Plateaus hier angenommen wird. Die Frequenzverhältnisse der musikalischen Intervalle in der gleichmäßig temperierten Stimmung im Oktavraum (Q) sowie der hier verwendeten Intervallgrenzen (G) für die Binbreiten in den Häufigkeitsdiagrammen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Intervalle mit zugehörigen Frequenzverhältnissen und Bereichserweiterung für die Häufigkeitsanalyse

Intervall	Halbtöne N	Relatives Verhältnis (Q)	Grenzwert (G)
Prime	0	1,0000	1,0293
kleine Sekunde	1	1,0595	1,0905
große Sekunde	2	1,1225	1,1554
kleine Terz	3	1,1892	1,2241
große Terz	4	1,2599	1,2968
reine Quarte	5	1,3348	1,3740
übermäßige Quarte/ verminderte Quinte	6	1,4142	1,4557
reine Quinte	7	1,4983	1,5422
kleine Sexte	8	1,5874	1,6339
große Sexte	9	1,6818	1,7311
kleine Septime	10	1,7818	1,8340
große Septime	11	1,8877	1,9431
Oktave	12	2,0000	2,0586
> Oktave	>12		>2,0586

In dieser Einteilung sind die Klassifizierungsintervalle (Bins), in die die ermittelten Frequenzverhältnisse eingeordnet werden, relativ groß gewählt, und enthalten neben den musikalischen Intervallverhältnissen auch viele weitere. Um eine genauere Verteilung der gemessenen Frequenzverhältnisse betrachten zu können, wurden zusätzliche Unterteilungen mit Viertel- und Achteltonschritten (schmalere Bins) vorgenommen. Für die Ermittlung der Grenzen wurde die angewandte Formel (Formel 2) entsprechend angepasst. Es wurde für den Exponenten immer der Wert gewählt, der genau zwischen den zu betrachtenden Tonhöhen liegt: Während bei Halbtönen der Exponent (Formel 3) für den oberen Grenzwert also $n+0,5$ lautete, wurde dieser bei einer Vierteltoneinteilung zu $n_{(1/4)}+0,25$ bzw. zu $n_{(1/8)}+0,125$ bei der Achteltoneinteilung. So wurden für n nicht nur ganze Zahlen eingesetzt,

sondern auch die entsprechenden Bruchzahlen (Halbtoneinteilung: 0; 1; 2; 3; ...; Vierteltoneinteilung: 0; 0,5; 1; 1,5; ...; Achteltoneinteilung: 0; 0,25; 0,5; 0,75; ... usw.).

2.3 Statistische Auswertung

Die aufgrund der Datenstruktur vorwiegend deskriptive statistische Datenanalyse der in Excel®-Tabellen gespeicherten Daten wurde mit der Software IBM SPSS® Statistics 23 vorgenommen.

Als Voraussetzung für weitergehenden Analysen wurden die Daten grafisch mittels Histogrammen analysiert und sofern sinnvoll mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung geprüft. Die Verteilungseigenschaften wurden beschrieben.

Für Korrelationsanalysen wurde auf eine Korrelation nach Pearson (bei hinreichend anzunehmender Normalverteilung) bzw. eine Rangkorrelation nach Spearman-Roh (nicht normal verteilte Daten) getestet.

Die Darstellung der Häufigkeitsverteilungen erfolgte auch durch Boxplots: Eine Box zeigt hier die Verteilung der Daten zwischen der 25. und der 75. Perzentile. Innerhalb der Box markiert ein Querbalken den Medianwert. Die angrenzenden „Antennen“ (Whisker) werden durch den untersten bzw. obersten Wert begrenzt, der sich noch im 1,5-fachen Interquartilsabstand von der Box befindet. Ausreißer innerhalb eines 1,5- bis 3-fachen Interquartilsabstandes werden durch einen Kreis markiert, extreme Ausreißer von über einem 3-fachen Interquartilsabstand werden durch einen Stern dargestellt.

Mittelwerte wurden, wenn nicht anders angegeben, arithmetisch gebildet.

Die Daten wurden auf zwei verschiedenen Niveaus betrachtet. Aufgrund der ungleichgroßen Anzahl an Vokalisationen und Intervallstrukturen pro Proband

Material und Methoden

wurde eine Analyse auf „Laut-/Intervallniveau“ und „Kindniveau“ vorgenommen. Auf Laut-/Intervallniveau wurde jedes Intervall betrachtet und floss in die Auswertung ein. Auf Kindniveau dagegen wurden die jeweiligen Kenngrößen der Intervalle über die Vokalisationen eines Kindes gemittelt betrachtet.

3 Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurden 6046 Lautäußerungen mit der Zielstellung analysiert, intervallartige Strukturen zu identifizieren und diese zu quantifizieren. Nach den in Kapitel 2.2 aufgeführten Kriterien konnten im gesamten Untersuchungszeitraum 2403 Äußerungen mit Intervallstrukturen identifiziert und vermessen werden. Das entsprach 39,7% aller ausgewerteten Laute.

In Kapitel 3.1 wurden die vermessenen Strukturen kategorisiert und die Auftrittshäufigkeiten der Strukturen erfasst. In Kapitel 3.2 wurden die untergeordneten Strukturelemente sowie deren Ausprägungen betrachtet.

3.1 Auftrittshäufigkeiten der identifizierten Intervallstrukturen

In Tabelle 4 – 7 ist die zeitliche (wöchentliche) Verteilung der Auftrittshäufigkeit der ausgewerteten Laute mit und ohne Intervallstrukturen für jedes Kind dargestellt. Neben der Gesamtzahl der aufgezeichneten Lautäußerungen (Ges) in der jeweiligen Woche ist die Anzahl der Laute aufgelistet, in denen Intervallstrukturen identifiziert wurden und damit eine Intervallvermessung vorliegt (IV) sowie deren relative Auftrittshäufigkeit (Anteil).

Ergebnisse

Tabelle 4: Zeitliche Verteilung der ausgewerteten Laute (Ges) sowie der absoluten und relativen Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstrukturen (IV) pro Kind (Woche 1-4)

Kind	Woche											
	1 (Tag 1-7)			2 (Tag 8-14)			3 (Tag 15-21)			4 (22-28)		
	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil
AA	34	13	0,38	34	9	0,26	13	4	0,31	32	12	0,38
BD	28	24	0,86	22	15	0,68	25	13	0,52	26	13	0,5
BZ	8	5	0,63	22	8	0,36	11	3	0,27	16	11	0,69
CV	25	9	0,36	65	11	0,17	78	16	0,21	29	8	0,28
DT	35	1	0,03	0	0	-	16	3	0,19	37	11	0,3
DW	16	12	0,75	4	1	0,25	33	17	0,52	24	10	0,42
DZ	38	20	0,53	3	0	0	21	8	0,38	32	17	0,53
EC	36	5	0,14	22	12	0,55	7	3	0,43	16	11	0,69
EE	34	23	0,68	66	9	0,14	53	7	0,13	44	13	0,3
EH	41	23	0,56	43	17	0,4	37	11	0,3	37	11	0,3
EI	60	19	0,32	28	6	0,21	50	6	0,12	39	10	0,26
FK	23	12	0,52	19	5	0,26	42	8	0,19	32	11	0,34
Gesamt	378	166	0,44	328	93	0,28	386	99	0,26	364	138	0,38

Tabelle 5: Zeitliche Verteilung der ausgewerteten Laute (Ges) sowie der absoluten und relativen Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstrukturen (IV) pro Kind (Woche 5-8)

Kind	Woche											
	5 (Tag 29-35)			6 (Tag 36-42)			7 (Tag 43-49)			8 (Tag 50-56)		
	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil
AA	58	12	0,21	45	20	0,44	26	12	0,46	17	10	0,59
BD	23	10	0,43	35	19	0,54	33	22	0,67	29	19	0,66
BZ	16	11	0,69	15	10	0,67	25	9	0,36	19	9	0,47
CV	73	14	0,19	66	15	0,23	42	20	0,48	8	1	0,13
DT	12	4	0,33	17	3	0,18	37	9	0,24	40	12	0,3
DW	25	17	0,68	26	11	0,42	31	18	0,58	24	13	0,54
DZ	48	31	0,65	21	3	0,14	27	10	0,37	15	6	0,4
EC	15	2	0,13	19	8	0,42	37	20	0,54	63	29	0,46
EE	33	10	0,3	35	15	0,43	56	13	0,23	29	15	0,52
EH	43	17	0,4	20	9	0,45	40	17	0,43	35	5	0,14
EI	58	23	0,4	53	22	0,42	70	12	0,17	46	28	0,61
FK	41	2	0,05	27	16	0,59	0	0	-	21	18	0,86
Gesamt	445	153	0,34	379	151	0,4	424	162	0,38	346	165	0,48

Ergebnisse

Tabelle 6: Zeitliche Verteilung der ausgewerteten Laute (Ges) sowie der absoluten und relativen Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstrukturen (IV) pro Kind (Woche 9-12)

	Woche											
	9 (Tag 57-63)			10 (Tag 64-70)			11 (Tag 71-77)			12 (Tag 78-84)		
Kind	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil
AA	22	9	0,41	18	13	0,72	50	6	0,12	29	21	0,72
BD	75	33	0,44	10	8	0,8	48	34	0,71	22	18	0,82
BZ	19	12	0,63	20	10	0,5	30	15	0,5	18	11	0,61
CV	58	19	0,33	48	19	0,4	25	12	0,48	63	14	0,22
DT	14	1	0,07	48	17	0,35	39	13	0,33	16	2	0,13
DW	34	9	0,26	28	14	0,5	46	13	0,28	21	7	0,33
DZ	16	14	0,88	18	7	0,39	22	14	0,64	17	7	0,41
EC	20	14	0,7	19	11	0,58	18	10	0,56	15	9	0,6
EE	45	11	0,24	50	18	0,36	23	6	0,26	36	7	0,19
EH	19	7	0,37	31	10	0,32	90	28	0,31	39	4	0,1
EI	62	19	0,31	24	14	0,58	31	24	0,77	52	25	0,48
FK	33	15	0,45	43	9	0,21	25	22	0,88	24	19	0,79
Gesamt	417	163	0,39	357	150	0,42	447	197	0,44	352	144	0,41

Tabelle 7: Zeitliche Verteilung der ausgewerteten Laute (Ges) sowie der absoluten und relativen Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstrukturen (IV) pro Kind (Woche 13-16)

	Woche											
	13 (Tag 85-91)			14 (Tag 92-98)			15 (Tag 99-105)			16 (Tag 106-112)		
Kind	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil	Ges	IV	Anteil
AA	15	8	0,53	9	5	0,56	6	4	0,67	9	7	0,78
BD	19	15	0,79	24	18	0,75	16	14	0,88	0	0	-
BZ	12	6	0,5	29	17	0,59	30	6	0,2	64	23	0,36
CV	17	10	0,59	59	5	0,08	47	10	0,21	60	17	0,28
DT	35	14	0,4	24	11	0,46	18	12	0,67	25	11	0,44
DW	29	17	0,59	29	11	0,38	25	11	0,44	31	21	0,68
DZ	25	19	0,76	39	14	0,36	33	11	0,33	60	6	0,1
EC	31	15	0,48	27	16	0,59	9	7	0,78	14	5	0,36
EE	62	14	0,23	41	16	0,39	24	20	0,83	28	13	0,46
EH	34	14	0,41	37	6	0,16	55	16	0,29	23	16	0,7
EI	26	17	0,65	19	17	0,89	27	13	0,48	48	22	0,46
FK	37	16	0,43	52	36	0,69	18	0	0	22	20	0,91
Gesamt	342	165	0,48	389	172	0,44	308	124	0,4	384	161	0,42

Ergebnisse

Die mittleren relativen Häufigkeiten lagen zwischen 26% (Woche 3) bzw. 28% (Woche 2) und 48% (Wochen 8 und 13).

Die relativen Häufigkeiten von Lautäußerungen mit Intervallstruktur sind in Abbildung 5 in Form von Boxplots dargestellt (Kindniveau). Die Box der ersten Woche weist bezüglich des Interquartilbereichs und des Medians (0,525) einen höheren Wert auf als insbesondere die beiden Folgewochen (0,255 und 0,285); deren obere Quartile liegen deutlich unterhalb des Medians der ersten Woche. Die interindividuelle Variation ist in allen Wochen relativ hoch.

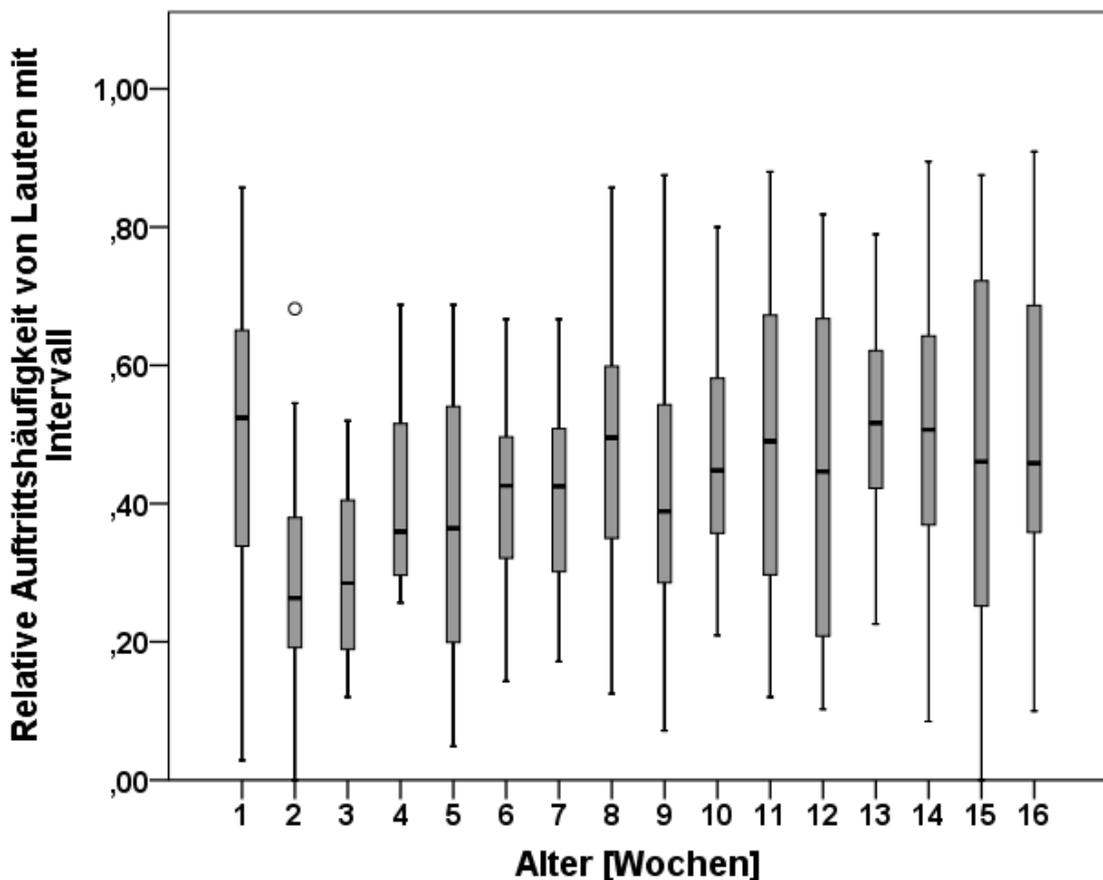


Abbildung 5: Boxplots: Relative Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstruktur über die ersten 16 Lebenswochen (Kindniveau)

Die Lowess-Kurve deutet auf einen positiven Zusammenhang von Auftrittshäufigkeit und Lebensalter ab der 3. Woche (Abbildung 6).

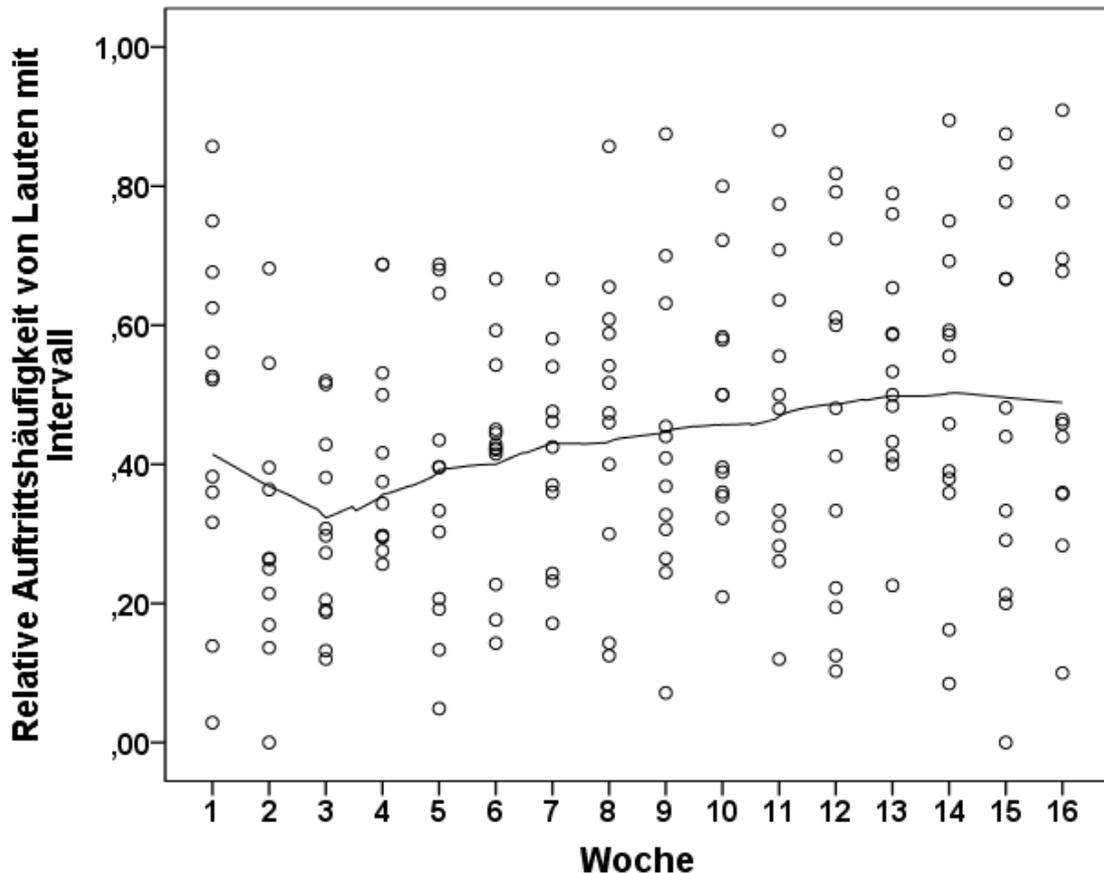


Abbildung 6: Streudiagramm mit Lowess-Kurve (f-Wert 30%): Relative Auftrittshäufigkeit von Lauten mit Intervallstruktur über die ersten 16 Lebenswochen (Kindniveau)

3.1.1 Analyse der Strukturkategorien

Wie aus Tabelle 4 bis Tabelle 7 ersichtlich, fanden sich in den ausgewerteten Melodien unterschiedlich viele vermessene Intervallstrukturen. Diese unterschieden sich hinsichtlich der Anzahl und der Kombination der Einzelintervalle im jeweiligen Laut und wurden hier, wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, nach den unterschiedlichen Strukturkategorien ausgewertet.

Die hier beobachteten Kategorien (N=25) sind deutlich weniger als die theoretisch möglichen (Tabelle 2). Sie sind in Tabelle 8 mit ihren relativen Häufigkeiten in jeder der ersten 16 Lebenswochen aufgeführt. Die absoluten und relativen Werte sind darüber hinaus in Abbildung 7 mit dem

Ergebnisse

entsprechenden Kreisdiagramm für den Gesamtzeitraum gezeigt. Es wurden nur die häufigsten 6 Kategorien einzeln dargestellt (-1-, -12-, -123-, -1234-, -1-1-, -12345-), die weiteren Kategorien wurden zusammengefasst.

Tabelle 8: Strukturkategorien (Sk) mit relativen Häufigkeiten pro Lebenswoche

Sk	Alter [Wochen]															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-1-	0,57	0,54	0,59	0,61	0,59	0,52	0,52	0,50	0,47	0,59	0,50	0,45	0,45	0,37	0,40	0,44
-12-	0,22	0,28	0,20	0,20	0,26	0,19	0,26	0,21	0,23	0,23	0,22	0,26	0,29	0,26	0,26	0,21
-123-	0,13	0,10	0,08	0,06	0,06	0,15	0,12	0,16	0,13	0,09	0,10	0,15	0,10	0,15	0,17	0,19
-1234-	0,02	0,03	0,03	0,07	0,04	0,05	0,04	0,07	0,07	0,01	0,09	0,06	0,05	0,05	0,07	0,07
-1-1-	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02		0,01		0,05	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02
-12345-	0,01		0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,05	0,01	0,03	0,04	0,02	0,01
-123456-		0,01	0,01	0,01		0,02	0,02	0,01	0,02		0,01		0,01	0,02		0,01
-12-1-		0,01	0,02	0,01		0,01	0,01	0,01	0,01		0,01	0,01		0,02	0,02	0,01
-1-12-	0,01			0,01	0,01		0,01		0,01			0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
-1-123-							0,01			0,01	0,01		0,01	0,02		0,01
-123-1-		0,01						0,01				0,01	0,01			0,01
-1234-1-	0,01					0,01				0,01				0,01		
-1234567-	0,01			0,01		0,01			0,01					0,01		
-12-12-				0,01	0,01			0,01								
-12-123-			0,01						0,01					0,01		
-12345678-		0,01								0,01		0,01				
-1-1-1-											0,01					
-1-1234-												0,01				
-123-12-																0,01
-123-12-1-									0,01							
-123-123-													0,01			
-123-1234-	0,01															
-12345-1-										0,01						
-12345-1-1-	0,01															
-12345678-9-12-									0,01							

Ergebnisse

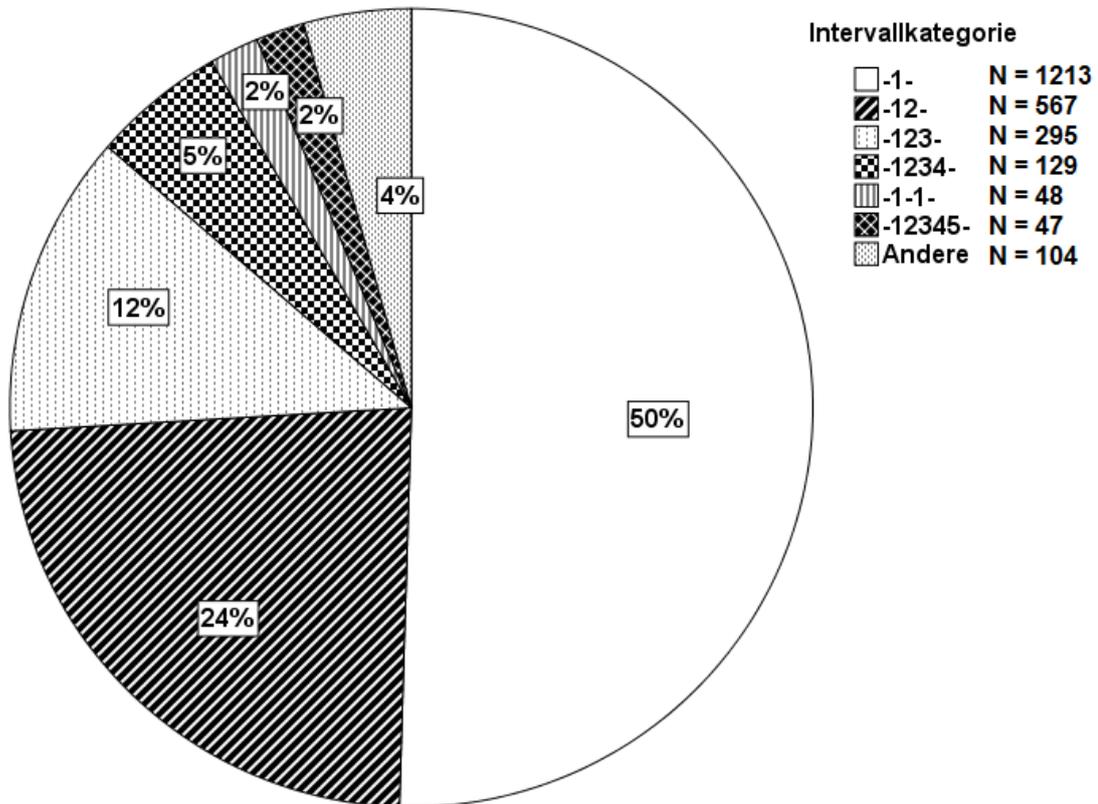


Abbildung 7: Beobachtete Intervallkategorien entsprechend ihrer Häufigkeiten gemittelt über die ersten 16 Lebenswochen

Die relative Auftrittshäufigkeit der einzelnen Strukturkategorien über den gesamten Untersuchungszeitraum unterscheidet sich stark. Das isolierte Einzelintervall (-1-) ist mit einer relativen Häufigkeit von 50% die am häufigsten vorkommende Strukturkategorie, gefolgt von Strukturen, die bis zu 4 zusammenhängende Intervalle aufweisen. Getrennte Strukturen wie -1-1- (zwei einzelne IV in einem Laut) und Kategorien mit mehr als 4 zusammenhängenden Intervallen traten also deutlich seltener auf.

Durch die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten der Intervalle (Tabelle 2) vor allem bedingt durch die Intervallrichtung (3.2) gibt es theoretisch eine deutlich größere Zahl an möglichen Strukturkategorien innerhalb eines Lautes, als sie hier tatsächlich beobachtet wurden.

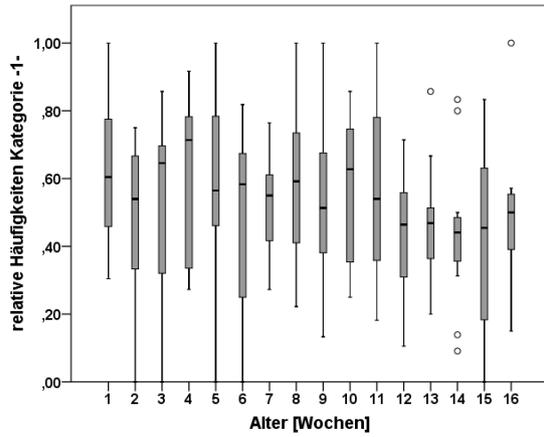
Ergebnisse

Schon ohne Berücksichtigung der Intervallrichtung ergeben sich zum Beispiel für ein Signal mit 4 Intervallen rechnerisch 8 verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, davon kamen hier tatsächlich nur 4 vor. Bei 5 Intervallen traten von 16 Möglichkeiten nur 5 Formen tatsächlich auf.

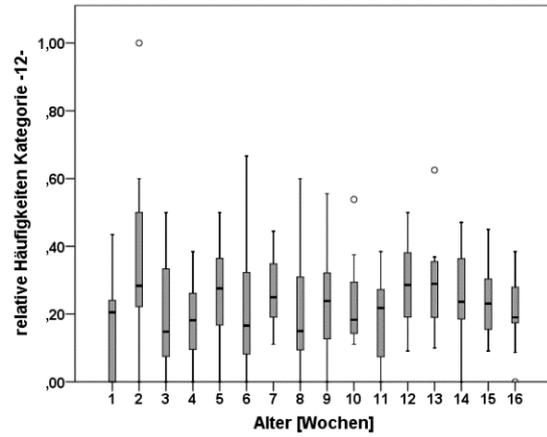
Die wöchentliche relative Auftrittshäufigkeit ist für die vier am häufigsten beobachteten Intervallkategorien (-1-, -12-, -123-, -1234-) als Boxplots in Abbildung 8 A-D dargestellt. Ein einzelner Boxplot ergibt sich aus den relativen Häufigkeiten zu jedem Probanden.

Ergebnisse

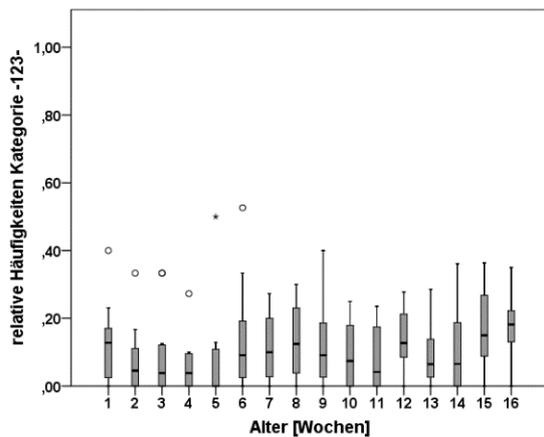
A -1-



B -12-



C -123-



D -1234-

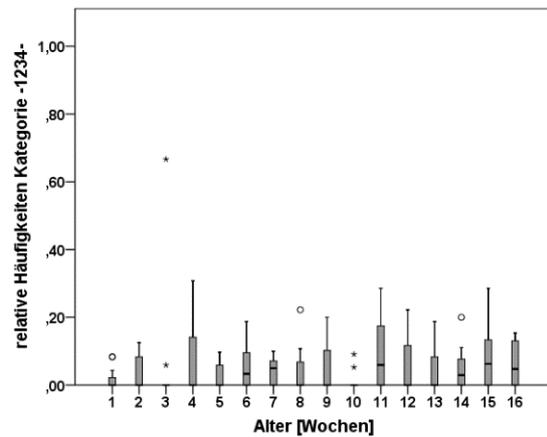


Abbildung 8: Boxplot: relative Häufigkeiten der 4 häufigsten Intervallkategorien über die ersten 16 Lebenswochen (Kindniveau)

Für die Strukturkategorie -1- konnte eine hinreichende Normalverteilung angenommen werden (Tabelle 9), somit wurde hier mittels der Pearson-Korrelation getestet ($r=-0,192$; $p=0,009$). Für die anderen drei Strukturkategorien wurde die Rangkorrelation nach Spearman-Rho angewandt (s. Tabelle 10).

Tabelle 9: Test auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilk (p-Werte): relativer Anteil der Strukturategorie an der Gesamtzahl von Signalen mit Intervall

	Wochen															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-1-	0,66	0,26	0,27	0,07	0,58	0,19	0,32	0,98	0,99	0,13	0,53	0,95	0,50	0,18	0,54	0,13
-12-	0,11	0,33	0,16	0,90	0,49	0,14	0,55	0,20	0,79	0,02	0,39	0,49	0,24	0,84	0,54	0,84
-123-	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,23	0,29	0,09	0,07	0,01	0,62	0,02	0,02	0,44	0,88
-1234-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03

Eine Korrelationsanalyse ergab eine formal signifikante Korrelation der Auftrittshäufigkeit mit der Zeit für drei der vier Strukturkategorien (-1-, -123-, -1234-) sowie eine nichtsignifikante Korrelation für die Kategorie -12-. Allerdings sind die Korrelationskoeffizienten sehr klein.

Tabelle 10: Ergebnisse der Korrelationsanalysen zwischen Auftrittshäufigkeit und Alter für die ersten 16 Lebenswochen

Strukturategorie	Korrelationskoeffizient	Signifikanzniveau (p)
-1-	-0,192	0,009
-12-	0,074	0,315
-123-	0,17	0,02
-1234-	0,182	0,013

3.2 Auftrittshäufigkeiten der Intervallrichtungen

Die Intervalle können unabhängig von ihrer Strukturategorie nach der Richtung des Übergangs in fallende (\searrow) und steigende (\swarrow) Intervalle unterteilt werden. Bei fallenden Intervallen ist der Steigungsfaktor des Übergangs negativ und das geometrische Mittel der Frequenzdaten des vorderen Plateaus größer als das des hinteren Plateaus. Der umgekehrte Fall gilt für steigende Intervalle. Von den 4560 Intervallen, die unabhängig von ihrer Struktur insgesamt vermessen wurden, waren 2614 fallend und 1946 steigend. Im Folgenden wurden die Intervalle innerhalb ihrer Strukturkategorien ausgewertet.

3.2.1 Strukturkategorie *Isoliertes Einzelintervall*

In der am häufigsten auftretenden Strukturkategorie *Isoliertes Einzelintervall* (-1-) (s. Abbildung 7 und Tabelle 8) fanden sich 1213 Laute mit Intervallvermessung, davon waren 665 (54,8%) Intervalle fallend und 548 (45,2%) steigend. Wie in Tabelle 11 ersichtlich, lagen zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten unterschiedliche Verhältnisse vor. Während die fallenden Intervalle mit Ausnahme der 5. Woche in den ersten 6 Lebenswochen weniger als die Hälfte der Einzelintervalle (-1-) ausmachen, liegt der Anteil der fallenden Intervalle von der 7. bis zur 16. Woche bei über 50%. Die Werte steigen mit Schwankungen auf einen relativen Anteil von 0,73 in Woche 16.

In Abbildung 9 ist die Verteilung der Intervallhäufigkeiten für die fallenden Intervalle in Form von Boxplots (Kindniveau) dargestellt. Auch in den Boxplots zeigt sich für die Mediane und die oberen und unteren Quartile ein relativer Anstieg der fallenden Intervalle mit einem steigenden Probandenalter. Auffällig sind die vergleichsweise niedrigen Werte in Wochen 5 und 6, die den Trend quasi in zwei Abschnitte aufgeteilt erscheinen lassen. Die Mediane der 1. bis 6. Woche liegen mit Ausnahme der 4. Woche unter denen von Woche 7 bis 16.

Ergebnisse

Tabelle 11: Absolute und relative Häufigkeiten steigender und fallender Intervalle der Kategorie -1-

-1-	Intervallrichtung				Ges
	Fallend ↘		Steigend ↗		
Woche	Absolut	Relativ	Absolut	Relativ	absolut
1	40	0,42	55	0,58	95
2	23	0,46	27	0,54	50
3	24	0,41	34	0,59	58
4	38	0,45	46	0,55	84
5	47	0,52	44	0,48	91
6	31	0,39	48	0,61	79
7	43	0,51	42	0,49	85
8	48	0,58	35	0,42	83
9	42	0,55	35	0,45	77
10	48	0,55	40	0,45	88
11	61	0,62	37	0,38	98
12	45	0,69	20	0,31	65
13	48	0,64	27	0,36	75
14	43	0,67	21	0,33	64
15	32	0,64	18	0,36	50
16	52	0,73	19	0,27	71
Gesamt	665	0,55	548	0,45	1213

Ergebnisse

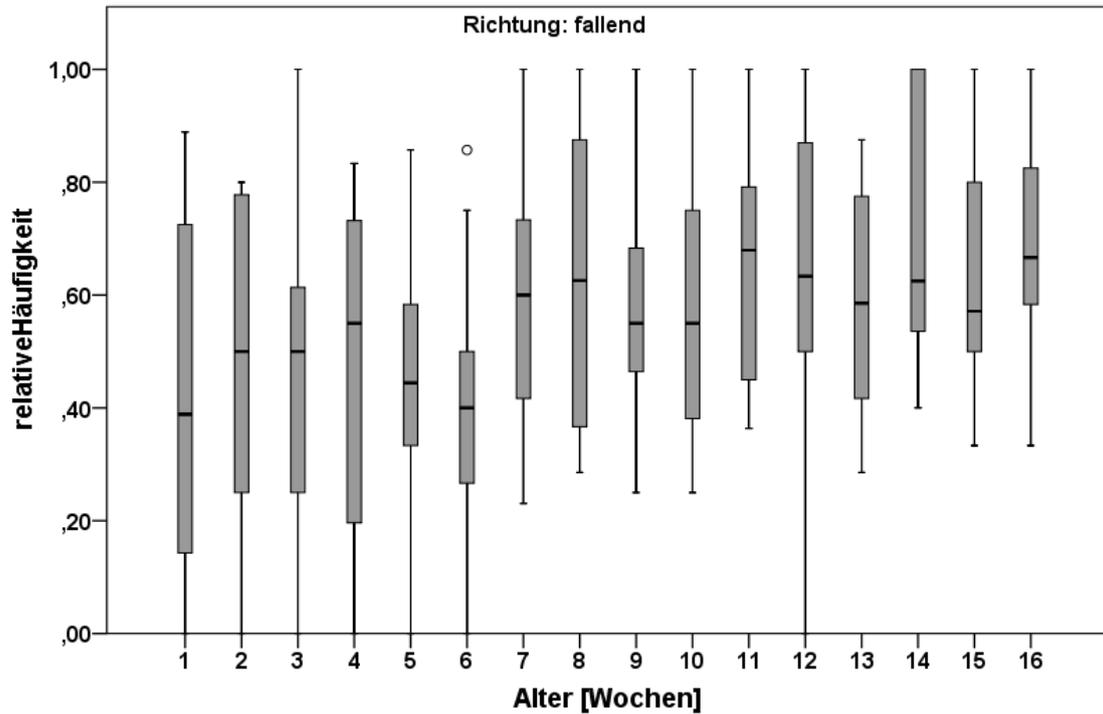


Abbildung 9: Boxplots: Relative Häufigkeit fallender Intervalle (\square) der Kategorie -1- über den gesamten Untersuchungszeitraum (Anteil fallender + steigender Intervalle = 1)

Die Verteilung der Anteile fallender Intervalle an der Gesamtzahl der (-1-) Intervalle wurde über den Untersuchungszeitraum auch anhand der Lowess-Kurve betrachtet. Es zeigte sich ein tendenziell linearer Zusammenhang, der sich auch durch eine Korrelationsanalyse bestätigte (Tabelle 13).

Ergebnisse

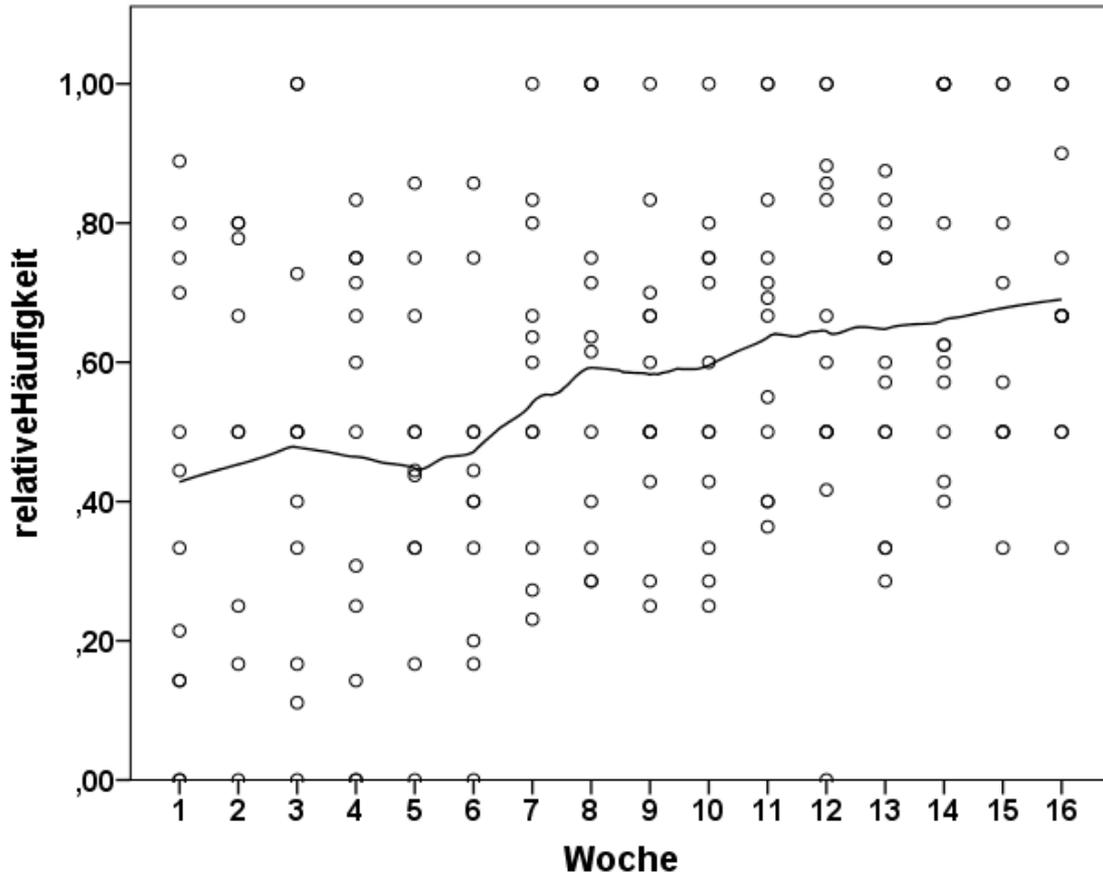


Abbildung 10: Streudiagramm mit Lowess-Kurve (f-Wert 30%): Relative Häufigkeit fallender Intervalle (\square) der Kategorie -1- über den gesamten Untersuchungszeitraum (Anteil fallender + steigender Intervalle = 1)

Die Häufigkeiten fallender gegenüber steigender Intervalle der Kinder wurden auf eine Korrelation mit dem Alter getestet. Nach vorangehendem Shapiro-Wilk-Test konnte für 15 der 16 Untersuchungswochen eine hinreichende Normalverteilung angenommen werden (s. Tabelle 12). Tabelle 13 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse.

Tabelle 12: Test auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilk (p-Werte); Verteilung der relativen Anteile fallender Intervalle über die Kinder pro Woche

Woche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Sig.	0,31	0,23	0,47	0,13	0,95	0,86	0,86	0,14	0,89	0,74	0,40	0,28	0,28	0,04	0,28	0,44

Tabelle 13: Korrelation der relativen Häufigkeiten fallender Intervalle mit dem Lebensalter (erste 16 Lebenswochen)

	Rangkorrelation nach Spearman-Rho	Korrelation nach Pearson
Korrelationskoeffizient	0,297	0,324
Sig. (2-seitig)	p<0,001	P<0,001
N	181	181

Die Korrelation ist sowohl nach Spearman-Rho als auch nach Pearson auf dem Niveau von 0,001 signifikant.

3.2.2 Strukturkategorie *Zwei zusammenhängende Intervalle*

Von allen vermessenen Signalen fielen 567 in die Strukturkategorie *Zwei zusammenhängende Intervalle* (-12-). Einzelnen betrachtet lagen in dieser Kategorie also 1134 Intervalle vor. Damit ergab sich eine etwa gleich große Intervallanzahl wie in der Kategorie -1- (1213 Intervalle),

Von den Intervallen der Strukturkategorie -12- waren 678 (59,7%) Intervalle fallend und 456 (40,3%) steigend. Auch für jedes Kind einzeln betrachtet zeigt sich eine Überzahl von fallenden Intervallen (Ausnahme nur Kind AA). Die absoluten und relativen Häufigkeiten fallender und steigender Intervalle sind in Tabelle 14 für die einzelnen Wochen aufgeführt. Entsprechend zeigt Abbildung 11 die relativen Häufigkeiten fallender Intervalle der Kategorie -12- über den Untersuchungszeitraum. Die Verteilung der Werte der Kinder über die einzelnen Wochen ist in Form von Boxplots dargestellt. Darüber hinaus zeigt Abbildung 12 das entsprechende Streudiagramm mit Lowess-Kurve. Es zeigte sich keine ausreichende Linearität, sodass eine Korrelationsrechnung nicht sinnvoll erschien.

Ergebnisse

Tabelle 14: absolute und relative Häufigkeiten steigender und fallender Intervalle der Kategorie -12-

-12-	Intervallrichtung				Ges
	Fallend ↘		Steigend ↗		
Woche	Absolut	Relativ	absolut	Relativ	absolut
1	48	0,65	26	0,35	74
2	27	0,52	25	0,48	52
3	25	0,63	15	0,38	40
4	26	0,48	28	0,52	54
5	44	0,55	36	0,45	80
6	27	0,48	29	0,52	56
7	48	0,57	36	0,43	84
8	38	0,54	32	0,46	70
9	46	0,61	30	0,39	76
10	35	0,51	33	0,49	68
11	58	0,66	30	0,34	88
12	48	0,65	26	0,35	74
13	62	0,65	34	0,35	96
14	59	0,66	31	0,34	90
15	42	0,66	22	0,34	64
16	45	0,66	23	0,34	68
Gesamt	678	0,60	456	0,40	1134

Ergebnisse

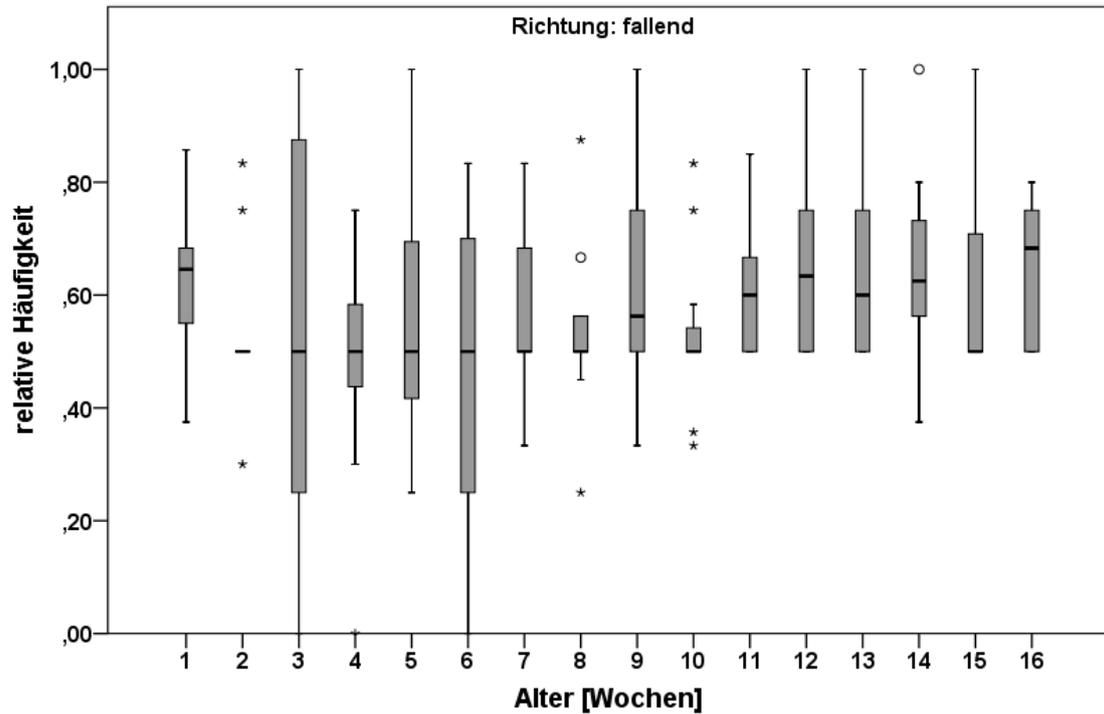


Abbildung 11: **Boxplots: Relative Häufigkeit fallender Intervalle (\square) der Kategorie -12- über den gesamten Untersuchungszeitraum (Anteil fallender + steigender Intervalle = 1)**

Ergebnisse

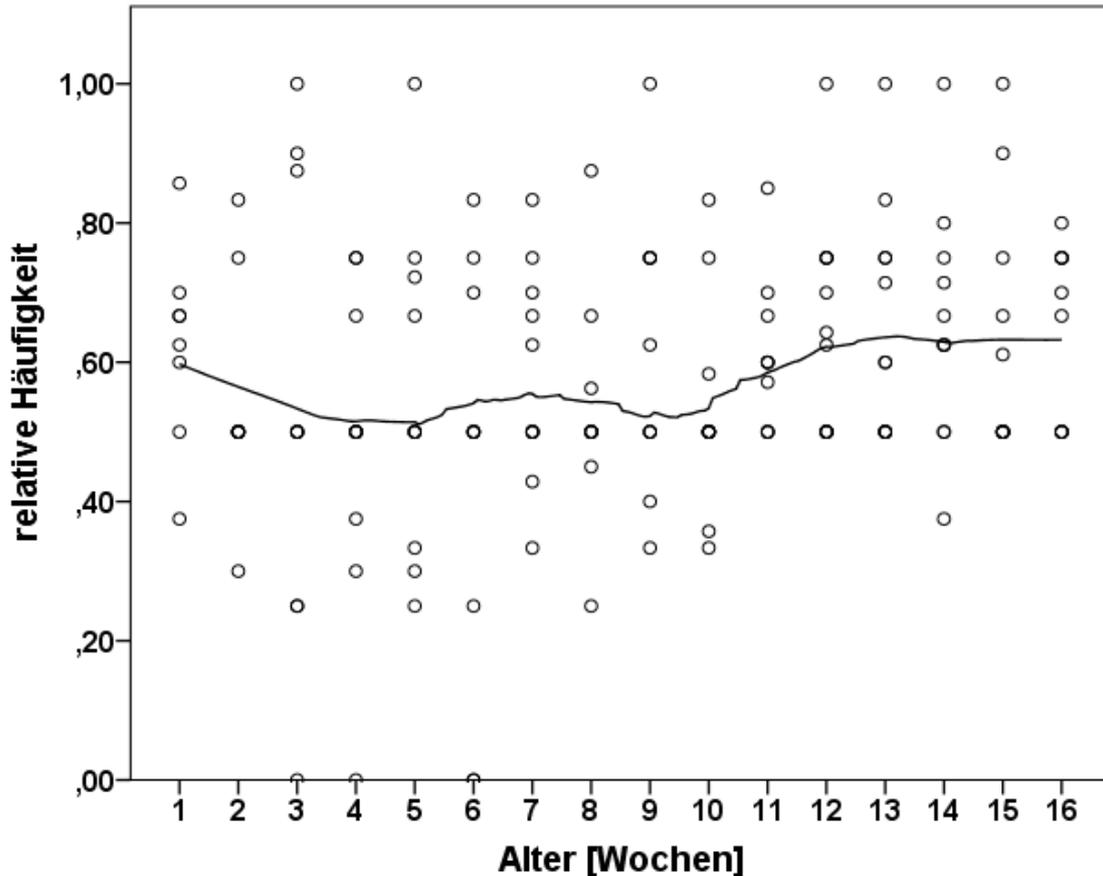


Abbildung 12: Streudiagramm mit Lowess-Kurve (f-Wert 30%): Relative Häufigkeit fallender Intervalle (\square) der Kategorie -12- über den gesamten Untersuchungszeitraum (Anteil fallender + steigender Intervalle = 1)

Für die Analyse der Verteilung fallender und steigender Anteile wurde wie für Kategorie -1- jedes Intervall einzeln betrachtet. Im Unterschied zu den isolierten Einzelintervallen lagen aber die Intervalle der Kategorie -12- im Verbund vor. Das bedeutet, dass streng genommen zwei Intervallrichtungen zusammengehören. Aus diesem Grund wurde im Folgenden der Verbund der Intervalle der Strukturkategorie -12- berücksichtigt. Es ergaben sich bezüglich der Richtung vier verschiedene mögliche Gruppen von Signalen, nämlich die Gruppen A: *fallend-fallend* ($f-f$, \square), B: *fallend-steigend* ($f-s$, \square), C: *steigend-fallend* ($s-f$, \square) und D: *steigend-steigend* ($s-s$, \square). Jede dieser Möglichkeiten wurde auch tatsächlich beobachtet und vermessen, die aufgetretenen Häufigkeiten sind in Tabelle 15 aufgelistet.

Tabelle 15: Untergruppen der Strukturkategorie -12- hinsichtlich der Intervallrichtung: relative und absolute Häufigkeiten

	fallend-fallend 	fallend-steigend 	steigend-fallend 	steigend-steigend 
absolute Häufigkeit (Anzahl Signale)	159	196	164	48
relative Häufigkeit (Anzahl Signale)	0,28	0,35	0,29	0,08

Deutlich ist vor allem der geringere Anteil an Signalen der Gruppe *steigend-steigend*. Jede der drei weiteren Gruppen haben einen mehr als dreimal so großen Anteil an der Gesamtsumme; die Strukturen der Gruppe *fallend-steigend* kommen am häufigsten vor.

3.3 Quantitative Charakterisierung der Intervallelemente der Strukturkategorien *isoliertes Einzelintervall (-1-)* und *zwei zusammenhängende Intervalle (-12-)*

In allen untersuchten Lautäußerungen wurden insgesamt 4560 Intervalle in unterschiedlichen Strukturkategorien vermessen (s. Kapitel 3.1, Abbildung 7 und Tabelle 8). Die quantitative Auswertung der Substrukturen der Intervalle (Intervallelemente, s. Kapitel 2.2) wurde für die beiden häufigsten Strukturkategorien (-1-, -12-) vorgenommen. Signale dieser beiden Kategorien machen den Großteil aller vermessenen Signale aus (ca. 74%) und konnten somit innerhalb ihrer Strukturkategorie analysiert werden, ohne dass die Datengrundlage zu gering wurde. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, wurden die Strukturkategorien und ihre Elemente auf Laut- bzw. Intervallniveau und – wo möglich – auf Kindniveau betrachtet.

3.3.1 Zeitliche Eigenschaften von Intervallen der Strukturkategorie *Isoliertes Einzelintervall*

Für die Strukturkategorie *Isoliertes Einzelintervall (-1-)* wurden die zeitlichen Längen der Intervalle und ihrer Elemente untersucht. Zunächst wurden die

Ergebnisse

Gesamtlänge des Intervalls (L_{ges}), die Länge des vorderen Plateaus (L_V), die Länge des hinteren Plateaus (L_H) und die Länge des Übergangs zwischen den beiden Plateaus (L_U) auf Intervallniveau betrachtet. Die Werte sind Absolutwerte in Sekunden. In dieser Analyse fehlt also der zeitliche Bezug der einzelnen Plateauelemente auf das gesamte Intervall. Daher folgt anschließend die tabellarische Darstellung der relativen Anteile der zeitlichen Längen von L_V , L_H und L_U bezogen auf die Gesamtlänge des jeweiligen Intervalls (s. Tabelle 20).

In Tabelle 16 sind Kenngrößen der Verteilung der Intervalllänge dargestellt, sowohl über alle Wochen, als auch für jede Untersuchungswoche getrennt. Darüber hinaus sind diese Kenngrößen in Abbildung 13 in Form von Boxplots dargestellt. Die Verteilung der Werte zwischen einem Minimum von 0,21 s und einem Maximum von 1,73 s bleibt über den Untersuchungszeitraum sehr stabil. Die Spanne der Mediane reicht von 0,41 s (Woche 1) bis 0,56 s (Woche 3). Auch hier zeigt sich ab der 7. Woche, mit Ausnahme von Woche 11, offenbar ein stabiler Bereich der Medianwerte bei ca. 0,5 s (von 0,48 s – 0,53 s; Woche 11: 0,44 s).

Ergebnisse

Tabelle 16: Deskriptive Statistik (Intervallniveau): Intervalllänge insgesamt (Lges) in Sekunden [s]

Lges					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	1213	0,48	0,21	1,73	0,38	0,63	0,26
1	95	0,41	0,21	1,01	0,32	0,49	0,17
2	50	0,45	0,27	1,02	0,37	0,63	0,25
3	58	0,56	0,27	1,11	0,43	0,67	0,24
4	84	0,47	0,25	1,18	0,38	0,63	0,25
5	91	0,46	0,24	1,01	0,35	0,61	0,26
6	79	0,47	0,26	1,11	0,37	0,66	0,29
7	85	0,52	0,26	1,30	0,38	0,66	0,28
8	83	0,50	0,26	1,19	0,36	0,65	0,29
9	77	0,50	0,23	1,13	0,39	0,66	0,26
10	88	0,50	0,23	1,40	0,39	0,60	0,21
11	98	0,44	0,25	1,10	0,35	0,61	0,26
12	65	0,49	0,26	1,44	0,39	0,69	0,30
13	75	0,51	0,24	1,08	0,38	0,64	0,26
14	64	0,53	0,25	1,73	0,38	0,69	0,31
15	50	0,53	0,27	1,27	0,43	0,65	0,21
16	71	0,48	0,26	1,71	0,39	0,62	0,24

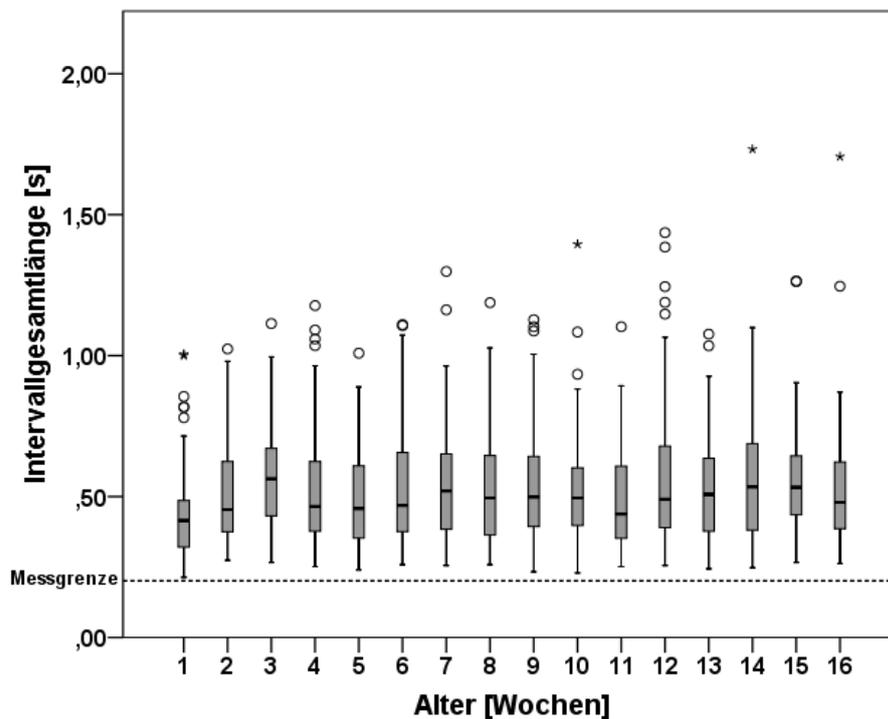


Abbildung 13: Boxplots: Intervalllänge über die ersten 16 Lebenswochen

Die Intervalllängen wurden in Abbildung 14 zusätzlich nach der Intervallrichtung getrennt dargestellt. Mit Ausnahme der 6. Lebenswoche waren die Werte für

Ergebnisse

das obere Quartil und auch den Interquartilsabstand für die fallenden Intervalle größer als für die steigenden. Dasselbe gilt für die Mediane. Der Unterschied der Mediane zwischen den Intervallrichtungen war in den ersten 9 Wochen relativ gering und lag maximal bei 0,07 s. In den Wochen 10 und 12 bis 14 zeigte sich eine deutlich größere Spanne der Mediane (0,12 s in Woche 13 und 0,21 s in Woche 14). Vor allem die steigenden Intervalle zeigen sich ab der 10. Woche kürzer.

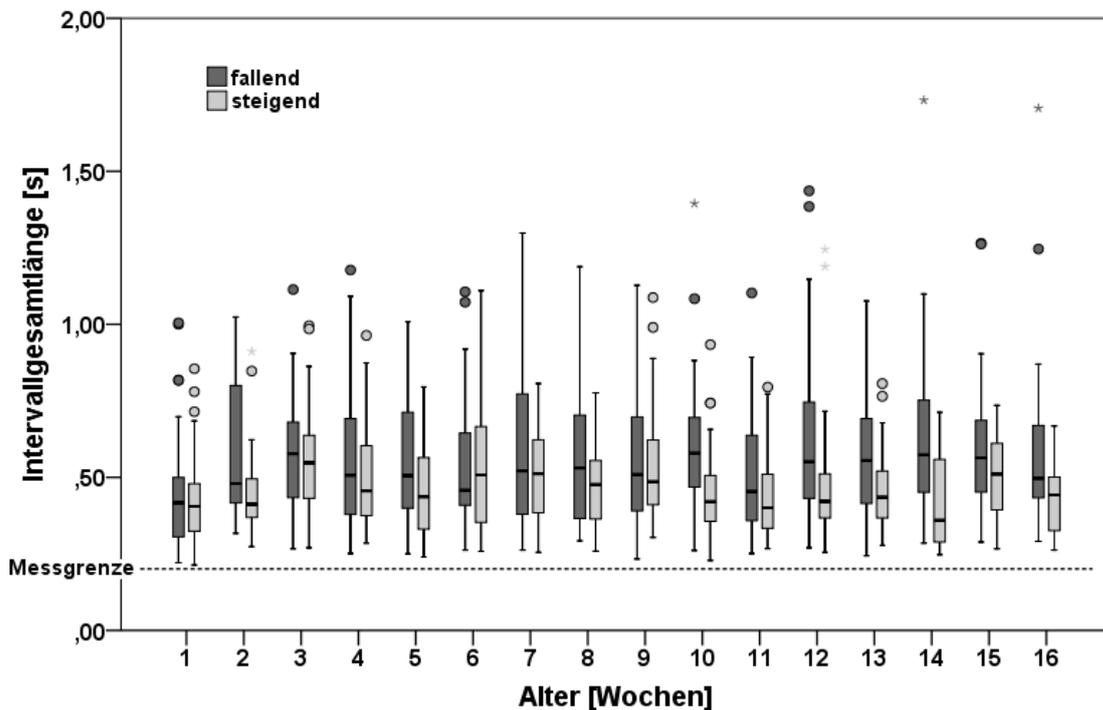


Abbildung 14: Boxplots: Intervalllänge getrennt nach der Intervallrichtung

Tabelle 17 zeigt die Kenngrößen zur Verteilung der vorderen Plateaulänge. Der Median der vorderen Plateaulänge ist in der ersten Woche mit 0,11 s etwas kürzer als in den 15 Folgewochen (0,13 – 0,16 s). Dieser Wert liegt außerdem sehr nah an der Messgrenze von 0,1 s (s. Kapitel 2.2.1). Die in allen Wochen gleiche Untergrenze ist der festgelegten Mindestdauer von 100 ms Plateaulänge geschuldet (Kapitel 2.2.1). Die maximale Plateaulänge variiert über die Wochen mit Werten von 0,37 s (Woche 2) bis 0,9 Sekunden (Woche 12). Diese Variation spiegelt sich auch in den Grenzen des oberen Quartils wider. In Abbildung 15 sind diese Verhältnisse graphisch dargestellt.

Ergebnisse

Tabelle 17: Deskriptive Statistik: vordere Plateaulänge (LV) in Sekunden [s]

LV					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	1213	0,14	0,10	0,90	0,12	0,20	0,08
1	95	0,11	0,10	0,56	0,10	0,15	0,05
2	50	0,13	0,10	0,37	0,11	0,16	0,04
3	58	0,15	0,10	0,55	0,12	0,24	0,12
4	84	0,14	0,10	0,45	0,11	0,22	0,11
5	91	0,14	0,10	0,46	0,11	0,21	0,10
6	79	0,15	0,10	0,51	0,12	0,21	0,10
7	85	0,16	0,10	0,63	0,12	0,24	0,12
8	83	0,13	0,10	0,47	0,12	0,17	0,06
9	77	0,16	0,10	0,53	0,12	0,22	0,10
10	88	0,14	0,10	0,56	0,12	0,21	0,10
11	98	0,14	0,10	0,54	0,11	0,18	0,07
12	65	0,15	0,10	0,90	0,12	0,20	0,08
13	75	0,14	0,10	0,60	0,12	0,20	0,08
14	64	0,15	0,10	0,69	0,13	0,23	0,10
15	50	0,15	0,10	0,43	0,12	0,24	0,12
16	71	0,14	0,10	0,49	0,12	0,20	0,08

Ergebnisse

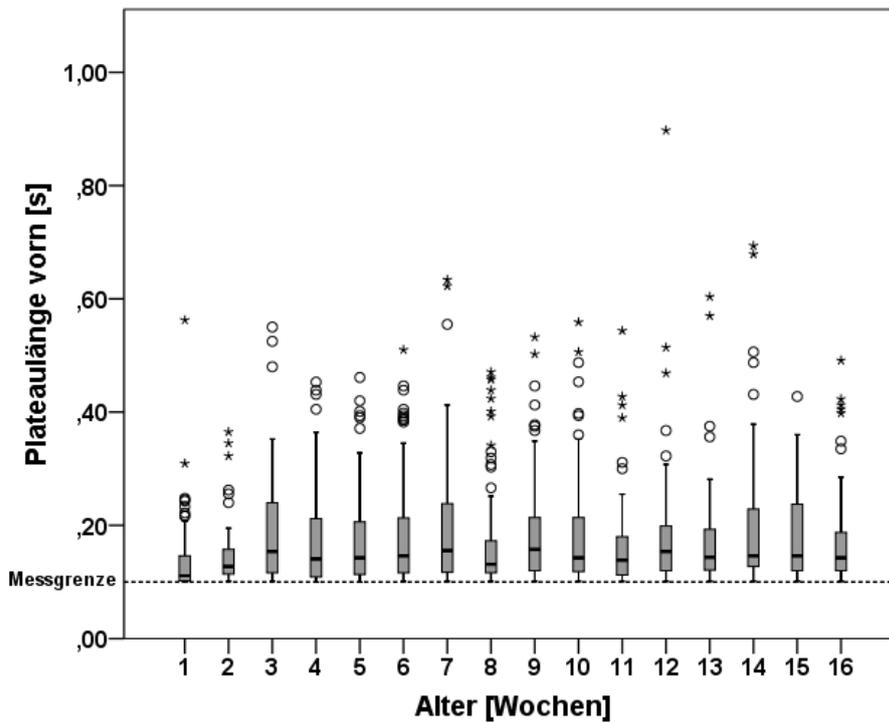


Abbildung 15: Boxplots: Plateaulänge vorn (LV) über die ersten 16 Lebenswochen

In Tabelle 18 finden sich entsprechend die Kenngrößen der Längen der hinteren Plateaus. Wie bei den Längen der vorderen Plateaus liegt die gemessene Untergrenze methodenbedingt durchgängig bei 0,1 s. Die Maximalwerte der hinteren Plateaulängen unterscheiden sich nur dadurch, dass sie vereinzelt größer als die der vorderen Plateaus sind. Die Werte der Mediane sind für die hinteren Plateaulängen in 13 Untersuchungswochen größer; in Woche 6 (0,15 s), 9 (0,16 s) und 14 (0,15 s) sind die Mediane von vorderem und hinterem Plateau gleich groß. Eine deutliche Veränderung über die Zeit ist aus den Tabellen beziehungsweise Boxplots nicht erkennbar.

In den Boxplots (Abbildung 16) konnte aufgrund der gewählten Skalierung der bei einem Intervall gemessene Extremwert (16. Woche) nicht dargestellt werden. Das gemessene Maximum (1,36 s) ist in Tabelle 18 berichtet.

Ergebnisse

Tabelle 18: Deskriptive Statistik: hintere Plateaulänge (LH) in Sekunden [s]

LH					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	1213	0,16	0,10	1,36	0,12	0,24	0,12
1	95	0,14	0,10	0,77	0,10	0,24	0,14
2	50	0,15	0,10	0,64	0,12	0,23	0,11
3	58	0,18	0,10	0,62	0,13	0,26	0,12
4	84	0,15	0,10	0,65	0,12	0,21	0,09
5	91	0,15	0,10	0,48	0,12	0,23	0,11
6	79	0,15	0,10	0,69	0,11	0,23	0,12
7	85	0,17	0,10	0,54	0,13	0,24	0,11
8	83	0,14	0,10	0,45	0,11	0,21	0,10
9	77	0,16	0,10	0,65	0,12	0,23	0,11
10	88	0,15	0,10	0,49	0,12	0,24	0,11
11	98	0,16	0,10	0,49	0,13	0,23	0,10
12	65	0,18	0,10	0,83	0,12	0,26	0,14
13	75	0,17	0,10	0,68	0,12	0,24	0,13
14	64	0,15	0,10	0,90	0,13	0,22	0,09
15	50	0,18	0,10	0,50	0,13	0,27	0,14
16	71	0,15	0,10	1,36	0,13	0,28	0,15

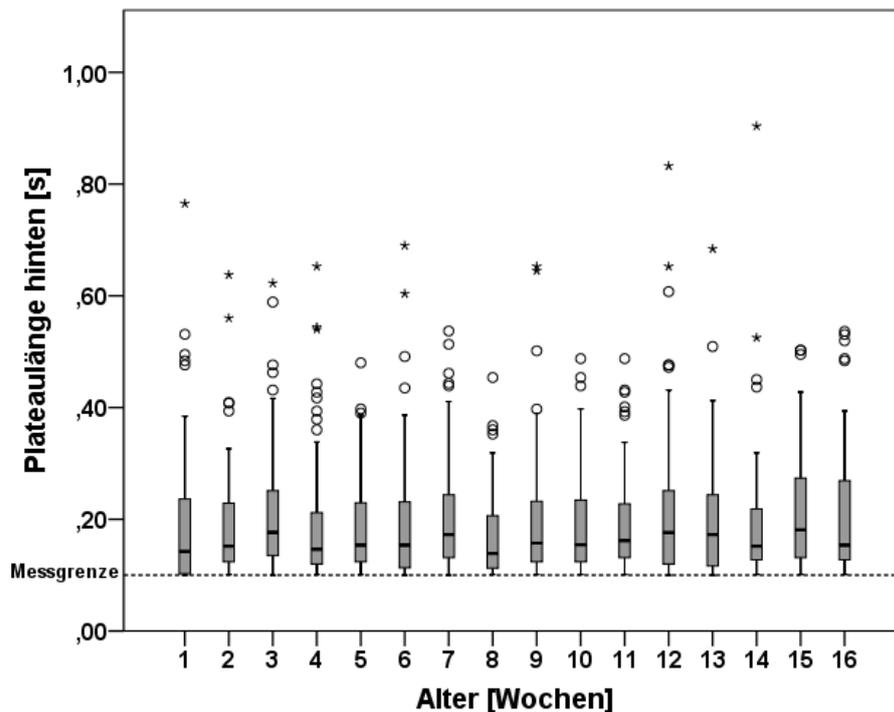


Abbildung 16: Boxplots: Plateaulänge hinten (LH) über die ersten 16 Lebenswochen

Die Kenngrößen der Übergangslänge sind Tabelle 19 zu entnehmen. Die entsprechenden Boxplots sind in Abbildung 17 dargestellt. Wie auch bei den

Ergebnisse

Plateaulängen ist hier keine deutliche Entwicklung über die Zeit zu erkennen. Die Mediane liegen in einer Spanne von 0,09 s (Woche 1 und 5) und 0,15 s (Woche 8 und 12). Ein Minimum der Übergangslänge war nicht festgelegt, weshalb diese auch deutlich kleinere Werte annehmen kann, als die Plateaulänge (0,01-0,03 s). Trotzdem liegen die Mediane der Übergangslängen mit Werten von 0,09 bis 0,15 s nur wenig unter denen der vorderen Plateaus. Der Interquartilsabstand bleibt relativ konstant über die Zeit.

Tabelle 19: Deskriptive Statistik: Übergangslänge zwischen 2 Plateaus (LU) in Sekunden [s]

LU					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	1213	0,12	0,01	0,86	0,07	0,20	0,13
1	95	0,09	0,01	0,67	0,05	0,15	0,11
2	50	0,13	0,03	0,56	0,07	0,21	0,14
3	58	0,13	0,03	0,44	0,09	0,22	0,14
4	84	0,14	0,02	0,60	0,08	0,21	0,13
5	91	0,09	0,02	0,60	0,05	0,20	0,14
6	79	0,13	0,03	0,79	0,07	0,22	0,15
7	85	0,11	0,02	0,54	0,06	0,20	0,14
8	83	0,15	0,01	0,71	0,08	0,24	0,16
9	77	0,13	0,02	0,71	0,08	0,22	0,15
10	88	0,12	0,02	0,86	0,06	0,19	0,13
11	98	0,11	0,02	0,60	0,06	0,18	0,12
12	65	0,15	0,03	0,67	0,07	0,21	0,14
13	75	0,14	0,03	0,47	0,09	0,23	0,14
14	64	0,14	0,03	0,68	0,07	0,25	0,18
15	50	0,13	0,02	0,60	0,08	0,21	0,13
16	71	0,11	0,02	0,35	0,08	0,17	0,10

Ergebnisse

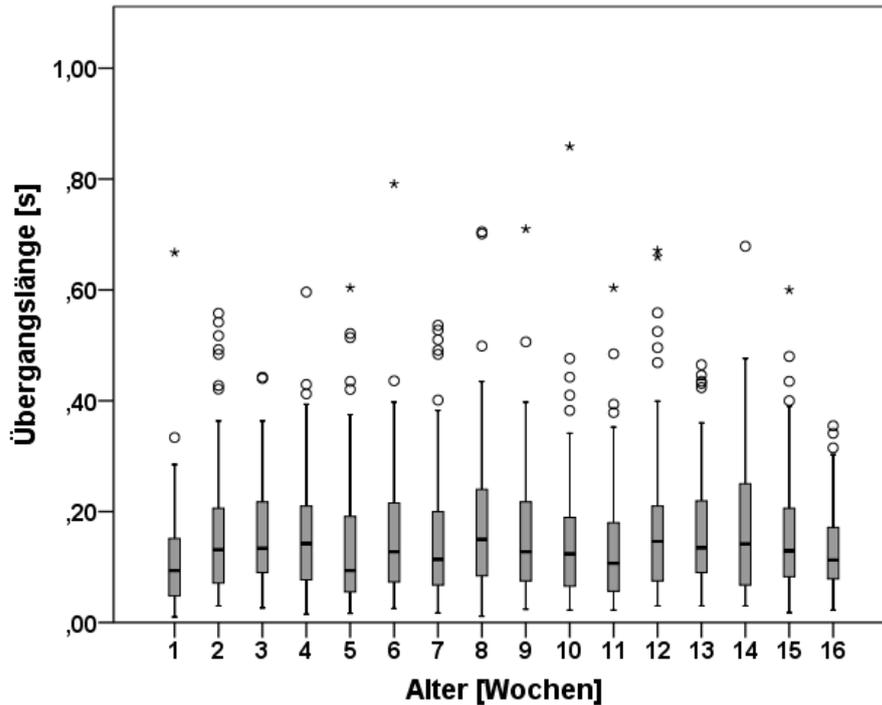


Abbildung 17: Boxplots: Übergangslänge (LU) über die ersten 16 Lebenswochen

Ein maßgebliches Kriterium für ein „echtes“ Intervall aus musikalisch-perzeptiver Perspektive ist neben ausgeprägten Plateaus ein schneller Übergang. Daher wurden Intervalle, bei denen die Übergangslänge kürzer war als die Länge der Plateaus noch einmal separat analysiert. Diese Analyse ergab allerdings für die Plateaulängen ähnliche Verteilungen wie die in Abbildung 15 und 16 dargestellten.

Korrespondierend zu den absoluten Zeitwerten der Plateauelemente sind in Tabelle 20 die deskriptiven Kenngrößen für die Relativwerte als Anteil von 1 aufgeführt. Dabei bezieht sich der Relativwert des einzelnen Elements immer auf die Gesamtlänge des zugehörigen Intervalls. Die Werte für Av stellen also den Anteil der vorderen Plateaulänge von der Intervalllänge dar, entsprechend wurden die Einzelwerte für Ah und Aü berechnet.

Die Mediane der vorderen Plateaulängen liegen im Bereich von 0,29 – 0,36, die Mediane der hinteren Plateaulängen von 0,33 – 0,42. Die Bereiche überschneiden sich, insgesamt betrachtet sind die Mediane der vorderen

Ergebnisse

Plateaulängen aber niedriger als die der hinteren. Auch für die einzelnen Aufnahmewochen getrennt betrachtet nehmen die hinteren Plateaulängen einen etwas größeren Anteil ein. Nur in den Wochen 6 und 14 ist der Median der vorderen Plateaulängen größer als der der hinteren; in Woche 9 sind die Mediane gleich groß. In den anderen 13 Wochen überwiegt der Anteil der hinteren Plateaulänge. Ähnlich verhalten sich die Werte der oberen und der unteren Quartile. Das vordere Plateau nimmt auch bei den unteren Quartilen nur in Woche 6 einen größeren Wert ein als das hintere Plateau, bei den oberen Quartilen in den Wochen 6 und 14 (Tabelle 20).

Die Mediane der relativen Übergangslängen liegen zwischen 0,22 – 0,33. Damit ist dieser Bereich im Vergleich zu den Plateaus, insbesondere dem hinteren Plateau, am kleinsten. Auch in der Betrachtung der einzelnen Wochen ergeben sich für die Übergangslängen meist kleinere Werte als für die Plateaus. Für die Grenze des unteren Quartils ($Q_{0,25}$) ist die Übergangslänge in jeder der 16 Wochen das kürzeste Intervallelement.

Der Interquartilsabstand (IQR, interquartile range) der Übergangslänge ist in 15 von 16 Wochen deutlich größer oder gleich der IQR der Plateaus, die Werte sind also auch unabhängig von der Streuung von Ausreißern breiter verteilt.

Ergebnisse

Tabelle 20: Deskriptive Statistik: Anteil Plateau vorn (Av); Anteil Plateau hinten (Ah); Übergang (Ü) Relativwerte als Anteil der jeweiligen IV-Länge

Woche	IV-Element	Median	Min	Max	Perzentile		IQR
					25	75	
1-16	Av	0,33	0,09	0,83	0,25	0,42	0,17
	Ah	0,37	0,11	0,80	0,28	0,46	0,17
	Aü	0,26	0,04	0,74	0,16	0,38	0,22
1	Av	0,34	0,10	0,66	0,24	0,42	0,18
	Ah	0,42	0,12	0,78	0,31	0,53	0,21
	Aü	0,23	0,04	0,67	0,13	0,34	0,21
2	Av	0,29	0,13	0,57	0,24	0,37	0,13
	Ah	0,36	0,13	0,75	0,27	0,48	0,21
	Aü	0,30	0,06	0,69	0,16	0,46	0,30
3	Av	0,31	0,15	0,73	0,24	0,41	0,17
	Ah	0,33	0,19	0,75	0,26	0,44	0,17
	Aü	0,28	0,06	0,54	0,16	0,41	0,25
4	Av	0,33	0,14	0,63	0,26	0,39	0,13
	Ah	0,35	0,14	0,67	0,27	0,45	0,19
	Aü	0,28	0,05	0,64	0,18	0,41	0,23
5	Av	0,36	0,13	0,69	0,25	0,43	0,18
	Ah	0,39	0,15	0,72	0,30	0,47	0,17
	Aü	0,22	0,05	0,69	0,15	0,34	0,19
6	Av	0,36	0,09	0,66	0,25	0,44	0,19
	Ah	0,35	0,14	0,66	0,25	0,44	0,19
	Aü	0,26	0,07	0,74	0,16	0,38	0,22
7	Av	0,35	0,15	0,75	0,24	0,44	0,20
	Ah	0,38	0,14	0,70	0,29	0,45	0,16
	Aü	0,23	0,04	0,65	0,15	0,35	0,20
8	Av	0,31	0,15	0,62	0,25	0,40	0,15
	Ah	0,34	0,14	0,65	0,25	0,41	0,16
	Aü	0,33	0,04	0,70	0,19	0,43	0,24
9	Av	0,33	0,11	0,67	0,23	0,44	0,20
	Ah	0,33	0,11	0,71	0,27	0,44	0,16
	Aü	0,27	0,06	0,71	0,17	0,38	0,21
10	Av	0,34	0,14	0,76	0,27	0,42	0,15
	Ah	0,36	0,13	0,75	0,28	0,46	0,18
	Aü	0,26	0,05	0,64	0,16	0,37	0,22
11	Av	0,33	0,16	0,75	0,26	0,40	0,14
	Ah	0,41	0,17	0,69	0,31	0,47	0,16
	Aü	0,24	0,05	0,62	0,15	0,35	0,20
12	Av	0,31	0,14	0,65	0,24	0,40	0,17
	Ah	0,38	0,13	0,67	0,28	0,48	0,20
	Aü	0,27	0,05	0,67	0,17	0,38	0,22
13	Av	0,29	0,16	0,63	0,24	0,41	0,16
	Ah	0,37	0,15	0,74	0,29	0,46	0,17
	Aü	0,28	0,09	0,65	0,20	0,38	0,19
14	Av	0,37	0,13	0,83	0,24	0,46	0,21
	Ah	0,34	0,13	0,64	0,29	0,41	0,12
	Aü	0,25	0,04	0,65	0,15	0,42	0,27
15	Av	0,31	0,14	0,62	0,22	0,41	0,18
	Ah	0,36	0,16	0,72	0,29	0,46	0,17
	Aü	0,24	0,05	0,57	0,18	0,41	0,23
16	Av	0,33	0,12	0,63	0,25	0,46	0,21
	Ah	0,39	0,13	0,80	0,27	0,48	0,21
	Aü	0,25	0,05	0,58	0,16	0,32	0,15

Ergebnisse

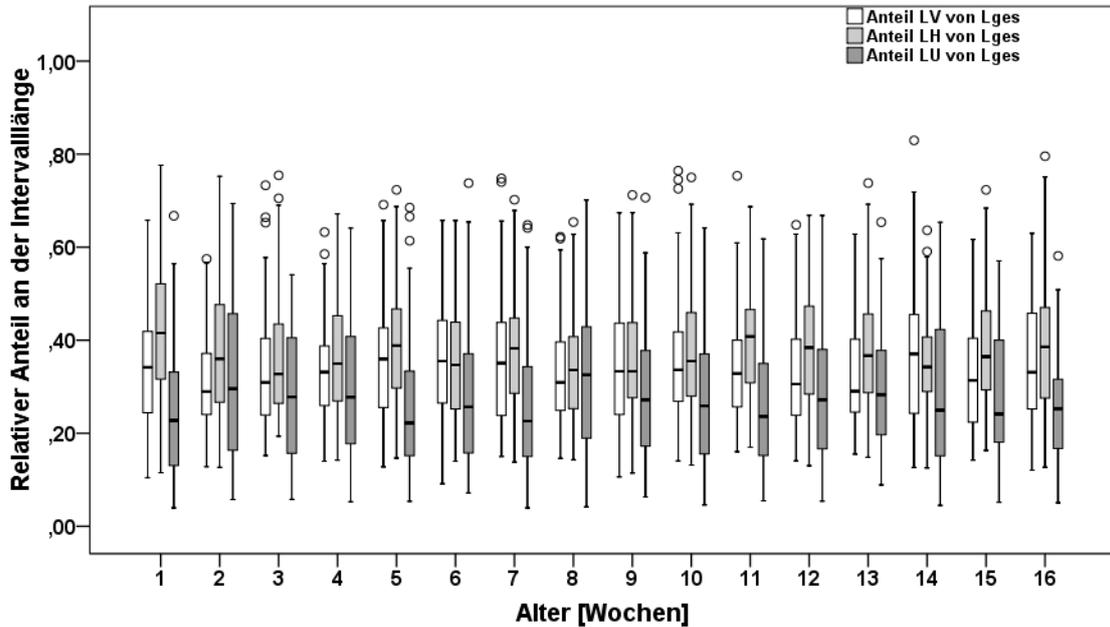


Abbildung 18: Boxplots: relative Anteile der Intervallelemente der fallenden und steigenden IVs an der jeweiligen Intervalllänge über die Zeit (LV = Länge vorderes Plateau; LH = Länge hinteres Plateau; LU = Übergangslänge; Lges = Intervalllänge)

In Abbildung 18 sind die relativen Längen der Intervallelemente über die Wochen (Tabelle 20 entsprechend) in Form von Boxplots veranschaulicht dargestellt (Lautniveau). Des Weiteren zeigt Abbildung 19 eine Darstellung der relativen Längen für jedes einzelne Kind. Dabei wurde keine zeitliche Unterteilung vorgenommen. Auch in dieser Darstellung ergibt sich dasselbe Bild: Bei den meisten Kindern liegen der Median sowie die oberen und unteren Quartile der Box der Übergangslänge niedriger als die entsprechenden Werte der Plateaus. Die Quartile des vorderen Plateaus liegen zudem niedriger als die entsprechenden Quartile des hinteren Plateaus. Ausnahmen bilden die Mediane der Kinder BD (Median relative LV $\hat{=}$ Median relative LH) und DW (Median relative LV > Median relative LH) und die oberen Quartile der Kinder CV ($Q_{0,75}$ relative LV > $Q_{0,75}$ relative LH) EC ($Q_{0,75}$ relative LV < $Q_{0,75}$ relative Übergangslänge).

Ergebnisse

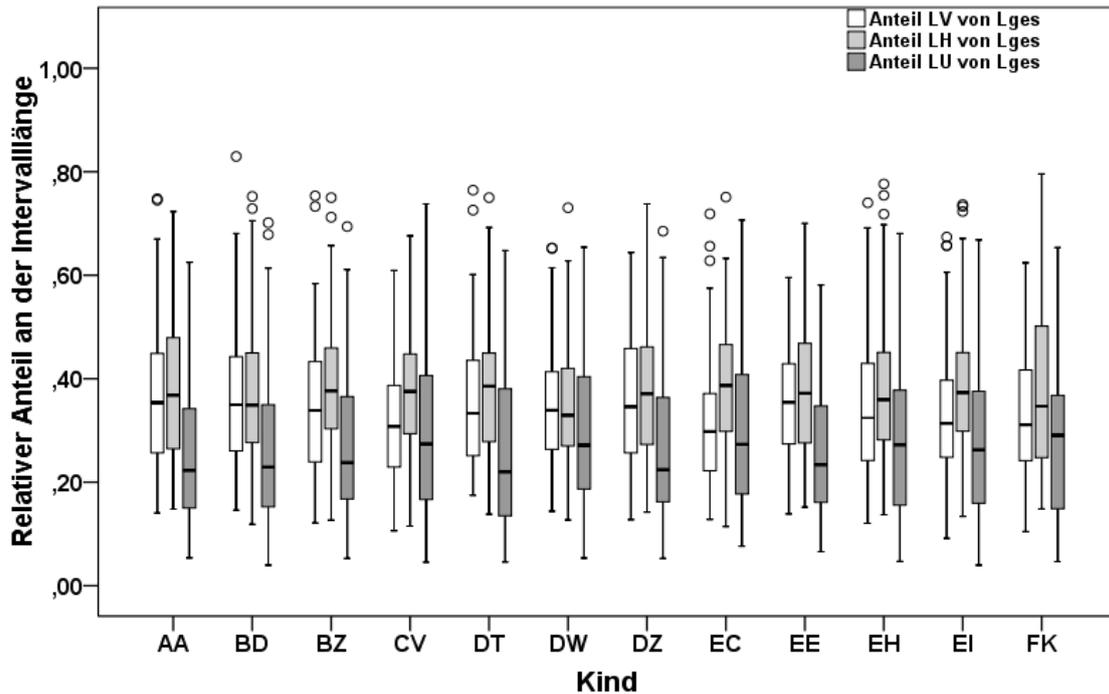


Abbildung 19: Boxplot: relative Anteile der Intervallelemente an der jeweiligen Intervalllänge kindbasiert (LV=Länge vorderes Plateau; LH= Länge hinteres Plateau; LU= Übergangslänge; Lges=Intervalllänge)

In einer weiteren Darstellung wurden die Intervallrichtungen (fallend oder steigend) der Strukturkategorie -1- auf Lautniveau betrachtet. Darin wurden die relativen Plateaulängen bezogen auf die Intervalllänge dargestellt (Abbildung 20). Für die Richtung „fallend“ entspricht die vordere Plateaulänge (LV) gleichzeitig der höher liegenden Plateaulänge und die hintere Plateaulänge der niedriger liegenden. Die Boxplots für die verschiedenen Richtungen in ihren Verhältnissen erscheinen sehr ähnlich. Die Boxen und die Mediane der vorderen Plateaulänge liegen etwas niedriger als die der hinteren Plateaulänge; die Box und die Mediane für die Übergangslänge nehmen den niedrigsten Bereich ein. Die Interquartilsabstände dagegen sind für die Übergangslänge größer als für die Plateaus. Bei den fallenden Intervallen ist dieser Unterschied etwas ausgeprägter als bei den steigenden.

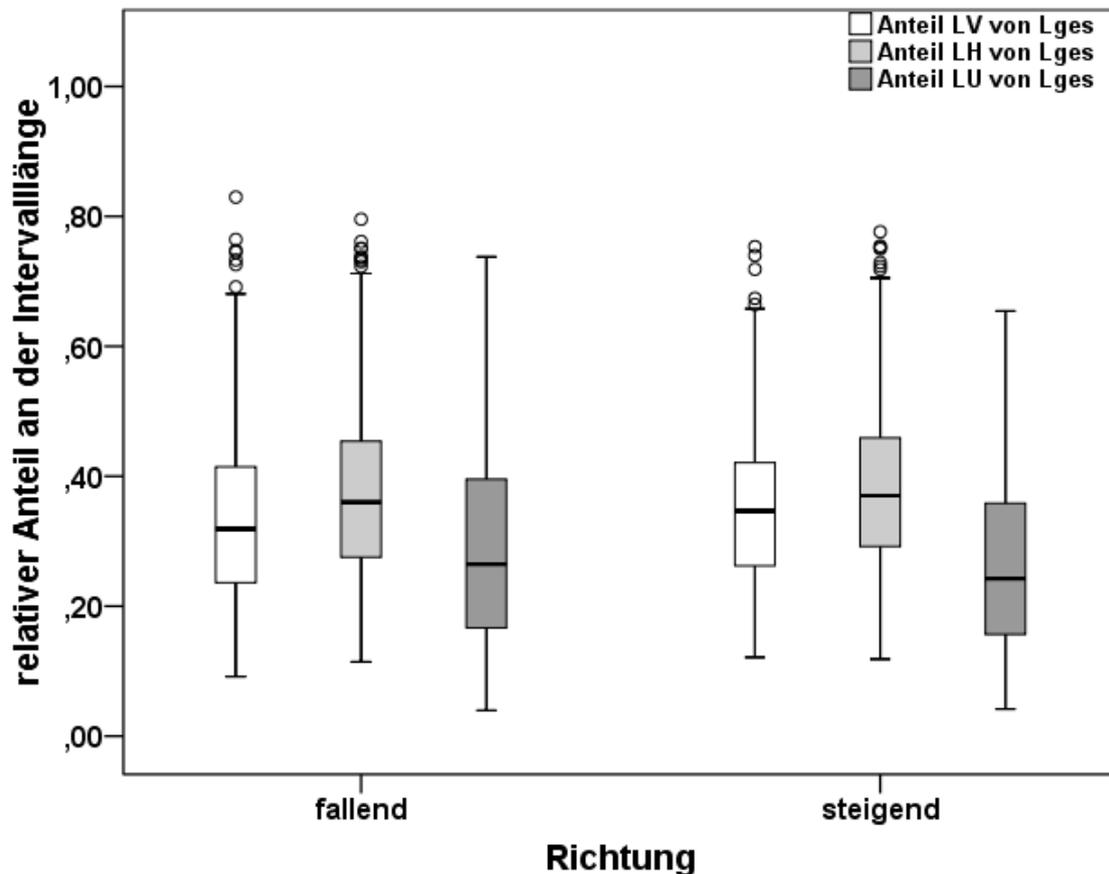


Abbildung 20: Boxplots: relative Anteile der Intervallelemente an der jeweiligen Intervalllänge, aufgeteilt nach der Richtung (LV=Länge vorderes Plateau; LH= Länge hinteres Plateau; LU= Übergangslänge; Lges=Intervalllänge)

In den oben gezeigten Darstellungen wurden die Anteile des jeweiligen Elements (Plateaus, Übergang) relativ zum gesamten Intervall betrachtet. Der Zusammenhang allein zwischen den Plateaus wurde deshalb gesondert betrachtet. Die Verteilung der individuellen Verhältnisse von vorderem und hinterem Plateau der isoliert auftretenden Intervalle (-1-) sind in Abbildung 21 (A, B) in Form von Histogrammen in linearer sowie logarithmischer Skalierung dargestellt. Die Darstellung der Häufigkeiten in linearer Form (A) ermöglicht es, die Größenverhältnisse direkt abzulesen. Die Werte für ein ausgeglichenes Verhältnis von vorderem und hinterem Plateau ($LV / LH \approx 1$) treten als Maxima über den Verteilungsbereich deutlich hervor. Die logarithmierte Darstellung (B) ähnelt mehr einer Normalverteilung – ist aber

Ergebnisse

keine hinreichende ($p < 0,001$, Shapiro-Wilk-Test) – mit deutlicher Prägnanz der isochronen vorderen und hinteren Plateaus.

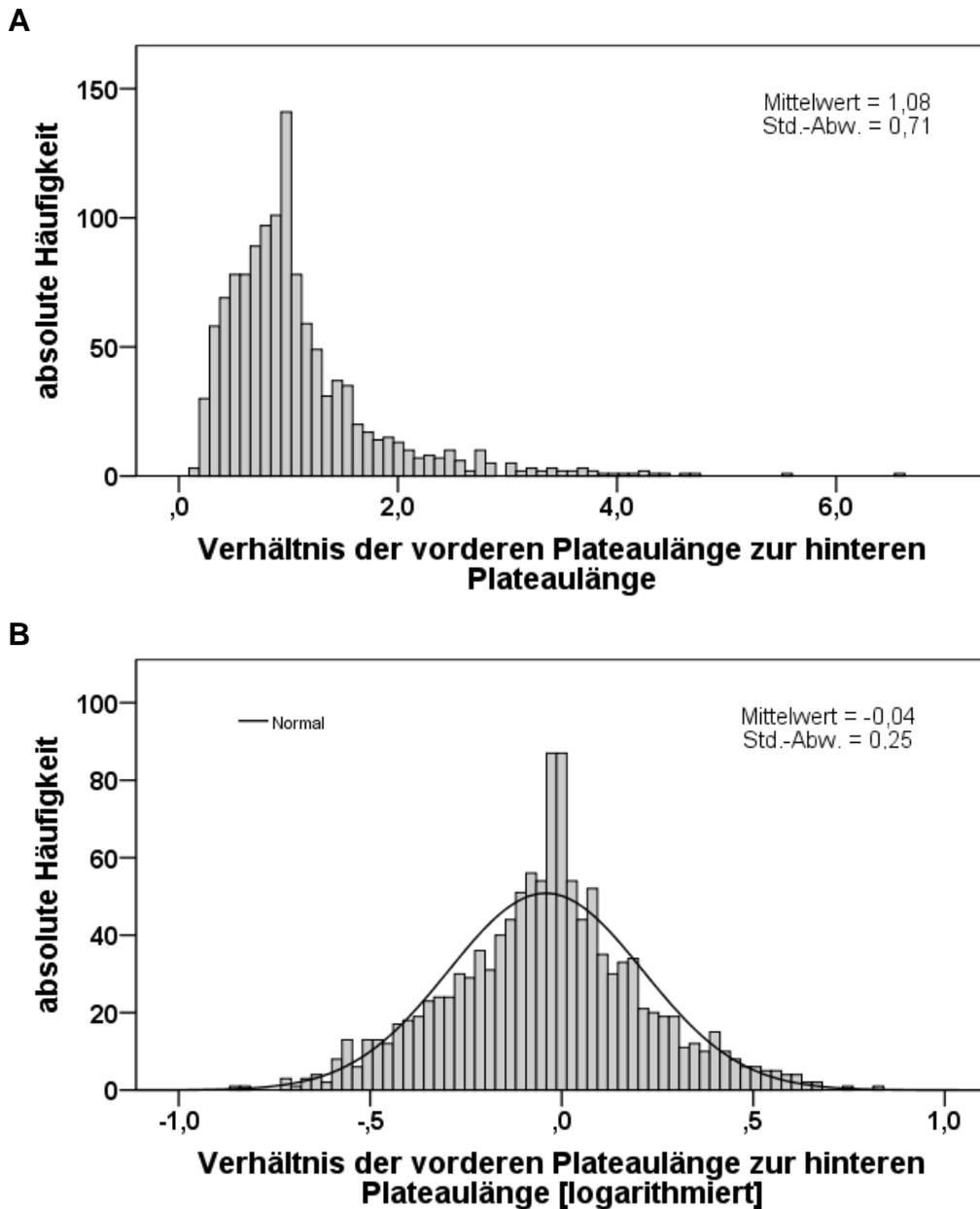


Abbildung 21: Histogramm: Verhältnis der beiden Plateaulängen (LV / LH) zueinander
A: linear
B: logarithmiert
N=1213; alle Intervalle der Kategorie -1-

Betrachtet man die Längen von vorderem und hinterem Plateau nur für die annähernd isochronen Intervalle (logarithmiertes Verhältnis der Plateaus

zwischen -0,04 und 0,014), so zeigt sich, dass auch hier alle Plateaulängen zwischen 0,1 s und 0,5 s vorkamen, wenngleich mit größerer Plateaulänge seltener. Abbildung 22 zeigt das entsprechende Streudiagramm der vorderen Plateaulänge gegen die hintere Plateaulänge der annähernd isochronen Intervalle. Dafür wurden alle Intervalle betrachtet, für die das logarithmierte Verhältnis von vorderem zu hinterem Plateau zwischen -0,04 und 0,014 lag, da diese Spanne dem Peak der logarithmierten Verhältnisse entspricht (Abbildung 21). Das Streudiagramm zeigt, dass isochrone Intervalle zwar maßgeblich mit Längen von unter 0,15 s auftreten, aber trotzdem auch in größeren Längen bis deutlich über 0,4 s.

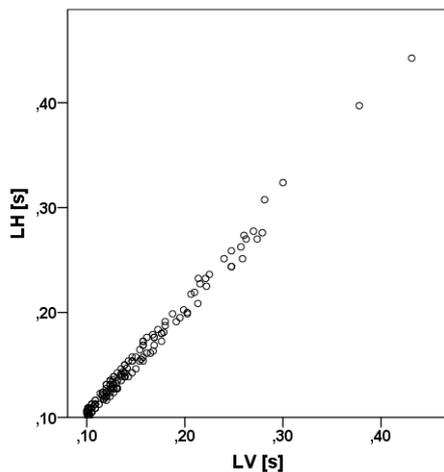


Abbildung 22: Streudiagramm: Plateaulänge vorn (LV) und zugehörige Plateaulänge hinten (LH) annähernd isochrone Intervalle: für $-0,04 > \lg(LV/LH) > 0,014$; N= 176

Die Verteilung der Verhältnisse der beiden Plateaulängen zueinander wurde außerdem auch hier wieder für eine Untergruppe der vermessenen Intervalle der Kategorie -1- betrachtet. Dafür wurden nur solche Intervalle ausgewählt, bei denen sowohl die vordere Plateaulänge (LV) als auch die hintere Plateaulänge (LH) größer ist als die zugehörige Übergangslänge (LU). Abbildung 23 zeigt die Aufteilung der logarithmischen Verteilung in die zwei Gruppierungen (beide Plateaulängen $>$ Übergangslänge bzw. mindestens eine Plateaulänge kürzer als die Übergangslänge). Durch die Unterteilung wurde der Datensatz annähernd halbiert. Die Verteilung der dunkelgrauen Balken gehört zu den

Ergebnisse

Intervallen, deren Übergangslänge kürzer war als die beiden Plateaulängen. Sie stellt die etwas größere der zwei Gruppen dar (N=644) und wird anschließend näher betrachtet. Insgesamt sind die Verteilungen erstaunlich ähnlich.

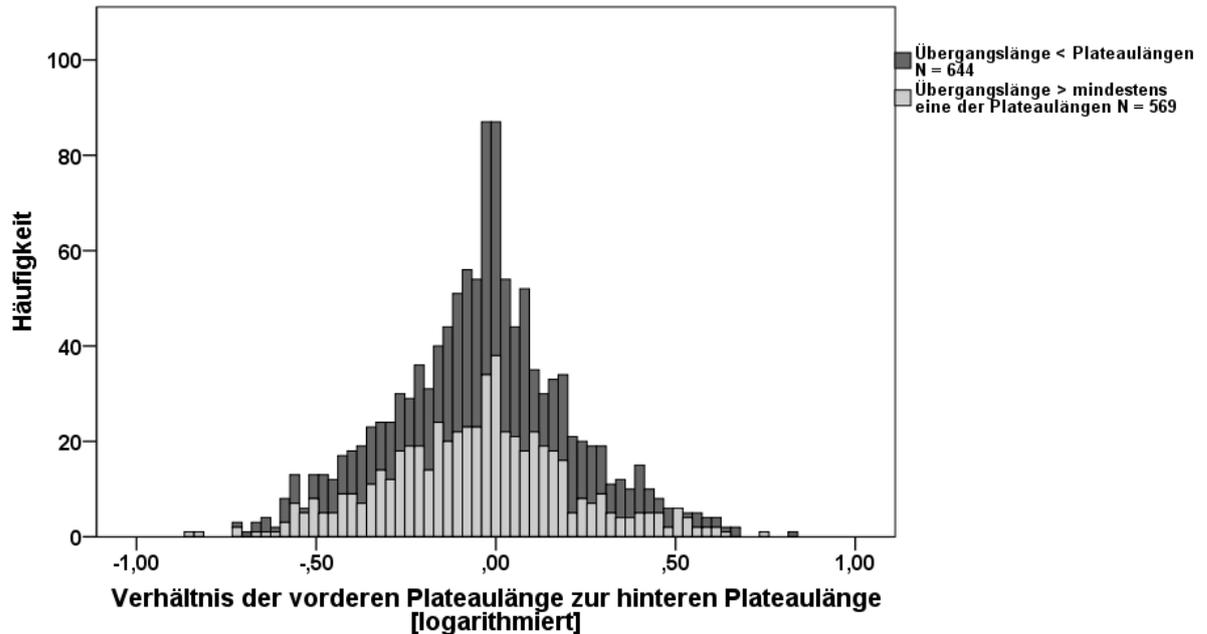
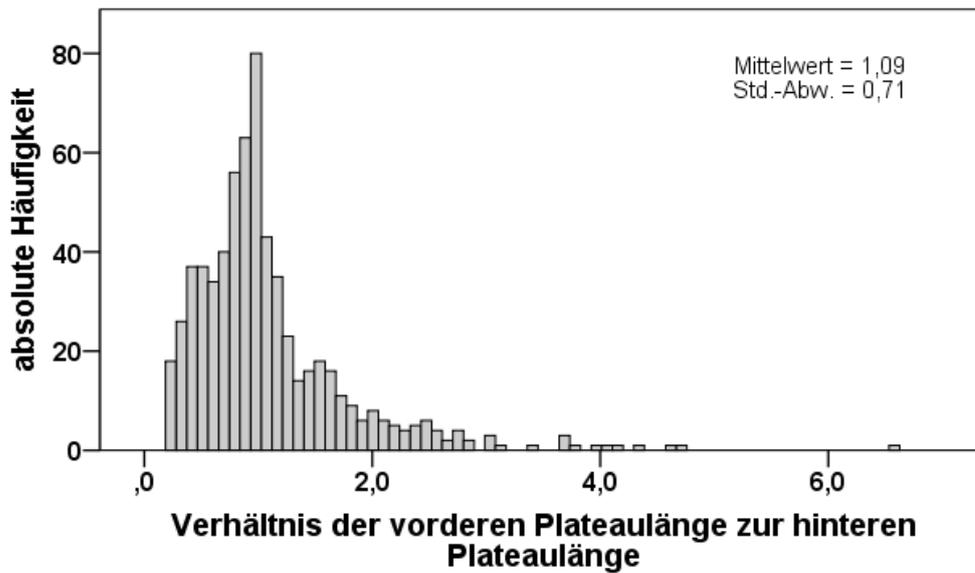


Abbildung 23: Histogramm, gestapelt: Verhältnis der Plateaulängen zueinander (LV/ LH) [logarithmiert]; gestapelt nach dem Verhältnis der Übergangslänge zu den Plateaulängen

In Kontrastierung zur Abbildung 21 sind in Abbildung 24 die entsprechenden Histogramme der Untergruppe mit den im Verhältnis zur Plateaulänge kürzeren Übergangslängen dargestellt. Es ist eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen den Verteilungsmustern der Gesamtintervalle und der gebildeten Untergruppe zu erkennen.

Ergebnisse

A



B

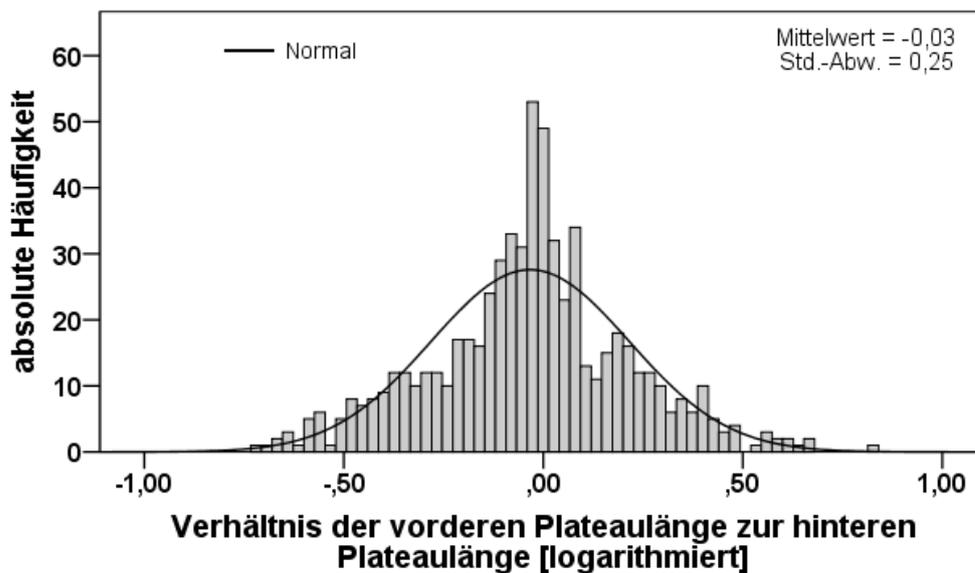


Abbildung 24: Histogramm: Verhältnis der beiden Plateaulängen (LV / LH) für alle Intervalle der Kategorie -1- für LV > LU und LH > LU
A: linear
B: logarithmiert
N=644

Das in den Histogrammen (Abbildung 24) gewählte Kriterium LV > LU und LH > LU ist durch die weitere Begrenzung beider Plateaus relativ streng. Ein schwächeres Kriterium, das nur das vordere Plateau einschränkt (LV > LU), verkleinert die Datenmenge von N=1213 auf N=739, die Datenmenge ist nicht sehr viel größer als für das strengere Kriterium (N=644). Da hierbei nur die

vorderen Plateaus direkt einem Längenkriterium unterliegen, werden die hinteren Plateaus nur durch den Zusammenhang mit dem vorderen Plateau ausgeschlossen. Theoretisch kann das kürzere, aber auch annähernd isochrone und längere hintere Plateaus betreffen. Eine leichte Asymmetrie mit weniger Daten auf der linken Seite zeigt den Wegfall der Daten mit kürzeren vorderen Plateaus. Die Lage der Kurve ist leicht nach rechts verschoben, das Maximum liegt aber noch immer nah bei einem Wert von Null (logarithmierte Darstellung). Auch der Peak, der die überwiegende Häufigkeit von isochronen Intervallen angibt, ist noch immer vorhanden.

Da sich ein markanter Peak im Verteilungsmuster bei ≈ 1 (lineare Darstellung) zeigte, wurde eine mögliche Präferenz der Isochronie noch weiter untersucht, indem stufenweise solche Intervalle ausgeschlossen wurden, deren Längen nah an dem gewählten Messkriterium von 100 ms für die minimale Plateaulänge lagen. Die Datenmenge wurde dadurch verkleinert und die Verteilungen waren weniger gleichmäßig, dennoch war nach wie vor ein deutlicher Peak bei einem Verhältnis von 1 der vorderen zur hinteren Plateaulänge, also eine Isochronie, zu erkennen.

3.3.2 Zeitliche Eigenschaften von Intervallen der Strukturkategorie *Zwei zusammenhängende Intervalle*

Auch die Intervallstrukturkategorie (-12-) wurde in ihren zeitlichen Längen analysiert. Dabei wurde zunächst die Länge der Gesamtstruktur untersucht und anschließend jedes der beiden Intervalle eigenständig betrachtet.

Im Folgenden sind zunächst die deskriptiven Kenngrößen der Verteilung der Gesamtlängen aufgeführt. Die Gesamtlänge bezeichnet dabei die zeitliche Länge der Intervallstruktur von Beginn des ersten Plateaus bis zum Ende des letzten Plateaus, bei Kategorie -12- also des dritten Plateaus. Die Intervallvarianten ($f-f$, $f-s$, $s-f$ und $s-s$) werden dabei nicht

Ergebnisse

separat berücksichtigt. Tabelle 21 zeigt die Kenngrößen der deskriptiven Statistik für diese Gesamtlängen. In Abbildung 25 wurden diese Daten zusätzlich in Boxplots dargestellt. Von der ersten bis zur dritten Untersuchungswoche findet man einen Anstieg der Mediane von 0,68 s auf 0,9 s, bis zur fünften Woche sinken sie wieder auf 0,71 s ab. Dieser Verlauf der Werte findet sich ähnlich auch in den Quartilsgrenzen ($Q_{0,25}$ und $Q_{0,75}$) wieder. Ab der sechsten Woche lagen die Mediane wieder auf einem etwas höheren Niveau von 0,85 s. Dieses wurde mit leichten Schwankungen der Werte zwischen 0,78 s und 0,91 s bis zur sechzehnten Untersuchungswoche gehalten. Die Verteilungsbreite ist in den Wochen relativ stabil, nur in den Wochen 9, 14 und 15 wiesen die Boxen größere Abstände zwischen den oberen und unteren Quartilen der Box auf.

Tabelle 21: Deskriptive Statistik: Gesamtlänge der Intervallstruktur -12- über die ersten 16 Lebenswochen in Sekunden

Gesamtlänge -12-					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	567	0,81	0,36	2,44	0,64	1,02	0,38
1	37	0,68	0,38	1,26	0,53	0,94	0,41
2	26	0,82	0,56	2,44	0,75	1,08	0,33
3	20	0,90	0,57	1,56	0,76	1,11	0,35
4	27	0,75	0,44	1,52	0,65	1,06	0,41
5	40	0,71	0,40	1,47	0,55	1,02	0,47
6	28	0,85	0,40	1,43	0,58	1,03	0,45
7	42	0,78	0,36	1,35	0,62	1,00	0,37
8	35	0,82	0,51	1,68	0,69	0,98	0,29
9	38	0,88	0,48	1,62	0,64	1,23	0,59
10	34	0,80	0,45	1,73	0,70	0,98	0,28
11	44	0,83	0,50	1,63	0,66	1,03	0,36
12	37	0,78	0,42	1,34	0,56	0,97	0,41
13	48	0,83	0,47	1,50	0,65	0,97	0,32
14	45	0,86	0,41	1,97	0,63	1,17	0,54
15	32	0,91	0,47	2,24	0,69	1,24	0,55
16	34	0,87	0,48	1,68	0,68	1,01	0,33

Ergebnisse

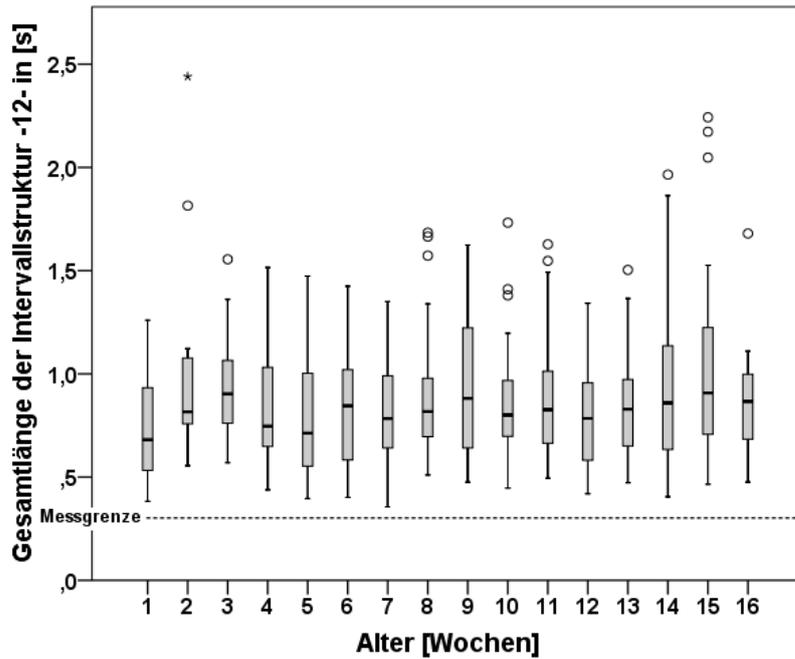


Abbildung 25: Boxplots: Gesamtlänge der Intervallstruktur -12- über die ersten 16 Lebenswochen

Auch wenn die Verteilungen der Werte für die einzelnen Kinder betrachtet werden, zeigen sich relativ stabile Werte. Nur die Kinder BD und CV zeigen größere Abweichungen nach oben.

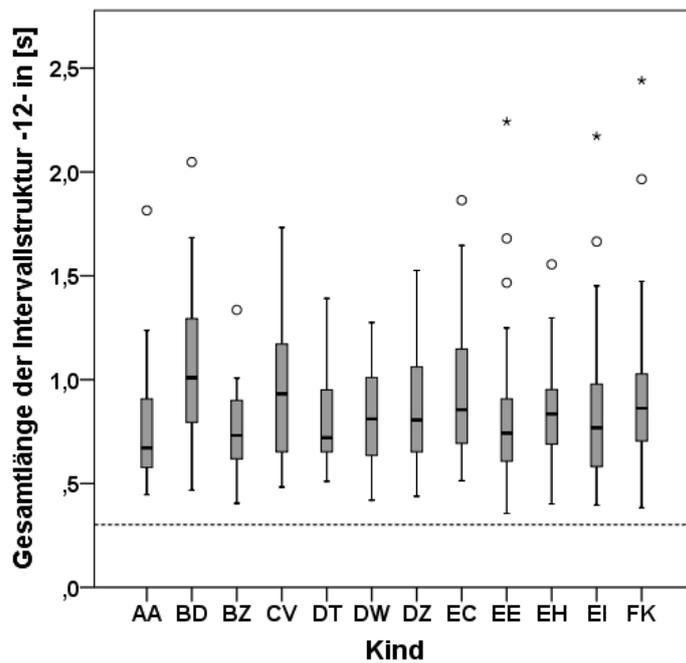


Abbildung 26: Boxplots: Gesamtlänge der Intervallstruktur -12- für die einzelnen Kinder

In Abbildung 27 sind die Längen der Gesamtstruktur der Kategorie -12- nach den beobachteten Varianten gruppiert dargestellt (Kapitel 2.2.1 Abbildung 4). Die Intervalle der Gruppe *fallend-fallend* wiesen im Vergleich die höchsten Werte auf, die geringsten waren in der Gruppe *steigend-steigend* zu finden.

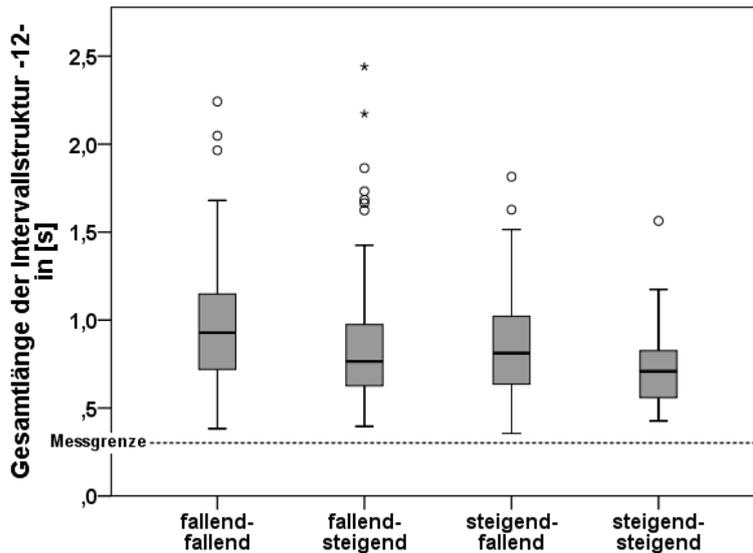


Abbildung 27: Boxplots: Gesamtlänge der Intervallstruktur -12- unterteilt in die Varianten *fallend-fallend*, *fallend-steigend*, *steigend-fallend*, *steigend-steigend*

Wie für die Intervalle der Kategorie -1- sollten auch für die Kategorie -12- die Längen der beiden einzelnen Intervalle betrachtet werden. Aufgrund der spezifischen Intervallstruktur, bei der die Werte des mittleren Plateaus zweimal relevant sind, wurde der Datensatz zunächst aufgeteilt in „erstes“ und „zweites“ Intervall (Intervall 1: Plateau vorn – Übergang 1 – Plateau Mitte; Intervall 2: Plateau Mitte – Übergang 2 – Plateau hinten). So gingen die Werte des mittleren Plateaus zweimal ein, allerdings pro Intervall nur einmal. Die Ergebnisse sind zunächst auf Intervallniveau dargestellt. Anschließend wurde die zusammenhängende Struktur -12- als Einheit betrachtet und die einzelnen Plateauelemente im Gesamtzusammenhang ausgewertet.

Die Abbildung 27 zeigt die Kenngrößen der Verteilung der Intervalllänge für das jeweils vordere der beiden Intervalle der Kategorie -12-. In Abbildung 28 sind die entsprechenden Größen der hinteren Intervalle aufgelistet. Die zeitlichen

Ergebnisse

Längen der beiden Intervalle sind relativ ähnlich verteilt. Die Mediane des ersten Intervalls liegen zwischen Längen von 0,38 s und 0,56 s, die des zweiten zwischen 0,41 und 0,58. Das ist nicht nur aus den Tabellen ersichtlich, sondern zeigt sich auch in den Verteilungen der zugehörigen Boxplots, die in Abbildung 28 abgebildet sind. In den Boxplots deutet sich zunächst ein Anstieg des Medians von Woche 1 – 3 an. In Woche 4 und 5 zeigt sich eine vorübergehende Abnahme des Medians. Ab Woche 5 bleiben die Mediane der Intervalllängen (erstes bzw. zweites IV) bei ca. 500 ms (Ausnahme Woche 9 - Intervall 1; Woche 9, 14, 16 - Intervall 2). Im direkten Vergleich der Verteilungen von erstem und zweitem Intervall liegen die Mediane relativ dicht beieinander (Unterschiede von 0 s – 0,07 s), eine Ausnahme stellt die 9. Woche dar (0,11 s).

Tabelle 22: Deskriptive Statistik: Intervalllänge (Lges) in Sekunden [s] für Intervall 1 der Struktur -12 -

Lges (Intervall 1)					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	567	0,48	0,21	1,83	0,37	0,63	0,26
1	37	0,40	0,23	0,87	0,30	0,53	0,23
2	26	0,46	0,23	1,10	0,40	0,63	0,23
3	20	0,53	0,28	1,21	0,39	0,72	0,33
4	27	0,46	0,25	0,96	0,38	0,57	0,19
5	40	0,38	0,26	1,02	0,30	0,56	0,27
6	28	0,48	0,24	1,22	0,32	0,64	0,31
7	42	0,47	0,21	1,11	0,34	0,54	0,21
8	35	0,48	0,23	1,48	0,38	0,60	0,22
9	38	0,56	0,25	1,06	0,38	0,71	0,32
10	34	0,49	0,23	0,93	0,40	0,62	0,21
11	44	0,49	0,24	1,18	0,38	0,71	0,34
12	37	0,46	0,26	1,10	0,36	0,61	0,25
13	48	0,49	0,25	1,19	0,39	0,65	0,26
14	45	0,49	0,27	1,55	0,41	0,68	0,28
15	32	0,53	0,27	1,83	0,42	0,68	0,25
16	34	0,49	0,27	1,06	0,40	0,62	0,22

Ergebnisse

Tabelle 23: Deskriptive Statistik: Intervalllänge (Lges) in Sekunden [s] für Intervall 2 der Struktur -12-

Lges (Intervall 2)					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	567	0,49	0,21	1,78	0,38	0,65	0,27
1	37	0,41	0,22	1,01	0,31	0,58	0,27
2	26	0,52	0,31	1,78	0,39	0,62	0,24
3	20	0,58	0,32	1,05	0,42	0,69	0,27
4	27	0,41	0,27	1,20	0,38	0,67	0,29
5	40	0,44	0,24	1,13	0,33	0,64	0,31
6	28	0,50	0,21	1,16	0,41	0,68	0,27
7	42	0,50	0,25	1,07	0,38	0,59	0,21
8	35	0,53	0,28	0,98	0,41	0,61	0,21
9	38	0,45	0,31	1,31	0,39	0,74	0,35
10	34	0,48	0,23	1,08	0,37	0,63	0,26
11	44	0,51	0,29	1,22	0,41	0,61	0,20
12	37	0,41	0,25	0,87	0,32	0,55	0,24
13	48	0,48	0,24	0,96	0,37	0,67	0,30
14	45	0,56	0,24	1,46	0,37	0,70	0,34
15	32	0,53	0,24	1,37	0,35	0,76	0,41
16	34	0,55	0,31	0,95	0,41	0,75	0,34

Ergebnisse

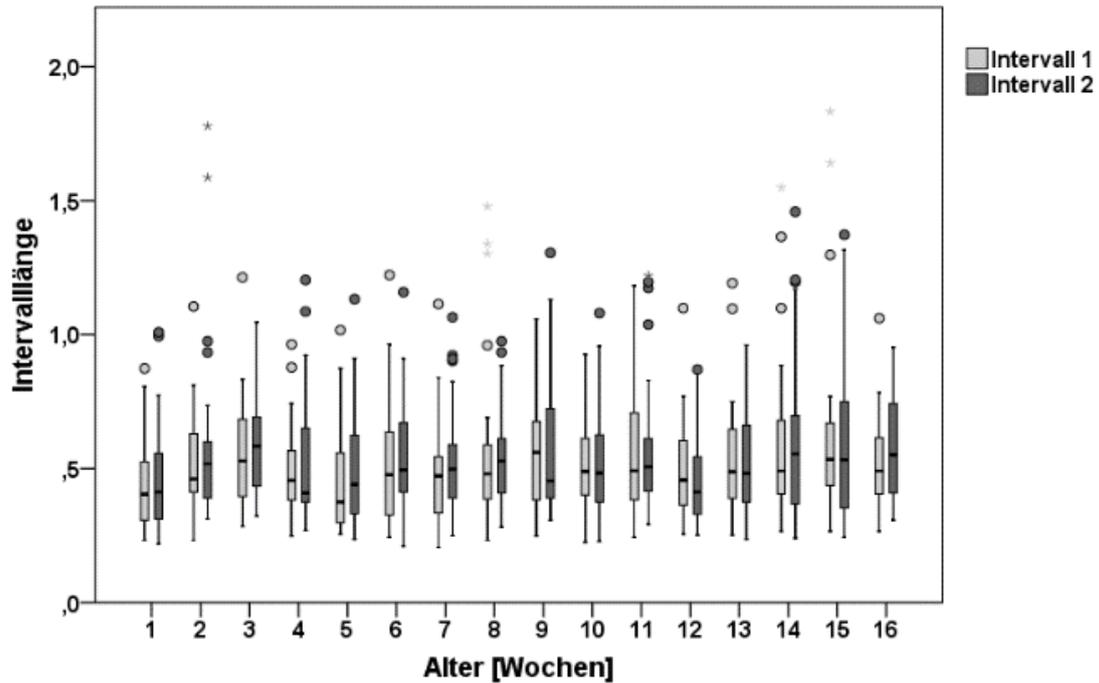


Abbildung 28: Boxplots: Intervalllänge (IV 1 und 2) über die ersten 16 Lebenswochen

In Abbildung 29 ist die Intervalllänge für die vier Intervallvarianten der Kategorie -12- dargestellt. Eine weitere zeitliche Unterteilung wurde hier aufgrund der teilweise zu geringen Datenmenge nicht vorgenommen.

Aus den Boxplots ist ersichtlich, dass die Mediane der Intervallvarianten nicht sehr weit auseinanderliegen und dass sich diese relativ geringen Unterschiede ebenfalls in den oberen und unteren Quartilsgrenzen der Box zeigen. Es zeigt sich, dass jeweils die Intervalle mit der Richtung *fallend* die höhere Gesamtlänge aufwiesen.

Ergebnisse

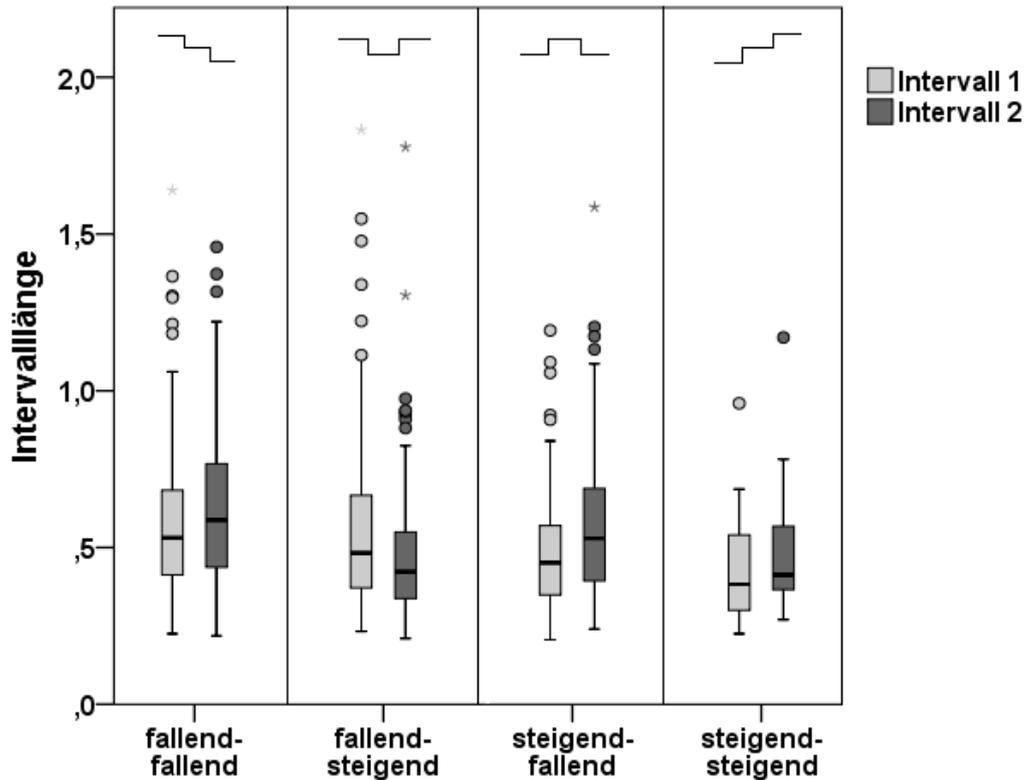


Abbildung 29: Boxplots: Intervalllänge in Untergruppen der Strukturkategorie -12-

Im Folgenden werden die einzelnen Elemente der beiden Intervalle betrachtet. Tabelle 24 berichtet die Kenngrößen der deskriptiven Statistik für die vordere Plateaulänge des ersten Intervalls der Kategorie -12-. Mit einer Ausnahme in Woche 3 (0,2 s) liegen die Mediane zwischen 0,12 s und 0,17 s.

In Tabelle 25 sind die entsprechenden Größen für das hintere Plateau des ersten Intervalls berichtet. Da dieses Plateau das mittlere Plateau der Struktur -12- ist, gelten die Werte ebenso für das vordere Plateau des zweiten Intervalls. Aus diesem Grund sind sie nur einmal aufgeführt. Die Medianwerte liegen hier in einem Bereich von 0,13 s – 0,17 s.

Tabelle 26 enthält die errechneten Kenngrößen für das hintere Plateau des zweiten Intervalls, also für das letzte Plateau der Struktur -12-. Auch hier liegen

Ergebnisse

die Mediane mit Werten zwischen 0,12 s und 0,18 s in einem annähernd gleichen Bereich.

Tabelle 24: Deskriptive Statistik: Plateaulänge vorn (LV) in Sekunden [s] für Intervall 1 der Struktur -12-

LV Intervall 1					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	567	0,14	0,10	1,37	0,11	0,20	0,09
1	37	0,14	0,10	0,39	0,10	0,17	0,07
2	26	0,15	0,10	0,45	0,12	0,21	0,09
3	20	0,20	0,10	0,47	0,11	0,28	0,17
4	27	0,15	0,10	0,53	0,11	0,21	0,09
5	40	0,15	0,10	0,44	0,11	0,23	0,12
6	28	0,13	0,10	0,34	0,11	0,18	0,07
7	42	0,14	0,10	0,48	0,11	0,20	0,10
8	35	0,14	0,10	0,83	0,11	0,19	0,08
9	38	0,17	0,10	0,55	0,13	0,22	0,09
10	34	0,14	0,10	0,50	0,12	0,20	0,08
11	44	0,14	0,10	0,77	0,12	0,20	0,08
12	37	0,14	0,10	0,89	0,12	0,21	0,09
13	48	0,14	0,10	0,92	0,12	0,20	0,09
14	45	0,13	0,10	0,43	0,11	0,19	0,08
15	32	0,16	0,10	1,37	0,12	0,25	0,13
16	34	0,12	0,10	0,46	0,11	0,18	0,07

Ergebnisse

Tabelle 25: Deskriptive Statistik: Plateaulänge Mitte der Struktur -12-

Mitte					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	567	0,15	0,10	0,86	0,12	0,23	0,11
1	37	0,13	0,10	0,45	0,11	0,16	0,05
2	26	0,15	0,10	0,52	0,11	0,23	0,11
3	20	0,17	0,10	0,49	0,13	0,29	0,17
4	27	0,14	0,10	0,39	0,12	0,20	0,08
5	40	0,14	0,10	0,39	0,11	0,19	0,08
6	28	0,16	0,10	0,45	0,13	0,27	0,14
7	42	0,14	0,10	0,39	0,12	0,20	0,09
8	35	0,17	0,10	0,62	0,12	0,23	0,11
9	38	0,16	0,10	0,51	0,14	0,20	0,07
10	34	0,14	0,10	0,54	0,12	0,23	0,11
11	44	0,17	0,10	0,73	0,12	0,32	0,21
12	37	0,14	0,10	0,42	0,11	0,18	0,06
13	48	0,17	0,10	0,44	0,13	0,22	0,08
14	45	0,17	0,10	0,86	0,13	0,26	0,14
15	32	0,16	0,10	0,43	0,12	0,30	0,18
16	34	0,16	0,10	0,56	0,14	0,28	0,14

Tabelle 26: Deskriptive Statistik: Plateaulänge hinten (LH) in Sekunden [s] für Intervall 2 der Struktur -12-

LH Intervall 2					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	567	0,15	0,10	1,11	0,12	0,15	0,10
1	37	0,12	0,10	0,73	0,10	0,20	0,10
2	26	0,16	0,11	1,07	0,13	0,23	0,10
3	20	0,15	0,10	0,79	0,12	0,22	0,09
4	27	0,18	0,10	0,51	0,11	0,22	0,10
5	40	0,16	0,10	0,53	0,13	0,21	0,08
6	28	0,14	0,10	0,41	0,11	0,21	0,10
7	42	0,15	0,10	0,63	0,12	0,23	0,11
8	35	0,15	0,11	0,55	0,13	0,20	0,08
9	38	0,16	0,10	1,11	0,12	0,29	0,17
10	34	0,15	0,10	0,91	0,12	0,20	0,07
11	44	0,16	0,10	0,78	0,12	0,22	0,10
12	37	0,12	0,10	0,47	0,11	0,21	0,09
13	48	0,15	0,10	0,43	0,12	0,22	0,10
14	45	0,14	0,10	0,74	0,11	0,35	0,24
15	32	0,17	0,10	0,78	0,12	0,24	0,11
16	34	0,14	0,10	0,46	0,12	0,24	0,12

Die Verteilung der absoluten Längen der Plateaus ist in Abbildung 30 in Form von Boxplots dargestellt. Die Teilabbildungen zeigen die Verteilungen für

Ergebnisse

jeweils eines der Plateaus (erstes [1] – mittleres [2] – letztes [3]). Zu jedem Plateau gibt es eine Abbildung der Daten über die ersten 16 Lebenswochen (A) bzw. nach Untergruppen (B) der Strukturkategorie -12- unterteilt. Das Längenmaximum der vorderen Plateaus (1,37 s, Woche 15) konnte aufgrund der gewählten Skalierung nicht dargestellt werden. In den Abbildungen zeigen sich zu verschiedenen Zeitpunkten auffällig große Interquartilsbereiche (1. Plateau: Woche 3; 2. Plateau: Woche 3, Woche 11, Woche 1; 3. Plateau: Woche 9, Woche 14). Abgesehen davon erscheinen die Längenwerte der Plateaus aber relativ konstant.

Auch bei der Unterteilung der Daten in Untergruppen zeigen sich vor allem Unterschiede in der Interquartilsbreite, die aber kein reguläres Schema erkennen lassen. Die Mediane sind in beiden Betrachtungsweisen – über die Zeit oder nach Gruppen getrennt – etwa um eine Ebene von 0,15 s verteilt und weichen um nicht mehr als 0,03 s ab (Ausnahme: erstes Plateau, Woche 3: Median 0,2 s).

Ergebnisse

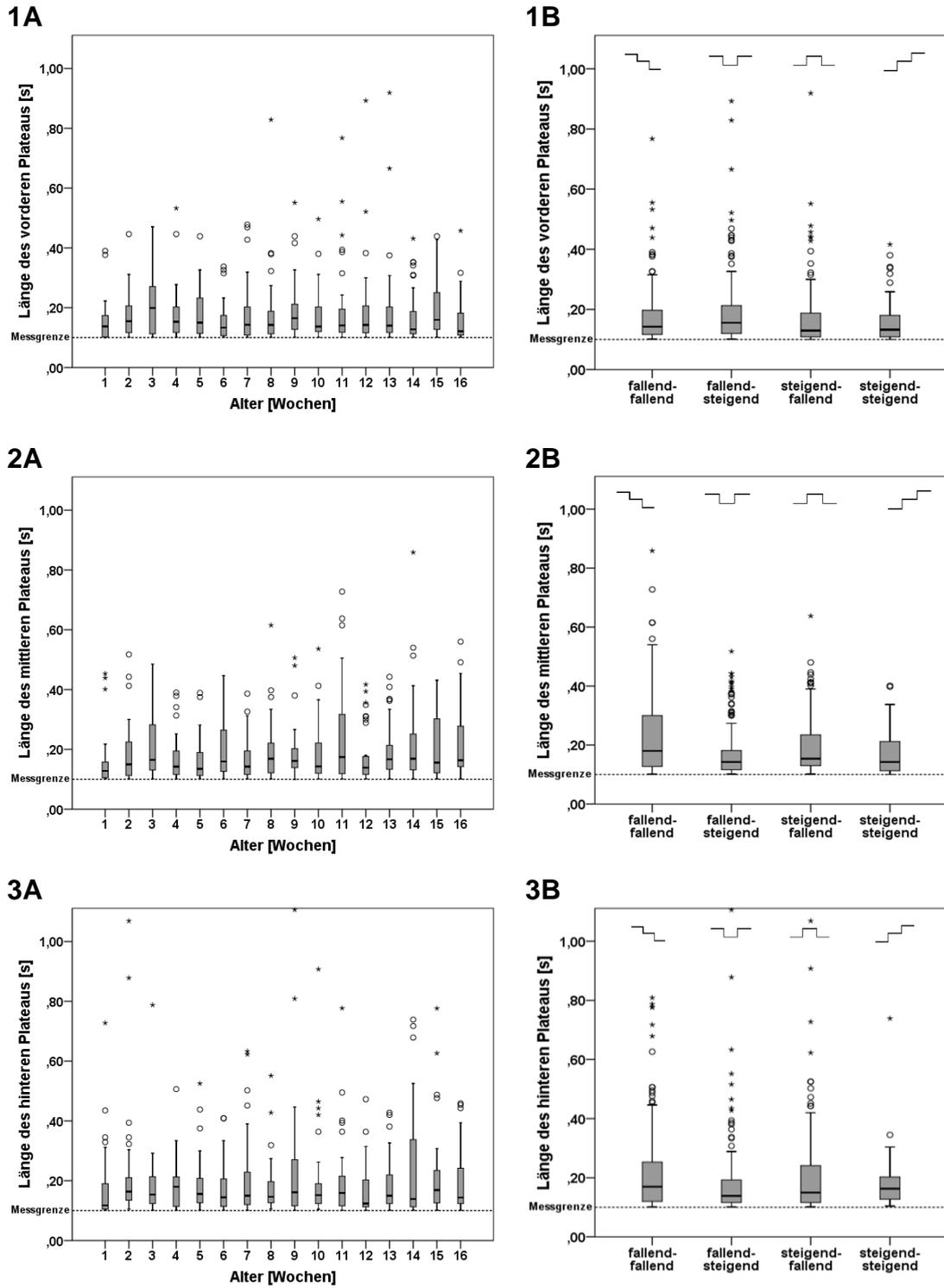


Abbildung 30: Boxplots: Plateaulängen in Sekunden [s]; nach Wochen (A) und Varianten der Strukturkategorie -12- (B)
 1 vorderes Plateau; 2 mittleres Plateau; 3 hinteres Plateau

Ergebnisse

Die Kenngrößen für die Übergangslänge des ersten Intervalls der Kategorie -12- sind in Tabelle 27 gezeigt. In Tabelle 28 sind die entsprechenden Größen für das zweite Intervall berichtet.

Tabelle 27: Deskriptive Statistik: Übergangslänge (LU) in Sekunden [s] für Intervall 1 der Struktur -12-

LU Intervall 1					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	567	0,11	0,004	1,21	0,06	0,19	0,13
1	37	0,09	0,02	0,43	0,05	0,16	0,11
2	26	0,13	0,02	0,57	0,06	0,20	0,15
3	20	0,12	0,04	0,33	0,08	0,24	0,16
4	27	0,12	0,02	0,39	0,06	0,21	0,15
5	40	0,08	0,02	0,53	0,05	0,14	0,09
6	28	0,08	0,03	0,72	0,05	0,16	0,12
7	42	0,08	0,004	0,48	0,05	0,15	0,10
8	35	0,12	0,02	0,74	0,04	0,24	0,20
9	38	0,13	0,03	0,57	0,07	0,28	0,22
10	34	0,12	0,02	0,50	0,07	0,24	0,17
11	44	0,09	0,02	0,54	0,06	0,17	0,11
12	37	0,11	0,03	0,42	0,06	0,19	0,13
13	48	0,11	0,03	0,41	0,07	0,18	0,10
14	45	0,15	0,03	1,00	0,07	0,24	0,17
15	32	0,14	0,02	1,21	0,08	0,23	0,15
16	34	0,13	0,04	0,53	0,07	0,18	0,11

Tabelle 28: Deskriptive Statistik: Übergangslänge (LU) in Sekunden [s] für Intervall 2 der Struktur -12-

LU Intervall 2					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	567	0,12	0,003	0,65	0,06	0,20	0,13
1	37	0,08	0,02	0,54	0,05	0,14	0,09
2	26	0,14	0,02	0,50	0,06	0,29	0,23
3	20	0,16	0,04	0,38	0,07	0,25	0,18
4	27	0,12	0,02	0,56	0,08	0,23	0,15
5	40	0,09	0,003	0,53	0,06	0,19	0,13
6	28	0,15	0,01	0,45	0,08	0,20	0,13
7	42	0,12	0,01	0,45	0,06	0,22	0,16
8	35	0,14	0,03	0,61	0,07	0,20	0,13
9	38	0,13	0,03	0,48	0,06	0,17	0,11
10	34	0,11	0,01	0,38	0,06	0,17	0,11
11	44	0,10	0,02	0,44	0,06	0,18	0,12
12	37	0,08	0,01	0,34	0,06	0,17	0,11
13	48	0,12	0,01	0,54	0,06	0,19	0,13
14	45	0,12	0,03	0,44	0,06	0,18	0,12
15	32	0,13	0,03	0,65	0,07	0,24	0,17
16	34	0,14	0,04	0,40	0,09	0,19	0,10

In Abbildung 31 sind die Verteilungen der Übergangslängen als Boxplots dargestellt. Für die Übergangslänge des ersten und des zweiten Intervalls gibt es jeweils eine Einteilung der Boxplots in die ersten 16 Lebenswochen und eine nach Variante. Aufgrund der gewählten Skalierung konnte ein Ausreißer (IV 1, Woche 15, f-f, 1,21 s) nicht dargestellt werden.

Wie schon aus den Tabellen erkennbar, zeigten sich die Verteilungen der Übergangslängen in den Boxplots relativ gleichmäßig.

Auch in der Unterteilung nach Varianten fallen die Unterschiede eher gering aus, es deutet sich aber ein mögliches Muster an. Für das erste Intervall sind alle fallenden Übergänge am längsten (also für *fallend-fallend* und *fallend-steigend*). Deutlich kürzer fallen die Übergangslängen der Gruppe *steigend-steigend* aus. Auch der Interquartilsabstand ist in dieser Gruppe kleiner. Für die Übergangslängen des zweiten Intervalls ergibt sich ein ähnliches Bild: Auch hier ist der Übergang also dann länger, wenn die Intervallrichtung fallend ist.

Ergebnisse

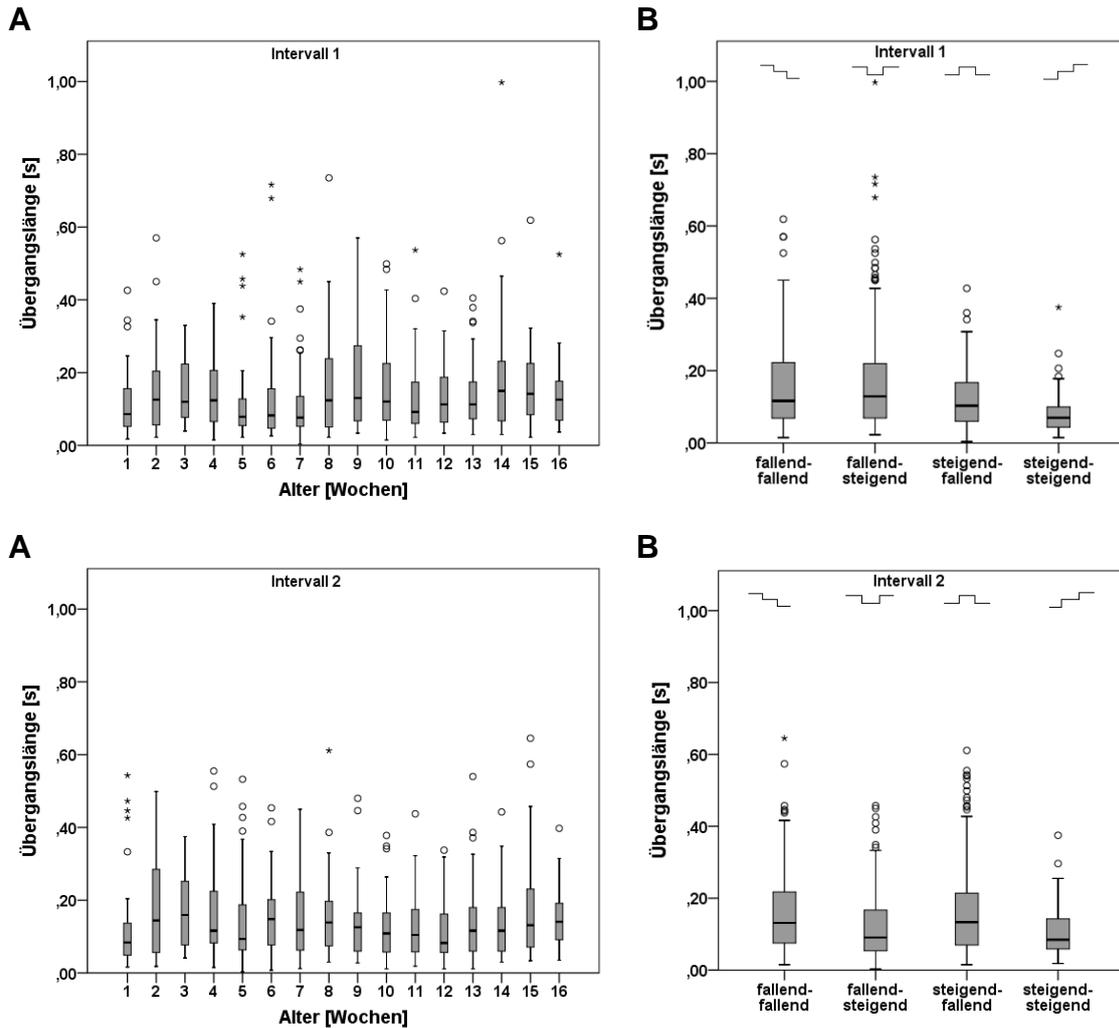


Abbildung 31: Boxplots: Übergangslänge in Sekunden [s]; aufgeteilt nach Wochen (A) und Varianten der Strukturkategorie -12- (B)

Eine Darstellung der Untergruppen in jeder der 16 Wochen war aufgrund einer zu geringen Datenmenge nicht sinnvoll, deshalb ist eine andere Betrachtung über die Zeit vorgenommen worden. Abbildung 32 zeigt die Daten der Übergangslänge aufgeteilt in die Varianten der Strukturkategorie -12- sowie in drei Zeitabschnitte der ersten 16 Lebenswochen. Hier zeigt sich nicht für jeden Zeitabschnitt dasselbe Muster; bei allen Varianten ($f-f$; $f-s$; $s-f$; $s-s$) zeigt sich eine relativ kurze Übergangslänge, ein Alterseffekt oder ein Strukturkategorieeffekt war nicht zu erkennen.

Ergebnisse

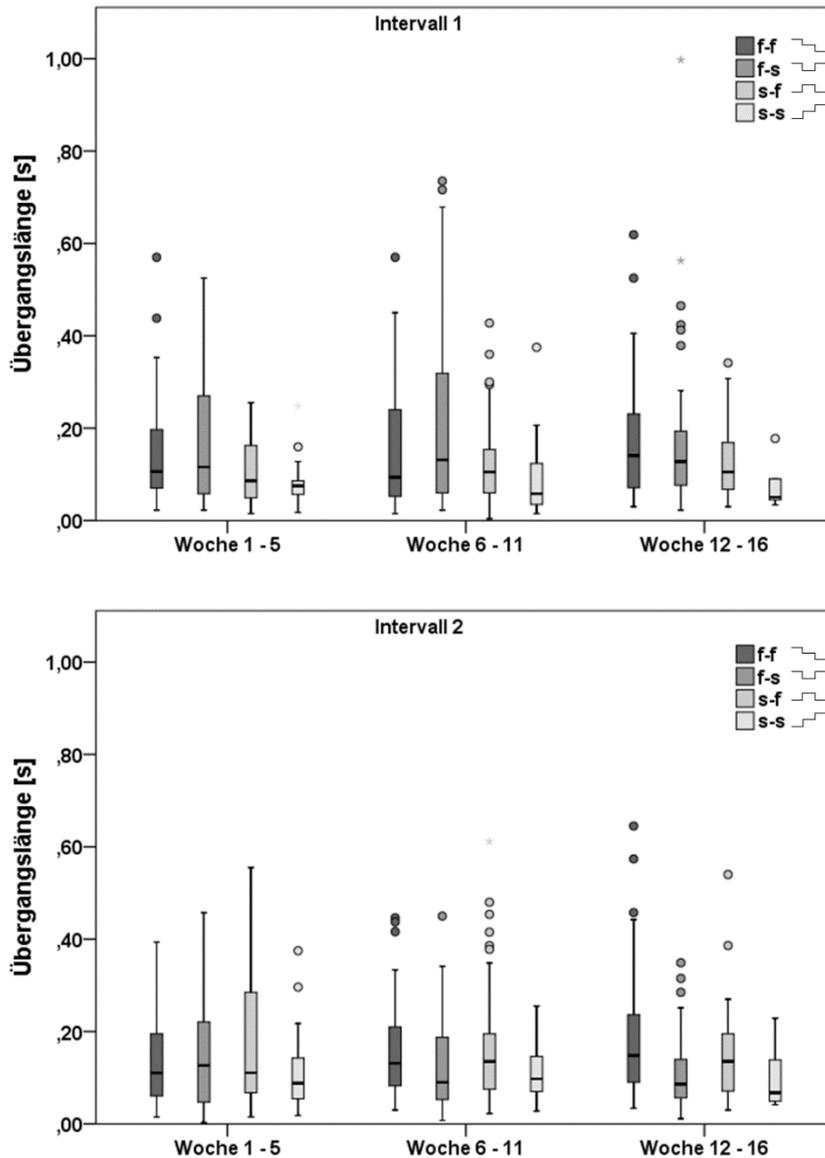


Abbildung 32: Boxplots: Übergangslänge in Sekunden [s]; Untergruppen der Strukturkategorie -12- in drei Zeitabschnitten

Eine Betrachtung über die einzelnen Wochen des Beobachtungszeitraums wurde für die Intervalle der Kategorie -12- auch vorgenommen, allerdings nur getrennt nach der Intervallrichtung und nach Intervall 1 und Intervall 2 (Abbildung 33). Ein Ausreißer konnte aufgrund der gewählten Skalierung nicht dargestellt werden (IV 1, Woche 15, 1,21 s). Das obere Diagramm in Abbildung 33 bezieht sich auf das vordere Intervall, das untere auf das hintere. Auch hier lässt sich beobachten, dass die Mediane der fallenden Intervallübergänge meist größer sind als die der steigenden. Ausnahmen bilden für das erste Intervall die

Ergebnisse

Wochen 7 und 16, für das zweite Intervall die Wochen 1, 4 und 7. Auffällig ist außerdem die fast durchgängig deutlich größere Interquartilsbreite der fallenden Übergänge. Werden allerdings nur, wie zuvor schon in der Kategorie -1-, solche Intervalle mit einbezogen, deren Übergangslänge kürzer ist als die Plateaulängen (IV 1: N=329; IV 2: N=337), so fallen die Unterschiede deutlich geringer aus.

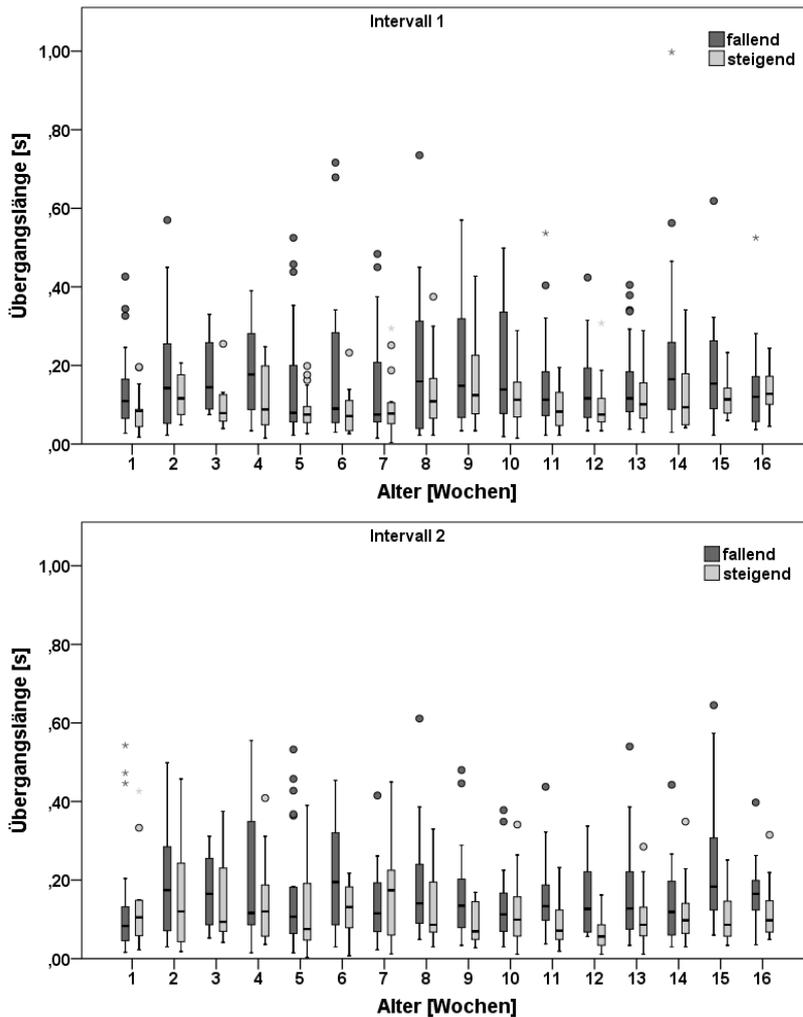


Abbildung 33: Boxplots: Übergangslänge in Sekunden [s] über die ersten 16 Lebenswochen nach Intervallrichtung (fallend bzw. steigend)

Wie zuvor für die Strukturkategorie -1- wurden die Intervallelemente auch für die Kategorie -12- mit ihren relativen Anteilen an der Gesamtlänge betrachtet. Abbildung 34 zeigt die relativen Längen der drei einzelnen Plateaus gemessen an der Gesamtlänge der drei Plateaus. Alle drei Boxplots zeigen ähnliche

Ergebnisse

Verteilungen bezüglich ihrer Kenngrößen. Die Mediane liegen knapp unterhalb eines Längenanteils von einem Drittel der Gesamtlänge (Plateau 1: 0,3 s; Plateau 2: 0,33 s; Plateau 3: 0,32 s) zeigen aber größere Abweichungen nach oben als nach unten. Auch die Interquartilsbereiche sind mit Anteilen zwischen 0,23 s (Plateau 1, $Q_{0,25}$) und 0,26 (Plateau 2 und 3, $Q_{0,25}$) bzw. zwischen 0,38 (Plateau 1, $Q_{0,75}$) und 0,41 (Plateau 2 und 3, $Q_{0,75}$) ähnlich, insbesondere für das mittlere und hintere Plateau. Betrachtet man dieselben Daten aufgeteilt nach den 16 Lebenswochen, so ergibt sich auch hier ein sehr ähnliches Verteilungsmuster der Einzelplateaulängen über den Untersuchungszeitraum (Abbildung 35).

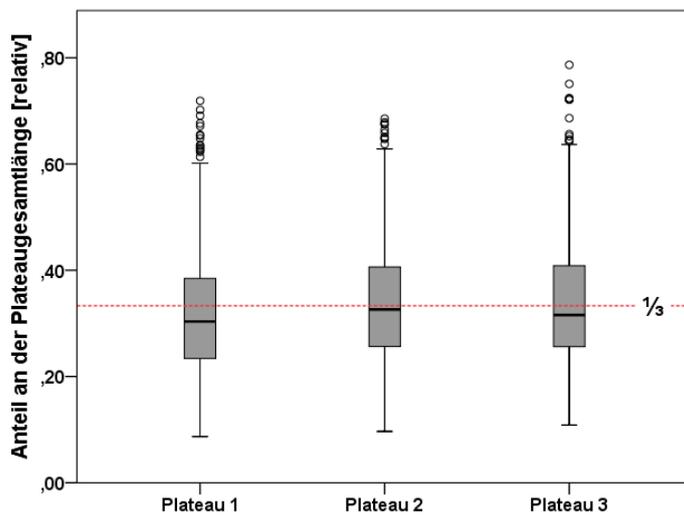


Abbildung 34: Boxplots: relative Plateaulänge im Verhältnis zur Summe der drei Plateaulängen der Kategorie -12-

Ergebnisse

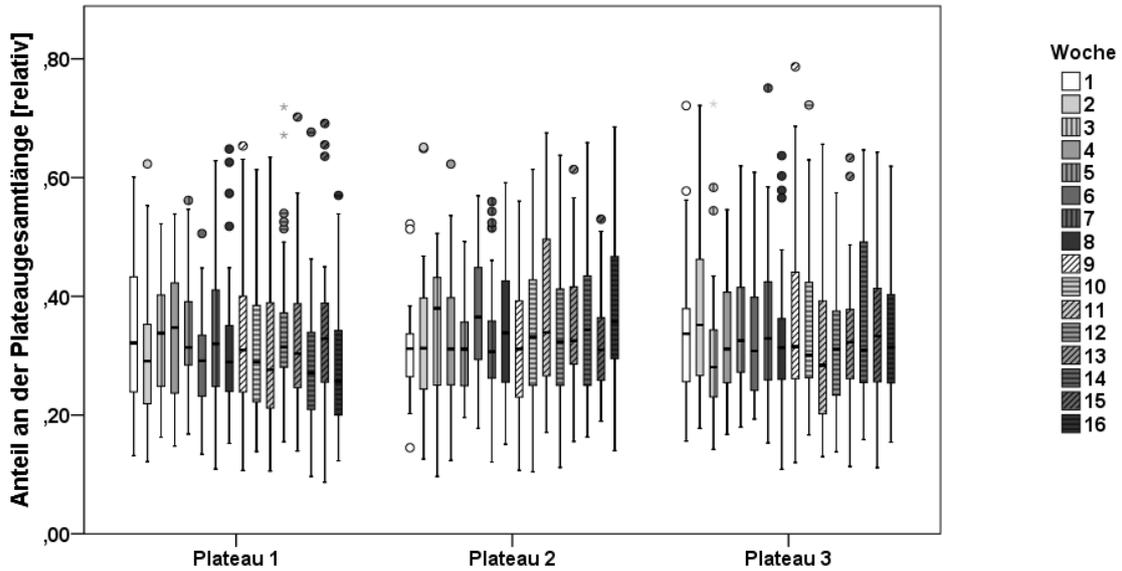


Abbildung 35: Boxplots: relative Plateaulänge im Verhältnis zur Summe der drei Plateaulängen der Kategorie -12-; jedes Plateau (1, 2, 3) über die ersten 16 Lebenswochen

Abbildung 36 zeigt die relative Übergangslänge des ersten bzw. des zweiten Intervalls gemessen an der Länge der gesamten Struktur -12-. Die Mediane liegen für die erste Übergangslänge zwischen 0,11 und 0,17 und für die zweite zwischen 0,11 und 0,2. Der Interquartilsbereich ist relativ groß, die Spannen der Werte weisen aber mit wenigen Ausnahmen eine ähnliche Breite auf. Über die Zeit ist keine Entwicklung der relativen Übergangslängen auszumachen.

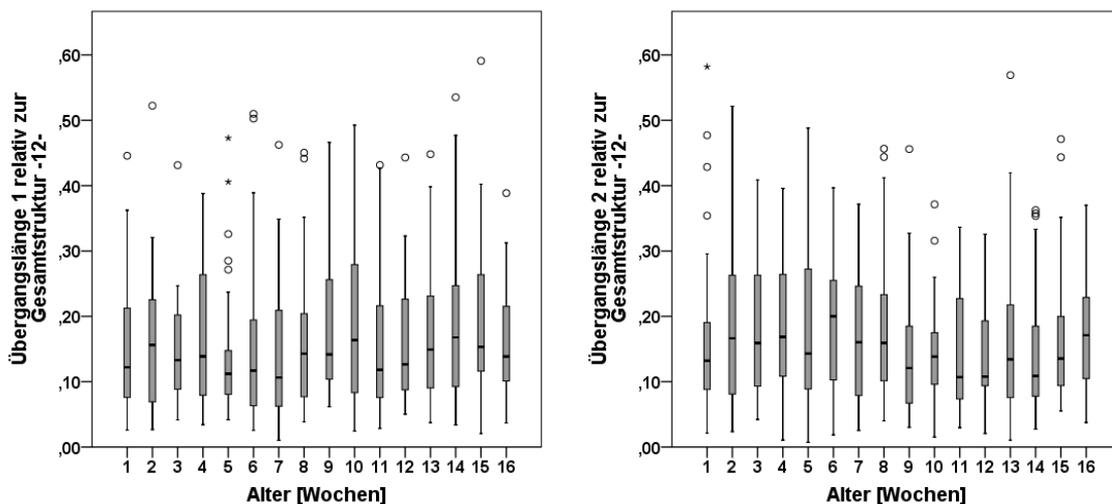


Abbildung 36: Boxplots: Übergangslängen relativ zur Länge der Gesamtstruktur -12-

Ergebnisse

In Abbildung 37 sind jeweils ein Histogramm der logarithmierten Verhältnisse der vorderen zu den hinteren Plateaulängen für das erste und das zweite Intervall dargestellt. Wie schon bei der Verteilung der Plateaulängenverhältnisse in der Strukturkategorie -1- (Abbildung 21) zeigt sich auch hier eine deutlich über die Normalverteilung hinausgehende Menge an isochronen Intervallen.

Ergebnisse

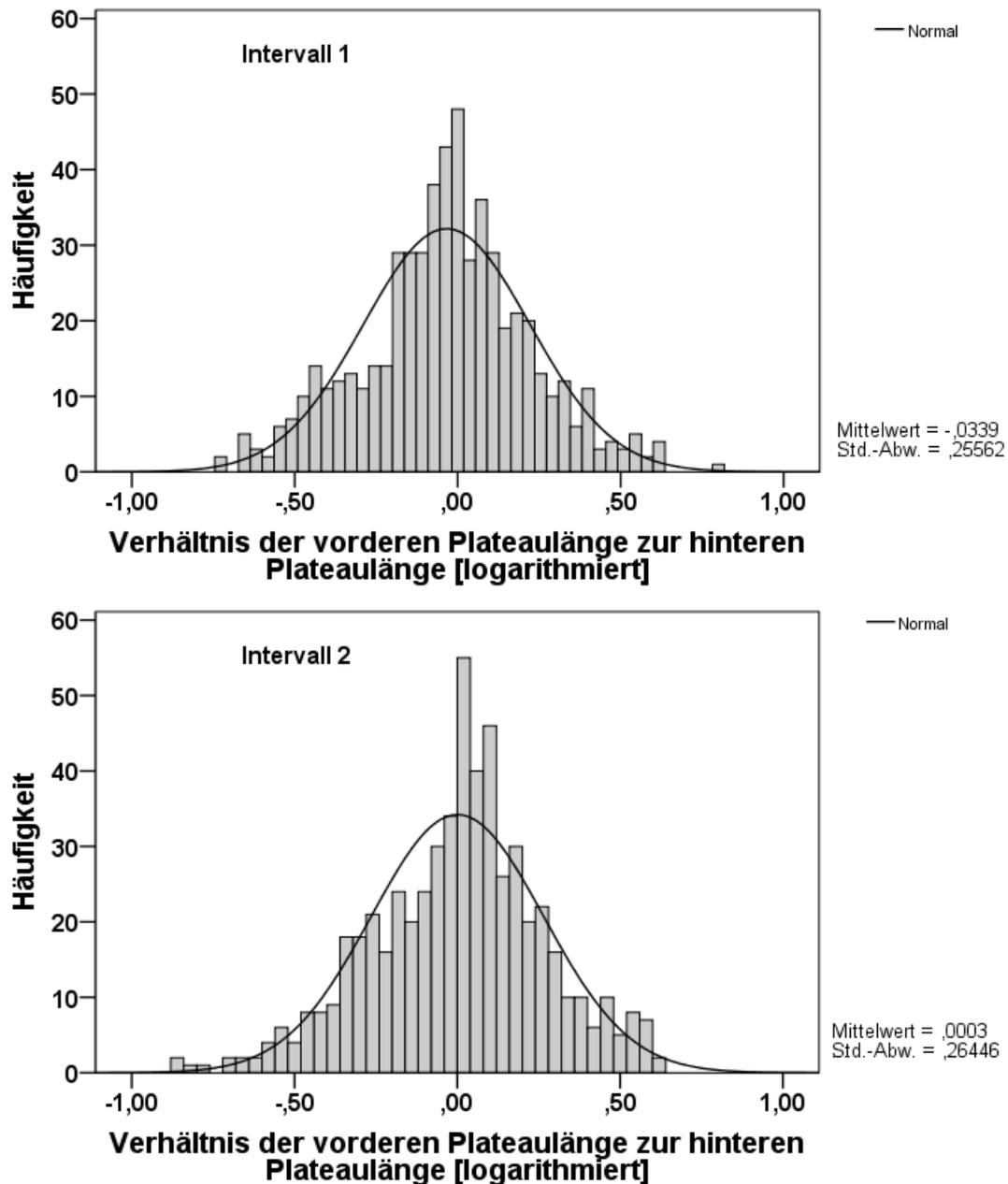


Abbildung 37: Histogramm: Verhältnis der beiden Plateaulängen (LV / LH) der Einzelintervalle (1, 2) zueinander logarithmiert
N=567
IV 1: LH=Länge mittleres Plateau
IV 2: LV=Länge mittleres Plateau
(beachte Erklärung Kapitel 3.3.2 S. 63)

Zusätzlich wurden die relativen Längen der Plateaus im Verhältnis zur Gesamtplateaulänge betrachtet, also zur Summe der drei Plateaus in der Struktur -12-. Dies sollte die Frage beantworten, ob alle drei Plateaus (vorderes, mittleres, hinteres) in den (-12)- Strukturen gleich lang sind, sich also auch hier

ein Isochronieeffekt andeutet. Wie bei der Betrachtung nur der Teilstruktur jeweils eines Intervalls von -12-, findet sich auch bei im Verhältnis zur gesamten Struktur -12- zumindest eine annähernde log-Normalverteilung mit Modalwert bei ungefähr -0,5, was in der linearen Skala einem Verhältnis von etwa einem Drittel der Gesamtlänge entspricht. Die Frage kann man mit *ja* beantworten.

3.3.3 Steilheit des Übergangs zwischen zwei Plateaus der Intervallkategorie -1- (Frequenzwechsel)

Der Übergang zwischen zwei Plateaus eines Intervalls wurde selbst nicht näher definiert (s. Kapitel 2.2), sondern ergab sich aus der Lage der beiden Plateaus zueinander. Die daraus resultierenden Übergänge wurden bezüglich ihrer Steilheit betrachtet. In Tabelle 29 und 30 sind die Kenngrößen der Verteilungen auf Intervallniveau dargestellt. Tabelle 29 zeigt die Daten für fallende, Tabelle 30 für steigende Intervallstrukturen der Kategorie -1-.

Ergebnisse

Tabelle 29: Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus fallender Intervalle der Kategorie -1- in [Hz/s]

Fallend					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	665	-250,37	-2227,77	-46,92	-347,15	-173,88	173,28
1	40	-235,47	-570,48	-94,46	-300,55	-188,79	111,76
2	23	-214,03	-825,25	-68,15	-398,98	-174,08	224,90
3	24	-245,56	-927,41	-113,28	-317,89	-152,93	164,96
4	38	-293,95	-759,83	-103,76	-372,13	-217,23	154,90
5	47	-269,31	-777,86	-79,06	-339,76	-194,85	144,91
6	31	-235,55	-1030,23	-72,27	-328,08	-193,16	134,93
7	43	-259,77	-1134,48	-109,01	-298,95	-176,10	122,86
8	48	-200,71	-605,14	-71,32	-296,00	-153,83	142,17
9	42	-243,32	-490,72	-106,74	-326,72	-172,01	154,70
10	48	-265,93	-530,24	-52,75	-413,81	-194,07	219,74
11	61	-241,18	-987,48	-88,29	-401,77	-162,06	239,71
12	45	-255,89	-949,44	-58,88	-320,14	-149,99	170,15
13	48	-229,52	-835,99	-75,27	-363,48	-165,51	197,97
14	43	-232,41	-645,01	-46,92	-364,08	-165,40	198,68
15	32	-240,92	-1763,53	-119,02	-292,47	-166,79	125,68
16	52	-307,08	-2227,77	-58,86	-432,26	-187,25	245,01

Ergebnisse

Tabelle 30: Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus steigender Intervalle der Kategorie -1- in [Hz/s]

Steigend					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	548	298,58	31,22	5158,51	190,84	448,45	257,61
1	55	249,11	61,33	1273,76	167,12	331,37	164,25
2	27	343,81	116,24	858,81	202,38	420,71	218,34
3	34	290,67	68,23	1097,31	207,24	418,65	211,41
4	46	251,34	77,33	962,11	157,31	340,91	183,60
5	44	322,37	58,19	1195,11	191,04	500,97	309,92
6	48	341,42	94,75	1450,90	253,67	533,61	279,95
7	42	281,28	80,24	2406,80	168,63	428,10	259,48
8	35	290,43	74,62	474,37	182,98	379,07	196,09
9	35	280,50	94,21	702,23	156,44	397,59	241,15
10	40	332,08	71,74	4632,60	221,64	487,43	265,79
11	37	322,64	56,28	4241,52	240,24	484,31	244,08
12	20	336,99	112,91	662,47	221,60	507,18	285,58
13	27	246,73	31,22	2691,49	162,79	482,26	319,48
14	21	323,61	101,76	2632,93	203,90	668,75	464,84
15	18	311,93	126,41	1518,61	184,11	562,55	378,44
16	19	232,65	97,45	5158,51	175,33	563,45	388,12

In Abbildung 38 sind diese Werte der Übergangsteilheit in Boxplots über das Alter dargestellt. Aufgrund der gewählten Skalierung konnten nicht alle Ausreißer dargestellt werden. Die Beträge der Medianwerte der steigenden Intervalle liegen häufig (Ausnahme: Wochen 4 und 16) über denen der fallenden Intervalle. Des Weiteren sind die Interquartilsabstände der fallenden Intervalle mit Ausnahme der zweiten Woche (fallend: IQR = 224,9; steigend: IQR = 218,34) kleiner als die der steigenden Intervalle.

Ergebnisse

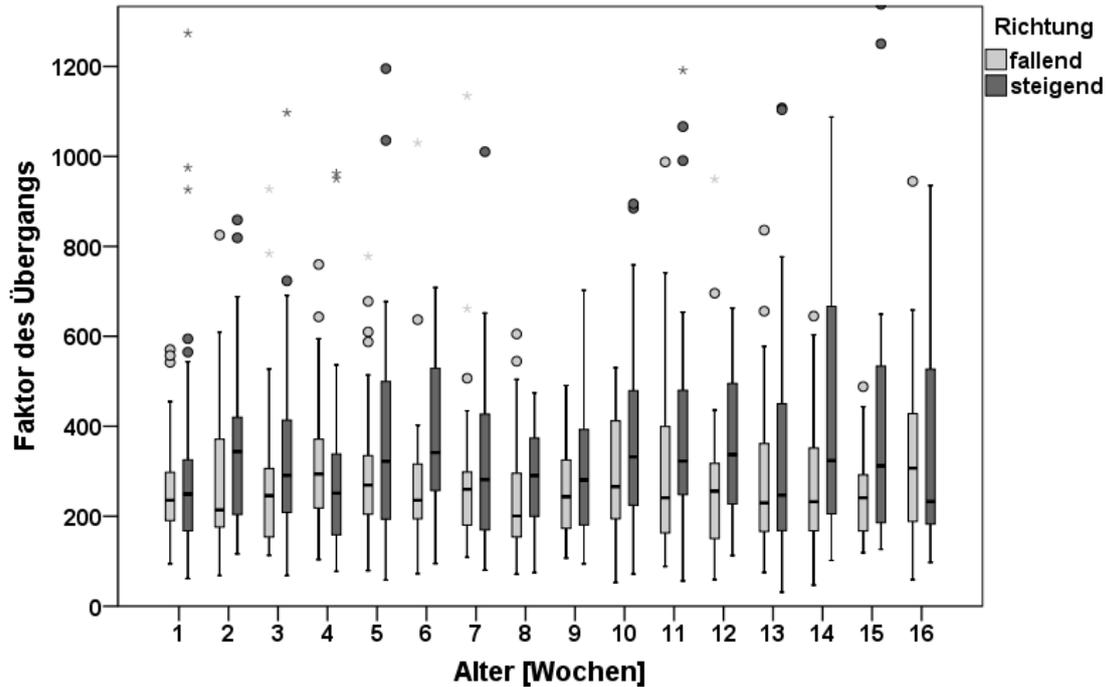


Abbildung 38: Boxplot: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression in [Hz/s]) zwischen zwei Plateaus (Kategorie -1-) über die ersten 16 Lebenswochen, aufgeteilt in steigende und fallende Intervalle
Werte der fallenden Intervalle als Betrag dargestellt

In Abbildung 39 sind ausschließlich die Interquartilsabstände für fallende und steigende Intervalle über die Zeit dargestellt. Für die fallenden Intervalle bleiben die Interquartilsabstände im gesamten Untersuchungszeitraum relativ stabil, für die steigenden Intervalle ist ein Anstieg der Variabilität der Werte über die Wochen zu beobachten.

Ergebnisse

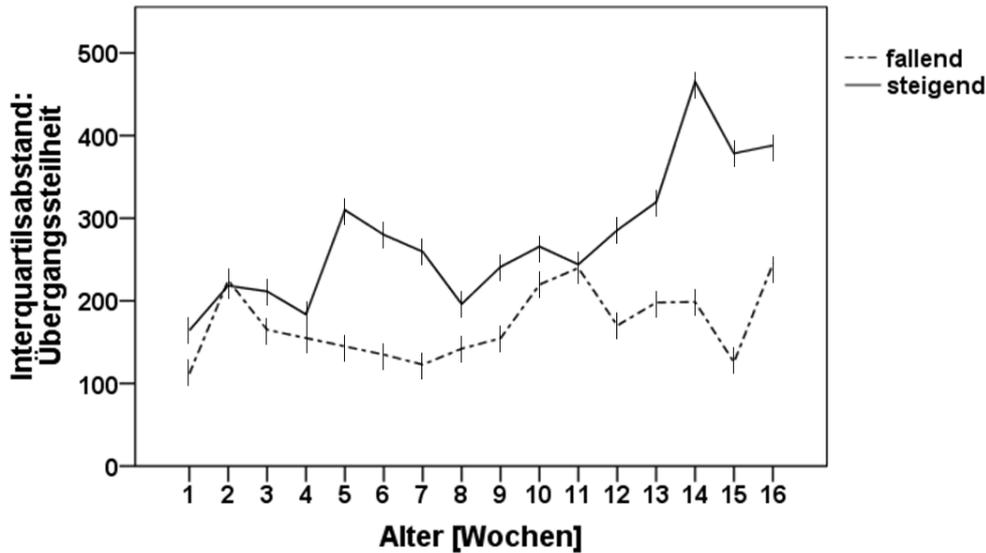


Abbildung 39: Interquartilsabstände: Steilheit des Übergangs zwischen 2 Plateaus (Faktor der linearen Regression) über die ersten 16 Lebenswochen getrennt nach Intervallrichtung

Auch für die Ermittlung der Werte auf Kindniveau wurde zur Betrachtung des Übergangs eine Einteilung basierend auf der Intervallrichtung vorgenommen. In Abbildung 40 sind die Kindmittelwerte in Form von Boxplots über die Zeit dargestellt. Dabei wurde nicht jede Woche einzeln betrachtet, sondern jeweils Zeitabschnitte von 4 Untersuchungswochen zusammengefasst. Die Tabelle 31 berichtet die Medianwerte. Auch hier ist zu erkennen, dass die Medianwerte für die Steigung des Übergangs (Faktor der linearen Regression) für die steigenden Intervalle (315,51 bis 368,20 Hz/s) im Betrag immer größer sind als für die fallenden Intervalle (-280,63 bis -245,65 Hz/s). Ein weiterer deutlicher Unterschied zeigt sich in der Verteilung der Mittelwerte der einzelnen Kinder: Während die Boxen bei den fallenden Intervallen in den ersten drei Abschnitten relativ gleich groß bleiben und die Spanne der Verteilung auch im vierten Abschnitt nur etwas größer wird, zeigt sich bei den steigenden Intervallen in jedem Abschnitt eine Verbreiterung der Verteilung. Das zeigt sich sowohl in den Boxen (/Interquartilsabständen) als auch in den Whiskern.

Tabelle 31: Mediane der Kindmittelwerte für die Übergangsteilheit in vier aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten der ersten 16 Lebenswochen

Übergangsteilheit (Faktor der linearen Regression in [Hz/s])		
Wochen	Median fallend	Median steigend
1 - 4	-280,63	315,51
5 - 8	-245,65	340,34
9 - 12	-268,73	368,20
13 - 16	-274,81	335,42

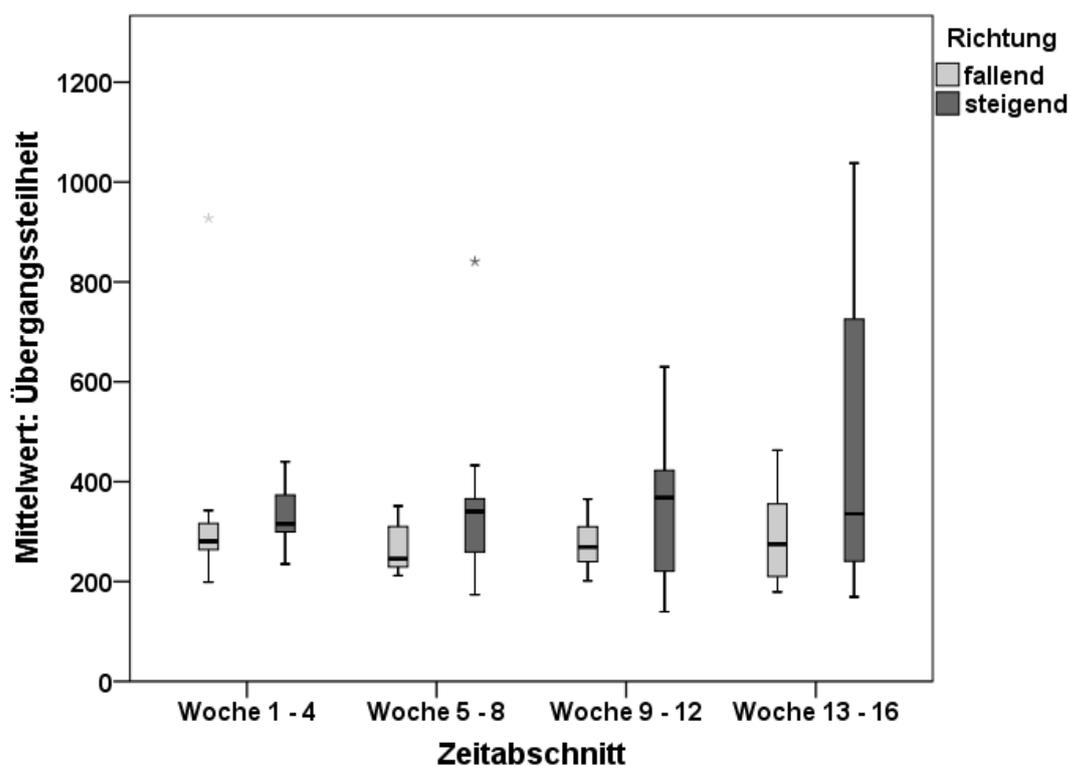


Abbildung 40: Boxplots: Kindmittelwerte der Steilheit des Übergangs (lineare Regression) in Absolutbeträgen über die ersten vier Lebenswochen

3.3.4 Steilheit des Übergangs zwischen zwei Plateaus der Intervallkategorie -12- (Frequenzwechsel)

Wie für die Strukturkategorie -1- wurde auch für Kategorie -12- die Steilheit des Übergangs (lineare Regression) zwischen zwei Plateaus auf Intervallniveau (IV-basiert) betrachtet. Die Kenngrößen der deskriptiven Statistik sind in Tabelle 32 bis Tabelle 35 für das erste und zweite Intervall jeweils nach der Intervallrichtung (fallend/steigend) aufgeführt.

Tabelle 32: Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der fallenden Intervalle der Kategorie -12- (IV 1) in [Hz/s]

fallend Intervall 1					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	355	-239,40	-3052,13	-50,83	-341,83	-173,52	168,31
1	22	-239,93	-2982,50	-59,11	-414,82	-137,23	277,59
2	13	-234,56	-1004,94	-149,30	-357,37	-183,99	173,38
3	12	-227,46	-607,66	-135,35	-274,37	-182,69	91,68
4	13	-250,88	-1036,88	-102,01	-423,73	-145,81	277,92
5	20	-262,58	-634,64	-70,77	-320,40	-181,58	138,82
6	16	-249,72	-1129,31	-96,17	-345,13	-154,06	191,08
7	25	-258,58	-1437,88	-126,93	-358,49	-212,99	145,49
8	16	-271,80	-774,65	-96,14	-444,95	-166,12	278,83
9	22	-198,69	-3052,13	-103,55	-335,26	-155,19	180,07
10	19	-363,73	-1702,54	-99,23	-479,13	-187,14	291,99
11	32	-245,40	-784,97	-99,25	-378,70	-147,61	231,09
12	28	-224,28	-513,83	-118,16	-300,58	-174,44	126,14
13	37	-235,08	-533,25	-134,34	-319,12	-185,96	133,17
14	31	-191,54	-600,58	-50,83	-321,97	-128,07	193,90
15	26	-235,54	-927,73	-92,51	-310,09	-177,79	132,30
16	23	-257,61	-621,74	-120,20	-422,87	-178,60	244,27

Ergebnisse

Tabelle 33: Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der steigenden Intervalle der Kategorie -12- (IV 1) in [Hz/s]

steigend Intervall 1					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	212	309,55	65,44	8106,24	199,82	455,44	255,63
1	15	381,02	147,22	2009,64	178,89	613,52	434,63
2	13	209,26	114,18	794,73	173,19	474,32	301,13
3	8	411,24	67,09	721,60	315,98	531,48	215,49
4	14	236,36	132,51	722,81	187,73	451,31	263,58
5	20	394,90	113,51	865,23	171,11	485,44	314,33
6	12	309,62	224,30	977,15	234,32	684,13	449,81
7	17	366,93	96,01	1581,65	193,84	550,86	357,01
8	19	307,91	161,26	791,78	215,91	463,86	247,95
9	16	426,94	65,44	826,53	197,40	489,41	292,01
10	15	441,99	160,92	583,72	271,70	519,41	247,71
11	12	287,34	106,43	441,06	200,58	396,70	196,12
12	9	363,24	201,25	8106,24	222,68	541,96	319,28
13	11	241,08	110,23	781,43	151,97	322,67	170,70
14	14	293,48	133,70	757,56	194,61	404,12	209,51
15	6	228,07	158,53	345,78	170,71	305,07	134,36
16	11	270,56	124,72	451,06	158,69	309,80	151,12

Ergebnisse

Tabelle 34: Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der fallenden Intervalle der Kategorie -12- (IV 2) in [Hz/s]

fallend Intervall 2					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	323	-227,16	-3239,07	-50,63	-333,80	-151,23	182,57
1	26	-231,68	-1242,95	-106,04	-324,03	-142,70	181,34
2	14	-241,33	-499,83	-90,70	-321,78	-173,73	148,05
3	13	-227,85	-558,53	-62,29	-314,13	-145,55	168,58
4	13	-198,69	-826,52	-82,30	-416,92	-103,45	313,48
5	24	-242,71	-1140,44	-88,20	-387,79	-187,30	200,49
6	11	-265,08	-494,66	-114,86	-350,61	-162,28	188,32
7	23	-273,78	-1038,02	-86,00	-431,52	-141,41	290,11
8	22	-158,73	-465,20	-90,55	-281,52	-139,33	142,20
9	24	-223,81	-527,00	-91,34	-329,12	-134,01	195,11
10	16	-212,96	-1163,73	-91,77	-401,89	-140,11	261,77
11	26	-269,89	-617,26	-65,01	-321,52	-160,75	160,77
12	20	-237,45	-3239,07	-87,45	-341,03	-162,74	178,29
13	25	-213,83	-516,10	-50,63	-355,69	-154,17	201,52
14	28	-185,21	-2032,03	-55,80	-348,54	-133,70	214,84
15	16	-192,93	-508,68	-88,45	-231,77	-154,65	77,12
16	22	-247,47	-585,18	-87,96	-285,36	-180,61	104,75

Tabelle 35: Deskriptive Statistik: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der steigenden Intervalle der Kategorie -12- (IV 2) in [Hz/s]

steigend Intervall 2					Perzentile		
Woche	N	Median	Min	Max	25	75	IQR
1-16	244	263,88	45,36	3547,32	178,71	362,23	183,53
1	11	194,26	69,85	1951,16	111,65	548,10	436,45
2	12	246,65	96,19	653,62	149,27	361,34	212,07
3	7	225,90	157,45	740,30	181,11	249,05	67,95
4	14	283,48	95,63	1277,15	189,69	315,03	125,34
5	16	327,06	110,14	677,76	214,57	517,04	302,47
6	17	252,56	142,11	379,47	176,88	335,75	158,86
7	19	267,68	122,80	802,31	182,44	334,08	151,64
8	13	213,92	45,36	408,01	128,83	350,71	221,88
9	14	264,70	121,21	3547,32	155,45	409,50	254,05
10	18	288,40	94,50	560,45	196,07	364,18	168,11
11	18	234,39	112,72	618,32	190,85	421,78	230,94
12	17	292,06	114,59	797,77	236,00	378,04	142,04
13	23	288,62	64,70	742,76	199,35	472,78	273,43
14	17	214,11	104,52	763,07	155,81	333,12	177,30
15	16	226,41	72,42	469,99	147,60	381,82	234,22
16	12	328,54	175,33	958,84	185,43	785,61	600,18

Weiterhin werden diese Kenngrößen für den Frequenzwechsel zwischen 2 Plateaus (Faktor der linearen Regression des Übergangs zwischen 2 Plateaus) in Abbildung 41 und 42 als Boxplots über die ersten 16 Lebenswochen dargestellt. Die Abbildungen sind getrennt für das erste und das zweite Intervall dargestellt. Bei Betrachtung nur des ersten Intervalls zeigt sich ein Unterschied zwischen fallenden und steigenden Intervallen. Mit Ausnahme der 10. Woche (Median=-363,73 Hz/s) liegen die Werte der fallenden Intervalle zwischen -271,8 Hz/s (8. Woche) und -191,54 Hz/s (14. Woche) und damit enger zusammen als die der steigenden. Deren Mediane liegen für das vordere Intervall zwischen 441,99 Hz/s und 209,26 Hz/s und schwanken in den meisten Wochen deutlich stärker. Für das zweite Intervall lässt sich kein deutlicher Unterschied zwischen fallenden und steigenden Intervallen feststellen. Die Mediane schwanken zwischen -273,78 und -158,73 Hz/s bzw. zwischen 194,26 und 328,54 Hz/s. Aufgrund der gewählten Skalierung konnten in beiden

Ergebnisse

Abbildungen nicht alle Ausreißer dargestellt werden. Die Maxima und Minima der wöchentlichen Verteilungen sind den Tabellen zu entnehmen.

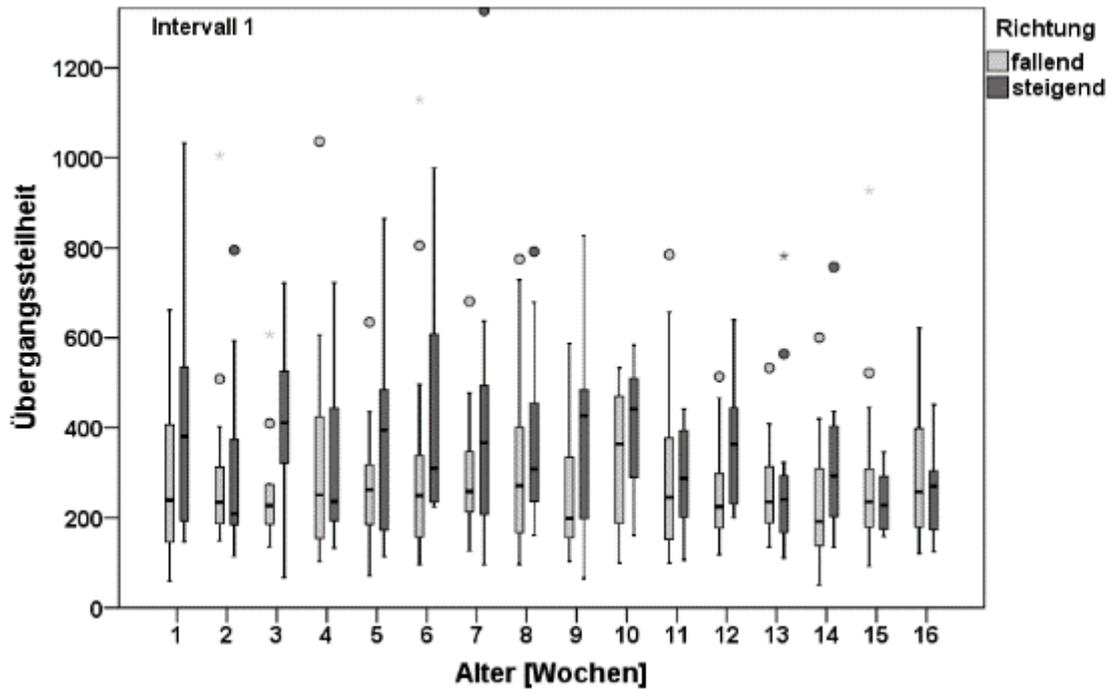


Abbildung 41: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der Kategorie -12- (IV 1) über die ersten 16 Lebenswochen in [Hz/s]; Werte der fallenden Intervalle als Absolutbetrag dargestellt

Ergebnisse

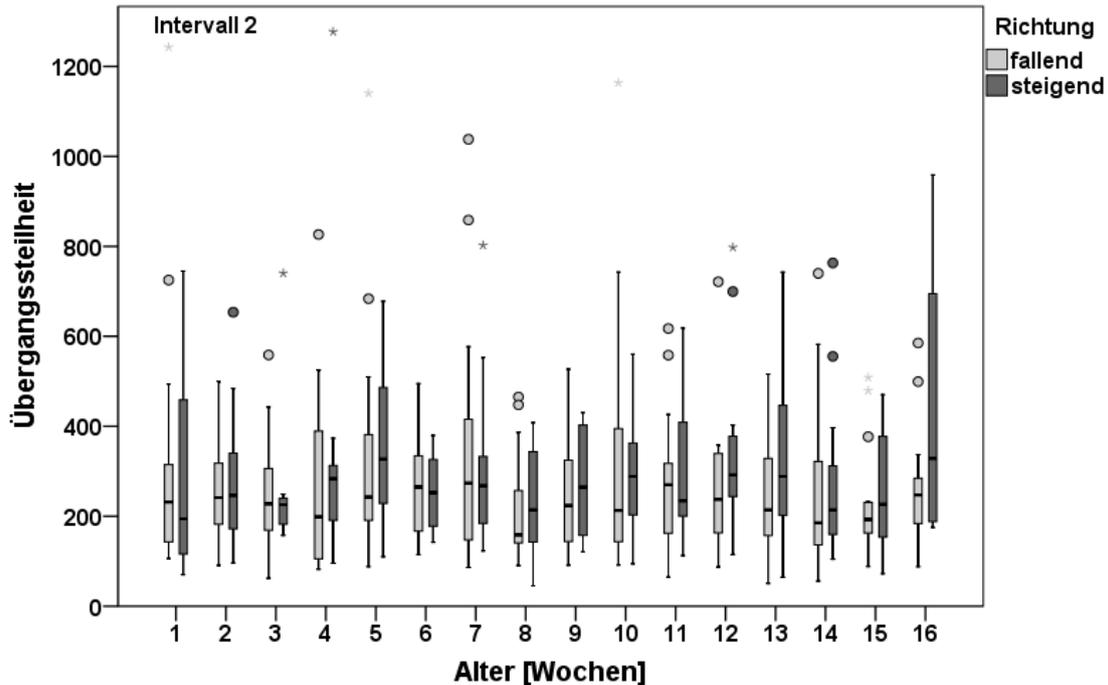


Abbildung 42: Steilheit des Übergangs (Faktor der linearen Regression) zwischen 2 Plateaus der Kategorie -12- (IV 1) über die ersten 16 Lebenswochen in [Hz/s]; Werte der fallenden Intervalle als Absolutbetrag dargestellt

3.3.5 Mittlere Grundfrequenz der beiden Plateaus in der Strukturkategorie *isoliertes Einzelintervall (-1-)*

Die mittlere Grundfrequenz ($gMW(F_0)$) der beiden Plateaus eines Intervalls wurde absolut und als Frequenzverhältnis berechnet. Die folgenden Auswertungen wurden jeweils auf Intervallniveau vorgenommen.

Tabelle 36 zeigt die Ergebnisse für die mittlere Grundfrequenz ($gMW(F_0)$) für die vorderen und hinteren Plateaus getrennt nach der Intervallrichtung. Die Werte basieren auf der Auswertung aller Intervalle der Strukturkategorie -1- des gesamten Untersuchungszeitraums.

Tabelle 36: Deskriptive Statistik: mittlere Grundfrequenz (gMW(F₀)) der vorderen (V) und hinteren (H) Plateaus, getrennt nach der Richtung (steigend/ fallend)

Richtung	Plateau	N	Median	Min	Max	Perzentile		
						25	75	IQR
fallend	vorderes	665	451	265	737	411	508	97
	hinteres	665	399	203	650	362	448	86
steigend	vorderes	548	404	210	2159	363	442	79
	hinteres	548	449	263	2384	408	495	87

Die Verteilung der Messwerte ist in Abbildung 43 in Boxplots dargestellt. Die Abbildung zeigt dieselben Verteilungen in unterschiedlicher Skalierung. Teil A zeigt die gesamte Verteilung mit allen Ausreißern. Es fällt auf, dass extreme Ausreißer vor allem bei den steigenden Intervallen auftreten. Es wurde beobachtet, dass die Ausreißer bei einigen Kindern vermehrt vorkommen (z.B. EE). In Teil B der Abbildung 43 sind die Verteilungen noch einmal mit einer enger gewählten Skalierung dargestellt, um die Lage der Mediane und Quartile besser zu erkennen: Wie auch aus Tabelle 36 ablesbar, liegen die gMW(F₀)-Werte der jeweils höher- bzw. tieferliegenden Plateaus in fallenden bzw. steigenden (-1-)-Intervallen auf einem vergleichbaren Niveau.

Ergebnisse

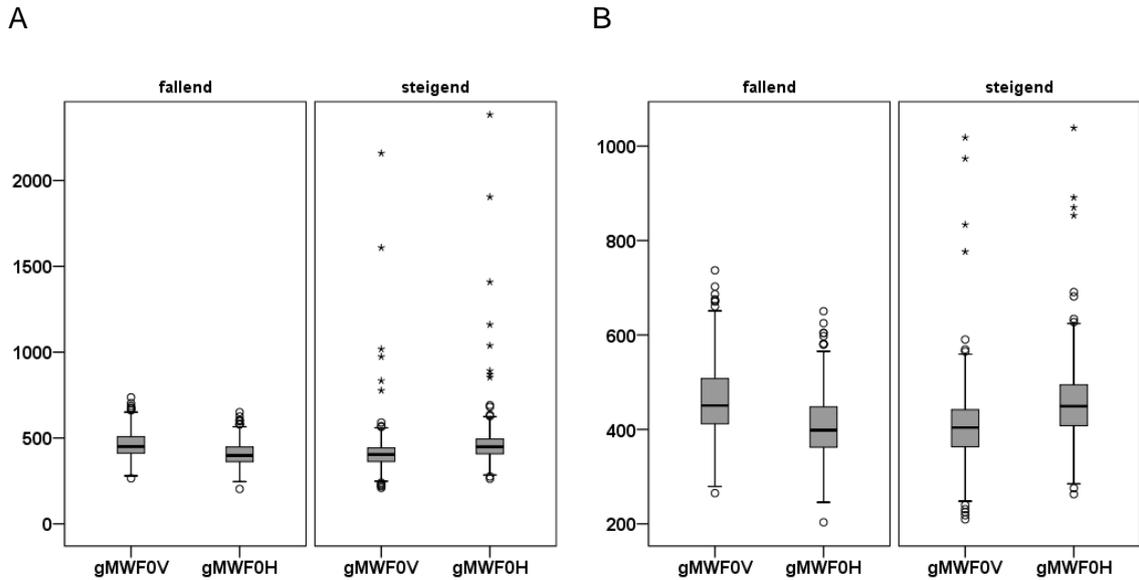


Abbildung 43: Boxplots: mittlere Grundfrequenz der vorderen (V) und hinteren (H) Plateaus, getrennt nach der Richtung (fallend, N=665; steigend N=548)
Achsenkalierung der y-Achse: gMW(F_0) in Hertz [Hz], für A und B unterschiedlich skaliert (Erklärung im Text)

Eine Darstellung für die einzelnen Kinder ist in Abbildung 44 gezeigt (Anzahl in Tabelle 37). Jede Teilabbildung zeigt die Verteilung der Plateauhöhen (vorn=V; hinten=H) für die fallenden und steigenden Intervalle jeweils eines Kindes im gesamten Aufnahmezeitraum. Die Plateauhöhen sind in der mittleren Grundfrequenz in Hertz (Hz) angegeben. Verglichen mit den Verteilungen über alle Kinder weichen die Daten zu den einzelnen Kindern in ihren Lagemaßen ab. Es gibt Kinder mit deutlich höheren Medianen und größeren Quartilen (CV), aber auch mit tiefer liegenden (EH).

Ergebnisse

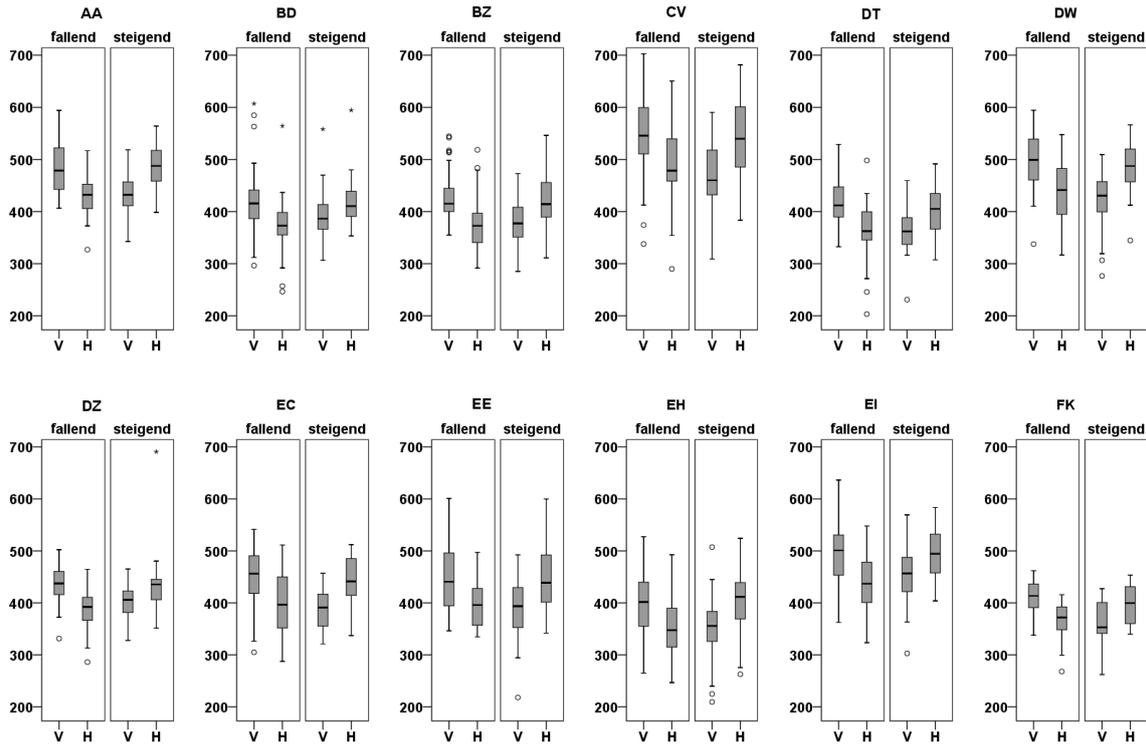


Abbildung 44: Boxplots: mittlere Grundfrequenz der vorderen (V) und hinteren (H) Plateaus, getrennt nach Richtung und Kindern
 Achsenkalierung der y-Achse: gMW(F_0) in Hertz (Hz)

Tabelle 37: Anzahl N der Intervalle der Kategorie -1- pro Kind nach Intervallrichtung

Kind	AA	BD	BZ	CV	DT	DW	DZ	EC	EE	EH	EI	FK
fallend	35	55	56	78	39	61	68	42	36	66	96	33
steigend	58	37	42	32	24	71	25	31	76	74	60	18

Bei einer Betrachtung der Daten (Abbildung 45) nach Aufnahme Wochen zeigt sich die Ähnlichkeit der Medianwerte der hinteren bzw. vorderen Intervallplateaus bei den fallenden bzw. steigenden Intervallen weniger deutlich. Analog gilt das für die vorderen bzw. hinteren Plateaus der fallenden/steigenden Intervalle.

Ergebnisse

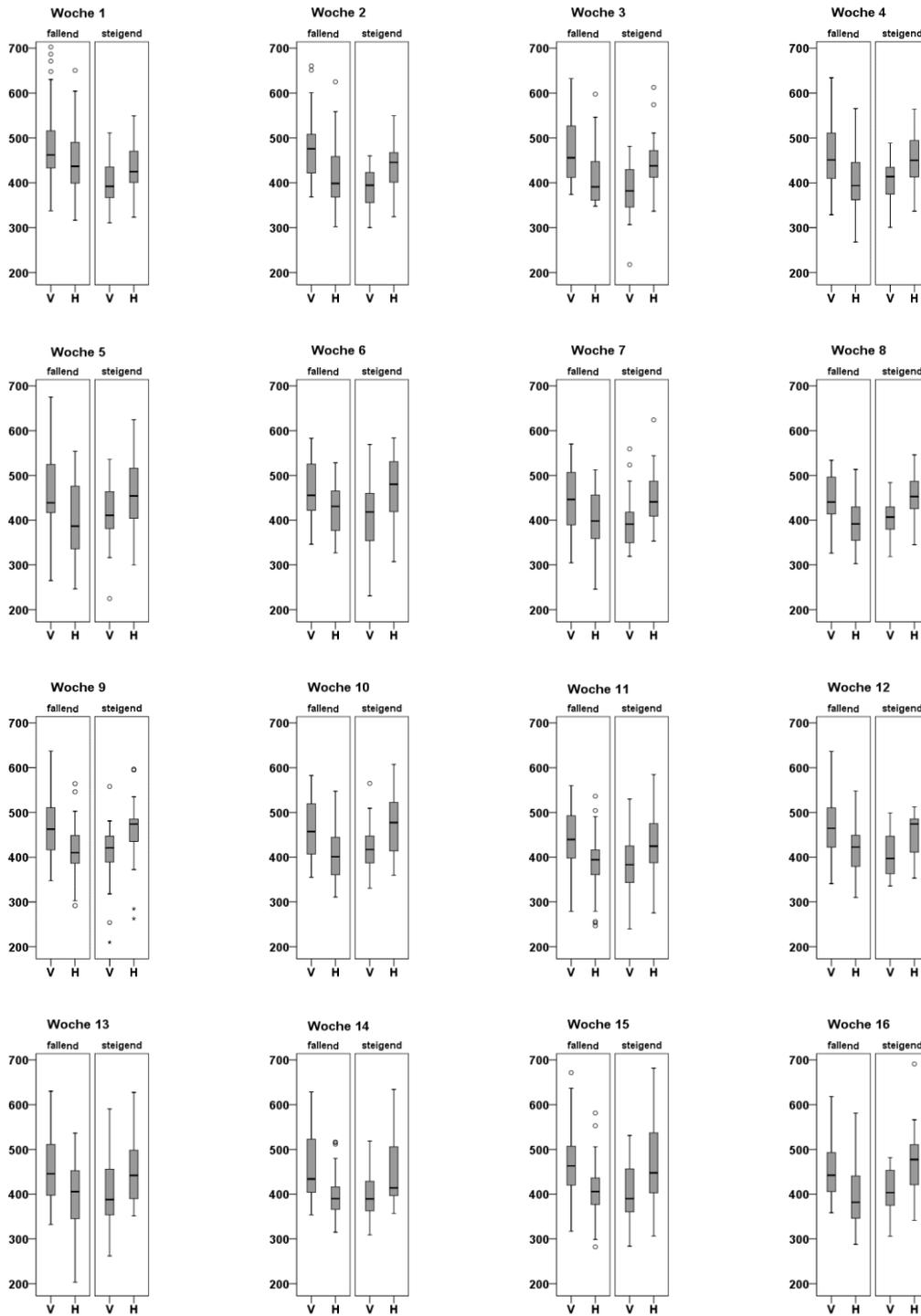


Abbildung 45: Boxplots: mittlere Grundfrequenz der vorderen (V) und hinteren (H) Plateaus, getrennt nach Richtung und Wochen
Achsenkalierung der y-Achse: gMW(F₀) in Hertz (Hz)

3.3.6 Mittlere Grundfrequenz der Plateaus in der Strukturkategorie zwei zusammenhängende Intervalle (-12-)

Wie für die Strukturkategorie -1- wurden für die Intervalle der Strukturkategorie -12- die Ton/F₀-Level der Plateaus betrachtet. Tabelle 38 zeigt die deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz (gMW(F₀)) der vorderen und hinteren Plateaus der beiden Intervalle (1 und 2). Darüber hinaus sind diese in Abbildung 46 als Boxplots dargestellt. Die Intervallvarianten wurden hierbei nicht separat betrachtet.

Tabelle 38: Deskriptive Statistik: mittlere Grundfrequenz (gMWF₀) der vorderen und hinteren Plateaus getrennt nach der Richtung und in erstes und zweites Intervall

Intervall	Richtung	Plateau	N	Median	Min	Max	Perzentile		IQR
							25	75	
1	fallend	vorderes	355	445	268	677	401	499	98
		hinteres	355	395	186	604	358	439	82
	steigend	vorderes	212	409	221	604	367	448	81
		hinteres	212	447	307	864	410	492	82
2	fallend	vorderes	323	440	241	864	400	487	87
		hinteres	323	392	205	560	355	441	86
	steigend	vorderes	244	385	186	579	349	426	77
		hinteres	244	425	273	652	389	468	79

Auch für diese Strukturkategorie zeigt sich wieder, dass die F₀-Werte der jeweils höher liegenden Plateaus (fallend: vorn; steigend: hinten) in einem ähnlichen Bereich liegen, genauso wie die Werte der tiefer liegenden (fallend: hinten; steigend: vorn). Vergleicht man die Werte für das erste und das zweite Intervall miteinander, fällt auf, dass diese für die fallenden Intervalle etwas dichter zusammenliegen als für die steigenden.

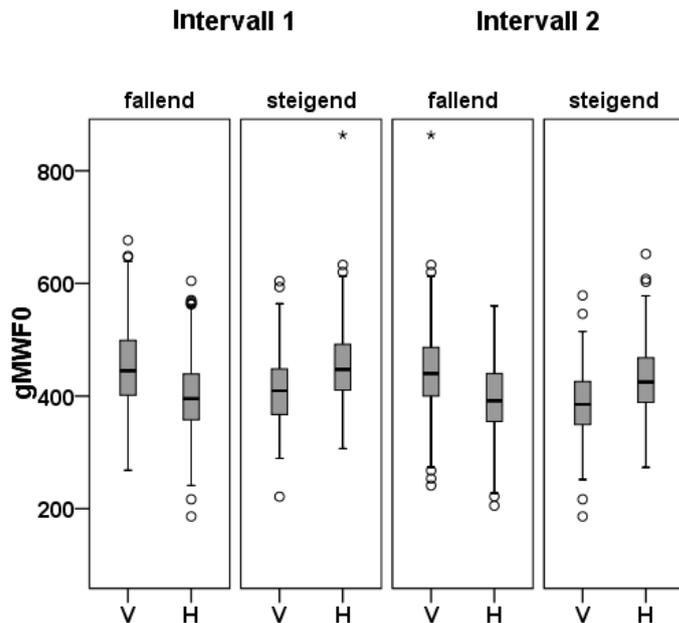


Abbildung 46: Boxplots: mittlere Grundfrequenz ($gMWF_0$) der vorderen und hinteren Plateaus in der Strukturkategorie -12-; getrennt nach der Richtung und in erstes und zweites Intervall

Bei den Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass es in der Struktur -12- das mittlere Plateau gibt, das bei Intervall 1 das hintere, bei Intervall 2 das vordere Plateau bildet. Bei den Untergruppen *fallend-fallend* und *steigend-steigend* wird dabei die Intervallrichtung nicht geändert. Das bedeutet, dass hier das mittlere Plateau einmal die tieferliegende Plateauhöhe darstellt und einmal die höhere. Um diesen Unterschied zu berücksichtigen, wurden die Intervalle der Strukturkategorie -12- auch noch einmal getrennt nach ihren vier Varianten (*fallend-fallend*, *fallend-steigend*, *steigend-fallend*, *steigend-steigend*) betrachtet (Tabelle 39, Abbildung 47).

Tabelle 39: Deskriptive Statistik: mittlere Grundfrequenz (gMWF₀) der vorderen, mittleren und hinteren Plateaus getrennt nach Untergruppen der Kategorie -12-

Untergruppe	Plateau	N	Median	Min	Max	Perzentile		
						25	75	IQR
fallend-fallend	Vorderes	159	462	268	677	422	527	106
	Mittleres		418	241	604	386	470	84
	Hinteres		377	205	552	350	419	69
fallend-steigend	Vorderes	196	431	313	649	390	475	85
	Mittleres		378	186	546	346	413	67
	Hinteres		415	273	652	383	453	70
steigend-fallend	Vorderes	164	415	221	604	372	454	82
	Mittleres		455	332	864	419	503	84
	Hinteres		402	245	560	362	457	96
steigend-steigend	Vorderes	48	393	296	562	349	431	82
	Mittleres		432	307	579	381	471	90
	Hinteres		468	335	603	430	504	74

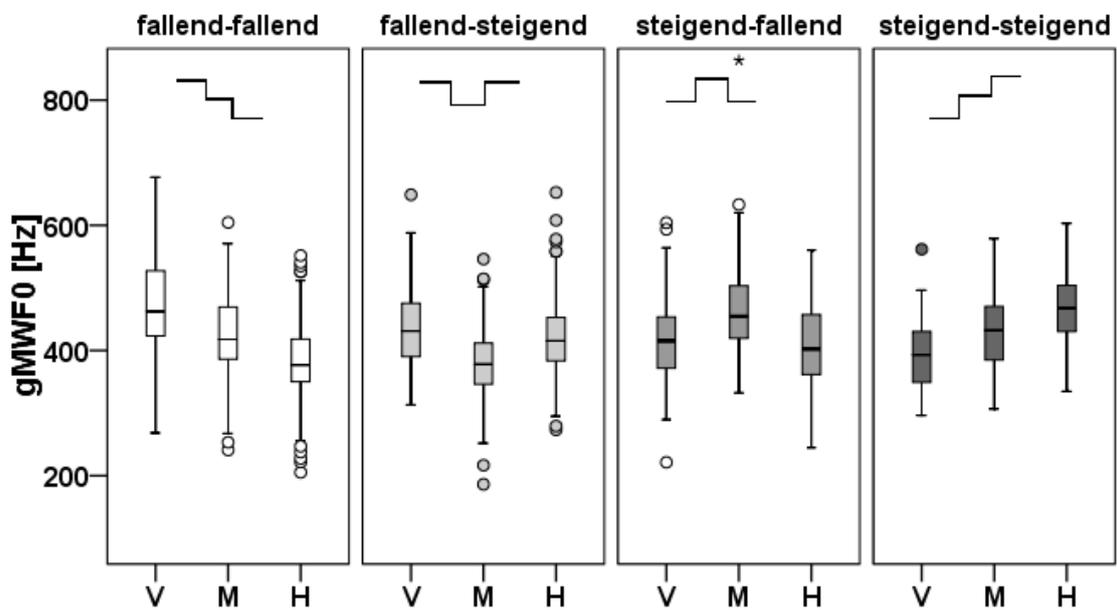


Abbildung 47: Boxplots: mittlere Grundfrequenz (gMWF₀) der vorderen (V), mittleren (M) und hinteren (H) Plateaus; unterteilt nach der Untergruppe in fallend-fallend, fallend-steigend, steigend-fallend, steigend-steigend; Intervallniveau

3.4 Analyse der ermittelten Frequenzverhältnisse für die Intervallplateaus unter Berücksichtigung „musikalischer“ Intervalle

Wie in Kapitel 2.2.3.2 beschrieben, wurden die Frequenzen der Plateaus eines Intervalls nicht nur in ihren absoluten Werten betrachtet, sondern auch in ihrem Frequenzverhältnis.

Tabelle 40 zeigt die Häufigkeitsverteilung der vermessenen Frequenzverhältnisse aller Intervalle in Kategorien um die musikalischen Intervalle. Die Einteilung ist kontinuierlich gewählt, es gibt keine Zwischenräume. Die Tabelle zeigt jeweils die absolute und die prozentuale Häufigkeit. Die Intervalle sind ihrer Richtung nach getrennt aufgeführt. Beide Intervallrichtungen (*fallend* und *steigend*) weisen ähnliche Häufigkeitsverteilungen auf. Bei den fallenden Intervallen traten die kleinen Intervallbereiche wie Prime und kleine Sekunde etwas seltener auf als bei den steigenden.

Tabelle 40: Absolute und relative Häufigkeiten der Frequenzverhältnisse in Kategorien um die musikalischen Intervalle; Gesamtheit der vermessenen Intervalle geteilt in fallende und steigende Intervalle

Musikalische Intervalkategorie	fallend		steigend	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Prime	70	2,7	97	5,0
kleine Sekunde	1279	48,9	1018	52,3
große Sekunde	603	23,1	412	21,2
kleine Terz	283	10,8	212	10,9
große Terz	163	6,2	100	5,1
reine Quarte	93	3,6	53	2,7
übermäßige Quarte/ verminderte Quinte	55	2,1	20	1,0
reine Quinte	34	1,3	17	0,9
kleine Sexte	10	0,4	2	0,1
große Sexte	11	0,4	1	0,1
kleine Septime	4	0,2	5	0,3
große Septime	2	0,1	4	0,2
Oktave	4	0,2	3	0,2
> Oktave	3	0,1	2	0,1
Gesamt	2614	100,0	1946	100,0

Die Verteilung der Frequenzverhältnisse ist in Abbildung 48 und in Abbildung 49 als Histogramm gezeigt; es gibt ein Histogramm für die fallenden und ein Histogramm für die steigenden Intervalle. Die Einteilung erfolgte bis zur Oktave, die darüberliegenden Werte wurden als „> Oktave“ zusammengefasst. In beiden Verteilungen tritt der Bereich um die kleine Sekunde mit Abstand am häufigsten auf (fallend: 48,9%; steigend: 52,3%). Die größeren Intervalle nehmen in ihrer Häufigkeit stark ab, der Anteil der großen Sekunde liegt bei gut 20%, der Anteil der kleinen Terz nur noch bei etwas über 10%. Während der Anteil des Bereichs um die kleine Sekunde bei den steigenden Intervallen etwas höher war als bei den fallenden, sind die größeren Intervalle hier etwas seltener.

Ergebnisse

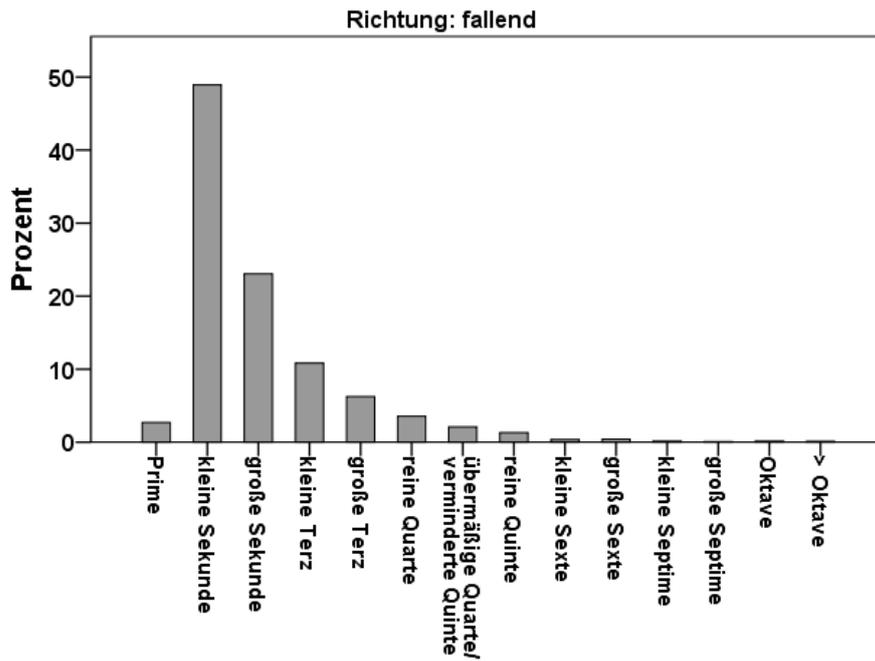


Abbildung 48: Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse fallender Intervalle in Prozent, eingeteilt in kontinuierliche Kategorien um die musikalischen Intervalle (Balkenzwischenräume nur aus grafischen Gründen)

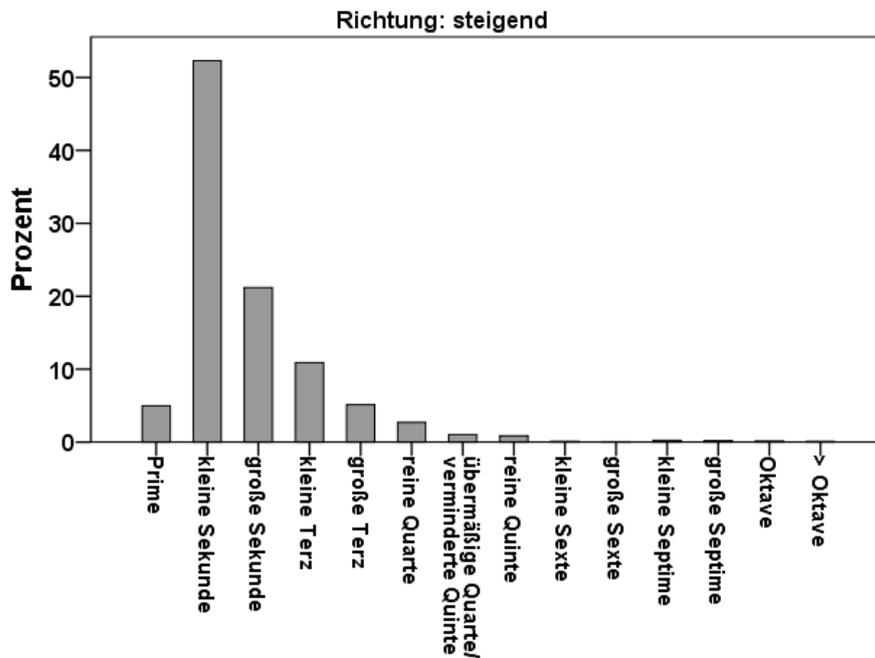


Abbildung 49: Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse steigender Intervalle in Prozent, eingeteilt in kontinuierliche Kategorien um die musikalischen Intervalle (Balkenzwischenräume nur aus grafischen Gründen)

Ergebnisse

In Abbildung 50 ist eine feinere Einteilung mit Bins in Vierteltonabständen vorgenommen worden; in Abbildung 51 sind die Bins Achteltöne. Eine Unterteilung nach der Intervallrichtung wurde nicht vorgenommen. In beiden Abbildungen wurden die Balken, die die musikalischen Intervalle umgeben, dunkelgrau gefärbt.

Beide Verteilungen ähneln der in Abbildung 48 und Abbildung 49. Die Intervalle (Frequenzverhältnisse) zeigen eine hohe Regularität und kontinuierlich abfallende Verteilung ab der kleinen Sekunde. Das herausstechende Intervall ist der Halbton in allen Einteilungen; allerdings traten Frequenzverhältnisse von einer kleinen Sekunde minus 1/8-Ton am häufigsten auf.

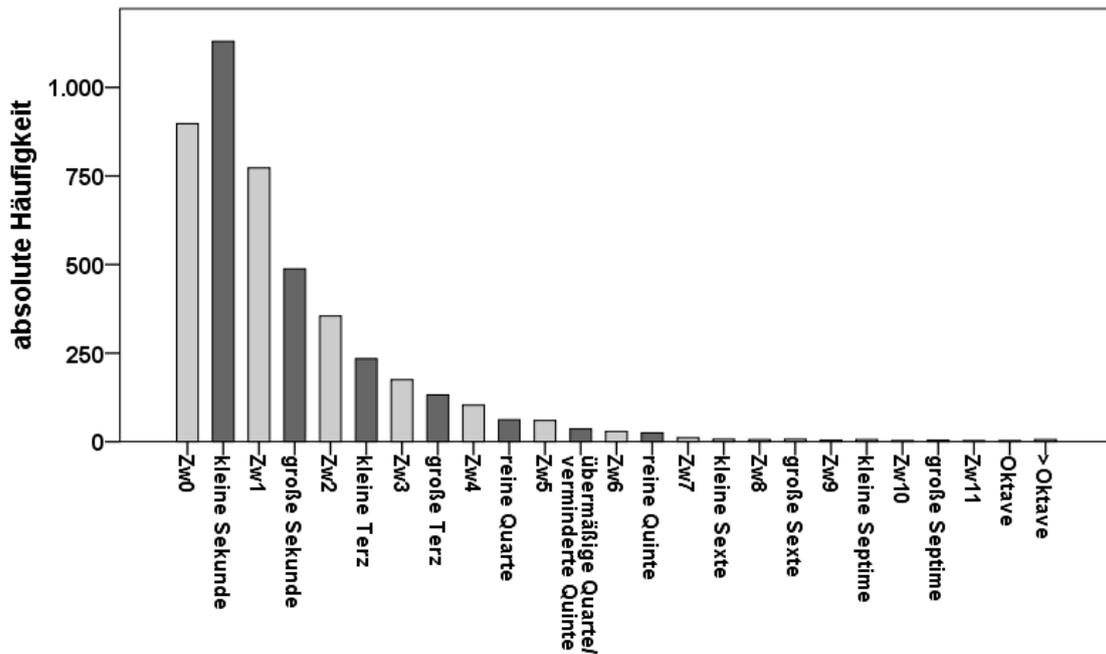


Abbildung 50: Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse zwischen vorderem und hinterem Plateau; Bins in Vierteltonabständen (Zw - Zwischenwert)

Ergebnisse

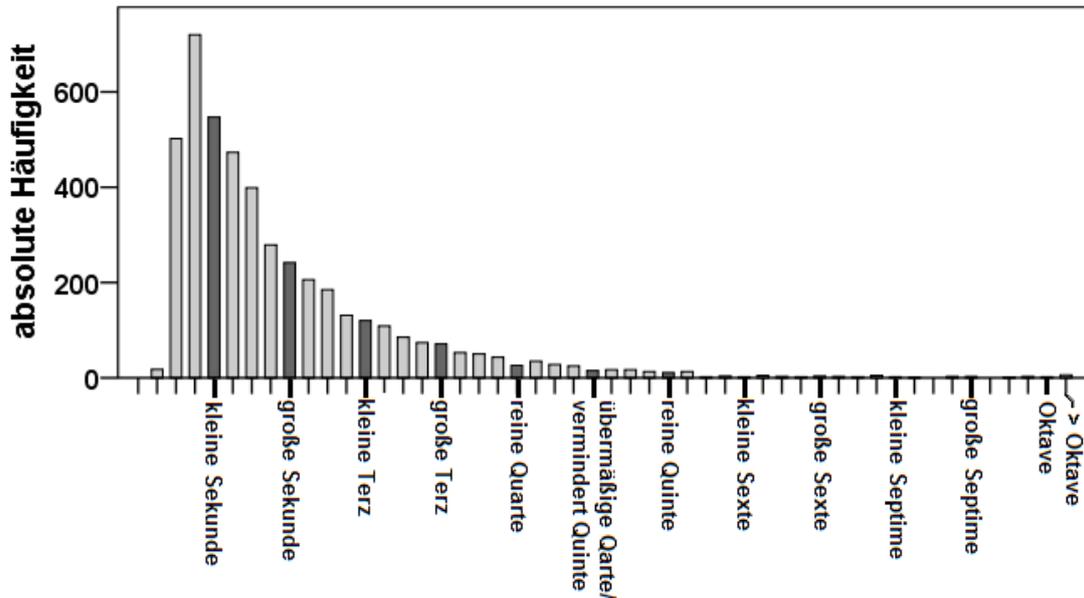


Abbildung 51: Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse zwischen vorderem und hinterem Plateau; Bins in Achteltonabständen

Auch eine weitere Unterteilung der Oktave in 96 Abschnitte (Abbildung 52) zeigt eine ähnliche Verteilung, allerdings ist der Halbton nicht mehr häufigstes Intervall.

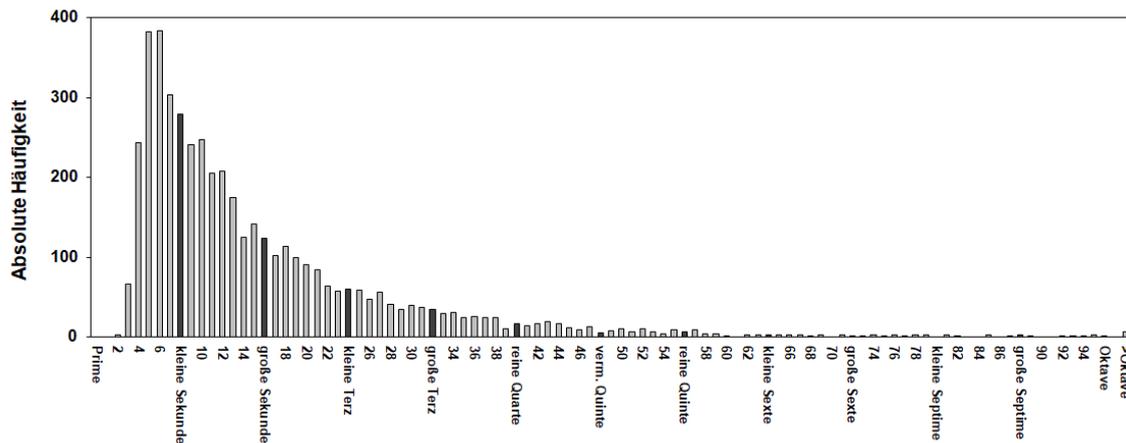


Abbildung 52: Häufigkeitsverteilung der Frequenzverhältnisse zwischen vorderem und hinterem Plateau; Bins in Sechzehntel-(1/16)-Tonabständen

Ergebnisse

Bei einer Betrachtung der Frequenzverhältnisse in ihrem zeitlichen Verlauf über die 16 Untersuchungswochen wäre die jeweilige Datenmenge der einzelnen Abschnitte zu gering geworden. Um die Intervallhäufigkeit dennoch auf eine eventuelle zeitliche Veränderung hin überprüfen zu können, wurden für die Intervalle der Kategorie -1- Quartile der Frequenzverhältnisse gebildet (Tabelle 41) und diese in Hinblick auf einen zeitlichen Zusammenhang betrachtet. Abbildung 53 zeigt die zeitlichen Verteilungen zwischen den einzelnen Quartilen.

Tabelle 41: Frequenzverhältnisse (FQ) der Quartilsgrenzen

Quartil	Q _{0,25}	Q _{0,5}	Q _{0,75}
Frequenzverhältnis	1,055653	1,095451	1,170766
musikalische IV-Grenzen	>kleine Sekunde (1,0595) <große Sekunde (1,1225)		>große Sekunde (1,1225) >kleine Terz (1,1892)
„Zugehöriger“ Bereich entsprechend Tabelle 43	Kleine Sekunde	Große Sekunde	Kleine Terz

Ergebnisse

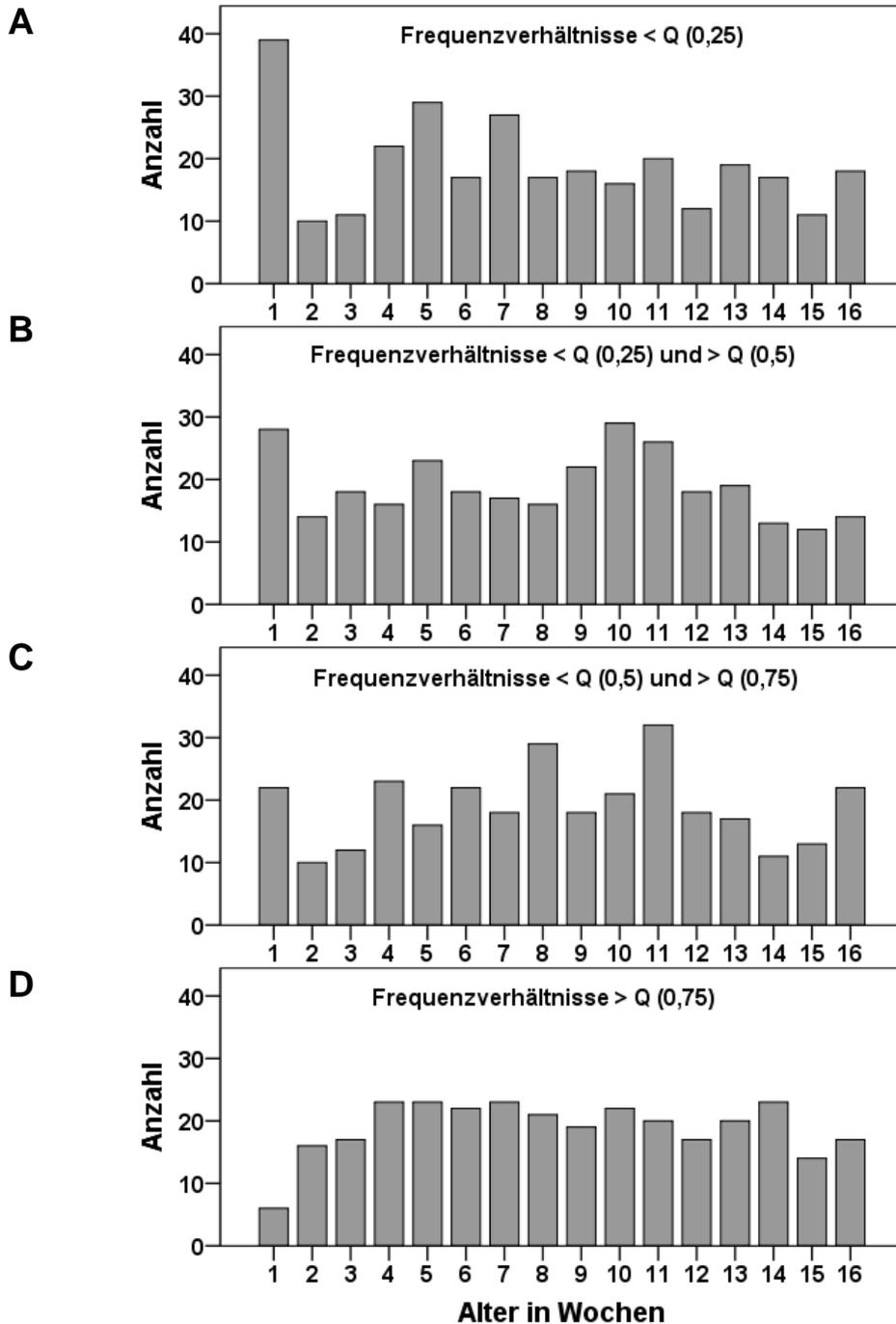


Abbildung 53 A – D: Häufigkeitsverteilung der (-1)-Intervalle getrennt nach Quartilsgrenzen der Intervallgrößen
A – FQ unterhalb des unteren Quartils; N = 303
B – FQ zwischen unterem und mittlerem Quartil; N = 303
C – FQ zwischen mittlerem und oberem Quartil; N = 304
D – FQ oberhalb des oberen Quartils; N = 303

Auffällig ist vor allem die erste Woche. Es zeigte sich, dass die kleinsten Intervalle ($Q_{0,25}$) in der ersten Woche klar am häufigsten auftraten und dass in

Ergebnisse

diesem Zeitraum das Auftreten von Intervallen mit einem steigenden Frequenzverhältnis vom 1. – 4. Quartil abnahm. Darüber hinaus ließ sich für die größeren Intervalle festhalten, dass diese erst ab der 4. Lebenswoche vermehrt und ab diesem Zeitpunkt auch relativ stabil auftraten.

4 Diskussion und Interpretation

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Beitrag zur quantitativen Charakterisierung von regelhaft auftretenden Phänomenen bei der Produktion von Säuglingslauten während der vorsprachlichen Entwicklung zu leisten. Da die Entstehung der Laute kein physiologisches Zufallsprodukt ist, sondern auf einer gemeinsamen Aktion vieler beteiligter neuro-physiologischer Mechanismen basiert und dadurch eng mit der Gehirnentwicklung verknüpft ist, können Abweichungen von der Norm in der Lautbildung früh einen Risikostatus für die sprachliche Entwicklung anzeigen (Wermke, Mende et al. 2002, LaGasse, Neal et al. 2005). Allerdings setzt dies voraus, dass man dafür zunächst die „Normwerte“ oder zumindest geeignete Referenzwerte für potentiell geeignete Größen (Risikomarker) ermittelt. Vorarbeiten haben gezeigt, dass Intervallphänomene zu den Kandidaten für geeignete Risikomarker zählen könnten (Weigl 2012, Dobnig 2017, Stephan 2017).

In der vorliegenden Arbeit sollten erstmalig längsschnittliche Analysen von Intervallphänomenen vorgenommen werden. Dazu wurden Melodien (Grundfrequenzkonturen) von 6046 Säuglingslauten auf vorkommende intervallartige Strukturen hin untersucht und deren Eigenschaften systematisch analysiert. Nachfolgend werden die Ergebnisse mit relevanten Vorarbeiten verglichen – v.a. Weigl (2012), Dobnig (2017) und Stephan (2017) – und mit Hilfe der Fachliteratur interpretiert. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sowohl für die Identifizierung als auch für die Auswertung der Intervallstrukturen etwas unterschiedliche Vorgehensweisen gewählt wurden, da die Methode mit jeder Arbeit verbessert wurde. Bezüglich der Intervallidentifizierung und -analyse gibt es prinzipiell 3 Möglichkeiten. So können die Intervalle entweder rein auditiv identifiziert und analysiert werden oder allein über eine visuelle Inspektion der Frequenzspektren und Melodiediagramme. Eine dritte Möglichkeit besteht in einer Kombination dieser Methoden. Bei der rein visuellen Identifizierung richtet sich der Untersucher ausschließlich nach zuvor definierten Kriterien (s. Kapitel 2.2.1). Für die hier durchgeführte Untersuchung

wurde eine quantitative kombinierte Analyse gewählt, ohne allerdings die ermittelten Intervalle danach noch einmal auditiv an der Melodie zu reevaluieren. Dieselbe Art der Analyse haben zuvor auch Daniela Dobnig (2017) und Sophia Stephan (2017) bei ihren Untersuchungen intervallartiger Strukturen in Neugeborenenlauten angewandt (Kapitel 2.2.1). Im Unterschied zu diesen Vorarbeiten sind in der vorliegenden Arbeit erstmalig Längsschnittanalysen durchgeführt worden. Während Weigl (2012) mit einer auditiven Analyse Neugeborenenlaute aus der zweiten Lebenswoche untersucht hat und Dobnig (2017) sowie Stephan (2017) jeweils Neugeborenenlaute der ersten Woche, sollte der Längsschnittansatz über die ersten 16 Wochen hier erste Erkenntnisse über eine mögliche Veränderung der Intervallauftrittshäufigkeit und der Intervallkenngrößen mit zunehmender Reife des audio-vokalen Systems liefern.

Die geringfügigen Modifikationen in der Methodik zu den Vorarbeiten wirkten sich hauptsächlich auf die Auftrittshäufigkeit von Intervallstrukturen aus (s. Kapitel 2.2.1).

Zur längsschnittlichen Charakterisierung der Intervalleigenschaften in Melodien von Säuglingsvokalisationen wurden die identifizierten intervallartigen Strukturen auf verschiedene Weise analysiert. Es wurden Analysen der strukturellen Eigenschaften (Intervallzusammensetzung, Intervallrichtung, s. Kapitel 3.1 und 3.2), der zeitlichen Dauer von Intervallen und deren Elementen (s. Kapitel 3.3.1 und 3.3.2) sowie der mittleren Grundfrequenz ($gMWF_0$) (s. Kapitel 3.3.5, 3.3.6 und 3.4) der Plateaus vorgenommen. Nachfolgend wird versucht, die hier gefundenen Eigenschaften der Intervalle in Melodien von Säuglingslauten zu interpretieren.

4.1 Analyse der Intervalleigenschaften über den Untersuchungszeitraum

Die Auftrittshäufigkeit der intervallartigen Strukturen variierte über den Untersuchungszeitraum und zwischen den Kindern. Insgesamt zeigte sich bei allen Kindern, dass intervallartige Strukturen nicht nur in der ersten oder zweiten Lebenswoche auftreten (Dahlem 2008, Weigl 2012, Dobnig 2017, Stephan 2017, Feng 2018), sondern im gesamten Untersuchungszeitraum der ersten 16 Lebenswochen zu beobachten waren.

Nach einer vergleichsweise hohen Auftrittshäufigkeit war ein abnehmender Trend bis zur 3. Lebenswoche zu beobachten. Danach stieg die Häufigkeit tendenziell kontinuierlich an. Allerdings waren die intra- und interindividuellen Variationen groß. Der Abfall von Woche 1 zu 3 könnte damit zu tun haben, dass die Schwankungen (Vibrato-ähnlich) der Melodie zu vermessenen Intervallphänomenen geführt haben, die tatsächlich nur „Pseudointervalle“ im Variationsbereich der Grundfrequenz darstellen. Erst der Anstieg ab Woche 3 könnte mit Reifungsvorgängen in Zusammenhang stehen. Eine Separation beider Phänomene ist jedoch schwierig. In nachfolgenden Studien könnte man auch durch stärkere Selektion von Lauten und Homogenisierung des Materials hier eventuell im Verständnis weiterkommen. Der Befund, dass alle Kinder in allen Wochen ähnliche Häufigkeitsbereiche aufweisen, belegt die Regelmäßigkeit der Intervallphänomene.

Insgesamt konnten in deutlich weniger als der Hälfte der analysierten Melodien Intervalle vermessen werden (Anteile zwischen 0,26 und 0,48); die Auftretenswahrscheinlichkeit in einzelnen Wochen der verschiedenen Kinder unterlag größeren Schwankungen (Tabelle 4 - Tabelle 7). Trotz des etwas höheren Anteils in der ersten Woche (0,44) stellte dies einen Unterschied zu Dobnig (2017) und Stephan (2017) dar. In deren Arbeiten wurden höhere Anteile gefunden, was vermutlich jedoch vor allem methodisch (Kapitel 2.2.1) begründet sein mag: Durch das neu eingeführte Kriterium der Strukturhaltung

könnten Intervalle wegfallen, die in den Vorarbeiten noch vermessen worden wären. Im Folgenden ist ein möglicher zeitlicher Einfluss auf die Intervalleigenschaften berücksichtigt.

4.1.1 Zusammensetzung der Intervallstrukturen zu Strukturkategorien

Bei der Analyse der Melodien waren unterschiedlich komplexe Varianten von Intervallen zu beobachten. Die identifizierten Intervalle mussten daher nach vorheriger Kategorisierung analysiert werden (Kapitel 3.1.1).

Die vorgenommene Kategorisierung zeigte, dass isolierte Einzelintervalle in den Melodien klar überwogen (Abbildung 7). Dieses Ergebnis ist nur bedingt in Übereinstimmung mit Dobnig (2017) und Stephan (2017). In der vorliegenden Arbeit lag der Anteil isolierter Einzelintervalle bei 50,5% bzw. 57% bezogen nur auf die erste Woche. Dobnig hingegen berichtet einen Anteil isolierter Einzelintervalle von 67,8%, Stephan liegt mit einem Ergebnis von 61,3% etwa dazwischen. Der hohe Anteil von Einzelintervallen in Melodien deutet darauf hin, dass komplexere Intervalle nur in Ausnahmesituationen vorkommen. Dies könnten komplexe Melodien oder besonders ausgeprägte Frequenzhübe (Gesamthub der Melodie) sein. Auch könnte die Dauer der Melodie ein Einflussfaktor sein.

Die Abnahme von Einzelintervallen (-1-) ab Woche 4 stützt die Annahme eines Zusammenhangs mit Melodiekomplexität, die ab dem 2. Monat deutlich zunimmt (Wermke und Mende 2011). Auch die ab Woche 6 – 16 vermehrt auftretenden (-123-)-Intervallzusammenhänge sprechen für eine solche Annahme. Allerdings ist diese Interpretation nur eine vorsichtige Hypothese, da die Datenlage und -struktur eine diesbezüglich feinere Analyse nicht zuließ.

4.1.2 **Eigenschaften von Intervallen bei Berücksichtigung ihrer Intervallrichtung**

Es zeigte sich, dass in der Gesamtheit der untersuchten Melodien die fallenden Intervalle häufiger auftraten. Dies galt sowohl für die Ergebnisse der Analysen auf Intervallniveau als auch auf Kindniveau. Auch innerhalb der beiden am häufigsten vorkommenden Intervallkategorien (-1- und -12-), die zusammen ca. 74% der Melodien mit Intervallen ausmachten, zeigte sich der Unterschied zwischen *fallenden* und *steigenden* Intervallen deutlich: bei den isolierten Einzelintervallen traten die *fallenden Intervalle* mit einer knapp 10 Prozentpunkte höheren Häufigkeit auf als die *steigenden Intervalle* (Kapitel 3.2.1). Bei den (-12-)-Intervallen (Kapitel 3.2.2) betrug der Unterschied sogar fast 20 Prozentpunkte. Im Längsschnitt zeigten sich unterschiedliche Verteilungen der fallenden und steigenden Intervalle in den einzelnen Untersuchungswochen: Die in den ersten Wochen etwa gleichhohe bis leicht erhöhte Produktion steigender Intervalle kehrt sich erst nach ca. der Hälfte des Untersuchungszeitraumes zu einem deutlichen Überwiegen fallender Intervalle um. Im Verlauf der Entwicklung scheint die Zahl fallender Intervalle zu steigen. Dies könnte mit der deutschen Umgebungssprache im Zusammenhang stehen.

Zusätzlich kann auch eine „Energieökonomie“ eine Rolle spielen. Wechselt der Säugling nach einem ersten Austesten der Stimme in die ökonomischere Variante, um fallende Intervalle mit dem Intensitätsabfall zum Ende der Ausatmung zu synchronisieren? Das würde nur zutreffen, wenn die fallenden Intervallvarianten gehäuft am Ende einer Lautmelodie auftreten. Dies wurde hier nicht untersucht. Zur Beantwortung der Frage könnte die Einbeziehung von Intensitätskenngrößen in zukünftigen Analysen der Intervallstrukturen hilfreich sein.

Obwohl wir weit davon entfernt sind, die Ursache des Verhältnisses zwischen fallenden und steigenden Intervallen zu verstehen, war die Beobachtung als solche deutlich. In Intervallen der Kategorie -1- war der Häufigkeitsanstieg der fallenden Intervalle ab der 7. Woche zu beobachten. Auch für die Intervalle der

Kategorie -12- konnte ein solcher Anstieg nach der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraums gezeigt werden. Könnten hier auch hormonelle Faktoren eine Rolle spielen? In diesem Alter durchlaufen die Säuglinge eine Minipubertät (Quast 2017). Ab einem Alter von ca. 2 Monaten ist eine Veränderung der Zellstruktur in den Stimmlippen beschrieben (Hartnick, Rehbar et al. 2005). Borysiak, Hesse et al. (2016) haben den Einfluss von Geschlechtshormonen auf die Grundfrequenz (F_0) in Weinauten von Säuglingen in diesem Alter untersucht. Es konnte eine negative Korrelation zwischen der Konzentration „bioverfügbaren“ (Borysiak, Hesse et al. 2016) Estradiols im Blutserum und dem Frequenzhub von den Autoren gefunden werden. Bei aller Vorsicht aufgrund der Tatsache, dass sich auch diese Forschungsrichtung erst am Anfang befindet, kann ein Sexualhormoneinfluss auf die audio-vokalen Regelmechanismen angenommen werden. Interessant wären die Intervallanalysen in den Melodien der Säuglinge aus der Hormonstudie.

Bei den Intervallen der Kategorie -12- zeigten sich in der ersten Woche verhältnismäßig mehr fallende Intervalle als in den Wochen 2-6. Ähnlich den in den ersten 3 Wochen auftretenden Schwankungen der Auftretenshäufigkeiten der Intervalle (s. Kapitel 4.1) könnte diese Ergebnisse auch als Unreife in den ersten Tagen nach der Geburt interpretiert werden. Diese Laute werden vorrangig mit einer Melodiekontur erzeugt, die dem Intensitätsverlauf entspricht (steigend-fallend). Sie sind also noch stark physiologisch beeinflusst. In den späteren Wochen entkoppeln sich beide Konturen (Wermke 2002). Auch in anderen ausgewerteten Intervalleigenschaften konnte eine Abweichung in der ersten Woche gefunden werden. Das stützt diese Hypothese. In der Häufigkeitsverteilung der Intervallrichtung für Intervalle der Kategorie -12- konnten in der ersten Woche im Median klar mehr fallende als steigende Intervalle vermessen werden, während das Verhältnis in den Folgewochen eher ausgeglichen erscheint. Erst ab Woche 9 zeichnet sich eine erneute Tendenz zu fallenden Intervallen ab (Kapitel 3.2.2 Abbildung 11). Für die Intervallgesamtlänge der isolierten Einzelintervalle (-1-) zeigten sich über

den gesamten Untersuchungszeitraum relativ stabile Verteilungen und Mediane, einzig in der ersten Woche lagen die Werte niedriger, ein Anstieg zeigte sich ab der zweiten Woche (Kapitel 3.3.1 Abbildung 13). Dies gilt auch für die Intervallgesamtlänge bei zwei zusammenhängenden Intervallen (-12-), aufgrund größerer Schwankungen allerdings in geringerer Ausprägung (Kapitel 3.3.2 Abbildung 25).

Die hier gefundene Tendenz der vermehrt auftretenden fallenden Intervalle wird durch die Betrachtung der (-12-)-Intervalle in ihrem Verbund besonders deutlich. Während die Varianten $f-s$ ($\downarrow\uparrow$), $s-f$ ($\uparrow\downarrow$) und $f-f$ ($\downarrow\downarrow$) in absteigender Rangfolge häufig vorkamen, wurden deutlich weniger Intervalle der Variante *zwei steigenden Intervalle* ($s-s$, $\uparrow\uparrow$) vermessen. Zwei steigende Intervalle scheinen entweder schwieriger zu erzeugen sein oder aber es gibt weniger „Anlass“, diese zu produzieren, da man sie in der Umgebungssprache kaum wahrnimmt. Einen Zusammenhang mit einem sprachlichen Einfluss drängt sich zumindest vorsichtig auf, da im Deutschen eine eher fallende Intonation zu finden ist (Mampe, Friederici et al. 2009).

Darüber hinaus fand sich aus der Verteilung der Intervallvarianten in der Kategorie -12- ein weiterer interessanter Befund: Varianten mit Richtungswechsel innerhalb des Intervallverbundes kamen häufiger vor als Varianten ohne ($f-f$, $s-s$). Der sehr schnelle Richtungswechsel scheint dem Säugling also keine Schwierigkeiten bei der Intervallerzeugung zu bereiten. Regelungstechnisch sind sie damit sehr weit entwickelt. Das belegt, dass Intervallphänomene kein Unreifezeichen oder Signal einer Dysfunktion bei der vokalen Kontrolle sind. Dies belegt auch die Annahme, dass Intervallkenngrößen potenzielle Risikomarker für audio-vokale Funktionsstörungen sein könnten. Eine Untersuchung von Risikokindern für den Sprech-/Sprachgebrauch, z.B. Säuglinge mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Segelspalten oder senso-neuralen Hörstörungen sollte angedacht werden, um diese Hypothesen zu prüfen.

4.1.3 Zeitliche Eigenschaften der Intervalle und Intervallelemente

Neben der Analyse der Intervallstruktur wurden auch temporale Kenngrößen einzelner IV-Elemente ermittelt. Bei der längsschnittlichen Analyse deutete sich keine signifikante Veränderung der zeitlichen Längen der Intervallelemente (Plateaus, Übergang, Gesamtlänge) an. Auffallend dagegen war die deutliche Stabilität der zeitlichen Kenngrößen der Plateau- und Übergangslängen über den gesamten Zeitraum hinweg.

Eine fehlende zeitliche Veränderung könnte damit zusammenhängen, dass die beteiligten Regelmechanismen bereits ab Geburt sehr gut funktionieren und durch Reifung kaum weiter verbessert werden. Der Befund könnte aber auch damit zusammenhängen, dass intentionale Intervallerzeugungen erst in dem nachfolgenden vokalen Entwicklungsstadium auftreten (Babbeln). Die Annahme einer Funktionstüchtigkeit des audio-vokalen Systems ab Geburt wird durch hirnhysiologische Perzeptionsuntersuchungen gestützt. Kushnerenko, Ceponiene et al. (2001) etwa haben eine sehr ähnliche Reaktion von Neugeborenen und Erwachsenen auf Abweichungen in zeitlichen Längen von präsentierten Tönen gefunden. Die Untersuchungen von Potentialmessungen (ERPs) bei Erwachsenen und Neugeborenen zeigten, dass, verglichen mit Erwachsenen, schon Neugeborene mit ähnlichen Abweichungen in den ERPs reagierten, wenn die präsentierten Töne mit zeitlichen Verlängerungen vorgespielt wurden (200 ms gegenüber 300 ms). Das zeigt, dass zumindest die Verarbeitung bei Neugeborenen schon sehr reif ist. Des Weiteren konnten auch Winkler, Haden et al. (2009) sowie Haden, Honing et al. (2015) feststellen, dass die Wahrnehmung einer auditiven Zeitstruktur („temporal structure of sound sequences“ (Haden, Honing et al. 2015)) schon von Geburt an nachweisbar ist. Ähnliches gilt für die Erkennung eines Musters in Tonhöhenabfolgen – „pattern detection“ – (Stefanics, Haden et al. 2007).

Geht man davon aus, dass sich diese perzeptiven Fähigkeiten, also die Wahrnehmung verschiedener Muster und geringer zeitlicher Differenzen, auch in den Produktionsleistungen widerspiegeln, würde das die Ergebnisse der

Intervallvermessung erklären. Die Intervalle stellen im Grunde ein Muster aus Tonhöhenabfolgen dar, dass sich in einem bestimmten Zeitgefüge realisiert.

Jaffe, Beebe et al. (2001) begründen die angeborenen Fähigkeiten zur zeitlichen Koordinierung innerhalb des audio-vokalen Systems damit, dass sie notwendig sind, um mit der Umgebung kommunizieren zu können. Das Vermögen hierzu wurde bei Kindern im Alter ab 4 Monaten gezeigt.

Die Mediane der Absolutwerte für die Gesamtlängen der isolierten Einzelintervalle (-1-) liegen in den 16 Wochen zwischen Werten von 0,41 s und 0,56 s. Die Interquartilsabstände variieren relativ regelmäßig mit einer Spanne von 25 ms.

Ein Unterschied wurde allerdings wiederum bei getrennter Analyse der Intervalllängen nach ihren Richtungen beobachtet: die Boxplots der fallenden Intervalle (\searrow) beinhalten größere Werte für die Intervallgesamtlänge als die der steigenden. Die Spanne zwischen fallenden und steigenden Intervallen wird ab ca. der 7./8. Woche deutlicher. Dies ist auch der Zeitpunkt, ab dem die fallenden Intervalle (bei -1- und -12-) vermehrt auftraten und unterstützt die Annahme, dass die Zeit um den 2. Lebensmonat einen wichtigen Zeitpunkt in der vorsprachlichen Entwicklung ausmacht (Wermke, Leising et al. 2007). Die auffallende Stabilität, die sich in der Gesamtlänge gezeigt hat, war auch in den Einzelelementen zu finden.

Eine weitere wichtige Eigenschaft der Intervalle, die für eine Stabilität der zugrundeliegenden zeitlichen Regelmechanismen spricht, war die für die Intervallvarianten -1- und -12- gefundene Häufung relativ gleichlanger Plateaus innerhalb eines Intervalls (Isochronie von vorderem und hinterem Plateau, Kapitel 3.3.1 und 3.3.2, s.a. Abbildung 21 - 24). Dass dieses Phänomen der Isochronie höchstwahrscheinlich nicht auf ein methodisches Artefakt zurückzuführen ist, wurde durch Variation der Plateaumindestlängen geprüft. Immer wieder zeigte sich dieses Phänomen, wenn auch in verschieden starker Ausprägung.

Auch die manuelle Cursorsetzung hat dieses Phänomen nicht verursacht, was durch die Überprüfung der Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit anhand zufällig ausgewählter Laute diese Vermutung demonstriert werden konnte. Außerdem trat der Isochronieeffekt bei den -1- Intervallen selbst dann deutlich hervor, wenn nur Teilmengen betrachtet wurden. (s. Ergebnisse 3.3.1). Daher scheint eine tatsächliche „Präferenz“ (Zeitkonstanz) für eine annähernd identische Länge der beiden Plateaus eines Intervalls zu bestehen. Auch dies ist ein Hinweis auf regelhafte Vorgänge bei einer temporalen Feinstruktur der Lauterzeugung.

Die in Untersuchungen von Kushnerenko, Ceponiene et al. (2001) verwendete Differenz unterstützt das hier gewählte Kriterium von 100 ms als Untergrenze für die Plateaulänge. Der Befund, dass schon Neugeborene diese kurze Zeitspanne detektieren können, spricht zumindest von perzeptiver Seite für eine sinnvoll gewählte minimale Grenze der Plateaulänge. Eine eventuell noch kürzere Untergrenze für ein Intervallplateau festzulegen oder gar ohne Grenze zu arbeiten, würde analoge methodische Probleme ergeben.

Die hohe Konstanz der temporalen Größen zeigte sich auch in der Übergangsteilheit, also der Geschwindigkeit des Tonwechsels innerhalb eines Intervalls. Auch hier war kein Entwicklungseffekt im Untersuchungszeitraum auszumachen.

Geht man also davon aus, dass dem Isochroniephänomen eine Regelhaftigkeit zu Grunde liegt, gilt es, die Ursache zu erforschen. Ein möglicher Ansatz ist dabei eine schon zu diesem frühen Zeitpunkt vorhandene Präferenz für einen bestimmten Rhythmus, ob erlernt oder angeboren. Otte, Winkler et al. (2013) haben gezeigt, dass Kinder im Alter von 2 Monaten rhythmische Veränderungen in ihnen vorgespielten Sequenzen identifizieren können. Sogar Neugeborene nehmen rhythmische Veränderungen in den ihnen präsentierten Takten wahr (Winkler, Haden et al. 2009). Ullal-Gupta, Vanden Bosch der Nederlanden et al. (2013) postulierten in diesem Kontext einen Zusammenhang mit dem mütterlichen Herzschlag, der eine pränatale rhythmische Prägung

liefern könnte. „The fetus' first metronome“ (Ullal-Gupta, Vanden Bosch der Nederlanden et al. (2013) S. 2), das erste fetale Metronom, wie sie es nennen, gibt einen 1:1-Rhythmus vor – quasi eine Isochronie. Normwerte für die zeitliche Länge der P-Welle wie auch für den QRS-Komplex werden mit jeweils $\leq 0,1s$ angegeben (v. Olshausen 2005) angegeben. Weitere Autoren geben für den normalen QRS-Komplex zeitliche Längen von ≤ 110 ms bei Erwachsenen, ≤ 100 ms bei Kindern im Alter von 4 bis 16 Jahren und < 90 ms bei unter 4-jährigen an (Haverkamp 2018.). Die Bedeutung des Herzrhythmus der Mutter für den Säugling zeigt ein Versuch von (DeCasper und Sigafos 1983). Acht Neugeborenen wurde, während sie an einem Nuckel saugten, ein mütterlicher Herzschlag (aufgezeichnet im 8. Schwangerschaftsmonat) über Kopfhörer vorgespielt. Den Neugeborenen wurde, abhängig von gemessenen Pausenlängen zwischen Saugsequenzen, der Herzrhythmus nur dann weiter vorgespielt, wenn die Pausen im Vergleich zur Kontrollphase deutlich kürzer ($< 30\%$, 1. Gruppe) oder tendenziell gleichlang und länger ($\geq 70\%$, 2. Gruppe) waren. Alle 8 untersuchten Neugeborenen veränderten ihr Saugmuster dahingehend, dass der Herzschlag weiter vorgespielt wurde. Dies spricht für eine Präferenz zum Hören des Herzschlages.

Bei Erwachsenen ist die Wirkung isochroner Rhythmen belegt: „[...] adult listeners appear to be strongly drawn towards temporal isochrony in both perception and production. For example, when asked to spontaneously invent or repeat rhythmic patterns, Western adults produce either isochronous intervals (e.g. 1:1) or simple long-short rhythms with 2:1 ratio“ [Ullal-Gupta, Vanden Bosch der Nederlanden et al. (2013)]. Spielt der mütterliche Herzschlag bei Rhythmusimitationen tatsächlich eine Rolle, müsste sich dies auch bei Probanden anderer Musikkulturen zeigen. Das ist nach Recherchen der Autorin vorliegender Arbeit bisher nicht untersucht.

Die Präferenz der Erzeugung isochroner Plateaulängen in Intervallstrukturen sollte in weiteren Untersuchungen auch bei Risikokindern für Sprech-/Spracherwerbsstörungen untersucht werden; vielleicht ist dies ein einfach zu ermittelnder potentieller Risikomarker. Den pränatal gehörten

Herzschlagrhythmus in der eigenen Lautproduktion umzusetzen, gelingt nur bei intakter audio-vokaler Regelung.

4.1.4 Analyse der mittleren Grundfrequenzen der Plateaus ($gMW(F_0)$)

Neben der zeitlichen Komponente in kindlichen Lauten spielt die Tonhöhe eine entscheidende Rolle. Dabei ist vor allem die zeitliche Veränderung der Grundfrequenz (Melodie) bedeutend ((Wermke und Mende 2011) s. auch Kapitel 1). Der Frequenzwechsel ist ein wesentlicher Aspekt bei der Produktion der Intonation in der Sprache und der Produktion musikalischer Melodien (Trevvarthen 1999, Brown 2001, Molino 2001, Trehub 2001, Trehub 2001, Angenstein, Scheich et al. 2012).

Ähnlich wie bei den temporalen Eigenschaften zeigte sich auch in den Frequenzeigenschaften der Plateaus eine geringe Variabilität. Diese Stabilität beschreibt auch Dobnig (2017) für Intervalle in Neugeborenenlauten. In der vorliegenden Arbeit zeigte sich dies vor allem bei der Strukturkategorie -1-. Weniger wichtig als die Intervallrichtung war für die jeweilige Plateauhöhe, ob es sich um das „untere“ oder das „obere“ Plateau handelte: jedes Intervall besteht aus einem höher liegenden und einem tiefer liegenden Plateau. Das höher liegende („obere“) Plateau ist in fallenden Intervallen das vordere (Pv), in steigenden das hintere (Ph). Bei der Analyse zeigte sich, dass sich jeweils die Mediane und Verteilungen der Frequenzwerte ($gMWF_0$) der „oberen“ und die der „unteren“ Plateaus stark ähnelten. In den entsprechenden Boxplots zeigte sich daher eine fast spiegelbildliche Darstellung. Es gab abgegrenzte Bereiche, in denen sich die jeweils niedriger bzw. höher liegenden Plateaus befanden (s. Kapitel 3.3.5: Abbildung 43). Dieser Befund zeigte sich auch bei der kindbasierten Analyse (Abbildung 44). Dass die Verteilungen auch hier für (fast) jedes Kind annähernd spiegelbildlich waren, obwohl diese in verschiedenen Tonlagen lautierten, stützt die Annahme einer „Zielfrequenz“ für das jeweilige Plateau, die erreicht werden soll. Auch in diesen Kenngrößen der Intervalle könnte ein Potential für eventuelle Risikomarker liegen. Diese Ausführungen beziehen sich hauptsächlich auf die Intervalle der Strukturkategorie -1-.

4.1.5 Intervallgrößen

Schon Darwin (1998) postulierte eine enge Verbindung zwischen Musik und Sprache. Auch jüngere Untersuchungen stützen die Theorie der gemeinsamen Wurzel von Musik und Sprache: Ross, Choi et al. (2007) haben in ihren Untersuchungen Hinweise darauf gefunden, dass beim Sprechen von Vokalen (im Englischen) in den Formanten bevorzugt die Tonhöhenabstände der chromatischen Tonleiter vorkommen („These results imply that human preference for the intervals of the chromatic scale arises from experience with the way speech formants modulate laryngeal harmonics to create different phonemes“, Ross, Choi et al. (2007) S.9852).

Den relativen Frequenzhöhen wird eine besondere Bedeutung bei der Wahrnehmung von Sprechmelodien (Intonation) und Musik zugeschrieben (Thompson 2013). Zuhörer können durch die Fähigkeit zum Erkennen relativer Tonhöhen Melodien verarbeiten (Thompson und Schellenberg 2006). Plantinga und Trainor (2005) haben in ihren Untersuchungen Hinweise darauf gefunden, dass Säuglinge im Alter von 6 Monaten relative Tonänderungen leichter speichern als absolute. Auch in der Sprache dienen nach Huron und Royal (1996), die sich unter anderem auf Lerdahl und Jackendoff (1983) beziehen, große melodische Intervalle zur Akzentuierung des Gesagten. Schon bei Neugeborenen konnte die Fähigkeit zur Unterscheidung von Tonhöhendifferenzen nachgewiesen werden: Novitski, Huotilainen et al. (2007) fanden in hirnphysiologischen Untersuchungen (EKP-Messungen) deutliche Reaktionen (mismatch response) auf Abweichungen von 20% in Frequenzbereichen zwischen 250 und 4000 Hz, allerdings nicht auf kleinere Frequenzvariationen (5%). Größere Intervalle wurden demnach als möglicherweise stärker aufmerksamkeitsregend interpretiert. Allerdings liegen 5% und 20% sehr weit auseinander (fast zwei Ganztöne vs. weniger als ein Halbton) und man kann, da Zwischenwerte fehlen, der Interpretation nur bedingt folgen. Trehub, Cohen et al. (1986) konnten motorische Reaktionen auf Melodieunterschiede (das Kind dreht den Kopf um 45°) schon bei einem Halbton feststellen. Dabei ist aber anzumerken, dass sich die untersuchten

Probanden in einem Alter von 9 – 11 Monaten bzw. 8 Monaten (Trainor und Trehub 1992) befanden.

Die Verteilung der gemessenen Intervalle in der vorliegenden Arbeit zeigte ein deutliches Überwiegen der kleinen Intervalle in den Lautproduktionen. Die folgenden Intervallgrößen – große Sekunde, kleine Terz, große Terz, Quarte, verminderte Quinte, ... - treten mit absteigender Häufigkeit auf (s. Kapitel 3.4). Intervalle im Bereich des Halbtons traten am häufigsten auf: Ein prozentualer Anteil von ca. 50% der Intervallgrößen lag im Bereich um die kleine Sekunde. Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit Vorgängerarbeiten (Dobnig (2017), Stephan (2017)). Auch die Prime wurde, wie in den Vorgängerarbeiten, beobachtet. Die deutliche Überzahl an Intervallen im Bereich der kleinen Sekunde korreliert mit der Beobachtung einer Bedeutung des Halbtonschrittes im westlichen Sprachraum (Trehub, Cohen et al. 1986). Bezüglich der Perzeption zeigten Probanden mit musikalischer Vorprägung (westliche Musik) eine noch höhere Diskriminierungsfähigkeit (Untergrenze von 100 Cent, ≈ 1 Halbton) bei Tonhöhenunterschieden gegenüber Nicht-Musikern (Diskriminierungsgrenze von 125 Cent (Zarate, Ritson et al. 2012)).

Auch Patel (2008) beschreibt eine Vorliebe für kleine Intervalle in Melodien gesprochener Sprache, allerdings bezüglich der Intervallproduktion. Dabei sieht er eine Verknüpfung von Musik und Sprache bezüglich ihrer Tonhöhen. Es sei möglich, so Patel, dass Muster, die also auch die Tonhöhe beinhalten, von gesprochener Umgebungssprache unbewusst erlernt werden. Diese würden dann wohlmöglich entsprechend in der Musik wiedergefunden. Allerdings konnte Patel in der Sprache eine noch stärkere Häufung der kleinen Intervallgrößen ausmachen, als in der Musik zu finden war.

In der vorliegenden Arbeit wurden Verteilungseigenschaften der gemessenen Intervallgrößen unter Verwendung verschiedener Bins untersucht. Während bei Halb- und Vierteltonbins die kleine Sekunde sehr markant war, zeigte sich in der Darstellung mit schmalen Balken (1/8- und 1/16-Bins) (s. Kapitel 3.4) am häufigsten ein Verhältnis der Intervallplateaus, das ca. 1/8-Ton unter der

kleinen Sekunde lag. Es tritt also nicht der exakte musikalische Halbton aus der Verteilung hervor, sondern Intervalle, die tendenziell im Bereich eines Halbtones liegen. Diese Befunde sind mit denen von Patel (2008) vereinbar („level tones in prosograms in British English and French sentences“: „intervals between 0-1, 1-2, and 2-3 semitones, respectively, are 35%, 21%, and 19%“, S.221).

Aufgrund einer nicht unbegrenzt möglichen Unterteilung der Daten wurde, wie in den Ergebnissen beschrieben (Kapitel 3.4), in einer weiteren Betrachtung ein zeitlicher Zusammenhang der Intervallgrößen untersucht (Abbildung 53). Die Intervalle wurden nach der Größe ihrer Intervallverhältnisse in 4 gleichgroße Gruppen aufgeteilt und deren Verteilung über den Untersuchungszeitraum betrachtet. Dabei ließen sich folgende Beobachtungen machen: Für das oberste Quartil – also dasjenige, in dem die größten Intervalle zusammengefasst waren – deutete sich eine zeitliche Entwicklung an. Auffällig war der in der ersten Woche sehr niedrige Anteil der größeren Intervallspannen. Anscheinend werden sehr große Intervalle vorwiegend nach der ersten Woche produziert. Außerdem fiel bei einer vergleichenden Betrachtung nur der ersten Woche eine starke Häufung der kleinen Intervallverhältnisse auf, während die Häufigkeiten für einen steigenden Plateauabstand abnehmen. Kleinere Intervalle scheinen leichter zu produzieren sein als größere, welche daher erst zu einem späteren Zeitpunkt auftauchen.

Thompson, Peter et al. (2012) betonen, dass die vermittelte Information aus den Tonhöhenverläufen subjektiv unterschiedlich wahrgenommen werden kann. So werden Intervalle in Abhängigkeit von ihren absoluten Tonhöhen unterschiedlich groß bewertet. Die Bewertung hing auch von der Richtung des Intervallverlaufs ab (fallend oder steigend). Thompson, Peter et al. (2012) begründen dies in einer von Probanden erwarteten Regression zur Mitte („regression to the mean“ Thompson, Peter et al. (2012), S.2056), was die Tonhöhe anbelangt. Bei höheren Tönen werden tendenziell also eher fallende Intervalle erwartet, bei tieferen Tönen steigende, quasi hin zu weniger extremen Werten. Verläuft die Wahrnehmung entgegen dieser Erwartung, so wird das

Intervall als bedeutender/ größer eingeschätzt. Thompson, Peter et al. (2012) haben auch nur Einflüsse der Intensität auf die empfundene Tonhöhe untersucht. Sowohl die absolute Höhe der Intensität als auch der Anstieg oder Abfall der Intensität beeinflussen die Wahrnehmung der Tonhöhe. Die Intensität wurde in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt. Dies könnte ein interessanter Ansatz für weiterführende Arbeiten sein.

5 Zusammenfassung

Frühkindliche Lautäußerungen lassen sich aus entwicklungsdiagnostischer Perspektive am besten anhand unterschiedlicher Melodieeigenschaften charakterisieren. Eine Analyse dieser Eigenschaften bei unauffälligen Kindern am ZVES dient dazu, Referenzwerte für geeignete Messgrößen zu erarbeiten und diese für Vergleiche mit Risikokindern für Sprech-/Sprachstörungen zu nutzen. Intervallartige Strukturen könnten aufgrund der Stabilität ihrer Eigenschaften geeignete Kandidaten für die Entwicklung potentieller Risikomarker sein. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, intervallartige Strukturen in spontanen Lautproduktionen gesunder Säuglinge zu identifizieren und quantitativ zu analysieren. Es wurden Lautäußerungen über einen Zeitraum der ersten 16 Lebenswochen von Säuglingen längsschnittlich ausgewertet. Die Lautaufnahmen lagen in Form anonymisierter Audiofiles im Datenarchiv am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) vor. Eine Vorauswahl geeigneter Vokalisationen erfolgte anhand einer audiovisuellen Auswertung ihrer Frequenzspektren. Vokalisationen (spontanes Weinen) mit klarer, ungestörter (noise-free) Melodie wurden mit Hilfe des Programms CDAP (pw-project©) bezüglich ihrer Intervallphänomene analysiert.

Es zeigte sich, dass in fast der Hälfte aller untersuchten Melodien Intervallstrukturen identifiziert werden konnten. Den Hauptanteil bildete die Gruppe der isolierten Einzelintervalle, gefolgt von der Gruppe der Vokalisationen mit zwei zusammenhängenden Intervallen in der Melodie. Beide machten knapp $\frac{3}{4}$ der Gesamtzahl aus. Intervalle wurden bezüglich ihrer Intervallrichtung (*steigend* bzw. *fallend*), der zeitlichen Längen einzelner Elemente sowie der mittleren Grundfrequenz der beiden Plateaus untersucht. Auffällig war der höhere Anteil fallender Intervalle gegenüber steigenden Intervallen. Dies wurde hypothetisch mit einer Tendenz zum deutschen fallenden Intonationsmuster interpretiert. Die zeitlichen Längen der fallenden Intervalle zeigten auch eine geringere Variabilität. Insgesamt ließ sich bezüglich der zeitlichen Längen einzelner Intervallelemente (vorderes/ hinteres Plateau,

Übergang) eine erstaunliche Stabilität über den Untersuchungszeitraum feststellen. Die Konstanz der zeitlichen Größen stützt die Annahme, dass Intervallphänomene geeignete Risikomarker liefern könnten. Dazu sind entsprechende Vergleichsuntersuchungen in nachfolgenden Arbeiten notwendig.

Auch die Beobachtung des „Isochronie-Phänomens“ der vorderen und hinteren Plateaulängen stützt die sehr geringe Variabilität der Zeitgrößen, die der Intervallerzeugung zu Grunde liegen. Alle Phänomene traten unabhängig von der individuellen Tonlage der Säuglinge beim Weinen auf.

In hoher Übereinstimmung mit Vorarbeiten zu Intervallstrukturen bei Neugeborenen und Untersuchungen von Sprechmelodien und deren Wahrnehmung wurde ein enger Bereich um den musikalischen Halbton als präferiertes Intervall identifiziert. Auch zeigte sich eine stabile Verteilung der Intervalle mit einer Abnahme vom Halbton zu größeren Intervallen im gesamten Untersuchungszeitraum.

Um die Befunde besser erklären zu können, sind weitere Untersuchungen notwendig. Dabei wäre ein noch größerer Datensatz wünschenswert. Eine Betrachtung eines noch längeren Zeitraums würde klären, ob sich das Vorherrschen fallender Intervalle auch in Komfortvokalisationen (Babbeln) zeigt oder sich sogar noch deutlicher darstellt. Dies würde die Annahme eines Zusammenhangs mit der späteren Sprachintonation stützen.

Nicht berücksichtigt wurde in der Arbeit der Zusammenhang der Intervallbildung mit der Intensität. Da die Intervallperzeption intensitätsabhängig ist, wird die Einbeziehung dieser Größe in zukünftigen Untersuchungen vorgeschlagen.

6 Literaturverzeichnis

- Angenstein, N., H. Scheich and A. Brechmann (2012). Interaction between bottom-up and top-down effects during the processing of pitch intervals in sequences of spoken and sung syllables. *Neuroimage* 61(3): 715-722.
- Birnholz, J. C. and B. R. Benacerraf (1983). The development of human fetal hearing. *Science* 222(4623): 516-518.
- Boersma, P. and D. Weenink (2011). Praat: Doing phonetics by computer. (Version 5.2.46), <http://www.praat.org/>
- Borysiak, A., V. Hesse, P. Wermke, J. Hain, M. Robb and K. Wermke (2016). Fundamental Frequency of Crying in Two-month-old Boys and Girls: Do Sex Hormones During Mini-puberty Mediate Differences? *J Voice* 2017 Jan;31(1) [Epub ahead of print 2016 Jan 14;] Pages 128.e21–128.e28.
- Brown, S. (2001). The "Musilanguage" Model of Music Evolution. *The Origins of Music*. N. Wallin, B. Merker and S. Brown. Cambridge, MA: MIT Press: 279-286.
- Dahlem, M. M. (2008). Untersuchung akustischer Eigenschaften spontaner Lautäußerungen japanischer Neugeborener - ein Beitrag zur Erarbeitung sprachuniverseller Frühindikationen für Sprachentwicklungsstörungen bei Säuglingen mit orofazialen Spalten. Dissertationsschrift, Universität Würzburg.
- Darwin, C. (1998). *The Expression of the Emotions in Man and Animals*, Oxford University Press: 91-92
- Darwin, C. J. (1997). Auditory grouping. *Trends Cogn Sci* 1(9): 327-333.
- DeCasper, A. J. and A. D. Sigafos (1983). The intrauterine heartbeat: A potent reinforcer for newborns. *Infant Behavior and Development* 6(1): 19-25.
- Dobnig, D. (2017). Quantitative Analyse von F0-Intervallstrukturen in Lautäußerungen von Neugeborenen mit tonaler Sprachumgebung – Ein Beitrag zur Identifikation potenzieller Risikomarker für Sprachentwicklungsstörungen. Dissertationsschrift, Universität Würzburg.
- Feng, Y. (2018). Frequenzmodulationseigenschaften von Neugeborenenlauten bei tonaler Sprachumgebung - ein Beitrag zur Erarbeitung von Referenzdaten für die Vorsprachliche Diagnostik. Dissertationsschrift, eingereicht. Universität Würzburg.
- Gingras, J., E. Mitchell and K. Grattan (2005). Fetal homologue of infant crying. *Archives of Disease in Childhood. Fetal and Neonatal Edition* 90(5): F415-F418.

- Haden, G. P., H. Honing, M. Torok and I. Winkler (2015). Detecting the temporal structure of sound sequences in newborn infants. *Int J Psychophysiol* 96(1): 23-28.
- Han, S., J. Sundararajan, D. L. Bowling, J. Lake and D. Purves (2011). Co-variation of tonality in the music and speech of different cultures. *PLoS One* 6(5): e20160.
- Hartnick, C. J., R. Rehbar and V. Prasad (2005). Development and maturation of the pediatric human vocal fold lamina propria. *Laryngoscope* 115(1): 4-15.
- Haverkamp, P. D. m. W. (2018). Normales EKG - QRS-Komplex <https://www.fokus-ekg.de/inhalt-von-a-z/normales-ekg/qrs-komplex/>. - abgerufen: 03.05.2018
- Hepper, P. G. (1988). Fetal "soap" addiction. *Lancet* 1(8598): 1347-1348.
- Hepper, P. G. and B. S. Shahidullah (1994). Development of fetal hearing. *Arch Dis Child* 71(2): F81-87.
- Huron, D. and M. Royal (1996). What is melodic accent? Converging evidence from musical practice. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal* 13(4): 489-516.
- Jaffe, J., B. Beebe, S. Feldstein, C. L. Crown, M. D. Jasnow, P. C. b. Rochat and D. N. C. b. Stern (2001). *Rhythms of Dialogue in Infancy: Coordinated Timing in Development*, Wiley-Blackwell: 89-91, 134
- Kushnerenko, E., R. Ceponiene, V. Fellman, M. Huutilainen and I. Winkler (2001). Event-related potential correlates of sound duration: similar pattern from birth to adulthood. *Neuroreport* 12(17): 3777-3781.
- LaGasse, L. L., A. R. Neal and B. M. Lester (2005). Assessment of infant cry: acoustic cry analysis and parental perception. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* 11(1): 83-93.
- Lenarz, T. and H.-G. Boenninghaus (2012). *HNO*: 8-9
- Lerdahl, F. and R. S. Jackendoff (1983). *A Generative Theory of Tonal Music*, MIT Press: 17
- Lieberman, P. (1985). The physiology of cry and speech in relation to linguistic behavior: 29-57
- Lind, K. (2007). *Untersuchung spektraler und melodischer Eigenschaften von Säuglingsschreien. Eine Longitudinalstudie über die ersten 16 Lebenswochen im Rahmen der Deutschen Sprachentwicklungsstudie. Dissertationsschrift, Universität Würzburg.*

- Mampe, B., A. D. Friederici, A. Christophe and K. Wermke (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Curr Biol* 19(23): 1994-1997.
- Mithen, S. J. (2006). *The singing Neanderthals: The origins of music, language, mind and body*. London: Phoenix: 63
- Molino, J. (2001). *Toward an Evolutionary Theory of Music and Language. The origins of music*. N. Wallin, B. Merker and S. Brown. Cambridge, MA: MIT Press: 168 - 173.
- Novitski, N., M. Huotilainen, M. Tervaniemi, R. Naatanen and V. Fellman (2007). Neonatal frequency discrimination in 250-4000-Hz range: electrophysiological evidence. *Clin Neurophysiol* 118(2): 412-419.
- Otte, R. A., I. Winkler, M. A. Braeken, J. J. Stekelenburg, O. van der Stelt and B. R. Van den Bergh (2013). Detecting violations of temporal regularities in waking and sleeping two-month-old infants. *Biol Psychol* 92(2): 315-322.
- Partanen, E., T. Kujala, M. Tervaniemi and M. Huotilainen (2013). Prenatal music exposure induces long-term neural effects. *PLoS One* 8(10): e78946.
- Patel, A. D. (2008). *Music, language, and the brain*. Oxford; New York, Oxford University Press: 220-221
- Plantinga, J. and L. J. Trainor (2005). Memory for melody: infants use a relative pitch code. *Cognition* 98(1): 1-11.
- 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, Universität Würzburg, Medizinische Fakultät.
- Querleu, D., X. Renard, F. Versyp, L. Paris-Delrue and G. Crepin (1988). Fetal hearing. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 28(3): 191-212.
- Reissland, N., B. Francis, L. Buttanshaw, J. M. Austen and V. Reid (2016). Do fetuses move their lips to the sound that they hear? An observational feasibility study on auditory stimulation in the womb. *Pilot Feasibility Stud* 2: 14.
- Ross, D., J. Choi and D. Purves (2007). Musical intervals in speech. *Proc Natl Acad Sci U S A* 104(23): 9852-9857.
- Spence, M. J. and M. S. Freeman (1996). Newborn infants prefer the maternal low-pass filtered voice, but not the maternal whispered voice. *Infant Behavior and Development* 19(2): 199-212.

- Starr, A., R. N. Amlie, W. H. Martin and S. Sanders (1977). Development of auditory function in newborn infants revealed by auditory brainstem potentials. *Pediatrics* 60(6): 831-839.
- Stefanics, G., G. Haden, M. Huotilainen, L. Balazs, I. Sziller, A. Beke, V. Fellman and I. Winkler (2007). Auditory temporal grouping in newborn infants." *Psychophysiology* 44(5): 697-702.
- Stephan, S. (2017). Quantitative Analyse von F0-Intervallstrukturen in den Lautäußerungen von gesunden, normalhörenden Säuglingen. Dissertationsschrift, Universität Würzburg.
- Thompson, W. F. (2013). 4 - Intervals and Scales A2 - Deutsch, Diana. *The Psychology of Music (Third Edition)*, Academic Press: 107-140.
- Thompson, W. F., V. Peter, K. N. Olsen and C. J. Stevens (2012). The effect of intensity on relative pitch. *Q J Exp Psychol (Hove)* 65(10): 2054-2072.
- Thompson, W. F. and E. G. Schellenberg (2006). *MENC Handbook of Musical Cognition and Development*, Oxford University Press, Inc.: 84
- Thorpe, L. A. and S. E. Trehub (1989). Duration illusion and auditory grouping in infancy. *Developmental Psychology* 25(1): 122.
- Trainor, L. J. and S. E. Trehub (1992). A comparison of infants' and adults' sensitivity to western musical structure. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 18(2): 394-402.
- Trehub, S. E. (2001). Human Processing Predispositions and Musical Universals. *The Origins of Music*. N. Wallin, B. Merker and S. Brown. Cambridge, MA: MIT Press: 431.
- Trehub, S. E. (2001). Musical predispositions in infancy. *Ann N Y Acad Sci* 930: 1-16.
- Trehub, S. E., A. J. Cohen, L. A. Thorpe and B. A. Morrongiello (1986). Development of the perception of musical relations: semitone and diatonic structure. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 12(3): 295-301.
- Trevarthen, C. (1999). Musicality and the Intrinsic Motive Pulse: Evidence from Human Psychobiology and Infant Communication: 155-215
- Ullal-Gupta, S., C. M. Vanden Bosch der Nederlanden, P. Tichko, A. Lahav and E. E. Hannon (2013). Linking prenatal experience to the emerging musical mind. *Front Syst Neurosci* 7 (article 48): 1-7
- v. Olshausen, K. E. (2005). *EKG-Information Heidelberg*, Steinkopff: 55, 83-84
- Weigl, R. (2012). *Lärm oder Lied? Analyse musikalischer Intervalle in den Lautäußerungen von Säuglingen als komplexe vorsprachliche Fähigkeit*. Diplomarbeit. Universität Würzburg.

- Wermke, K. (2002). Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten Zwillingen in den ersten 5 Lebensmonaten. Habilitationsschrift, Universitätsklinikum Charité Berlin
- Wermke, K., D. Leising and A. Stellzig-Eisenhauer (2007). Relation of melody complexity in infants' cries to language outcome in the second year of life: a longitudinal study. *Clin Linguist Phon* 21(11-12): 961-973.
- Wermke, K. and W. Mende (1992). Sprache beginnt mit dem ersten Schrei. *Spektrum der Wissenschaft*(Dezember 1992): 115-118.
- Wermke, K. and W. Mende (2009). Musical elements in human infants cries: In the beginning is the melody. *Musicae Scientiae* 2009-2010: Special Issue. *Music and Evolution*: 151-175.
- Wermke, K. and W. Mende (2011). From emotion to notion: the importance of melody. *The Oxford handbook of social neuroscience*: 624-648.
- Wermke, K., W. Mende, C. Manfredi and P. Brusciaglioni (2002). Developmental aspects of infant's cry melody and formants. *Med Eng Phys* 24(7-8): 501-514.
- Wermke, K., Y. Ruan, Y. Feng, D. Dobnig, S. Stephan, P. Wermke, L. Ma, H. Chang, Y. Liu, V. Hesse and H. Shu (2016). Fundamental Frequency Variation in Crying of Mandarin and German Neonates. *J Voice*. 2017 Mar;31(2) [Epub ahead of print 2016 Jul 7] Pages 255.e25–255.e30
- Wermke, K., J. Teiser, E. Yovsi, P. J. Kohlenberg, P. Wermke, M. Robb, H. Keller and B. Lamm (2016). Fundamental frequency variation within neonatal crying: Does ambient language matter? *Speech, Language and Hearing* 19(4): 211-217.
- Winkler, I., G. P. Haden, O. Ladinig, I. Sziller and H. Honing (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106(7): 2468-2471.
- Zarate, J. M., C. R. Ritson and D. Poeppel (2012). Pitch-interval discrimination and musical expertise: is the semitone a perceptual boundary? *J Acoust Soc Am* 132(2): 984-993.

Danksagung

Zu allererst bedanke ich mich bei Frau Professorin Dr. Kathleen Wermke (Leiterin ZVES), die mir das Promotionsthema überlassen und damit die Dissertation erst ermöglicht hat. Vielen herzlichen Dank für die fachliche und methodische Beratung und auch die Unterstützung in „nicht-wissenschaftlichen“ Bereichen während meiner Forschungstätigkeit am ZVES.

Bei Frau Professorin Dr. Wafaa Shehata-Dieler, Leitende Ärztin mit Schwerpunkt Audiologie, Pädaudiologie, Elektrophysiologie und Phoniatrie an der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen Würzburg, bedanke ich mich herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Auch möchte ich mich bei Herrn Peter Wermke bedanken, der nicht nur das Programm CDAP (pw-project ©) zur Verfügung gestellt hat, sondern darüber hinaus auch bei allen Fragen zu den verwendeten Programmen und in der Datenverwaltung mit Rat und Tat zur Seite stand.

Weiterhin gilt mein Dank den anderen Doktoranden und Mitarbeitern am ZVES, mit denen die Zusammenarbeit sehr fair, freundschaftlich und fachlich anregend war. Insbesondere bedanke ich mich bei Doreen Kiesel für die schöne Zeit und die enge Zusammenarbeit mit hilfreichen Diskussionen.

Zu guter Letzt möchte ich mich für die Unterstützung bei meiner Familie bedanken.