

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

Poliklinik für Kieferorthopädie

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

---

**Sequenzbasierte Längsschnittanalyse temporaler und  
rhythmischer Eigenschaften der Vokalisationssequenzen von  
Säuglingen ohne orofaziale Spaltbildungen**

**Inauguraldissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Eugen Weissmann

aus Chişinău

Würzburg, Oktober 2022

**Referentin:** Prof. Dr. rer. nat. Kathleen Wermke  
**Korreferent:** Prof. Dr. med. Johannes Wirbelauer  
**Dekan:** Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung:

14.03.2023

Der Promovend ist Zahnarzt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>6</b>
2.1	Probandenkollektiv und Datenbasis .....	6
2.2	Datenaufbereitung .....	9
2.3	Datenanalyse in PRAAT .....	10
2.3.1	Manuelles Segmentieren.....	10
2.3.2	Einsatz des Praat-Skripts .....	14
2.4	Statistische Auswertung .....	18
2.4.1	Explorative und deskriptive Statistik.....	19
2.4.2	Gemischte Modelle und hierarchische Datenstruktur .....	19
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>24</b>
3.1	Darstellung der Ergebnisse des Selektionsprozesses des Rohdatensatzes .	24
3.2	Analysen auf Strophenebene .....	29
3.2.1	Analyse der Strophenanzahl und Strophenlänge.....	29
3.2.2	Analyse der Breakanzahl und Breaklänge zwischen Strophen .....	40
3.2.3	Analyse der Expirationsanzahl und Expirationslänge .....	50
3.2.4	Analyse der Inspirationen.....	58
3.3	Analysen auf Substrophenebene.....	66
3.3.1	Analyse der Substrophen.....	66
3.3.2	Analyse der Pausenanzahl und Pausenlänge zwischen Substrophen .....	75
3.4	Analyse der IOI-Anzahl und Länge.....	84
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>95</b>
4.1	Untersuchung temporaler Eigenschaften frühkindlicher Lautäußerungen im Längsschnitt.....	97
4.1.1	Verändern sich Anzahl und Länge von Strophen und Substrophen über den Beobachtungszeitraum hinweg? .....	97
4.1.2	Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in den Messgrößen Strophen- und Substrophelänge?.....	99
4.1.3	Verändern sich Anzahl und Länge der Expirationen und Inspirationen über den Beobachtungszeitraum hinweg? .....	100

4.1.4	Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in den Messgrößen Expirationslänge und Inspirationslänge? .....	101
4.2	Wie wirkte sich die Strophen- und Substrophendefinition auf die Ergebnisse aus?.....	101
4.3	Untersuchung rhythmischer Elemente der Säuglingsvokalisationen im Längsschnitt.....	102
4.3.1	Verändern sich die untersuchten rhythmischen Elemente über den Untersuchungszeitraum hinweg?.....	102
4.3.2	Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede für die rhythmischen Elemente? .....	104
4.4	Limitationen der vorliegenden Untersuchung und Vorschläge für zukünftige Studiendesigns.....	105
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>107</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>109</b>
<b>Appendix</b>		
<b>I.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	
<b>II.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	
<b>III.</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	
<b>IV.</b>	<b>Danksagung</b>	

## 1 Einleitung

Die gegenwärtige Forschung im Bereich der frühkindlichen Sprachentwicklung und vorsprachlichen Säuglingsvokalisationen nahm bereits in den 1960er Jahren ihren Ursprung in den Arbeiten von Bosma, Wasz-Höckert und anderen Pionieren dieses Gebiets (Bosma et al., 1965; Wasz-Höckert et al., 1962) und basierte vor allem auf der Untersuchung von Grundfrequenz, Intensität und temporalen Eigenschaften von einzelnen Vokalisationen. Der Forschungsbereich konzentrierte sich zunächst auf medizinisch unauffällige Säuglinge, später wurde das Spektrum etwa durch Philip Zeskind und Barry Lester in den USA oder John Lind in Schweden und vielen weiteren um vergleichende Studien mit diagnostisch auffälligen Neugeborenen erweitert (J. Lind et al., 1970; Michelsson et al., 1977; Prechtel et al., 1969; Zeskind & Lester, 1981).

Eines der wenigen Zentren weltweit mit dem Schwerpunkt in der Säuglingsschreiforschung findet sich am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) unter der Leitung von Prof. Dr. Kathleen Wermke an der Poliklinik für Kieferorthopädie (Direktorin: Prof. Dr. Angelika Stellzig-Eisenhauer) des Universitätsklinikums Würzburg. Zahlreiche Untersuchungen an Säuglingen mit und ohne orofaziale Spaltbildungen (OFS), Hörbehinderungen und anderen medizinischen Entitäten, die die Sprachentwicklung beeinflussen, wurden hier durchgeführt (Abels, 2014; Dobnig, 2017; Günzel, 2014; Hinderer, 2013; Kajtazovic, 2015; Kauffmann, 2018; Kunick, 2016; Ostermann, 2010; Pelzer, 2011; Vink, 2018; Wermke, 2002).

OFS gehören dabei mit einer Inzidenz von etwa 1:700 zu den häufigsten angeborenen Malformationen des Menschen (Brito et al., 2012). Sie umfassen ein Spektrum an Fehlbildungen; ihnen gemein ist jedoch eine nicht normverlaufende Embryonalentwicklung der orofazialen Strukturen. Säuglinge mit orofazialen Malformationen wie Lippen-Kiefer-Gaumenspalten zeigen typischerweise in Abhängigkeit von der Ausprägung der Spaltbildung selbst nach Wiederherstellung der physiologischen Verhältnisse nach kieferorthopädischer Plattentherapie und operativem Verschluss des harten und weichen Gaumens (je nach Spalttyp) einige Schwierigkeiten beim frühkindlichen Spracherwerb (Howard & Lohmander, 2011; Wyatt et al., 1996).

Die Sprachentwicklungsauffälligkeit der Patienten mit OFS scheint unter anderem dadurch bedingt, dass die sensible vorsprachliche Entwicklungsphase mit Lernprozessen

für die motorische Steuerung orofazialer Vokalisationsmuster durch interne wie externe Faktoren erschwert wird. Die Säuglinge sind zum einen den Limitationen ihrer jeweiligen Malformationen unter kontinuierlich stattfindenden physiologischen Reifungsprozessen unterworfen. Zum anderen bedingt die gleichzeitige Therapie fortwährende Veränderungen der orofazialen Situation. Dies beginnt mit dem Einsetzen der Gaumenplatte sowie ihrer regelmäßigen Anpassung an die sich entwickelnden anatomischen Strukturen. Aber auch die notwendigen operativen Eingriffe erfordern eine Adaptation des Kindes an die veränderte orofaziale Anatomie.

Diese erschwerten morphologischen Bedingungen könnten sich auch auf die Sprachregelkreise des Gehirns auswirken. So untersuchte Eiband (2018), ob die Interaktion zwischen der anatomischen Malformation und cerebralen Lernprozessen Auswirkungen auf die frühe Sprachentwicklung betroffener Säuglinge zeigt. Dabei fand die Autorin, dass nicht nur die Ausführungsqualität der Lautäußerungen durch die OFS beeinflusst wurde. Auch die Ausführungshäufigkeit artikulatorischer Sequenzen unterschied sich teilweise signifikant von der Vergleichsgruppe. Dies betraf jedoch nicht alle Säuglinge mit OFS; während manche Säuglinge scheinbar kaum durch ihre Malformation beeinträchtigt wurden, zeigten andere deutliche Vokalisationsauffälligkeiten. Eiband erklärt dies unter anderem mit einer unterschiedlichen Ausprägung der Spalte. Kinder mit geringer Spaltbreite können diese womöglich artikulatorisch besser kompensieren. Conrad et al. (2021) lieferte Hinweise darauf, dass durch Spaltbildungen verursachte morphologische Reifungsstörungen Auswirkungen auf cerebrale Regelkreise haben. Die Autoren untersuchten Lautaufnahmen von Säuglingen mit und ohne OFS und werteten parallel dazu am selben Tag aufgezeichnete cerebrale MRT-Aufnahmen aus. Dabei zeigte sich, dass insbesondere bei Säuglingen mit OFS zugleich Hirnreifungsstörungen im MRT und eine stärkere Segmentierung der am selben Tag aufgenommenen Vokalisationssequenzen beobachtet werden konnte. Segmentierungen sind ein Ausdruck der rhythmischen Variation von Säuglingsschreien und wurden von den Autoren der Studie innermelodisch, also innerhalb der einzelnen Vokalisationen, untersucht. Die vorliegende Arbeit möchte diesen Ansatz auf die Segmentierung ganzer Vokalisationssequenzen ausdehnen und untersucht zusätzlich die Segmentierungspausen zwischen einzelnen Vokalisationen im zeitlichen Kontext.

Es existieren also zwar bereits erste Untersuchungen zur Identifikation von Frühindikatoren zur Erkennung von Risikokindern sowohl unter OFS-Patienten als auch unter Vergleichskindern ohne OFS in der vorsprachlichen Entwicklungsphase. Diese konzentrieren sich aber auf die Analyse einzelner, aus dem zeitlichen Kontext herausgeschnittener Vokalisationen. Das komplexe zeitliche Zusammenspiel der Lautäußerungen einer Sequenz wird durch eine Betrachtung ausschließlich auf Lautebene außer Acht gelassen. Aus diesem Grund war der Ansatz der vorliegenden Arbeit, die bisherigen Untersuchungen auf Lautebene durch eine Analyse aus neuer Perspektive zu ergänzen. Es sollten nicht nur einzelne Laute, unabhängig von ihrer Einbettung in die Schreisequenz, sondern ganze, zeitlich zusammenhängende Sequenzen von Einzelvokalisationen ausgewertet und damit erstmalig deren rhythmische Eigenschaften untersucht werden.

Es gibt bisher kaum Forschung auf dem Gebiet der Säuglingsschreianalyse, die Einzelvokalisationen eingebettet in längere Sequenzen untersucht. So analysierten etwa Zeskind et al. (1993) die rhythmische Organisation von Säuglingsschreien. Die Autoren beschrieben die temporalen Eigenschaften der Säuglingsvokalisationen und stellten eine hohe Variabilität der Lautäußerungen fest. In Zusammenarbeit der Kinderklinik und Poliklinik des Universitätsklinikums Würzburg und des ZVES entstand eine bereits publizierte Studie (Wermke et al., 2021) zum respiratorischen Verhalten gesunder Neugeborener während spontanem Weinens. Die Autoren untersuchten unter anderem das Verhältnis von Inspirationslänge zu Expirationslänge der Säuglingsvokalisationen und berichteten eine hohe Flexibilität dieser Messgröße. Eine systematische Analyse ganzen Vokalisationssequenzen im Längsschnitt bei Säuglingen mit einer nachweislich unauffälligen Sprachentwicklung, wie sie in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurde, ist in der Literatur jedoch bisher nicht beschrieben.

Als eines der medizinisch relevanten Ziele der Schreiforschung gilt heute die Identifikation von Messgrößen, welche als zuverlässige Prädiktoren für ein erhöhtes Risiko einer Ausbildung von Sprachentwicklungsstörungen schon bei Säuglingen in der vorsprachlichen Phase sowohl mit als auch ohne OFS dienen könnten. Damit wäre eine frühzeitige Diagnose sowie die Entwicklung neuer primär-präventiver Therapieansätze möglich (Eiband, 2018; Sereschk, 2019; Wermke, 2002; Wermke et al., 2011).

Bevor Untersuchungen der Längsschnittdaten von Säuglingen mit OFS hinsichtlich auffälliger rhythmischer Vokalisationsmuster durchgeführt werden können, müssen zunächst Referenzwerte definiert werden. Zukünftig könnte ein Vergleich mit diesen Referenzwerten möglicherweise helfen, auffällige Säuglinge zu identifizieren, um diesen eine frühe logopädische bzw. sprachtherapeutische Begleitung zu ermöglichen. Die Erarbeitung erster Referenzwerte für temporale und rhythmische Eigenschaften aufgezeichneter Sequenzen von Säuglingsvokalisationen der ersten drei Lebensmonate war Ziel der vorliegenden Arbeit.

Der Schwerpunkt lag dabei auf der Analyse natürlichen Weinsens. In dieser frühen vorsprachlichen Entwicklungsphase dominiert spontanes Weinen im Vokalisationsrepertoire der Säuglinge. Nach der bisherigen Sprachentwicklungstheorie, die Grundlage der vorsprachlichen Diagnostik am ZVES ist, beginnt die Sprachentwicklung bereits in den frühen Phasen des Säuglingsweinsens (Wermke & Mende, 2009). Daher bietet sich die hier untersuchte Altersspanne der ersten drei Lebensmonate als Untersuchungszeitraum an. Auch im Hinblick auf einen möglichen zukünftigen Einsatz in der Praxis erscheint dieses Zeitfenster methodisch sinnvoll, da spontanes Weinen leicht aufzunehmen ist und nicht provoziert werden muss. Für die vorliegende Arbeit wurden 20 Säuglinge aus dem Lautarchiv des ZVES ausgewählt. Dabei handelte es sich um 10 Jungen und 10 Mädchen mit möglichst wöchentlichen Aufzeichnungen über die ersten zwölf Lebenswochen hinweg.

Besonderes Augenmerk bei der Analyse der Aufnahmen wurde auf die Rhythmik der Vokalisationen einer Sequenz gelegt. Rhythmen haben neuronale Grundlagen im Gehirn (Poeppel & Assaneo, 2020) und werden durch komplexe Regelkreise feinjustiert. Möglicherweise ist die Vokalisationsrhythmik gar der Schlüssel zur Identifikation prädisponierter Risikokinder für den Spracherwerb unter den Säuglingen mit OFS.

In einer aktuellen Untersuchung aus dem ZVES wurden unterschiedliche Präferenzen von Kindern mit und ohne sensorineuraler Hörstörung für die Längen rhythmischer Elemente gefunden (Rachor 2022). Ein rhythmisches Element wurde dabei nach der von Ravnani und Norton (2017) verwendeten Definition eines inter-onset intervals (IOI) bestimmt, welche den zeitlichen Abschnitt zwischen dem Beginn eines Ereignisses und dem Beginn des nächsten, gleichen Ereignisses einschließt. Die Tatsache, dass Rachor signifikant



unterschiedliche Rhythmus-elemente für die Kontroll- und Probandengruppe fand, legt einen Einfluss von Hörstörungen auf die Rhythmusregulation der Lautproduktion im untersuchten Altersbereich zwischen 3 und 9 Monaten nahe. Dies wäre auch für Säuglinge mit OFS denkbar. Damit erscheint es versuchsweise interessant, ergänzend für den Altersbereich von 1 bis 3 Monaten Referenzwerte medizinisch unauffälliger Säuglinge für diese Intervalle zu sammeln, um sie in späteren Untersuchungen mit einer OFS-Probandengruppe zu vergleichen.

Die Auswertung von Säuglingsvokalisationen war in der vorliegenden Arbeit zeitaufwändig und nur durch händische Annotation der Laute in spezieller Sprachanalyse-Software realisierbar. Perspektivisch wird die Forschung an größeren Längsschnittdaten in Zukunft durch technische Entwicklungen wie künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen wesentlich vereinfacht werden, da diese eine Verarbeitung größerer Lautmengen ohne den zeitlichen Aufwand eines menschlichen Untersuchers ermöglichen. Damit diese Verfahren sinnvoll eingesetzt werden können ist manuelle Vorarbeit nötig, um eine sinnvolle Programmierung der Software und damit eine Automatisierung der Prozesse zu gestatten. Eine semi-automatische Vokalisationsanalyse wird am ZVES bereits schrittweise eingeführt (Eisenmann, 2021).

Vor diesem Hintergrund sollten in der vorliegenden Arbeit folgende Fragestellungen untersucht werden:

*Wie verändern sich die temporalen Eigenschaften unterschiedlicher Messgrößen frühkindlicher Lautäußerungen innerhalb der Aufnahmesequenzen bei einer Betrachtung im Längsschnitt?*

*Werden die temporalen Eigenschaften durch Faktoren wie Geschlecht oder Lebensalter beeinflusst?*

*Wie verändern sich rhythmische Komponenten bei einer Betrachtung im Längsschnitt und haben Faktoren wie Geschlecht oder Lebensalter Einfluss auf die Rhythmik?*

## **2 Material und Methoden**

Datenbasis der vorliegenden Arbeit sind ausgewählte Aufnahmen frühkindlicher Lautäußerungen, die in der durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft und das Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften Leipzig geförderten „Deutschen Sprachentwicklungsstudie“ (GLaD-Study)<sup>1</sup> gewonnen wurden. Diese als Langzeitstudie konzipierte Untersuchung unterschiedlichster Aspekte des frühkindlichen Spracherwerbs beinhaltete als Teilprojekt die Aufzeichnung von Säuglingslauten im Modul „Normale und gestörte Sprachentwicklung – Sprachproduktion“. Hierzu wurden an der ehemaligen Klinik für Kinder- und Jugendmedizin „Lindenhof“ in Berlin nach Einwilligung der Eltern spontanes Säuglingsweinen von der ersten Lebenswoche an aufgezeichnet und analysiert. Die anonymisierten Aufzeichnungen befinden sich im Lautarchiv des ZVES und wurden dem Verfasser dieser Arbeit freundlicherweise von Prof. Dr. Kathleen Wermke zur Verfügung gestellt.

Für eine Teilnahme an der genannten GLaD-Study mussten die Säuglinge bereits eine Reihe an Voraussetzungen erfüllen. Eine Zusammenstellung dieser Voraussetzungen und Auswahlkriterien findet sich im Kapitel „Probandenkollektiv“. Für die vorliegende Arbeit wurden aus diesem Kollektiv Probanden mit möglichst zahlreichen Aufnahmen innerhalb der ersten 12 Lebenswochen ausgewählt. Da die Aufnahmen anonymisiert untersucht wurden, war kein Ethikvotum erforderlich.

### **2.1 Probandenkollektiv und Datenbasis**

Das Probandenkollektiv der vorliegenden Arbeit umfasste ausschließlich Säuglinge aus der GLaD-Study. Alle erfüllten die Einschlusskriterien der Originalstudie und sind in Tabelle 1 aufgeführt.

---

<sup>1</sup> DFG-Projekt „Frühkindliche Sprachentwicklung und spezifische Sprachentwicklungsstörungen“, DFG-Forschergruppe 381.

**Tabelle 1**      **Einschlusskriterien für die hier untersuchten Probanden der GLaD-Study,**  
 Quelle: Deutsche Sprachentwicklungsstudie, modifiziert nach K. Lind (2007, S. 8–9)

<b>Einschlusskriterien</b>
mindestens 5 Vorsorgeuntersuchungen während der Schwangerschaft
keine längeren gravierenden Erkrankungen während der Schwangerschaft
Spontangeburt, keine Zangengeburt
Sectio aus mütterlicher Indikation und bei Fehllage
Ein- und Mehrlingsgeburten
Gestationsalter zwischen 37+0 und 41+6 SSW
eutroph (Grenzen 10. und 90. Perzentile nach Voigt et al. 1996)
Apgar 5' $\geq 8$ , 10' $\geq 9$
Nabelschnur pH $> 7,20$
Bilirubin $< 360 \mu\text{mol/l}$
kein Verdacht auf Syndrom mit Intelligenzdefekt
Säure-Basen-Exzeß (ABE) $> -10$ und $< 10$
keine symptomatische Hypoglykämie
TSH-Werte $< 20 \text{ mU/l}$ (Ausschluss einer Schilddrüsenunterfunktion)
otoakustische Emissionen (OAE) beidseits unauffällig
neurologische Erstuntersuchung nach Prechtel & Beintema, 1976 unauffällig
beide Eltern deutscher Nationalität und einzige Sprache zu Hause Deutsch

Zweck dieses strengen Auswahlprozesses für die Teilnahme an der ehemaligen GLaD-Study war es, möglichst Säuglinge ohne bestehende medizinische Beeinträchtigungen und Konditionen in die Studie aufzunehmen. Daher wurden auch im weiteren Verlauf regelmäßig im Rahmen der sieben verschiedenen Teilprojekte der GLaD-Study Untersuchungen an den Säuglingen durchgeführt, um spracherwerbsbeeinträchtigende Faktoren frühzeitig zu erkennen.

Die medizinische Untersuchung der Säuglinge auf eventuelle Einschränkungen der Hörfunktion geschah unter anderem durch eine Messung der otoakustischen Emissionen (OAE) und Ableitung akustisch evozierter Hirnstammpotentiale (BERA). OAE sind

## MATERIAL UND METHODEN

Ausdruck der Motilität der äußeren Haarzellen des Innenohrs und setzen ferner eine intakte Schallleitung voraus, sodass eventuelle passagere Hörstörungen wie etwa ein Paukenerguss, eine Otitis media oder Störungen im Bereich des äußeren Gehörgangs, des Trommelfells oder der Gehörknöchelchen nachgewiesen werden können.

Durch die BERA kann objektiv die Hörschwelle bestimmt und retrocochleäre Hörstörungen ausgeschlossen werden. Das Verfahren erlaubt eine differentialdiagnostische Unterscheidung zwischen cochleären und retrocochleären Störungen der Hörfunktion. Beiden Verfahren ist gemein, dass diese keine Kooperation seitens des Patienten erfordern. Sie wurden deshalb bevorzugt im Rahmen des Screeningverfahrens eingesetzt.

Aufgrund dieser sehr engen medizinischen Überwachung der Probanden der GLaD-Study direkt nach der Geburt und in den ersten Lebensmonaten sind diese für die vorliegende Untersuchung in besonderem Maße geeignet, da alle Kontrolluntersuchungen unauffällig waren.

Zusätzlich zu den oben beschriebenen allgemeinen Kriterien der GLaD-Study mussten die Probanden für die vorliegende Untersuchung weitere spezielle Voraussetzungen erfüllen. Im Rahmen des Teilprojekts „Schreiproduktion und Schreianalyse“ wurden nach Abschluss des Klinikaufenthalts von Mutter und Kind weiterhin im Rahmen von Hausbesuchen Aufzeichnungen der Lautäußerungen der Probanden getätigt. Jedoch kam es dabei immer wieder, beispielsweise krankheitsbedingt, zu Lücken in den Lautaufnahmen. Daher wurden 10 männliche und 10 weibliche Probanden ausgesucht, welche eine möglichst dichte, bevorzugt lückenlose wöchentliche Aufnahmedichte innerhalb der ersten 12 Wochen aufweisen. Nach erfolgter Selektion geeigneter Probanden stellte sich die in Tabelle 2 gezeigte Datenbasis dar:

**Tabelle 2**

**Probanden- und Datenübersicht**

Alter in Wochen und Tagen, Geschlecht, Gesamtanzahl der Aufnahmen pro Kind sowie der Anzahl an Aufnahmen aufgeschlüsselt nach Lebenswoche. Waren in einer Woche zwei Aufnahmen vorhanden, sind die Altersangaben durch einen Schrägstrich getrennt. Fehlten in einer Lebenswoche aufnahmen, wurde dies durch einen Bindestrich gekennzeichnet.

Proband	Geschlecht	Aufnahmen	Alter in Wochen											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			Alter in Tagen											
			0-7	8-14	15-21	22-28	29-35	36-42	43-49	50-56	57-63	64-70	71-77	78-84
AA	w	11	4	10	18	25	32	39	48	53	60	67	-	81
AE	w	11	3	10	17	24	32	37	-	52	59	66	73	80
AK	w	13	4	10	17	24	31	40	45	52	61	66	73	80/83
AL	m	10	3	11	18	25	32	39	46	53	-	67	-	81
AT	w	10	4	12	19	28	33	40	-	54	-	68	75	82
BC	m	12	4	11	18	24	34	41	48	55	62	66	75	82
BD	w	12	5	14	21	27	35	42	49	56	63	70	77	84
BS	w	12	4	12	18	25	32	39	44	51	58	65	73	80
BZ	m	12	3	13	20	28	34	41	48	55	62	69	76	83
CD	m	11	4	11	18	27	30	39	46	-	60	67	75	82
CV	w	12	5	13	20	28	34	41	48	56	62	69	75	82
DN	w	11	6	12	21	26	32	41	-	-	57/62	67	74	81
DU	m	12	4	14	21	27	35	42	49	56	63	70	77	84
DW	w	12	4	13	18	24	33	40	46	51	59	66	73	80
DX	m	11	3	12	20	26	30/34	41	48	-	62	-	76	81
EC	m	12	3	14	18	25	31	38	45	52	59	65	73	80
EF	w	11	4	14	21	28	-	37	44	51	58	65	72	79
EH	m	11	3	11	-	25	32	39	46	53	60	68	72	80
EI	m	12	4	11	19	25	32	39	46	53	60	68	75	82
FK	m	11	3	10	15	28	35	42	-	52	59	65	72	79

**2.2 Datenaufbereitung**

Bevor mit der eigentlichen Auswertung der temporalen und rhythmischen Eigenschaften begonnen werden konnte, musste zunächst eine Aufbereitung der Datenbasis erfolgen. Die für die GLaD-Study benötigten Aufnahmen wurden vom Forschungsteam um Kathleen Wermke mittels tragbarer DAT-Recorder (*Sony TCDD100*) und *Sony ECM-MS950* Kondensatormikrofonen in der Klinik und bei Hausbesuchen gemacht. Diese wurden als DAT-Kassetten im Archiv des ZVES aufbewahrt und wurden dem Verfasser dieser Arbeit für die vorliegende Studie zur Verfügung gestellt.

Zunächst wurden die auf Band aufgezeichneten digitalen Daten mittels eines *TASCAM DA-45HR* 24-Bit DAT-Recorders vom Autor in den PC eingelesen. Dabei wurde

begleitend ein Digitalisierungsprotokoll geführt, in dem jede Aufnahme dokumentiert und eventuelle Besonderheiten vermerkt wurden. Die Speicherung der digitalen WAV-Dateien geschah mittels der Sprachanalysesoftware *Computerized Speech Lab (CSL)* Modell 4500, Firma *KayPENTAX* (New Jersey, USA). Das Programm wird bereits seit vielen Jahren im ZVES verwendet und gilt auch an anderen Forschungsstandorten als bewährt (Campisi et al., 2000).

Die Aufnahmen wurden im Folgenden nicht in Einzelsignale („Schreie“) zerschnitten, sondern als ganze Sequenz oder Langserie von teils mehreren Minuten (min) belassen. Dadurch konnten die einzelnen Säuglingsvokalisationen nachfolgend im zeitlichen Kontext der jeweiligen Sequenz untersucht werden.

### **2.3 Datenanalyse in PRAAT**

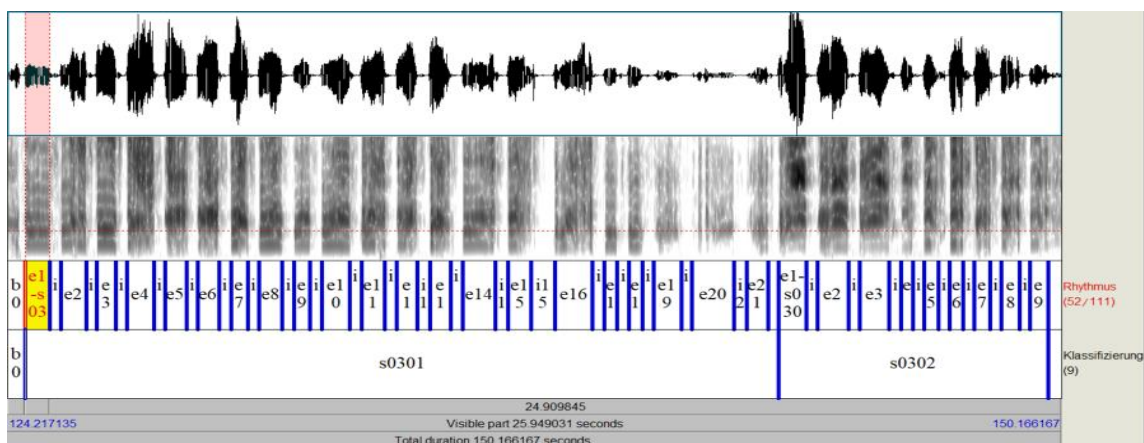
Ziel der Arbeit war die Untersuchung temporaler und rhythmischer Eigenschaften von Säuglingsschreien anhand von ganzen Aufnahmesequenzen im Längsschnitt von der ersten bis zur zwölften Lebenswoche. Für die Analyse der temporalen Eigenschaften von Säuglingsvokalisationen wird am ZVES bereits seit vielen Jahren erfolgreich die Sprachanalyse-Software *Praat* (Boersma & Weenink, 2001) verwendet. Diese kam auch in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz. Es handelt sich um ein Open-Source Programm, mit dessen Hilfe Schallaufnahmen auf verschiedene Arten visualisiert und analysiert werden können. Relevant für die vorliegende Arbeit sind vor allem das Segmentieren (in Abschnitte aufteilen) und das Einfügen von Annotationen (Beschriften definierter Zeitpunkte) in mehreren Tiers (Ebenen). Diese manuelle Analyse der Aufnahmesequenzen produziert Daten (Informationen bezüglich des zeitlichen Beginns und Endes von Ereignissen), welche später mit Hilfe eines Skripts ausgelesen werden können. Die vom Autor angewendete Systematik zur Datenanalyse wird im folgenden Kapitel beschrieben.

#### **2.3.1 Manuelles Segmentieren**

In der vorliegenden Arbeit wurde mit der Versionsnummer 5.2.03 von *Praat* gearbeitet. Zunächst wurde nach dem Öffnen des Programms eine Langserie als WAV-Datei geladen. Praat ermöglicht es nun, ein Textgrid zur jeweiligen WAV-Datei zu erstellen. Dieses stellt eine dritte Ebene dar, die unterhalb des Zeitsignals und Frequenzspektrums

eingblendet wird und eine Cursorsetzung durch auditive und visuelle Analyse der jeweiligen Zeitsignale und Frequenzspektren ermöglicht.

Der Begriff Cursorsetzung meint hier, dass ein einzelner Zeitpunkt, etwa der Beginn einer Lautäußerung, markiert wird. Wird nun auch das Ende dieser Lautäußerung mit einer solchen Markierung versehen, ergibt sich ein Zeitintervall zwischen den beiden Cursors. Dies bezeichnet man als Segmentieren. Das Zeitintervall (Segment) kann nun mit einer Notiz (Annotation) versehen werden, weshalb dies in *Praat* als Annotieren bezeichnet wird. Abbildung 1 soll beispielhaft ein solches Praat-Fenster veranschaulichen.



**Abbildung 1** Manuelles Segmentieren in Praat am Beispiel einer Langserie

**Legende:** Die oberste Ebene zeigt den Zeitsignalebereich, die darunterliegende zweite Ebene das Frequenzspektrum (0-4 kHz). Darunter beinhaltet die dritte Ebene die vom Autor durchgeführte Annotation der Vokalisationsrhythmik auf Einzelsignalebene, die vierte Ebene beinhaltet die (Sub-)Strophenannotation. Die x-Achse ist für alle Ebenen als Zeit in Sekunden skaliert.

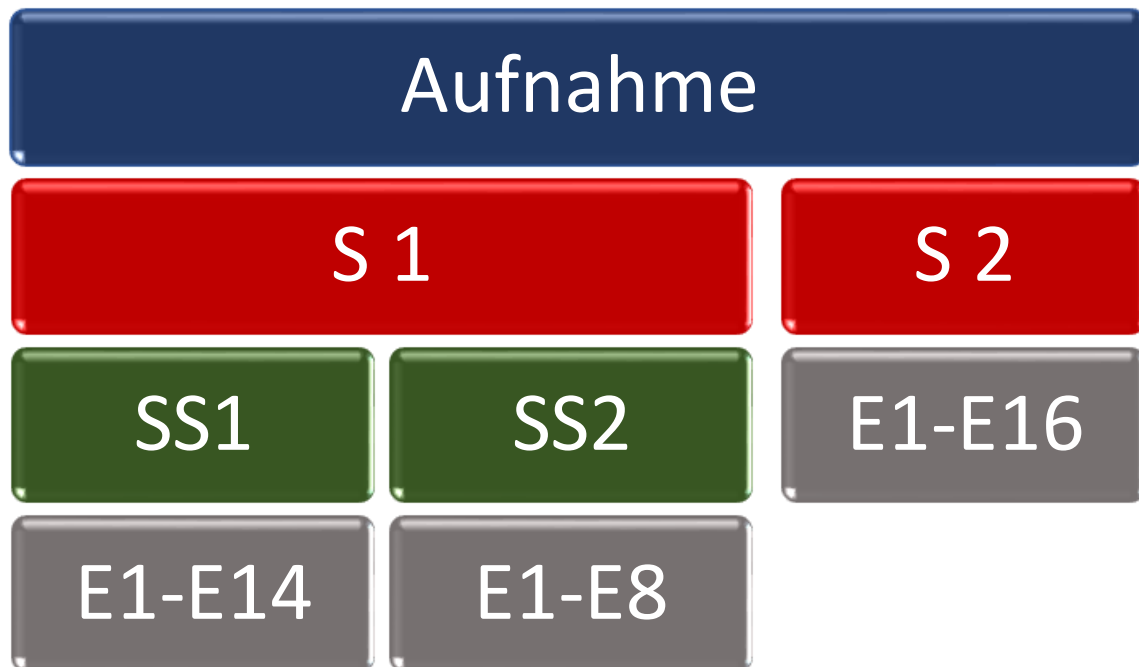
In Abbildung 1 ist ein Abschnitt zu Beginn der dritten Ebene gelb markiert. Dabei handelt es sich um eine einzelne Lautäußerung eines Säuglings, also ein Zeitintervall zwischen zwei gesetzten Cursors. Der erste Cursor wurde nach visueller und auditiver Analyse des Signals an den Beginn der Vokalisation gestellt, der zweite an dessen Ende. Da hier eine Lautäußerung als Proxy für eine Expiration angesehen wird, wurden diese in der dritten Ebene, dem Textgrid, mit dem Buchstaben e für Expiration bezeichnet. Dann folgt die Bezeichnung i (Inspiration) und ein erneutes e für eine weitere Expiration usw.

Man erkennt in Abbildung 1 auch, dass die Signalintensität (oberste Ebene) innerhalb der Strophe wellenartig ansteigt und wieder abfällt. Dieses Muster findet sich häufig bei der

Betrachtung von Säuglingsvokalisationen. Um die zeitliche Struktur dieses Phänomens erfassen zu können, wurde eine vierte Textgrid-Ebene verwendet und die Bezeichnungen Strophe (annotiert als s) und Substrophe (annotiert als ss) als zusätzliche, den Einzelvokalisationen übergeordnete Elemente in die Annotation aufgenommen. Diese sollen die Rhythmik von Säuglingsschreien durch temporale Messdaten einer statistisch auswertbaren Form zuführen.

Um einzelne Strophen voneinander abzugrenzen, wurden zwei Kriterien festgelegt: das Intensitäts- und das Zeitkriterium. Das Zeitkriterium wurde dabei als Unterbrechung zwischen zwei Lautäußerungen von  $\geq 3$  s und  $\leq 15$  s definiert und in der Strophenebene als Break (b) annotiert. Eine übliche Pause zwischen zwei Lautäußerung beträgt etwa 0,5 s bis 1,5 s, sodass eine Festlegung auf über 3 s Länge eines b's als Strophentrennung sinnvoll erscheint. Die Obergrenze von 15 s soll verhindern, dass übermäßig lange Vokalisationspausen eine Auswertbarkeit der b's durch überlange Ausreißer erschweren. Das Intensitätskriterium trägt oben beschriebenem Phänomen Rechnung, dass Sequenzen von Säuglingsvokalisationen häufig einem auf- und absteigenden Intensitätsmuster folgen. Zwar trennt diese Strophen keine Pause von  $\geq 3$  s, dennoch sind sie visuell-auditiv anhand des Intensitätsmusters voneinander abgrenzbar. Sie wurden – in Abgrenzung zu den b's zwischen den Strophen – als Pause (P) zwischen den Substropfen annotiert. Diese in Abbildung 2 schematisch dargestellte Annotationsstruktur wurde für alle Aufnahmen beibehalten und zeigt die Hierarchie der einzelnen Ebenen auf.





**Abbildung 2** Schematische Darstellung der Segmentierung in Praat

**Legende:** Beispielhaft dargestellt ist eine Aufnahmesequenz mit zwei Strophen (S1 und S2). Dabei verfügt die erste Strophe über zwei Substrophen (SS1 und SS2, hier trennt also der wellenartige Verlauf der Intensität durch ein p beide Substrophen). SS1 verfügt über 14 Expirationen (E1-E14), SS2 über 8 (E1-E8). Zwischen S1 und S2 muss definitionsgemäß eine Vokalisationspause von  $\geq 3$  Sekunden liegen. S2 verfügt über keine Substrophen, da das Intensitätskriterium nicht ausgelöst wurde (kein wellenartiger Verlauf der Intensität). S2 verfügt über 16 Expirationen (E1-E16).

Um bei der späteren Analyse der Daten eine eindeutige Zuordnung der Messgrößen treffen zu können, wurde die Annotation auf Strophenebene mit einem vierstelligen Code versehen. Die beiden ersten Ziffern bezeichnen dabei die Strophenummer. Eine neue Strophe beginnt am Anfang jeder Aufnahme als s01 und wird definitionsgemäß immer durch das Zeitkriterium nach einem  $b \geq 3$  s von der nächsten Strophe S02 getrennt. Die beiden letzten Ziffern bezeichnen die Substrophenummer. Eine neue Substrophe beginnt ebenfalls am Anfang jeder Aufnahme als S0101 und wird definitionsgemäß immer durch das Intensitätskriterium visuell-auditiv von der nächsten Substrophe s0102 durch ein P getrennt. Die Annotation e1-0302 in Abbildung 1 (gelb markiert) bedeutet daher: es handelt sich hier um die erste Expiration der zweiten Substrophe der dritten Strophe.

Die Expirationen und Inspirationen wurden ebenfalls innerhalb jeder Substrophe bei 1 beginnend durchnummeriert. Vereinzelt kamen sehr lange b's zwischen den Strophen von über 15 s vor, etwa weil das Kind während der Aufnahme durch Zureden der Mutter oder

durch Konversation der Mutter mit dem aufzeichnenden Mitarbeiter in seinem Vokalisationsfluss unterbrochen wurde. Diese überlangen Vokalisationspausen wurden als non-value markiert und in der statistischen Analyse entsprechend berücksichtigt.

Die Reliabilität und Messgenauigkeit des Autors im Rahmen des beschriebenen Annotationsverfahrens wurde nachträglich durch wiederholtes Segmentieren einiger Sequenzen überprüft. Dabei erwiesen sich die Annotationen auf bis zu 10 ms als wiederholt genau. Daher wurde die Ausgabe der Statistik bis auf die zweite Nachkommastelle der Sekunde eingestellt.

Da die Daten über Segmentierung und Annotation der Aufnahmen von Praat standartmäßig in Form von Textgrid-Dateien gespeichert werden, lassen sie sich in dieser Form nicht in eine Statistiksoftware einspeisen. Deshalb müssen sie zunächst ausgelesen werden. Faktisch bedeutet dies, dass die Textgrid-Datei in eine Editor-Datei mit Information über die Annotationen und ihre zugehörigen Zeitangaben umgewandelt werden muss. Dies ist in Praat nicht per se möglich, jedoch verfügt die Software über die Funktion sogenannte Skripte zu erstellen. Ein Skript erlaubt es, gewünschte Funktionen in *Praat* nachträglich durch Verwendung einer eigenen Programmiersprache zu integrieren.

### **2.3.2 Einsatz des Praat-Skripts**

Am ZVES wurde bereits früher mit Praat-Skripten gearbeitet, sodass hier ein gewisser Erfahrungsschatz vorhanden war. An dieser Stelle sei vor allem Navid Sereschk dankend erwähnt, der seine Version eines Praat-Skripts (Sereschk, 2019) mit dem Autor der vorliegenden Arbeit freundlicherweise teilte. Diese war jedoch ohne Modifikationen nicht mit der im Kapitel 2.3.1 erläuterten Annotationstechnik kompatibel. Grund hierfür ist vor allem, dass Sereschk nur ein Textgrid-Tier verwendete, für die vorliegende Arbeit jedoch zwei Tiers vonnöten waren. Für die theoretische Einarbeitung des Autors der vorliegenden Arbeit in die Programmiersprache von *Praat* erwies sich die Webseite „Die Praatpfanne“ (Mayer, 2017) als besonders hilfreich, da der Autor auch ein eigenes geschriebenes Handbuch für die Software zur Verfügung stellt. Nach einigem Experimentieren gelang schließlich die Erstellung eines funktionsfähigen Skriptes, das die gestellten Anforderungen erfüllte. Dieses ist in Abbildung 3 dargestellt. Jedem Befehl

des Skriptes geht eine Zeile beginnend mit einem #-Zeichen voraus, welche den Befehl zur späteren Nachvollziehbarkeit erklärt.

```

#Form für die Auswahl des Pfades
form Dateneingabe
    sentence Pfad_zu_den_Dateien Z:\06-PRAAT-RHYTHMUS_Eugen\GLAD (B4)\041602FK\079-Tage\
endform

#Auswahl des TextGrids(muss im Objects-Fenster angeklickt sein)
dateiName$ = selected$("TextGrid")
select TextGrid 'dateiName$'

#Pfad und Dateiname werden im Kopf des Infofensters gespeichert
echo 'pfad_zu_den_Dateien$'
println Dateiname:    'dateiName$'

#Kopfzeile der Tabelle
println
println Tier1-Tier2'tab$'Dauer(in s)

#Analyse

#Anzahl der Intervalle abfragen
noi = Get number of intervals... 1
#Die folgende Schleife (for...endfor) springt von Intervall zu Intervall
for n from 1 to noi
    #Label des aktuellen Intervalls abfragen
    label$ = Get label of interval... 1 n
    if label$ <> ""
        #Startzeitpunkt des aktuellen Intervalls abfragen
        start = Get start point... 1 n
        #Endzeitpunkt des aktuellen Intervalls abfragen
        end = Get end point... 1 n
        #Dauer berechnen (end-start)
        dauer = end-start
        #neue Zeile in das Infofenster schreiben
        println 'label$'tab$'dauer'
    endif
endfor

#Kopfzeile der Tabelle für Tier 2
println
println Tier2'tab$'Dauer(in s)

#Festlegen, welches TextGrid-tier ausgewertet werden soll
tier_nr = 2

#Anzahl der Intervalle abfragen
noi = Get number of intervals... 2
#Die folgende Schleife (for...endfor) springt von Intervall zu Intervall
for n from 2 to noi
    #Label des aktuellen Intervalls abfragen
    label$ = Get label of interval... 2 n
    if label$ <> ""
        #Startzeitpunkt des aktuellen Intervalls abfragen
        start = Get start point... 2 n
        #Endzeitpunkt des aktuellen Intervalls abfragen
        end = Get end point... 2 n
        #Dauer berechnen (end-start)
        dauer = end-start
        #neue Zeile in das Infofenster schreiben
        println 'label$'tab$'dauer'
    endif
endfor

#Möglicherweise existierende Datei (Intervalldaten) gleichen Namens wird gelöscht, danach neue Datei
filedelete 'pfad_zu_den_Dateien$'dateiName$.rhd.pra
fappendinfo 'pfad_zu_den_Dateien$'dateiName$.rhd.pra

#TextGrid (Bild) wird abgespeichert
Write to text file... 'pfad_zu_den_Dateien$'dateiName$.rhd.pra

#Objects-Fenster wird gelöscht
select all
Remove

```

### **Abbildung 3** Vom Autor erstelltes Praat-Skript zur Überführung der Annotationsdaten in eine Editor-Datei

Die einzelnen Befehle werden einleitend in der #-Zeile erklärt.

Das Skript erstellt selbstständig eine Editor-Datei (Abbildung 4) als Ausgabefenster mit allen benötigten Informationen für eine spätere statistische Analyse.

Es beginnt hierzu mit der Festlegung des Dateipfades, von dem die Textgrid-Datei eingelesen wird. Somit ist dies die einzige Zeile des Skriptes, welche für jede Aufnahme händisch geändert werden musste, da jede einzelne Aufnahme einen eigenen Dateinamen hat. Die Dateinamen kodieren für die Gruppe der GLaD-Study, in der das Kind im ZVES archiviert wurde, einen anonymisierten Code für das Kind selbst und schließlich das Lebensalter des Kindes in Tagen zum Zeitpunkt der Aufnahme. Somit musste meist nur das Alter für die nächste Textgrid-Datei angepasst werden.

Danach wählt das Skript das Textgrid aus, welches im Objects-Fenster von Praat ausgewählt sein muss und speichert den Pfad und Dateinamen in die Kopfzeile des Ausgabefensters. Anschließend beginnt die eigentliche Analyse der Textgrid-Datei: Hierzu erfragt das Skript die Anzahl an segmentierten Intervallen, dies können Expirationen, Inspirationen, Strophen etc. sein. Dann beginnt es von Intervall zu Intervall zu springen und jeweils den Start- und Endzeitpunkt abzufragen sowie die Dauer zu berechnen. Diese wird schließlich mit der zugehörigen Annotation in die Ausgabedatei geschrieben.

Ein beispielhaftes Ausgabefenster wird in Abbildung 4 gezeigt. Zunächst werden die Informationen für das obere Tier des Textgrids (Tier 1) ausgegeben. Es kann nun die Dauer sämtlicher annotierter Intervalle abgelesen werden. Tier 2 gibt noch einmal gesondert Auskunft über die Strophenannotation.

## MATERIAL UND METHODEN

Z:\06-PRAAT-RHYTHMUS\_Eugen\GLAD (B1)\010101AA\053-Tage\  
Dateiname: AA05301LS-Tage

```
Tier1-Tier2      Dauer(in s)
f                3.268955895581567
e1-s0100        2.923722726894118
i1              0.4132032134016317
e2              1.9641692971399287
i2              0.4921194752119913
e3              2.237109347140759
i3              0.5129444413398758
e4              2.3970724120625437
i4              0.38690806039326375
e5              0.8115259583341548
b01             3.872625521649784
e1-s0201        0.23080595903832446
i1              0.6392311550513838
e2              2.9347402447967354
i2              1.6888806489781238
e3              0.8108271856392086
p0201          0.5864326568800635
e1-s0202        0.7383604517986306
i1              0.40904682238024037
e2              1.682689481514437
i2              1.0131951695658081
e3              0.6461281747753382
i3              1.3950540713257666
e4              0.9121635426795862
i4              1.5497953842074779
e5              1.18178871916718
i5              0.8951420936670544
e6              1.5550099004837392
b02             13.48971499561592
e1-s0300        2.3367403447649124
i1              1.4977698235792474
e2              0.7011599972051599
i2              0.42368541922120784
e3              1.8133763914226435
i3              0.88469058945293
e4              1.278589502819166
b03             9.887355440639688
e1-s0400        0.43643689112219874
i1              0.3064534541554167
e2              1.783685886745559
i2              0.46308886469907406
e3              0.9000638719404748
i3              0.8672590467334373
e4              2.6617442217396956
i4              1.0575197577928606
e5              1.4310850694118216
i5              1.1747166734416226
e6              0.5166394793866544
i6              0.6366548552075812
e7              0.28529029244768367
i7              0.6564487665550871
e8              1.3978222406738183

Tier2           Dauer(in s)
s0100          15.407730827499833
b01            3.872625521649784
s0201          6.89091785038384
s0202          11.978373811565259
b02            13.48971499561592
s0300          8.936012068465267
b03            9.887355440639688
s0400          14.574909372052986
```

### Abbildung 4

#### Beispiel einer extrahierten Editordatei

Die ersten beiden Zeilen geben den Dateipfad und den Dateinamen an. Danach folgt die Auflistung der Annotationen nach in Kapitel 2.3.1 erläuterten Annotationsregeln und den entsprechenden temporalen Messwerten in [s].

Im Anschluss wurden die Daten mit freundlicher Unterstützung durch Peter Wermke am ZVES in das Programm *Microsoft Excel* (*Microsoft Corporation*) importiert und tabellarisch aufbereitet. Es entstanden dadurch zwei Excel-Tabellen. Die erste Tabelle fasst Einzelsignale auf Strophenebene zusammen und gibt Auskunft über Anzahl und Gesamtlänge aller Messgrößen pro Strophe. Diese ermöglicht somit einen Überblick über die Datenlage. Die zweite Tabelle weist jede Expiration und Inspiration einzeln mit ihren temporalen Eigenschaften und zeitlicher Reihenfolge aus und ermöglicht eine Längsschnittanalyse der Daten.

### **2.4 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung fand mit dem Programm *IBM SPSS Statistics* in der Version 26 statt. Es erfolgte eine dreigeteilte Datenanalyse: Zunächst wurden die Daten auf Strophenebene betrachtet, um eine generelle Übersicht über das zugrunde liegende Datenset zu erlangen. In einem zweiten Schritt erfolgte eine Betrachtung der Substrophen, welche die einzelnen Strophen nach den in Kapitel 2.3.1 definierten Grundregeln unterteilen. Im dritten und letzten Schritt wurden die Daten schließlich auf Ebene der einzelnen Signale untersucht. Hierzu wurde eine zusätzliche Messgröße definiert.

Diese fand als rhythmusanalytische Komponente durch die Variable „IOI“ Einzug in die vorliegende Arbeit. Sie wurde in Anlehnung an Ravignani und Norton (2017) als rhythmisches Messintervall (*inter-onset interval*) berechnet. Dabei ist ein IOI definitionsgemäß die Zeitdauer zwischen Beginn eines Ereignisses und dem Beginn des nächsten, gleichen Ereignisses. In dieser Arbeit war dies die Zeit zwischen Beginn einer Expiration und dem Beginn der nächsten Expiration. Ein IOI subsumiert folglich den repetitiven Zyklus aus Expirationen mit den darauffolgenden Inspirationen in einer temporalen Variable. Gemäß Ravignani und Madison (2017) kann dabei eine niedrige Varianz der IOI-Werte Hinweise auf eine Isochronie der untersuchten Muster liefern. Eine Betrachtung der IOIs im Histogramm liefert erste Hinweise auf gehäuft vorkommende temporale Strukturen.

Auf allen Ebenen wurde eine Längsschnittbetrachtung der Daten über die ersten drei Lebensmonate hinweg unternommen. Es wurde zusätzlich der Einfluss des Geschlechts auf die unterschiedlichen Messgrößen bestimmt.

### **2.4.1 Explorative und deskriptive Statistik**

Die Verteilungseigenschaften einzelner Messgrößen wurden auf Strophen-, Substrophen- sowie auf Einzelsignalebene betrachtet und mittels explorativer und deskriptiver Statistik ermittelt. Dazu wurden beispielsweise Mittelwert, Standardabweichung, Median sowie Minimum und Maximum bestimmt. Als Signifikanzniveau wurde für alle durchgeführten Tests  $p=0,05$  definiert. Die graphische Darstellung erfolgte durch Histogramme und Boxplots.

Die Messdaten bzw. Residuen wurden mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung überprüft. Eine Besonderheit des vorliegenden Datensatzes ist sein Umfang. Dieser bedingt, dass oft sehr große Stichproben von  $N =$  mehreren Hundert (bei Strophen und Substrophen) oder gar  $N =$  mehreren Tausend (bei Einzelsignalen) analysiert werden konnten. Wenn eine Stichprobe ausreichend groß ist ( $N \geq 30$ ), kann auf die Überprüfung der Normalverteilung verzichtet werden (Bortz & Schuster, 2010; Kähler, 2004; Tavakoli, 2013). Nach dem zentralen Grenzwertsatz ist bei dieser Stichprobenverteilung von einer Normalverteilung auszugehen. Das Problem großer Stichproben im Shapiro-Wilk-Test ist, dass dieser zu restriktiv ist. Er tendiert dazu, bei wenigen Ausreißern einer sehr umfangreichen und nahezu perfekt normalverteilten Stichprobe die Signifikanzwertung so stark abzustrafen, dass die Nullhypothese einer Normalverteilung verworfen wird.

Viele der Analysen des vorliegenden Datensatzes überstiegen die maßgebliche Schwelle von  $N \geq 30$  um das zig-fache. Daher wurden alle untersuchten Messgrößen bei fehlender Normalverteilung im Shapiro-Wilk-Test weiter visuell kontrolliert. Durch eine visuelle Analyse des Verteilungshistogramms, des Q-Q-Diagramms sowie des trendbereinigten Q-Q-Diagramms der Werte wurde die Normalverteilung bestätigt.

### **2.4.2 Gemischte Modelle und hierarchische Datenstruktur**

Die klassische Vorgehensweise zur Signifikanzprüfung bei festgestellter Normalverteilung wäre die Durchführung parametrischer Tests wie des t-Tests oder einer ANOVA. Diese Herangehensweise würde jedoch das Ziel der vorliegenden Arbeit,

Sequenzen von Säuglingsvokalisationen unter Berücksichtigung ihrer Rhythmik im Längsschnitt zu untersuchen, verfehlen. Die Einzelsignale sollen nicht unabhängig voneinander, sondern im Gesamtkontext ihrer jeweiligen Aufnahmesequenz betrachtet werden. Zu diesem Zweck werden die Einzelsignale einerseits auf Strophen- und Substrophenebene voruntersucht. Eine (Sub-)Strophe umfasst definitionsgemäß zeitlich zusammenhängende Vokalisationen und erlaubt eine nähere Betrachtung der Daten auf der jeweils nächsthöheren rhythmischen Kontextebene. Zusätzlich wurde das IOI als rhythmisches Element auf Signalebene aufgenommen. Doch auch die simple statistische Betrachtung von Strophen, Substrophen und IOIs als vom Kontext unabhängige Entitäten liefert noch nicht das gewünschte Ergebnis. Auch so ginge noch die Kontextinformation zwischen den einzelnen hierarchischen Ebenen verloren.

Es wurden daher spezielle statistische Analyseverfahren eingesetzt, um der Herausforderung einer Längsschnittuntersuchung komplexer Patientendaten gerecht zu werden. Im Besonderen musste die hierarchische Datenstruktur der vorliegenden Arbeit in der statistischen Auswertung Berücksichtigung finden. So muss beispielsweise beachtet werden, dass die einzelnen Messgrößen von Säugling zu Säugling (Kindebene) Unterschiede aufweisen können. Ein Säugling könnte als ausgesprochenes „Schreikind“ andere temporale Rhythmen produzieren als „ruhigere“ Vergleichskinder.

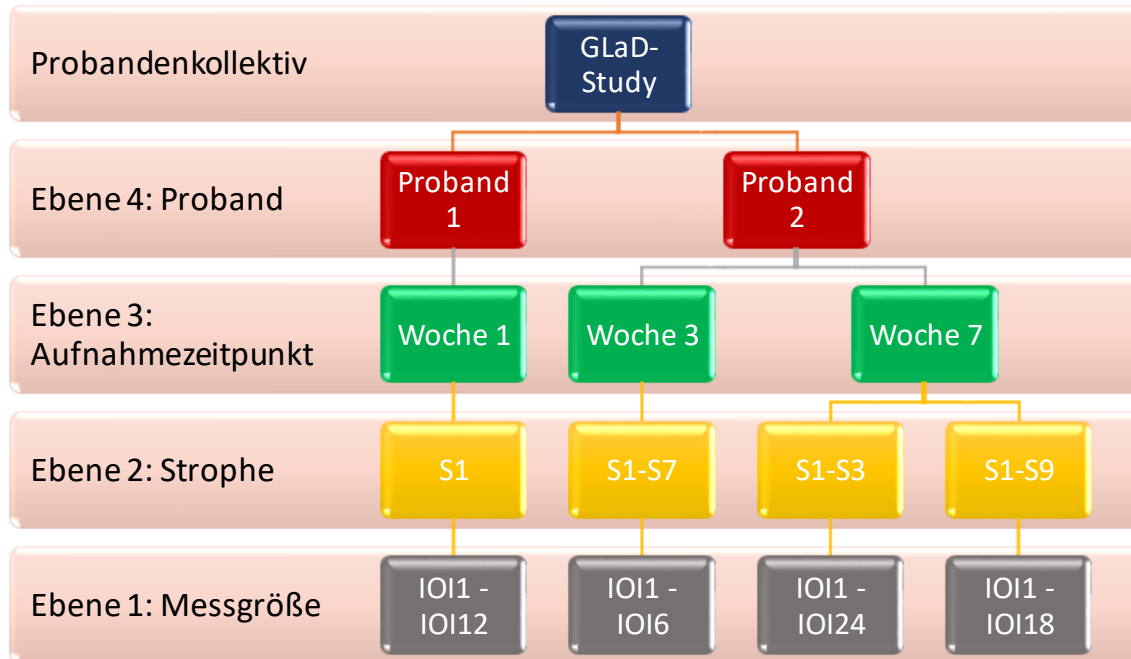
Als weitere Ebene spielt das Alter eine wichtige Rolle. Die Messgrößen können dadurch beeinflusst werden, dass sie an unterschiedlichen Lebenswochen (Alterseffekt) über unterschiedliche Aufnahmen verteilt sind. Der Alterseffekt könnte beispielsweise bewirken, dass Säuglinge im ersten Lebensmonat anders vokalisieren als im dritten.

Auch der einzelne Aufnahmetag vermag eine Rolle zu spielen. Strophen ein und derselben Aufnahme könnten sich stärker ähneln als Strophen unterschiedlicher Aufnahmen desselben Säuglings, weil dieser in einer Aufnahmesituation beispielsweise besonders missgelaunt war.

Diese Zusammenhänge sollen daher in der statistischen Analyse berücksichtigt werden. Vereinfacht wird die Hierarchie der Daten in Abbildung 5 dargestellt. Der Anschaulichkeit halber wurde die Abbildung auf wenige Elemente pro Ebene, beispielsweise ein bis zwei Strophen pro Proband, begrenzt. Tatsächlich lag die Anzahl an Probanden bei 20, die Zahl der untersuchten Lebenswochen bei 12. Die Anzahl an



Strophen pro Aufnahme lag bei bis zu 8 Einzelstrophen. Es stehen folglich mehrere Hierarchiestufen zwischen den Probanden und der untersten dedizierten Messgröße (IOI, Expiration, Inspiration).



**Abbildung 5** Schematische Darstellung der Mehrebenenstruktur des Datensets

**Legende:** Jedes einzelne Inter-onset-intervall (IOI) lässt sich somit einer definierten Strophe (S) zuordnen, diese wiederum einer Aufnahme in einer bestimmten Lebenswoche eines einzigen Probanden. Alle Probanden vereint die Teilnahme an der GLaD-Study.

Aus diesen Überlegungen heraus ergibt sich für die vorliegende Arbeit die Notwendigkeit des Einsatzes eines gemischten Mehrebenenmodells zur Signifikanzprüfung. Anders als die klassischen parametrischen Tests (t-Test, ANOVA) ermöglicht es dieser Ansatz der Komplexität der erhobenen Probandendaten im zeitlichen Verlauf und auf mehreren Datenebenen gerecht zu werden.

Zur Abschätzung der Notwendigkeit des Einsatzes gemischter Mehrebenenmodelle wurde zusätzlich die Intraklassenkorrelation ermittelt. Der sogenannte ICC (engl.: intraclass correlation coefficient) dient dabei als Maß für deren Notwendigkeit. Er trifft als Prozentsatz der Varianz der Daten innerhalb einer Ebene („intraclass“) eine Aussage darüber, in welchem Maße Unterschiede der betrachteten Messgröße tatsächlich auf Unterschiede zwischen den Gruppen zurückzuführen sind (Goldstein, 2010; Hox et al., 2010; Raudenbush & Bryk, 2010). Nimmt der ICC exemplarisch den Wert 0 an, so sind die Beobachtungen innerhalb einer Gruppe nicht ähnlicher als zwischen den Gruppen.

Dies würde bedeuten, dass die Verwendung eines Mehrebenenmodells nicht unbedingt notwendig wäre. Ein ICC von 1 hingegen indiziert, dass alle Beobachtungen innerhalb der Gruppen identisch sind. Somit müssen alle beobachteten Unterschiede auf der nächsthöheren Ebene liegen.

Als Grenzwert für die Notwendigkeit eines Mehrebenenmodells wurde ein ICC von 0,1 vorgeschlagen (Vajargah & Masoomehnikbakht, 2015). Als Gütekriterium für die Modellgüte wurde der sog. AIC (Akaike's Information Criterion) verwendet. Dieser korrigiert für die Komplexität des Modells, er wird für ein zunehmend komplexes Modell abgestraft. Ein möglichst kleiner AIC spricht für eine hohe Modellgüte. Einen Grenzwert gibt es hierbei nicht.

Es wurden für alle untersuchten abhängigen Variablen jeweils zwei lineare gemischte Mehrebenenmodelle gerechnet. Das erste Modell stellt das finale Modell dar, welches anhand des AIC bestimmt wurde. Der Alterseffekt wurde hierfür auf Monats-, Wochen-, und Tagesebene gerechnet und anschließend das Modell mit dem niedrigsten AIC, also der höchsten Modellgüte, ausgewählt. Während das erste, finale Modell den Alterseffekt als solchen untersuchte, sollte das zweite, ergänzende Modell die Signifikanz des Alterseffekts auf Monatsbasis analysieren. Dafür wurde der dritte Lebensmonat stets als Referenzkategorie verwendet, für ihn wurde kein direktes Ergebnis ausgegeben. Die Lebensmonate eins und zwei wurden mit ihm als Referenzwert verglichen.

Die Interaktion des Alterseffekts mit dem Geschlecht als Gruppierungsfaktor wurde für jedes Modell untersucht. Eine signifikante Interaktion dürfte nicht vernachlässigt werden, es müsste also für jeden Lebensmonat ein separates Modell gerechnet werden. Dies war jedoch bei keinem der in dieser Arbeit gerechneten Modelle der Fall.

Die abhängige Variable wurde vor der Modellberechnung logarithmiert, um eine hinreichende Normalverteilung der Residuen sicherzustellen. Alle Voraussetzungen für den Einsatz linearer Mehrebenenmodelle wurden überprüft und lagen für die finalen Modelle vor.

Die berechneten Residuen wurden als Voraussetzung für den Einsatz linearer Mehrebenenmodelle auf Normalverteilung geprüft, ebenso die zufälligen Effekte. Linearität und Varianzhomogenität wurden mittels Streudiagramm ermittelt, die Normalverteilung wurde mittels Shapiro-Wilk-Test und aufgrund der hohen

Stichprobengrößen zusätzlich visuell mittels Q-Q-Diagramm, trendbereinigtem Q-Q-Diagramms sowie Verteilungshistogramm geprüft. Um eine höhere Normalverteilung der Residuen zu erreichen, wurde die abhängige Variable bereits logarithmiert in die gemischten Modelle aufgenommen.

### 3 Ergebnisse

Im Folgenden wurden die Ergebnisse der statistischen Auswertung, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, dokumentiert. Die Analyse der Daten erfolgte dabei auf den drei Ebenen der Strophe, der Substrophe und des Einzelsignals. Es wurden auch Geschlechts- und Altersunterschiede untersucht.

Wie in Kapitel 2.4.2 erläutert, wurden zur Signifikanzprüfung des Einflusses der unterschiedlichen Ebenen auf die Messgrößen gemischte Modelle als statistische Untersuchungsmethode gewählt. Dadurch konnte einerseits der hierarchischen Mehrebenenstruktur des Datensets Rechnung getragen werden, andererseits konnten auch Werte ohne vollständige Abdeckung über den gesamten Untersuchungszeitraum berücksichtigt werden. Die Notwendigkeit des Einsatzes der gemischten Mehrebenenmodelle wurde mit Hilfe des ICC überprüft. So wurden bei einem  $ICC \geq 0,1$  Analysen mithilfe gemischter Mehrebenenmodelle durchgeführt.

Auf Strophenebene musste zunächst eine Präselektion des Datensets vorgenommen werden. Die Rohdaten beinhalteten einige nicht auswertbare Abschnitte, etwa abgebrochene (Sub-)Strophen oder solche mit nur einer Vokalisation. Dies kam dadurch zustande, dass der Säugling in seiner Vokalisation von Wortäußerungen der Mutter oder der aufnehmenden Hilfskraft unterbrochen wurde oder die Aufnahme schlicht mitten in einer Strophe abgebrochen wurde. Grund hierfür konnte beispielsweise sein, dass der Säugling ununterbrochen schrie und die aufnehmende Person nach einer bestimmten Aufnahmedauer die Aufnahme beendete.

#### 3.1 Darstellung der Ergebnisse des Selektionsprozesses des Rohdatensatzes

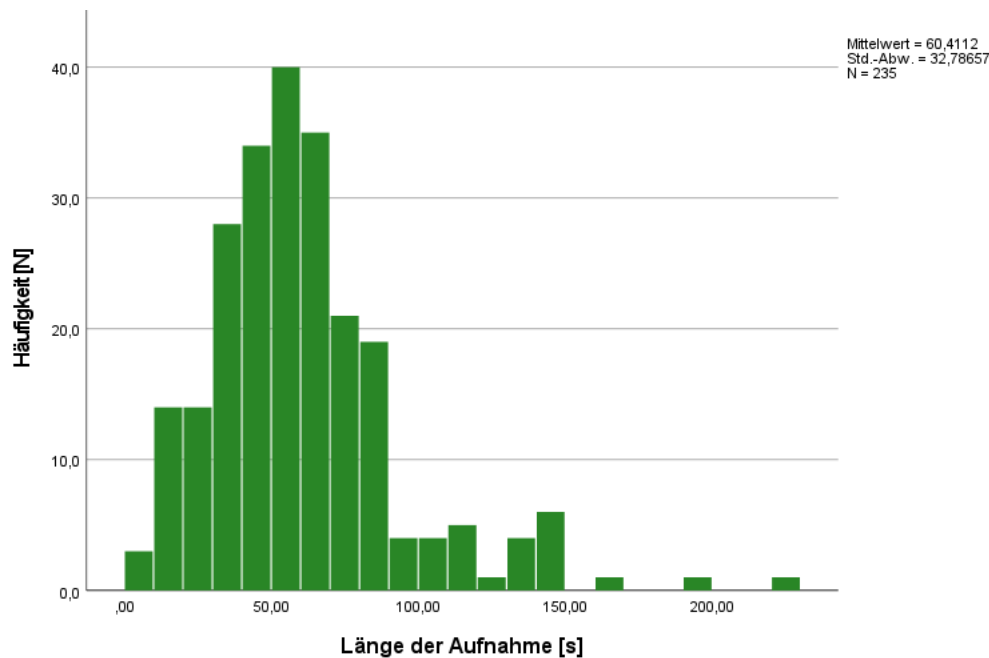
Tabelle 3 zeigt die Gesamtmenge aller Aufnahmen vor der Selektion auf. Es wurden insgesamt 235 Aufnahmen vermessen. Die summierte Gesamtlänge aller Aufnahmen betrug 14196,64 s. Dies sind 236,61 min oder 3,94 h. Die Aufnahmedauer variiert zwischen 4,02 s und 224,05 s.

## ERGEBNISSE

**Tabelle 3 Explorative Statistik der Aufnahmesequenzen**

Anzahl der Aufnahmen N = 235	Länge der Aufnahme [s]
Minimum	4,02
Maximum	224,05
Summe	14196,64
Mittelwert	60,41
Std.-Abweichung	32,79
Varianz	1074,96
Schiefe	1,53
Kurtosis	4,00

Ein Histogramm (Abbildung 6) zeigt die Verteilungshäufigkeit der Aufnahmelänge graphisch auf. Auffällig ist hier eine annähernde Normalverteilung bei einem Mittelwert von etwa 60 s mit einigen Ausreißern von bis zu über 200 s Aufnahmedauer.



**Abbildung 6 Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Aufnahmelänge**

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich wird, umfassten diese Aufnahmen vor der Datenselektion 7504 Expirationen. Die Zahl der Inspirationen war dabei mit 6428 niedriger, da Inspirationen häufig als Pause zwischen zwei Substrophen als p annotiert wurden oder am Ende einer Strophe nicht mehr mit einbezogen wurden. Ex- und Inspirationen wurden

## ERGEBNISSE

nach den in Kapitel 2.3.1 erläuterten Regeln insgesamt 485 Strophen zugeteilt. Auch lässt sich anhand des Minimums erkennen, dass einzelne Strophen nur eine Expiration und null Inspirationen aufweisen. Dies kam häufig durch Störfaktoren zustande. So begann der Säugling manchmal mit einer Lautäußerung und wurde dann von der Mutter oder anderen Umgebungsparametern abgelenkt, sodass es bei der ersten Äußerung blieb. Auch ohne erkennbare externe Einflussfaktoren blieb es gelegentlich bei einer einzigen Vokalisation mit einer längeren darauffolgenden Pause. Dies führte nach den in Kapitel 2.3.1 erläuterten Regeln aufgrund einer Pausenlänge von über 3s definitionsgemäß zu einer Strophe mit nur einer einzigen Expiration.

Der arithmetische Mittelwert der Anzahl der Expirationen pro Strophe betrug 15,47, während der entsprechende Wert für die Inspirationen bei 13,25 lag. Insgesamt belief sich die mittlere Strophenlänge auf 23,9 s. Die aufsummierte Gesamtlänge aller Strophen betrug 11591 s oder etwa 3,22 h.

**Tabelle 4**            **Deskriptive Statistik: Überblick über den Rohdatensatz**  
Alle Werte wurden pro Strophe gemittelt.

Anzahl der Strophen N = 485	Anzahl der Expirationen [N]	Anzahl der Inspirationen [N]	Strophen- länge [s]
Mittelwert	15,47	13,25	23,90
Median	9,00	7,00	17,12
Minimum	1	0	0,49
Maximum	137	129	188,81
Summe	7504	6428	11591,43

Diese Rohdaten wurden nun der beschriebenen Präselektion zugeführt (Entfernen von Strophen mit einer einzelnen Vokalisation; Entfernen von abgebrochenen Strophen). Dadurch stellte sich der Datensatz wie in Tabelle 5 gezeigt dar. Die Anzahl der Lautäußerungen bzw. Expirationen hat sich auf 6242 verringert, bei noch 5418 Inspirationen und 373 Strophen. Diese verteilten sich nun auf noch 202 Aufnahmen. Wie anhand des Minimums zu erkennen ist, liegt die Mindestanzahl der Expirationen nun bei 2 und die der Inspirationen bei 1 pro Strophe. Der arithmetische Mittelwert der Anzahl der Expirationen pro Strophe beträgt nun 16,73, der von Inspirationen 14,53. Die mittlere

## ERGEBNISSE

Strophenlänge liegt nun bei 25,86 s. Damit haben sich diese drei Werte im Vergleich zum ungefilterten Rohdatensatz geringfügig erhöht. Die aufsummierte Gesamtlänge aller Strophen beträgt jetzt noch 9645,04 s bzw. 160,75 min oder etwa 2,68 h.

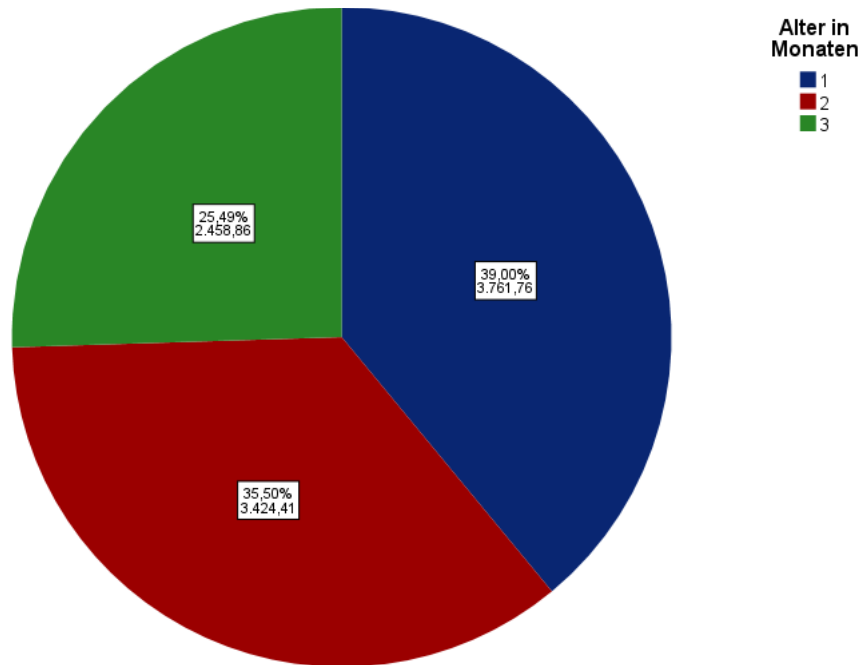
Dieser bereinigte Datensatz war Grundlage für alle weiteren statistischen Untersuchungen auf Strophenebene.

**Tabelle 5**                    **Deskriptive Statistik: Überblick über den selektierten Datensatz**  
Alle Werte wurden pro Strophe gemittelt.

Anzahl der Strophen N = 373	Anzahl der Expirationen [N]	Anzahl der Inspirationen [N]	Strophen- Länge [s]
Mittelwert	16,73	14,53	25,86
Median	10,00	9,00	18,78
Minimum	2	1	2,15
Maximum	137	129	119,61
Summe	6242	5418	9645,04

Die Verteilung der Strophenlänge auf den Untersuchungszeitraum wird in Abbildung 7 graphisch dargestellt. Hier zeigt sich, dass der erste Lebensmonat 39,00 % beziehungsweise 3761,76 s oder 62,70 min als Strophen annotierte Aufnahmelänge auf sich vereint. Darauf folgt der zweite Lebensmonat mit 35,50 % und 3424,41 s oder 57,07 min. Der dritte Monat verfügt mit 25,49 % der untersuchten Strophenlänge über eine Dauer von 2458,86 s oder 40,98 min. Es lässt sich feststellen, dass trotz einer leichten Überrepräsentation des ersten Lebensmonats insgesamt dennoch eine gute Abdeckung des Altersverlaufs über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg sichergestellt ist.

## ERGEBNISSE

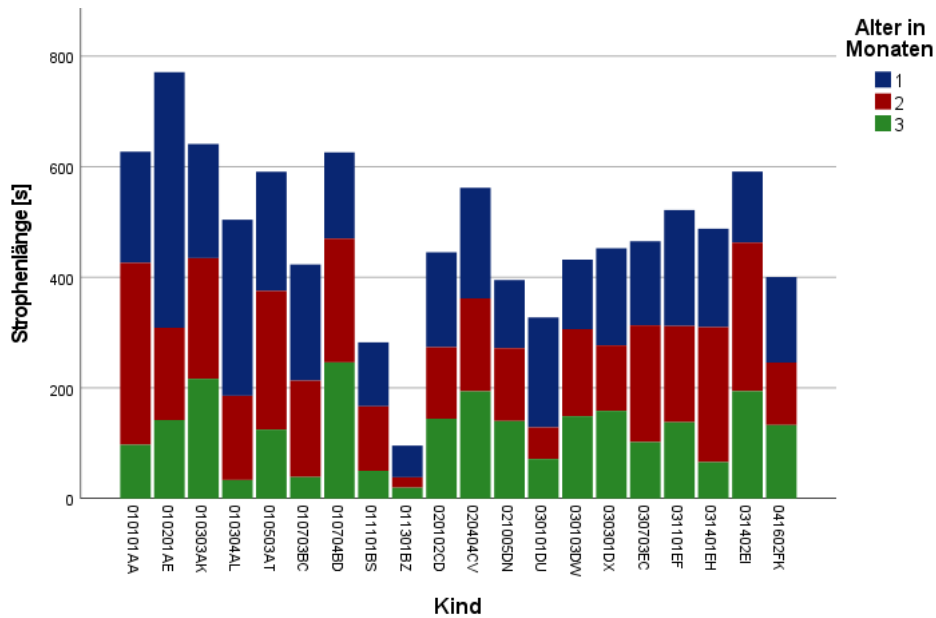


**Abbildung 7** Kreisdiagramm der Verteilung der aufsummierten Gesamtstrophenlänge [s] im Untersuchungszeitraum in Monaten

Die Gesamtlänge der Strophen sowie ihr prozentualer Anteil sind im Kreisdiagramm pro Monat angegeben. Die Gesamtdauer der Strophen beträgt 9645,04 s.

Die Verteilung der annotierten Strophenlängen wurde zusätzlich in Abbildung 8 als Histogramm in der Säuglingsübersicht, aufgeschlüsselt nach Lebensmonaten überprüft. Auffällig sind dabei die niedrigen aufsummierten Strophenlängen des Säuglings 011301BZ. Dieser scheint zwar eine gute Abdeckung mit wöchentlichen Aufnahmen vorweisen zu können (Tabelle 2). Jedoch verfügten diese Aufnahmen insgesamt über wenig annotierbare Vokalisationssequenzen und bedingen damit den im Säuglingsvergleich geringen Annotationszeitraum. Bei den übrigen Säuglingen zeigen sich schwankende Werte der gesamten annotierten Strophenlänge mit einer guten Abdeckung über alle drei Lebensmonate hinweg.





**Abbildung 8** Histogramm der Verteilung der aufsummierten Gesamtstrophelänge [s] im Untersuchungszeitraum aufgeschlüsselt nach Monaten in der Säuglingsübersicht

### 3.2 Analysen auf Strophenebene

Dieses Kapitel beinhaltet die Ergebnisse der statistischen Analyse auf Strophenebene. Zunächst wird die Verteilung der Strophen auf die einzelnen Aufnahmen aufgezeigt. Weitere Ergebnisse betreffen die temporalen Eigenschaften der Strophe, der Breaks und Pausen, sowie die zeitliche Dauer der Ex- und Inspirationen. Wie in Kapitel 3.1 dargelegt wurde der Datensatz zunächst aufbereitet, sodass die in Tabelle 5 gezeigte Grunddatenmenge zur Auswertung auf Strophenebene bereitstand.

#### 3.2.1 Analyse der Strophenzahl und Strophelänge

Zunächst soll eine deskriptive Statistik aufzeigen, wie viele Strophen im Datensatz identifiziert werden konnten. Tabelle 6 beschreibt die Verteilung der insgesamt 373 Strophen auf die 202 einzelnen Aufnahmen. Auffällig ist hier vor allem der Median von 1,0 Strophen bei einem Mittelwert von 1,85 Strophen pro Aufnahme. Dies spricht für einen prozentual hohen Anteil an Aufnahmen mit nur einer Strophe, also eine schnelle Aufeinanderfolge von Schreien. Es lässt sich daher festhalten, dass die meisten Aufnahmen eine Sequenz von Säuglingsschreien mit nur einer Strophe abbilden, also keine Breaks von  $\geq 3$  s beinhalten.

## ERGEBNISSE

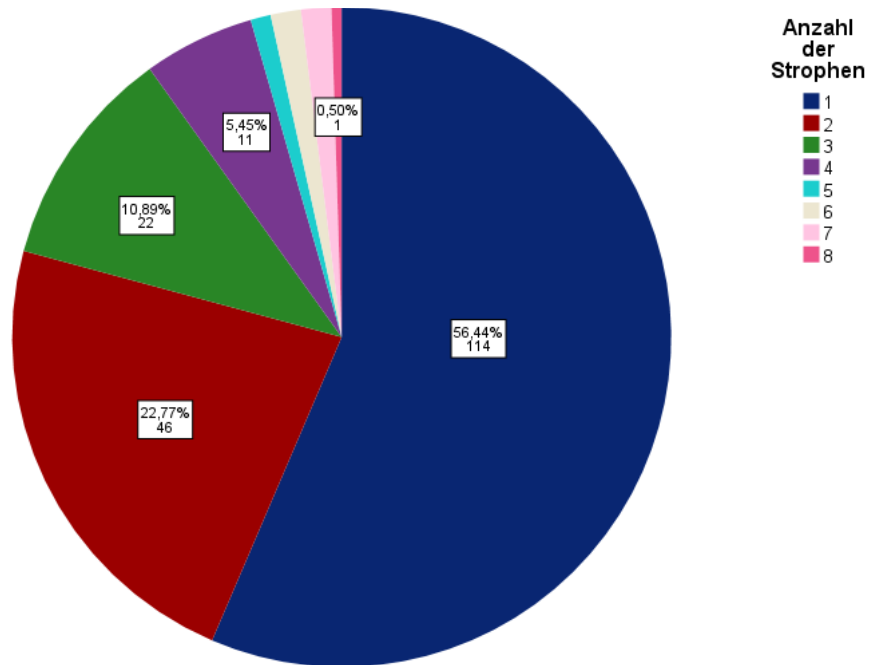
**Tabelle 6                    Deskriptive Statistik: Anzahl der Strophen**

N(gesamt) = 202 Aufnahmen / 373 Strophen	Statistik [N]
Mittelwert	1,85
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	1,66
Untergrenze	2,03
Obergrenze	
5% getrimmtes Mittel	1,66
Median	1,00
Varianz	1,75
Standardabweichung	1,32
Minimum	1
Maximum	8
Schiefe	2,16
Kurtosis	5,26

Diese Verteilung der Strophen auf die einzelnen Aufnahmen ist in Abbildung 9 durch ein Kreisdiagramm verdeutlicht. Es zeigte sich hier, dass von insgesamt 202 Aufnahmen mit 114 mehr als die Hälfte nur über eine einzige Strophe verfügen.

Es kann daher festgehalten werden, dass die Strophendefinition in der vorliegenden Arbeit durch die Notwendigkeit von Breaks von  $\geq 3$  s Länge für den Beginn einer neuen Strophe im Ergebnis zu einer sehr niedrigen Anzahl an Strophen pro Aufnahme führte.

## ERGEBNISSE



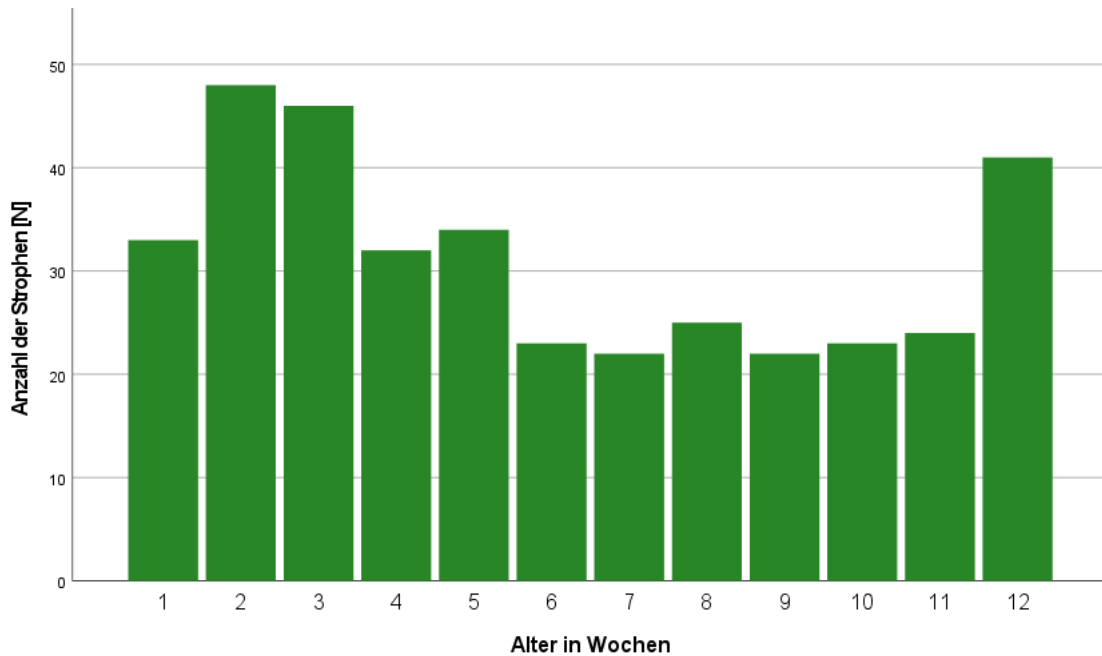
**Abbildung 9**

### **Kreisdiagramm der Verteilung der Strophenzahl pro Aufnahme**

Die Gesamtzahl sowie der prozentuale Anteil der Aufnahmen mit den Strophenzahlen 1, 2, 3, 4 und 8 sind im Kreisdiagramm angegeben, auf die übrigen Werte wurde übersichtshalber verzichtet. Die Gesamtzahl der Aufnahmen beträgt  $N = 202$ . 114 Aufnahmen (56,44 %) haben nur eine Strophe, 46 Aufnahmen (22,77 %) haben 2 Strophen, die übrigen 42 Aufnahmen haben mehr als 2 Strophen.

Die Entwicklung der untersuchten Strophenzahl im Wochenverlauf wurde im Histogramm (Abbildung 10) untersucht. Dabei erwies sich eine hinreichende Gleichverteilung der Strophen über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg als gegeben. Der erste Monat erschien, wie schon im Kreisdiagramm der Verteilung der Gesamtstrophenzahl (Abbildung 7), leicht überrepräsentiert.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 10**      **Histogramm der Anzahl der Strophen im Wochenverlauf**  
Die Gesamtzahl der Strophen lag bei N = 373.

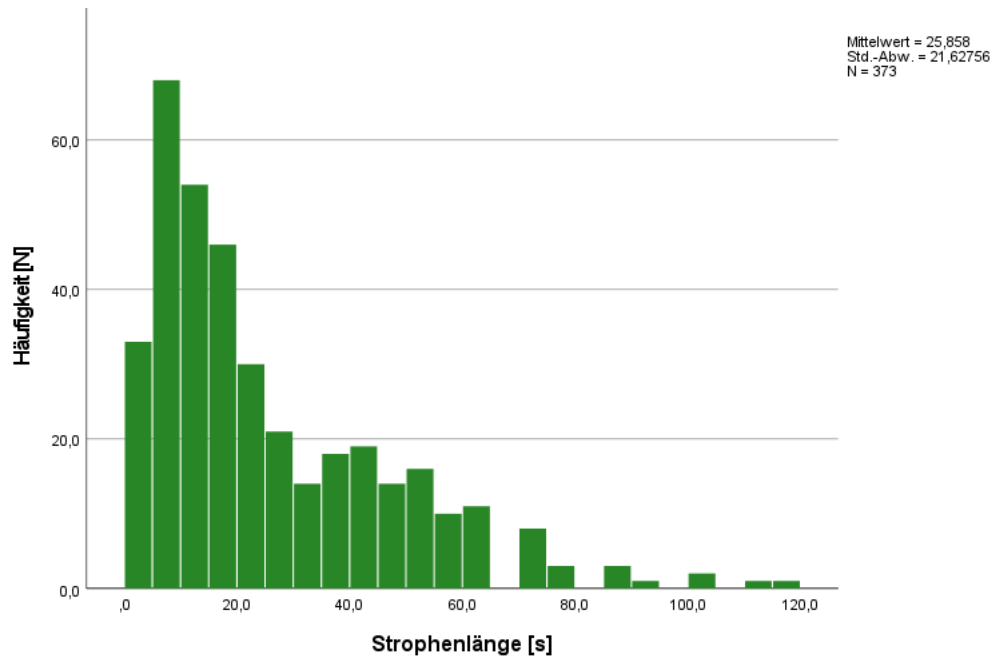
Nach Analyse der Strophenzahl pro Aufnahme soll nun Augenmerk auf die temporalen Eigenschaften der Strophen, also die Strophenlänge, gelegt werden. Tabelle 5 gab bereits Auskunft über die untersuchte Gesamtstrophenlänge mit 9645,04 s beziehungsweise 160,75 min oder etwa 2,68 h. Wie aus Tabelle 7 ersichtlich wird, wies die Strophenlänge eine recht große Streubreite auf.

**Tabelle 7**      **Temporale Eigenschaften der Strophen [s]**

Anzahl der Strophen	Mittelwert	Median	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum
N = 373	25,86	18,78	21,63	2,15	119,61

Dies führte dazu, dass einige wenige Ausreißer mit hohen Strophenlängen den Mittelwert deutlich über den Median erhöhten (Abbildung 11).

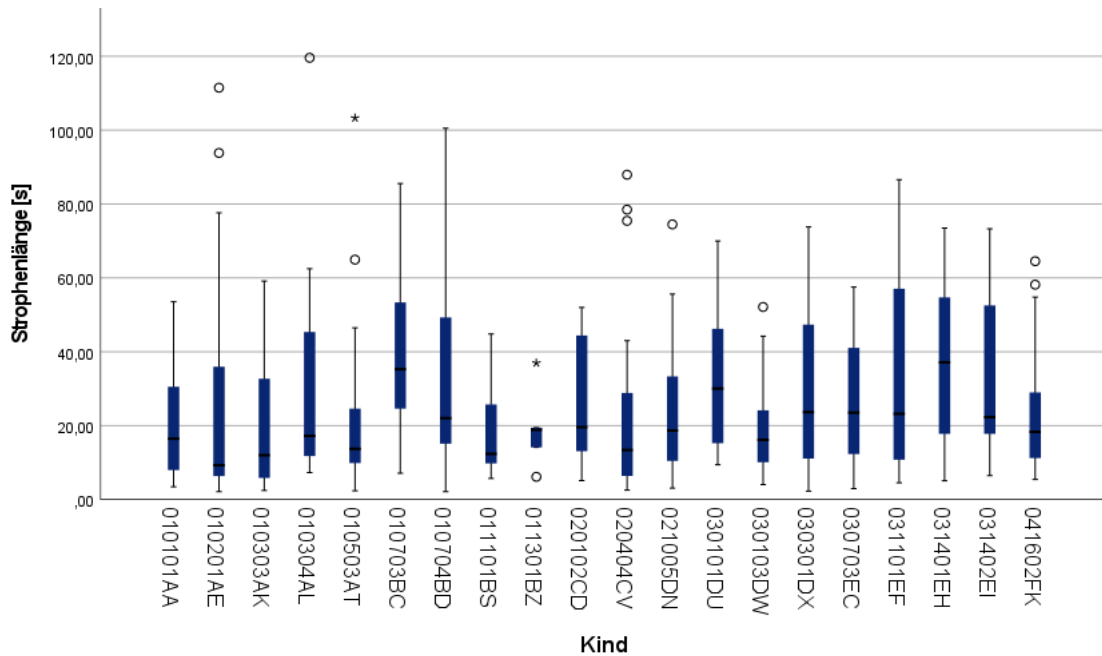
## ERGEBNISSE



**Abbildung 11** Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Strophenlänge

Einige Strophen wichen sehr stark vom Mittelwert ab und erstreckten sich über sein Vielfaches. Interessant ist, wie häufig dies vorkam und ob einige Säuglinge besonders durch hohe Strophenlängen auffielen. Darauf soll zunächst Abbildung 12 Antworten liefern. Visuell lässt sich hier der Maximalwert von 119,16 s aus Tabelle 7 erkennen: Er stellte einen Ausreißer des Kindes 010304AL dar. Es zeigte sich aber auch, dass diese Ausreißer generell selten waren.

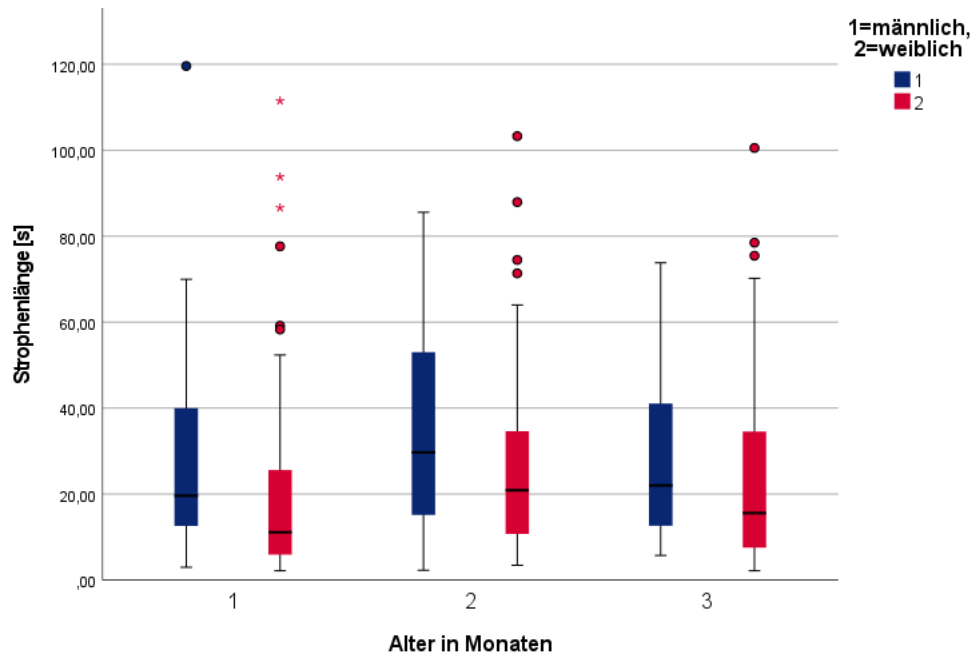
## ERGEBNISSE



**Abbildung 12** Boxplot der Verteilung der Strophienlänge in der Säuglingsübersicht

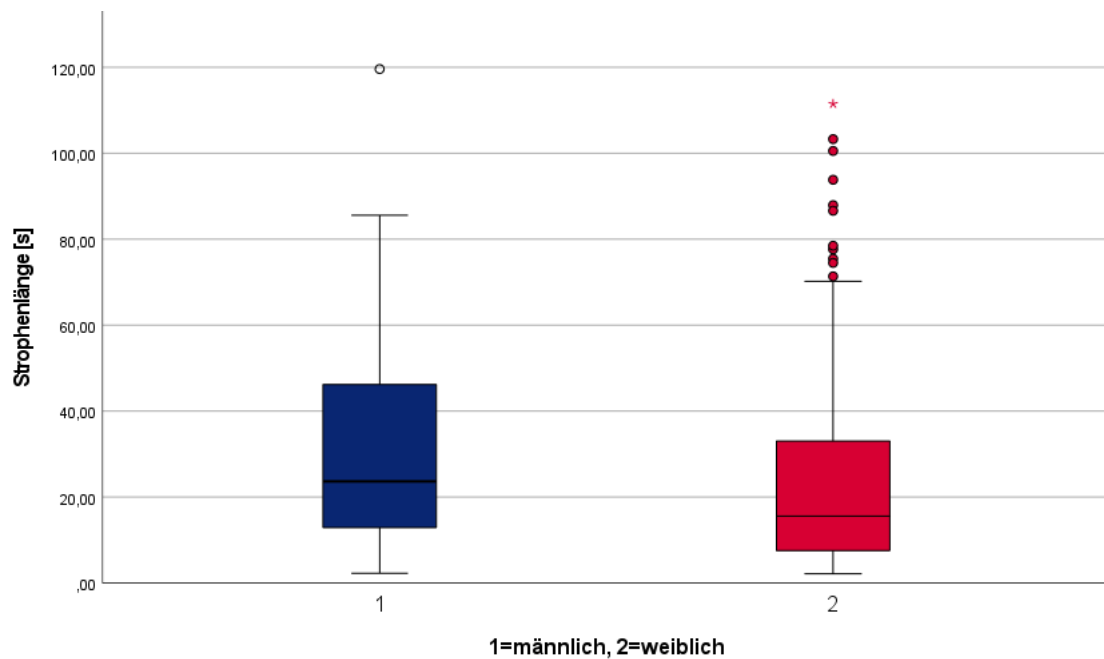
Nachfolgend zeigt Abbildung 13 zusammenfassend die Verteilung der Strophienlängen im Verlauf der ersten 3 Lebensmonate im Geschlechtervergleich als Boxplot auf. Dafür wurde das Lebensalter der Probanden von Lebenstagen zum Aufnahmezeitpunkt in Monate umkodiert. Es zeigte sich in allen 3 Lebensmonaten eine höhere durchschnittliche Strophienlänge bei männlichen im Vergleich zu weiblichen Probanden. Im Altersverlauf zeigte sich kein linearer Trend. So nahm die durchschnittliche Strophienlänge vom ersten zum zweiten Lebensmonat zunächst zu. Zum dritten Lebensmonat hin sank sie jedoch wieder ab, ohne den durchschnittlichen Ausgangswert des ersten Monats zu erreichen.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 13** Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Strophlänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht

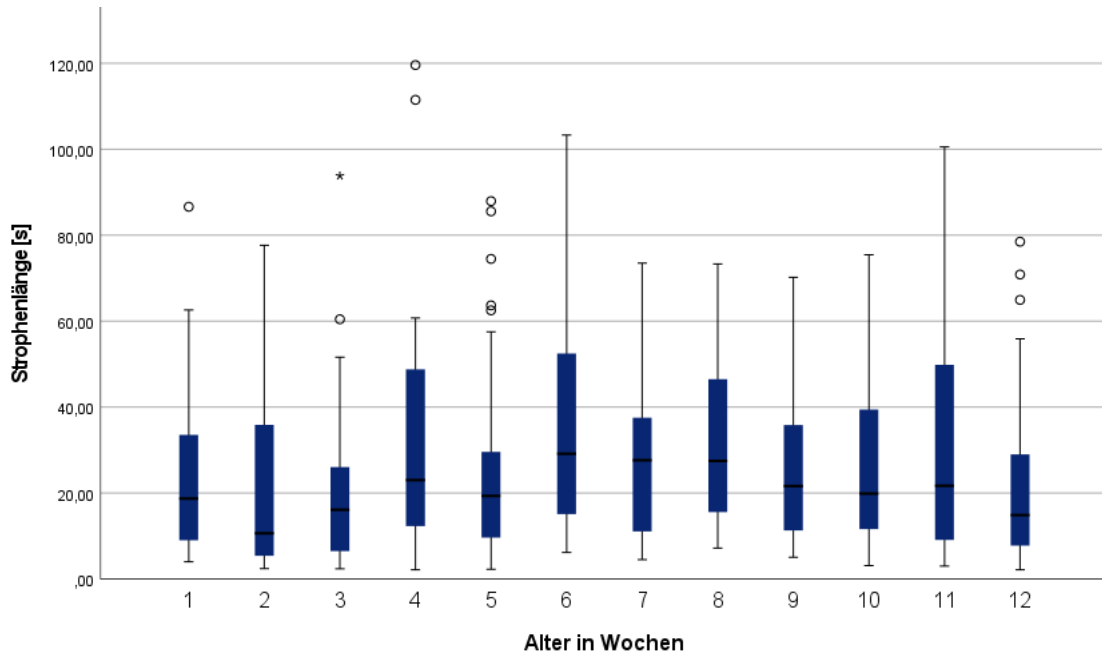
Der Geschlechtsunterschied wird in einer vom Lebensalter unabhängigen Grafik erneut deutlich. Abbildung 14 zeigt einen Vorsprung der männlichen Probanden bei der Variable Strophlänge.



**Abbildung 14** Boxplot der Verteilung der Strophlänge im Geschlechtervergleich

## ERGEBNISSE

Noch detaillierter lässt sich der zeitliche Verlauf der Strophenlängen aus Abbildung 15 in der Wochenübersicht ohne Geschlechtervergleich ableiten. Hier zeigte sich visuell kein linearer Trend der temporalen Eigenschaften der Strophen im Verlauf der ersten zwölf Lebenswochen.

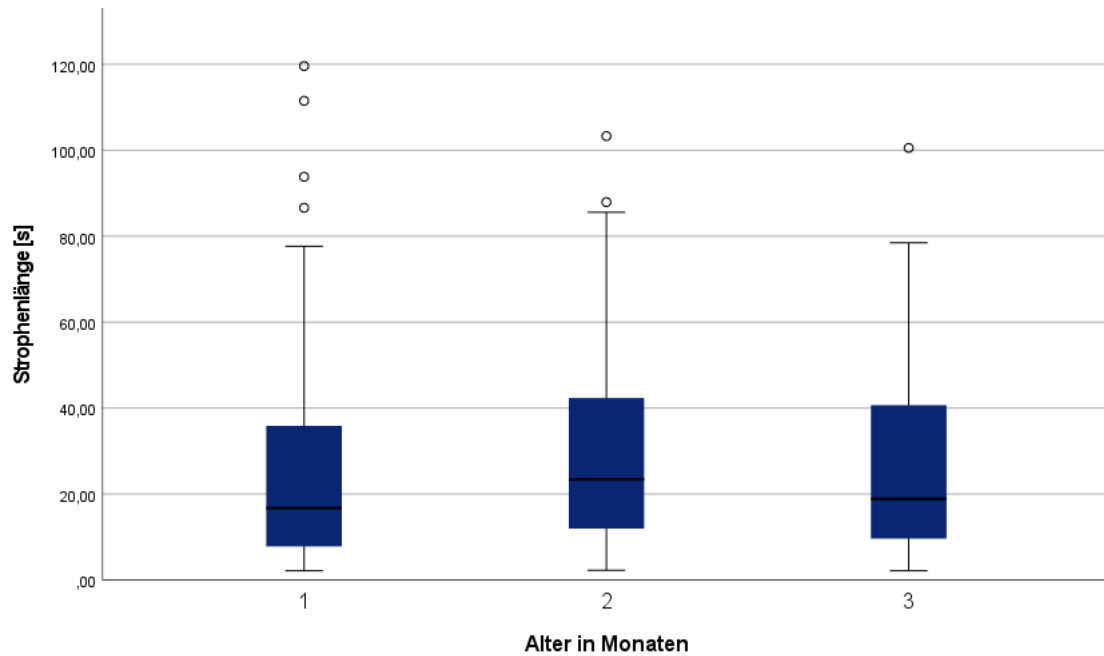


**Abbildung 15** Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Strophenlänge in der Wochenübersicht

Abbildung 16 zeigt die Strophenlängen in der Monatsübersicht für beide Geschlechter als Boxplot auf. Die Strophenlängen folgten auch nach Monaten aufgeteilt keinem linearen Trend. Der Median stieg im Verlauf von Monat 1 und 16,76 s zu Monat 2 auf 23,43 s an, sank jedoch im 3. Monat wieder auf 18,89 s.



## ERGEBNISSE



**Abbildung 16** Boxplot der Verteilung der Strophelänge in der Monatsübersicht

Die deskriptive Statistik im Monatsüberblick wird in Tabelle 8 berichtet. Die Monatsschwankungen der Medianwerte lassen sich hier ebenso ablesen wie die für alle 3 Monate ähnlichen Minima und Maxima.

**Tabelle 8**                    **Explorative Statistik der Strophenlänge  
im Monatsverlauf**

Monat		Statistik [s]
1	Mittelwert	23,51
	Median	16,76
	Standardabweichung	21,60
	Minimum	2,15
	Maximum	119,61
	Schiefte	1,724
	Kurtosis	3,70
2	Mittelwert	29,02
	Median	23,43
	Standardabweichung	21,48
	Minimum	2,27
	Maximum	103,30
	Schiefte	1,023
	Kurtosis	,60
3	Mittelwert	25,89
	Median	18,89
	Standardabweichung	21,59
	Minimum	2,16
	Maximum	100,55
	Schiefte	1,18
	Kurtosis	,79

Zur Signifikanzprüfung der einzelnen Einflussfaktoren auf die Messgröße Strophenlänge wurde zunächst nach dem in Kapitel 2.4.2 beschriebenen Vorgehen die Notwendigkeit linearer gemischter Modelle als statistische Untersuchungsmethode mit einem ICC von 0,278 bestätigt. Die Variable selbst wurde logarithmiert untersucht.

Für das finale Modell (siehe Tabelle 9) mit zufälliger Konstanten und zufälliger Steigung (Kovarianzmatrix diagonal) wurde ein AIC von 365,28 als Modellgütekriterium erreicht. Um den Alterseffekt auf die Strophenlänge zu untersuchen, wurden verschiedene Modelle gerechnet. Es wurde der Aufnahmetag, das Alter in Wochen sowie das Alter in Monaten untersucht. Die höchste Modellgüte, ausgedrückt in Form des AIC, zeigte sich

## ERGEBNISSE

bei Betrachtung der Monatsentwicklung. Daher wurde diese für das finale Modell zur Überprüfung eines Alterseffekts ausgewählt. Die Interaktion von Geschlecht und Alterseffekt erwies sich als nicht signifikant ( $b=0,051$ ,  $p=0,344$ , 95-% CI [-0,055, 0,156]). Das finale Modell zeigte einen signifikanten Einfluss des Faktors Geschlecht ( $b=-0,167$ ,  $p=0,001$ , 95-% CI [-0,264, -0,070]). Der Faktor Lebensmonat zeigte knapp keinen signifikanten Einfluss ( $b=0,049$ ,  $p=0,059$ , 95%-CI [-0,002, 0,100]).

**Tabelle 9**      **Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Strophenlänge**  
**AIC = 365,28**

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	1,44060	,091710	68,107	15,708	<,001	1,257605	1,623604
Monat	,049030	,025830	181,651	1,898	,059	-,001935	,099994
Geschlecht	-,167023	,048072	38,193	-3,474	,001	-,264324	-,069722

### Modellparameter

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Strophenlänge

Modellebenen: Proband, Aufnahmemonat, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Da der Alterseffekt sich mit  $p = 0,059$  als nur knapp nicht signifikant zeigte, wurde ergänzend ein Modell zur Prüfung einer möglichen Signifikanz einzelner Monatsunterschiede gerechnet (Tabelle 10).

Im Ergebnis war der Unterschied von Monat eins zu Monat drei ebenso nicht signifikant ( $b=-0,097$ ,  $p=0,165$ , 95-% CI [-0,236, 0,042]) wie der von Monat zwei zu Monat drei ( $b=0,027$ ,  $p=0,695$ , 95-% CI [-0,111, 0,165]). Auch dieses Modell ergab für das Geschlecht eine deutliche Signifikanz ( $b=-0,149$ ,  $p=0,003$ , 95%-CI [-0,243, -0,055]).

## ERGEBNISSE

**Tabelle 10**      **Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Strophenlänge im Monatsvergleich**  
**AIC = 357,99**

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	1,547333	,093508	58,342	16,548	<,001	1,360180	1,734487
Sex	-,149112	,046884	49,533	-3,180	,003	-,243303	-,054920
[Monat=1]	-,097101	,068415	32,349	-1,419	,165	-,236398	,042197
[Monat=2]	,026841	,067709	30,572	,396	,695	-,111332	,165013
[Monat=3]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

b. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

### Modellparameter

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Strophenlänge

Modellebenen: Proband nach Aufnahmemonaten, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Ein Blick auf Abbildung 14 und Abbildung 16 zeigt, dass die Ergebnisse des gemischten Modells gut mit den visuell getroffenen Annahmen aus den Boxplots übereinstimmen. Dort zeichnete sich bereits ein Einfluss des Geschlechts ab, während ein deutlicher Alterseffekt nicht zu beobachten war. Eine mögliche Ursache des Geschlechtsunterschiedes wird in Kapitel 4.1.1 diskutiert.

Eine höhere Anzahl an Strophen konnte für weibliche Probanden statistisch bestätigt werden. Von den insgesamt 373 untersuchten Strophen vereinen weibliche Säuglinge 234 (62,73 %) auf sich, männliche lediglich 139 (37,27 %). Alle in Kapitel 2.4.2 erörterten Voraussetzungen für den Einsatz linearer gemischter Mehrebenenmodelle waren für das finale Modell erfüllt. Eine Normalverteilung der Residuen konnte im Histogramm und Q-Q-Diagramm bestätigt werden.

### 3.2.2 Analyse der Breakanzahl und Breaklänge zwischen Strophen

Wie in Kapitel 2.3.1 erläutert wurden die Breaks als Pausen zwischen Strophen von  $\geq 3$  s und  $\leq 15$  s definiert. Sie segmentieren die Einzelaufnahmen also in Strophen. Im Folgenden sollen ihre Anzahl sowie temporalen Eigenschaften pro Aufnahme gemittelt untersucht werden. Die Werte sind pro Aufnahme gemittelt worden und es wurden nur Aufnahmen einbezogen, die auch tatsächlich über Breaks verfügen.

## ERGEBNISSE

Tabelle 11 beschreibt die Verteilung der Breaks auf die einzelnen Aufnahmen. Es wurden dabei 178 Breaks verteilt auf 82 Aufnahmen analysiert. Diese Zahlen erklären sich folgendermaßen: Aus Tabelle 6 ist bereits bekannt, dass eine Gesamtzahl von 202 Aufnahmen untersucht wurde. Abbildung 9 zeigte auf, dass 114 dieser Aufnahmen lediglich über eine Strophe verfügten. Eine Aufnahme mit nur einer Strophe beinhaltet per definitionem keine Breaks, da diese stets zwischen zwei Strophen liegen und sie voneinander trennen. Damit verblieben nur noch 88 Aufnahmen, die mehr als eine Strophe beinhalteten und damit potenziell Breaks beinhalten könnten. Zusätzlich gilt zu beachten, dass Strophen bei Vokalisationspausen von >15 s auch durch non-value Werte getrennt werden (siehe Kapitel 2.3.1). Dies erklärt das Defizit von 6 Aufnahmen, sodass am Ende tatsächlich nur 82 Aufnahmen Breaks aufwiesen

Auch die übrigen Werte der Tabelle 11 erklären sich vor dem Hintergrund der Strophenstatistik. Beispielsweise bedingt die maximale Strophenzahl von 8 pro Aufnahme auch ein Maximum von 7 Breaks. Da nur Aufnahmen mit Breaks einfließen und solche mit nur einer Strophe und ohne Breaks aussortiert wurden, beträgt das Minimum hier folglich 1 (und nicht etwa 0).

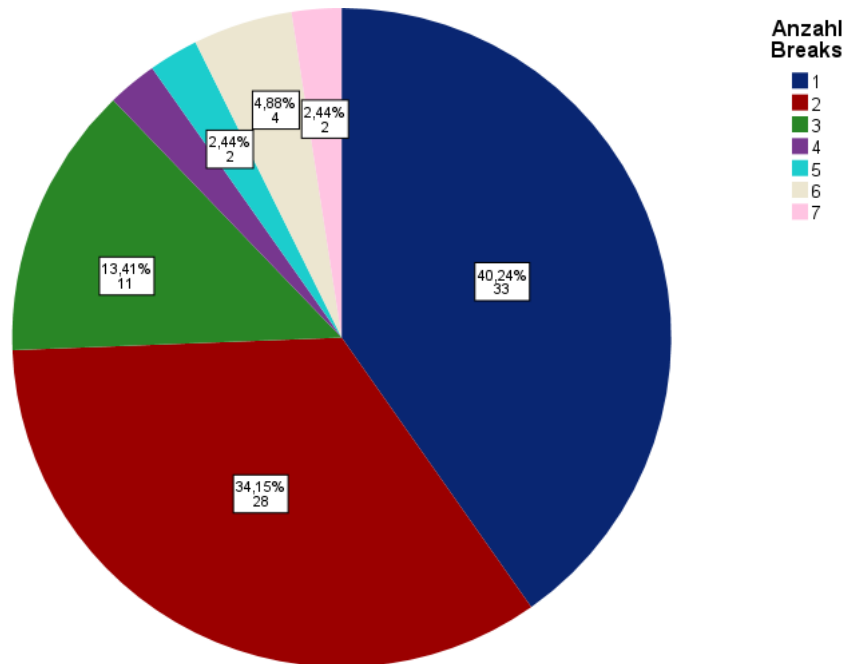
**Tabelle 11**                      **Deskriptive Statistik: Anzahl der Breaks**

N(gesamt) = 178 Breaks / 82 Aufnahmen		Statistik [N]
Mittelwert		2,17
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,84
	Obergrenze	2,50
5% getrimmtes Mittel		2,00
Median		2,00
Varianz		2,242
Standardabweichung		1,497
Minimum		1
Maximum		7
Schiefe		1,736
Kurtosis		2,613

Weitere Auskunft über die Zusammensetzung der Aufnahmen in Bezug auf die Breaks gibt das Kreisdiagramm in

## ERGEBNISSE

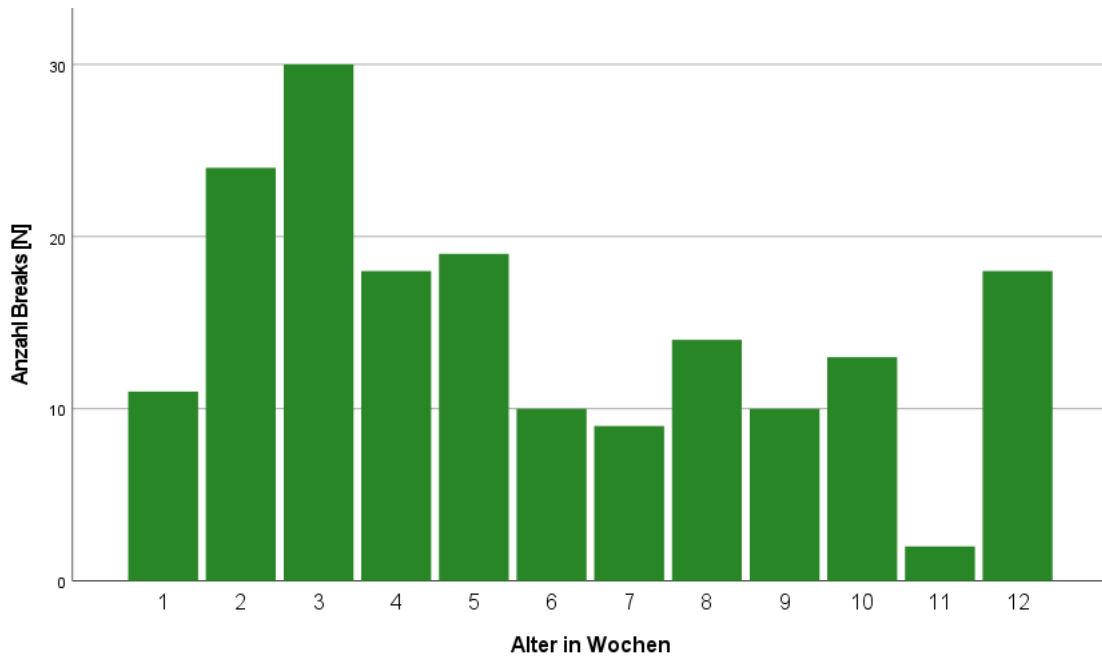
Abbildung 17. Von den 82 Aufnahmen mit Breaks beinhalteten also 33 respektive 40,24 % ein Break und damit 2 Strophen. 28 Aufnahmen (34,15 %) verfügen über zwei Breaks, enthielten also in Konsequenz 3 Strophen.



**Abbildung 17** **Kreisdiagramm der Verteilung der Anzahl der Breaks pro Aufnahme**  
Die Gesamtzahl sowie der prozentuale Anteil der Aufnahmen mit den Breakzahlen 1, 2, 3, 5, 6 und 7 sind im Kreisdiagramm angegeben, auf den übrigen Wert wurde übersichtshalber verzichtet. Mit 40,24 % beinhalten 33 der insgesamt 82 Aufnahmen ein Break. 28 Aufnahmen (34,15 %) verfügen über zwei Breaks. Die höheren Breakanzahlen verteilen sich auf die restlichen 21 Aufnahmen.

Die Verteilung der Breaks über den Untersuchungszeitraum zeigt das Histogramm in Abbildung 18 auf. Die elfte Lebenswoche erschien etwas unterrepräsentiert, der Untersuchungszeitraum auf Monatsbasis wies dennoch eine gute Deckung mit Werten auf.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 18** Histogramm der Anzahl der Breaks im Wochenverlauf  
Die Gesamtzahl der Breaks lag bei  $N = 373$ .

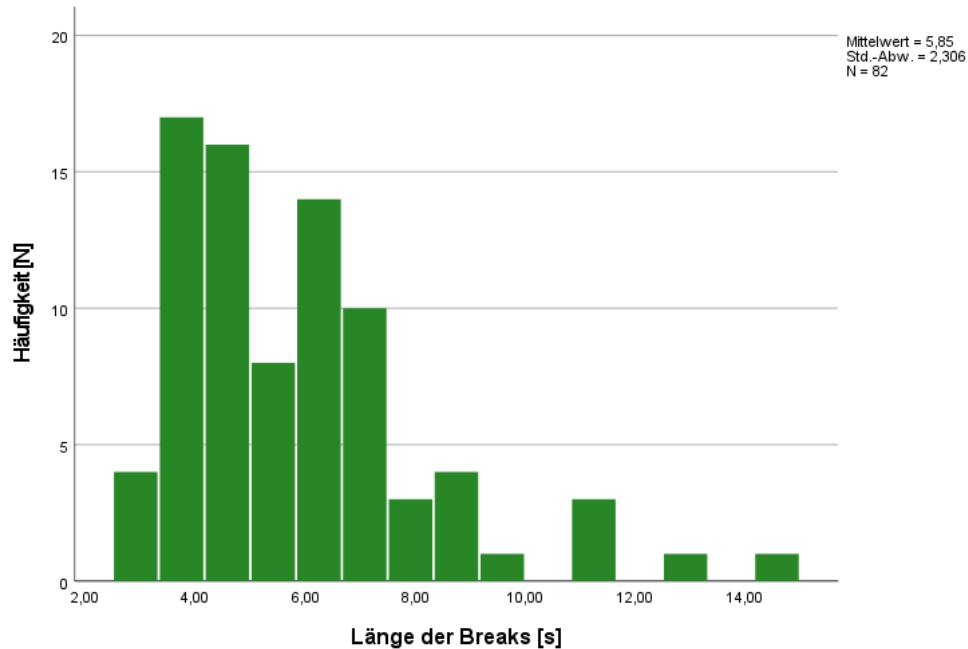
Nach Analyse der Anzahl der Breaks sollen nun auch ihre temporalen Eigenschaften pro Aufnahme betrachtet werden. Tabelle 12 zeigt die deskriptive Statistik auf.

**Tabelle 12** Temporale Eigenschaften der Breaks [s]

Anzahl der Breaks	Mittelwert	Median	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum
178	5,85	5,47	2,31	3,02	14,95

Das Verteilungshistogramm in Abbildung 19 zeigt die Häufigkeiten der Länge der Breaks auf. Die Werte schienen nicht gleichmäßig über den gesamten definierten Bereich von  $\geq 3$  s und  $\leq 15$  s verteilt zu sein. Stattdessen wiesen niedrige Werte  $\geq 3$  s und  $\leq 10$  s ein normalverteilungähnliches Muster auf, während höhere Werte ab 10 s eher als Ausreißer auftauchen.

## ERGEBNISSE

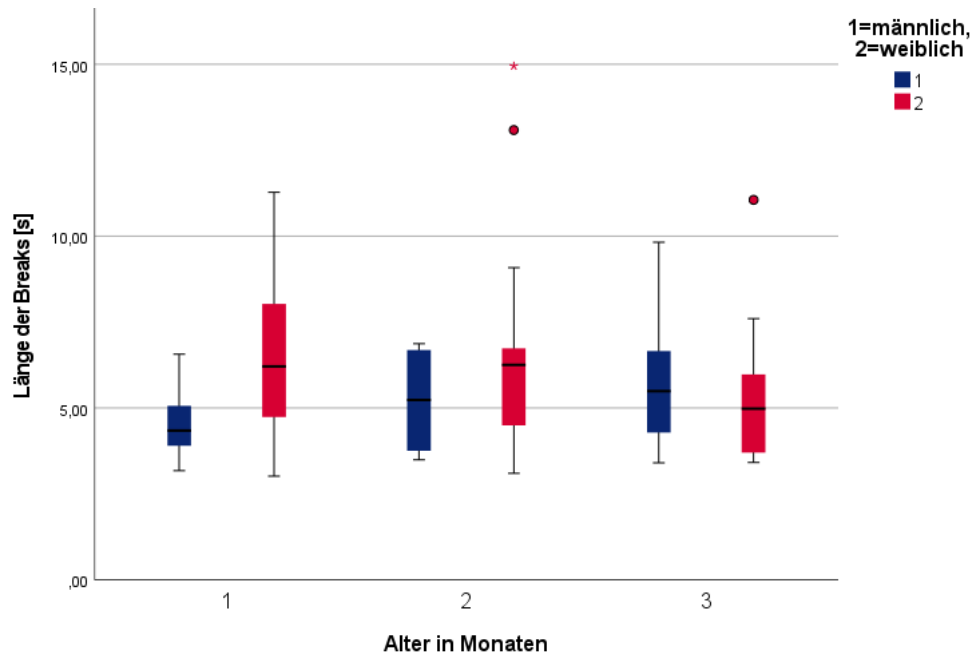


**Abbildung 19** Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Breaklänge

Im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht (Abbildung 20) schienen visuell vor allem Unterschiede zwischen den Geschlechtern prägnant zu sein. Weibliche Probanden wiesen dabei in den ersten beiden Lebensmonaten recht konstante und höhere Medianwerte auf als männliche, fielen zum dritten Monat hin jedoch ab. Die Werte der männlichen Probanden stiegen dagegen vom ersten zum zweiten Lebensmonat hin deutlich an, verblieben dann nahezu konstant zum dritten Monat. Die Altersentwicklung stellte sich also gegensätzlich dar. Während Jungen einen Anstieg der Werte verzeichneten, sanken diese bei Mädchen insgesamt ab.

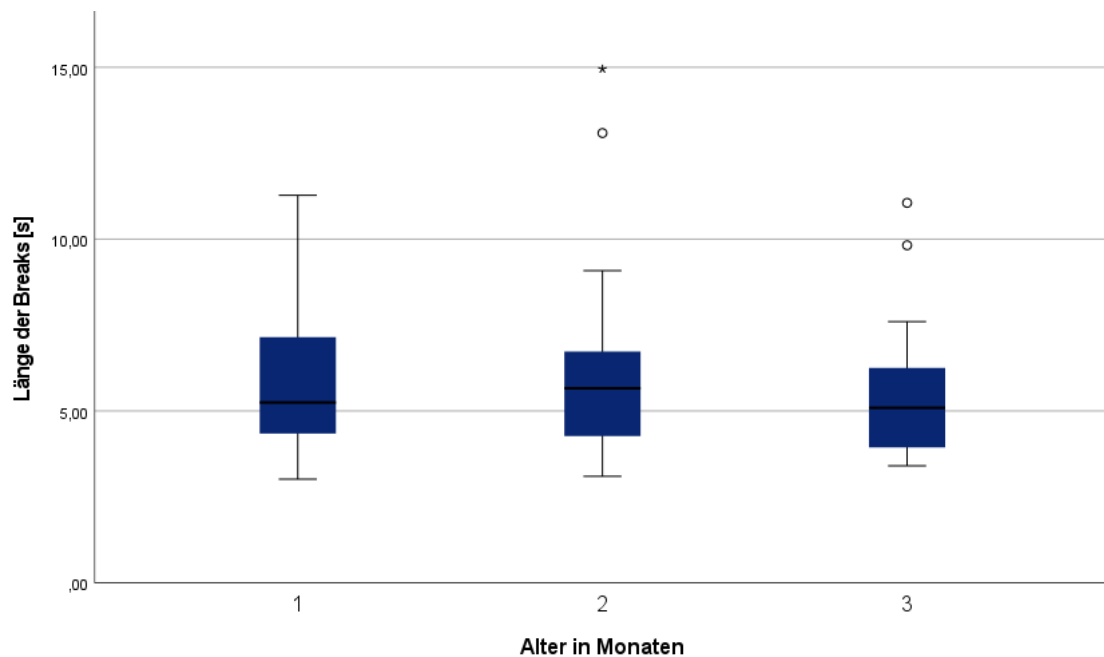


## ERGEBNISSE



**Abbildung 20** Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Breaklänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht

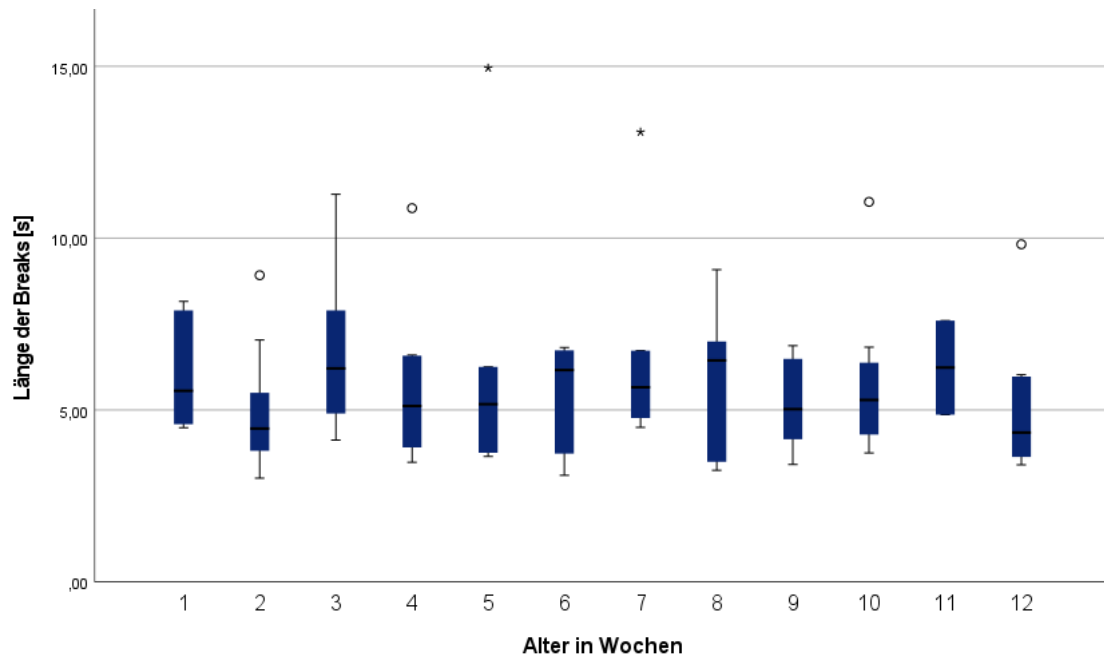
Die geschlechtsunabhängige Monatsübersicht zeigt in Abbildung 21 keine deutliche Tendenz im Monatsverlauf. Die Medianwerte nahmen vom ersten zum zweiten Monat leicht zu, sinken zum dritten Monat jedoch unter das Ausgangsniveau wieder ab.



**Abbildung 21** Boxplot der Verteilung der Breaklänge in der Monatsübersicht

## ERGEBNISSE

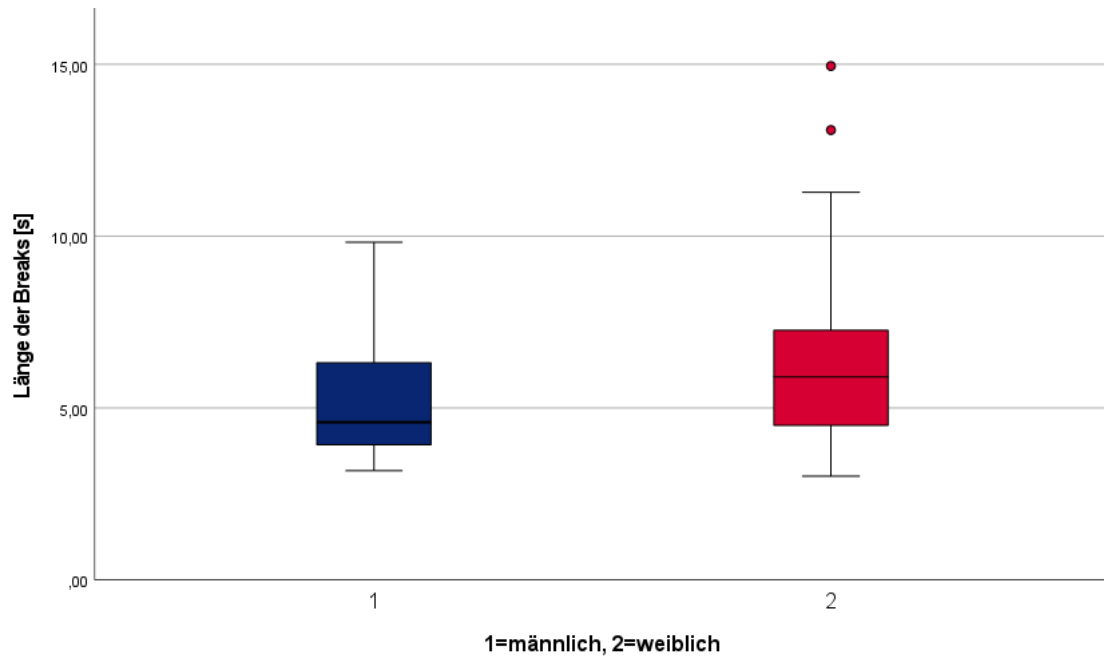
Abbildung 22 zeigt ebenfalls keine deutliche lineare Tendenz einer Zu- oder Abnahme der Werte im Altersverlauf.



**Abbildung 22** Boxplot der Verteilung der Breaklänge in der Wochenübersicht

Im altersunabhängigen Geschlechtervergleich zeigt sich in Abbildung 23 für weibliche Probanden weiterhin ein höherer Median bei 5,90 s im Vergleich zu männlichen mit 4,59 s. Dieser Alterseffekt ist schon aus Abbildung 20 bekannt und bestätigt sich im Vergleich über den gesamten Aufnahmezeitraum erneut. Eine mögliche Signifikanz des Alterseffekts soll noch mittels linearer gemischter Modelle geklärt werden.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 23** Boxplot der Verteilung der Breaklänge im Geschlechtervergleich

Die explorative Statistik der Breaklängen im Monatsverlauf (Tabelle 13) zeigt die Altersentwicklung detailliert auf. Hier bestätigte sich die Vermutung einer recht einheitlichen Verteilung über alle drei betrachteten Lebensmonate.

**Tabelle 13**      **Explorative Statistik der Breaklänge  
im Monatsverlauf**

Monat		Statistik [N]
1	Mittelwert	5,85
	Median	5,25
	Standardabweichung	2,09
	Minimum	3,02
	Maximum	11,28
	Schiefte	,943
	Kurtosis	,35
2	Mittelwert	6,04
	Median	5,66
	Standardabweichung	2,73
	Minimum	3,10
	Maximum	14,95
	Schiefte	1,96
	Kurtosis	4,56
3	Mittelwert	5,57
	Median	5,10
	Standardabweichung	2,12
	Minimum	3,40
	Maximum	11,06
	Schiefte	1,34
	Kurtosis	1,58

Nun soll die Signifikanz möglicher Einflussfaktoren auf die Länge der Breaks untersucht werden. Die Notwendigkeit gemischter Modelle wurde durch einen ICC von 0,22 zusätzlich bestätigt.

Für das finale Modell mit zufälliger Konstanten und zufälliger Steigung (Kovarianzmatrix diagonal) wurde ein AIC von -60,55 als Modellgütekriterium erreicht. Die Interaktion der Faktoren Geschlecht und Lebensmonat erwies sich als nicht signifikant ( $b=-0,062$ ,  $p=0,143$ , 95-%CI [-0,145, 0,022]) und wurde daher nicht in das finale Modell aufgenommen. Die Signifikanzprüfung des Alterseffekts ergab für den Monatsvergleich das beste Modell.

## ERGEBNISSE

Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der Faktors Geschlecht ( $b=0,096$ ,  $p=0,041$ , 95-% CI [0,004, 0,188]). Für den Alterseffekt konnte kein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden ( $b=-0,004$ ,  $p=0,853$ , 95%-CI [-0,045, 0,037]).

**Tabelle 14**                    **Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Breaklänge**  
**AIC = -60,55**

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	,598658	,078397	40,007	7,636	<,001	,440211	,757104
Geschlecht	,096208	,043737	18,101	2,200	,041	,004357	,188060
Monat	-,003814	,020373	38,125	-,187	,853	-,045053	,037425

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Inspirationslänge

Modellebenen: Proband, Aufnahmemonat, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Die abhängige Variable wurde zusätzlich auf eine mögliche Signifikanz einzelner Monatsunterschiede hin untersucht (Tabelle 15). Es zeigte sich dabei auch für den Längsschnittverlauf der ersten drei Monate keine Signifikanz.

Der Vergleich von Monat eins zu Monat drei war ebenso deutlich nicht signifikant ( $b=0,016$ ,  $p=0,678$ , 95-% CI [-0,062, 0,095]) wie der von Monat zwei zu Monat drei ( $b=0,033$ ,  $p=0,456$ , 95-% CI [-0,056, 0,121]). Für dieses Modell ergab sich für das Geschlecht knapp keine Signifikanz mehr ( $b=0,086$ ,  $p=0,072$ , 95%-CI [-0,008, 0,181]). Die Residuen waren nach Kontrolle des Histogramms und des Q-Q-Diagramms für das finale sowie für das ergänzende Modell normalverteilt.

**Tabelle 15** Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Breaklänge im Monatsvergleich  
AIC= -49,25

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	,590834	,074659	16,206	7,914	<,001	,432727	,748940
Geschlecht	,086171	,044507	14,838	1,936	,072	-,008784	,181126
[Monat=1]	,016376	,039249	61,901	,417	,678	-,062083	,094835
[Monat=2]	,032832	,043521	34,143	,754	,456	-,055599	,121263
[Monat=3]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

b. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Inspirationslänge

Modellebenen: Proband nach Aufnahmemonaten, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Die Ergebnisse stimmen mit den Tendenzen der explorativen Statistik überein. Dort zeigte sich ebenfalls kein eindeutiger Altersverlauf (Abbildung 21). Es ergab sich jedoch eine höhere Länge der Breaks für weibliche Probanden (Abbildung 23). Des Weiteren sind die Ergebnisse im Gesamtbild mit der Statistik aus Kapitel 3.2.1 zu betrachten. Hier zeigte sich bereits eine höhere Strophenlänge sowie niedrigere Anzahl an Strophen für männliche Probanden. Im Zusammenhang mit der signifikant niedrigeren Länge der Breaks für männliche Säuglinge lässt dies die Schlussfolgerung zu, dass sie häufiger exzessive Schreisequenzen mit kürzeren Pausen produzierten als weibliche Probanden. Letztere vokalisiertem dagegen mit längeren Pausen und kürzeren Schreisequenzen. Diese Ergebnisse werden in Kapitel 4.1.2 diskutiert.

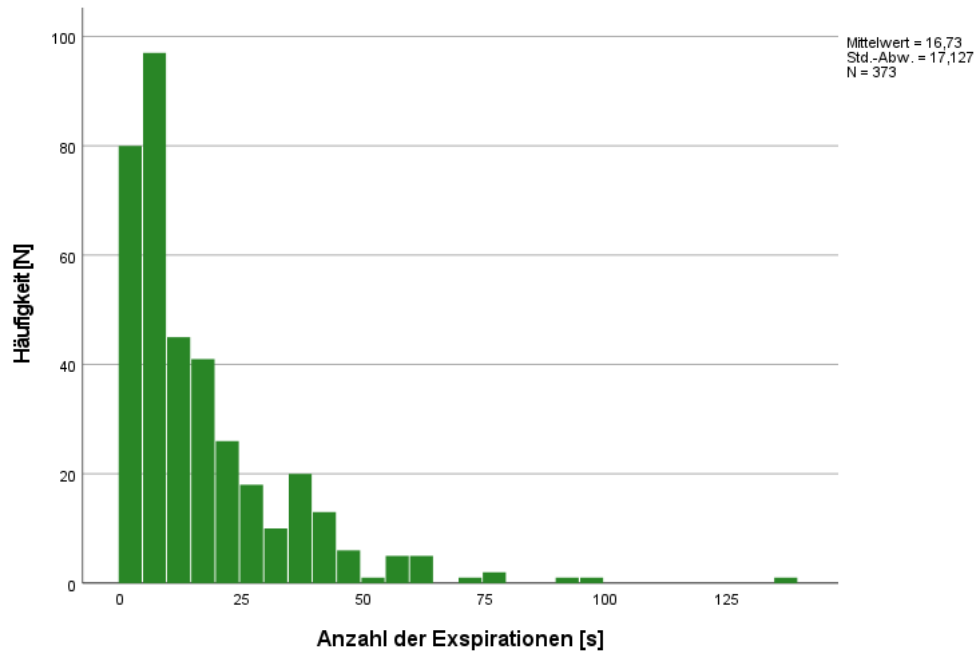
**3.2.3 Analyse der Expirationsanzahl und Expirationslänge**

Eine deskriptive Statistik der Anzahl der Expirationen auf Strophenebene zeigt in Tabelle 16 die Datengrundlage auf. Insgesamt 6242 Expirationen verteilten sich auf 373 Strophen. Dabei betrug der Median 10,0 Expirationen pro Strophe. Der mit 16,73 deutlich höhere Mittelwert indiziert einige Ausreißer mit höheren Werten.

**Tabelle 16**      **Deskriptive Statistik: Anzahl der Expirationen**

Anzahl der Expirationen N = 6242		Statistik [N]
Mittelwert		16,73
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	14,99
	Obergrenze	18,48
5% getrimmtes Mittel		14,70
Median		10,00
Varianz		293,33
Standardabweichung		17,13
Minimum		2
Maximum		137
Schiefe		2,34
Kurtosis		8,68

Das Verteilungshistogramm (Abbildung 24) bestätigt diese Annahme und zeigt Ausreißer bis zu einem Maximalwert von 137 Expirationen pro Strophe. Dabei handelte es sich um die bereits aus Tabelle 7 bekannte Strophe mit der Maximallänge von 119,61 s.

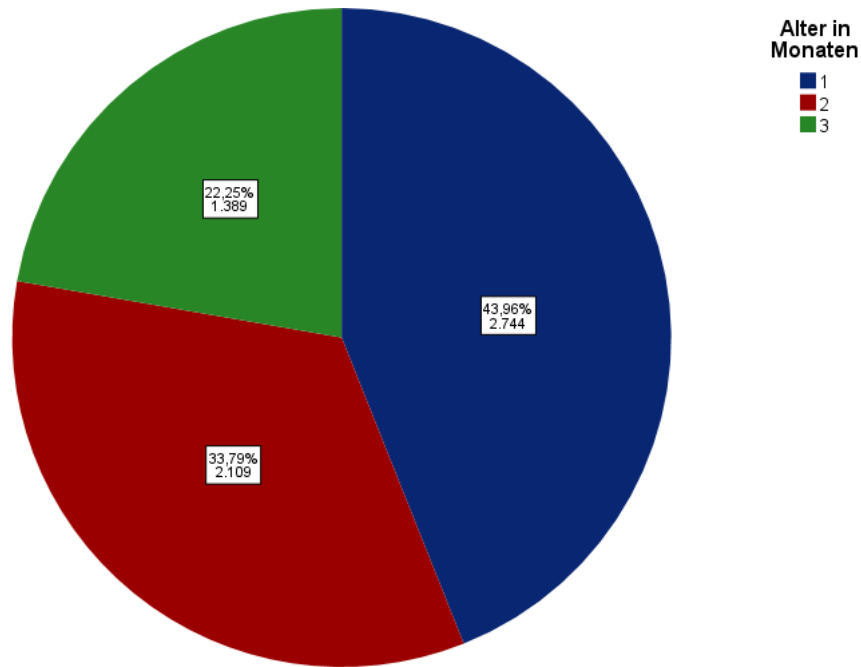


**Abbildung 24**      **Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Anzahl der Expirationen pro Strophe**

Ferner wurde die Verteilung der 6242 Expirationen auf den Untersuchungszeitraum analysiert. Wie aus Abbildung 25 ersichtlich wird, nahm die Anzahl der untersuchten

## ERGEBNISSE

Expirationen vom ersten zum dritten Lebensmonat stetig ab. Diese Entwicklung ist vor dem Hintergrund der im Monatsverlauf abnehmenden untersuchten Gesamtstrophenlänge zu sehen (Abbildung 7).



**Abbildung 25**      **Kreisdiagramm der Verteilung der Expiration auf den Untersuchungszeitraum in Monaten**

Die Gesamtzahl sowie der prozentuale Anteil der Expirationen im jeweiligen Untersuchungsmonat sind im Kreisdiagramm angegeben. Die Gesamtzahl der Aufnahmen beträgt N = 6242.

Die Expirationslängen wurden auf Strophenebene verglichen, indem ein Mittelwert für jede Strophe gebildet wurde. Dabei zeigte sich eine mittlere Expirationslänge von 1,28 s über alle Strophen hinweg (Tabelle 17).

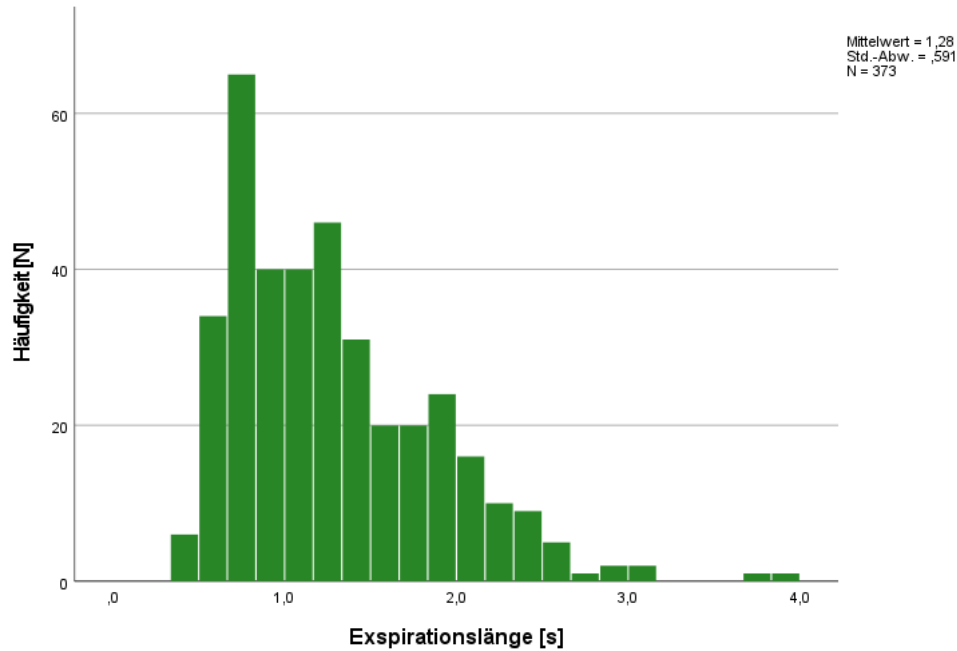
**Tabelle 17**      **Temporale Eigenschaften der Expirationen [s]**

Anzahl der Strophen	Mittelwert	Median	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum
N = 373	1,28	1,18	,59	,35	3,87

Die Häufigkeiten der mittleren Expirationslängen wurden in Abbildung 26 im Histogramm graphisch aufbereitet.



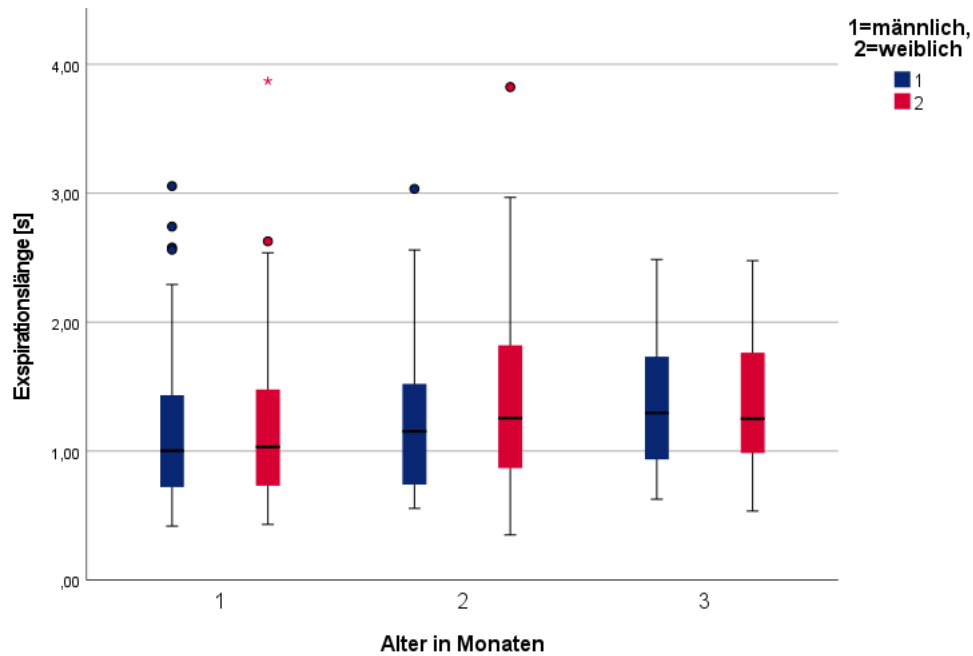
## ERGEBNISSE



**Abbildung 26** Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Expirationslänge

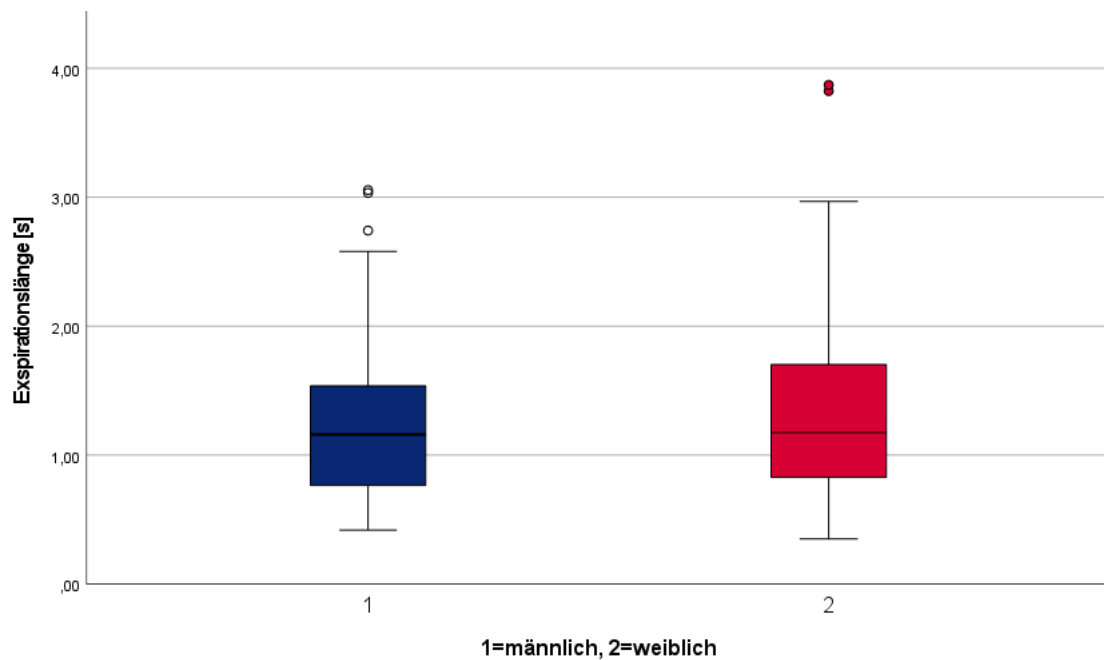
Nachfolgend zeigt Abbildung 27 in Form von Boxplots die Werte für weibliche und männliche Probanden aufgeschlüsselt nach dem Alter in Monaten. Es ist eine Tendenz zu höheren Expirationslängen mit zunehmendem Lebensalter erkennbar. Jedoch scheinen hier visuell keine größeren Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen feststellbar zu sein.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 27** Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Expirationslänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht

Die altersunabhängige Grafik in Abbildung 28 zeigt anschaulich, dass keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Geschlechtern gemessen werden konnten.

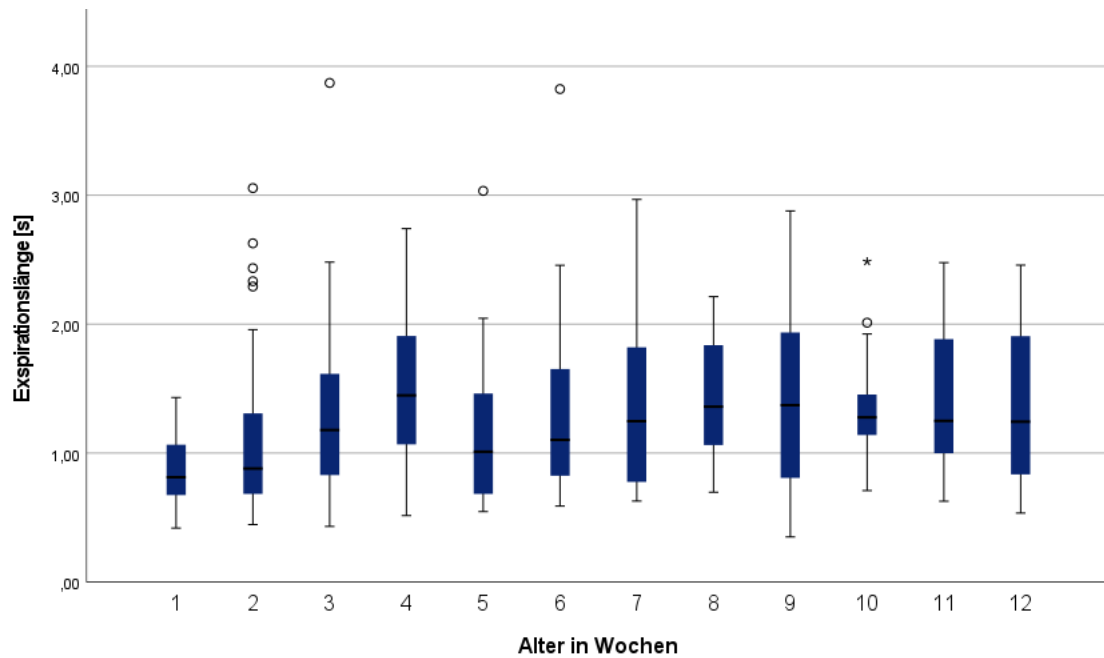


**Abbildung 28** Boxplot der Expirationslänge im Geschlechtervergleich

Die Tendenz zu höheren Expirationslängen mit fortschreitendem Lebensalter soll detailliert in Abbildung 29 dargestellt werden. Tatsächlich zeigte sich hier vor allem in

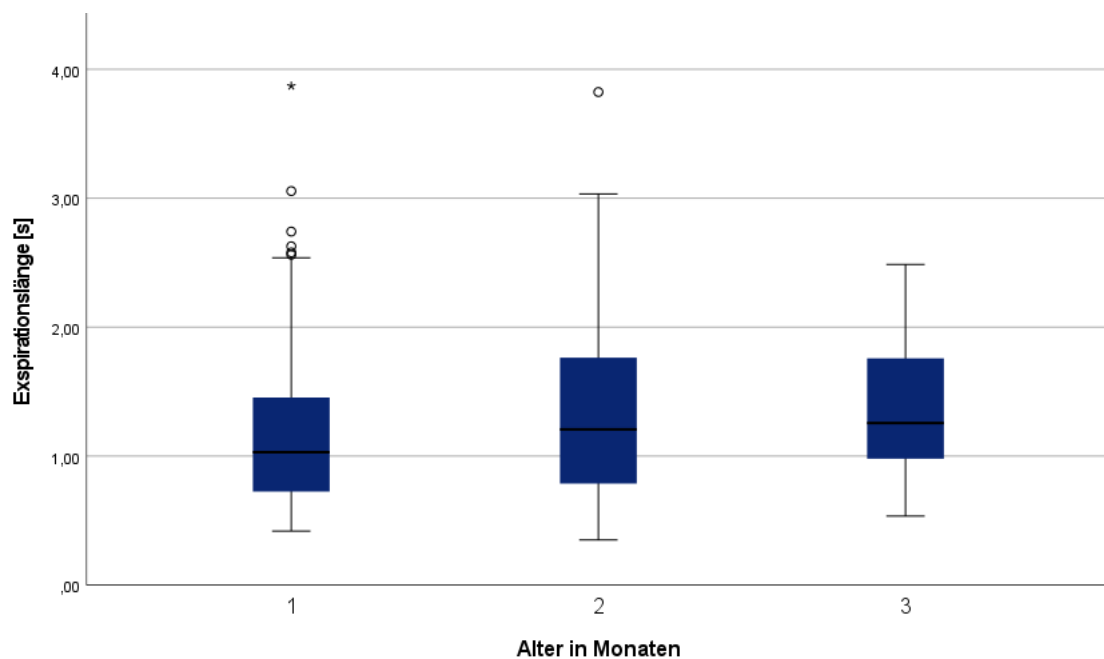
## ERGEBNISSE

den ersten vier Lebenswochen ein deutlicher Trend zu höheren Expirationslängen. Danach schienen diese jedoch auf konstantem Niveau zu verbleiben.



**Abbildung 29** Boxplot der Verteilung der Expirationslänge in der Wochenübersicht

Die geschlechterunabhängige Monatsübersicht in Abbildung 30 zeigt diese Entwicklung deutlich auf. Zusammen mit der Explorativen Statistik aus Tabelle 18 lässt sich der Längsschnittverlauf untersuchen.



**Abbildung 30** Boxplot der Verteilung der Expirationslänge in der Monatsübersicht

## ERGEBNISSE

Die mittlere Expirationslänge zeigte dabei im Medianwert eine deutliche Entwicklung vom ersten Monat (1,03 s) zum zweiten Monat (1,20 s), der dritte Monat war ebenfalls mit einer leichten Zunahme der mittleren Expirationslänge verbunden (1,26 s). Diese fiel jedoch geringer aus als die Zunahme von Monat 1 zu Monat 2. Ob diese Zunahme als Alterseffekt insgesamt signifikant war, soll im Folgenden noch mittels linearer gemischter Modelle geklärt werden.

**Tabelle 18**            **Explorative Statistik der Expirationslänge im Monatsverlauf**

Monat		Statistik [s]
1	Mittelwert	1,19
	Median	1,03
	Standardabweichung	,61
	Minimum	,42
	Maximum	3,87
	Schiefte	1,37
	Kurtosis	2,17
2	Mittelwert	1,32
	Median	1,2
	Standardabweichung	,619
	Minimum	,35
	Maximum	3,82
	Schiefte	1,12
	Kurtosis	1,66
3	Mittelwert	1,38
	Median	1,26
	Standardabweichung	,50
	Minimum	,53
	Maximum	2,49
	Schiefte	,39
	Kurtosis	-,80

Die Notwendigkeit gemischter Modelle wurde durch einen ICC von 0,41 bestätigt. Das finale Modell mit zufälligen Konstanten und zufälliger Steigung (Tabelle 19) wies einen

## ERGEBNISSE

AIC-Wert von -301,47 auf. Dabei zeigte das Modell mit der Variable Lebensmonat zur Darstellung des Alterseffekts die höchste Modellgüte. Die Interaktion zwischen Geschlecht und Alterseffekt war nicht signifikant und wurde nicht in das finale Modell aufgenommen ( $b=-0,031$ ,  $p=0,242$ , 95% -CI [-0,084, 0,022]).

Es konnte ein signifikanter Einfluss des Lebensmonats auf die Exspirationslänge nachgewiesen werden ( $b=0,040$ ,  $p=0,004$ , 95% -CI [0,014, 0,066]). Deutlich nicht signifikant war das Geschlecht des Kindes ( $b=0,043$ ,  $p=0,535$ , 95% -CI [-0,010, 0,185]).

**Tabelle 19**      **Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Exspirationslänge**  
**AIC = -301,47**

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	-,068836	,107929	16,393	-,638	,532	-,297190	,159518
Geschlecht	,042541	,066962	15,245	,635	,535	-,099985	,185067
Lebensmonat	,040206	,012516	23,541	3,212	,004	,014347	,066064

### Modellparameter

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Exspirationslänge

Modellebenen: Proband, Aufnahmemonat, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Nach Feststellung der Signifikanz des Alterseffekts auf die abhängige Variable Exspirationslänge sollte nun mittels eines zusätzlichen Modells die Bedeutung der einzelnen Monate überprüft werden (Tabelle 20).

Der Vergleich von Monat eins zu Monat drei erwies sich in diesem Modell als deutlich signifikant ( $b=-0,073$ ,  $p=0,011$ , 95% -CI [-0,129, -0,018]). Nicht signifikant war hingegen die Entwicklung von Monat zwei zu Monat drei ( $b=-0,017$ ,  $p=0,453$ , 95% -CI [-0,064, 0,029]). Auch für dieses Modell ergab sich für das Geschlecht deutlich keine Signifikanz ( $b=0,019$ ,  $p=0,756$ , 95% -CI [-0,106, 0,143]). Die Residuen des finalen Modells erwiesen sich im Shapiro-Wilk-Test mit  $p=0,203$  ebenso als normalverteilt, wie die des zusätzlichen Modells ( $p=0,138$ ).

**Tabelle 20** Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Expirationslänge im Monatsvergleich  
AIC = -299,00

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	,077159	,095661	19,603	,807	,430	-,122646	,276965
[Monat=1]	-,073458	,027109	27,778	-2,710	,011	-,129008	-,017907
[Monat=2]	-,017071	,022311	20,537	-,765	,453	-,063532	,029391
[Monat=3]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.
Geschlecht	,018704	,059293	18,266	,315	,756	-,105735	,143143

b. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Expirationslänge

Modellebenen: Proband nach Aufnahmemonaten, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Die Ergebnisse der gemischten Modelle standen im Einklang mit den visuell erkennbaren Tendenzen der Boxplots. Der Geschlechtervergleich in Abbildung 28 zeigte kaum Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Probanden. Die Monatsübersicht aus Abbildung 30 ließ einen deutlichen Anstieg der Werte vom ersten zum zweiten Lebensmonat erkennen, während die Zunahme zum dritten Monat marginal ausfiel.

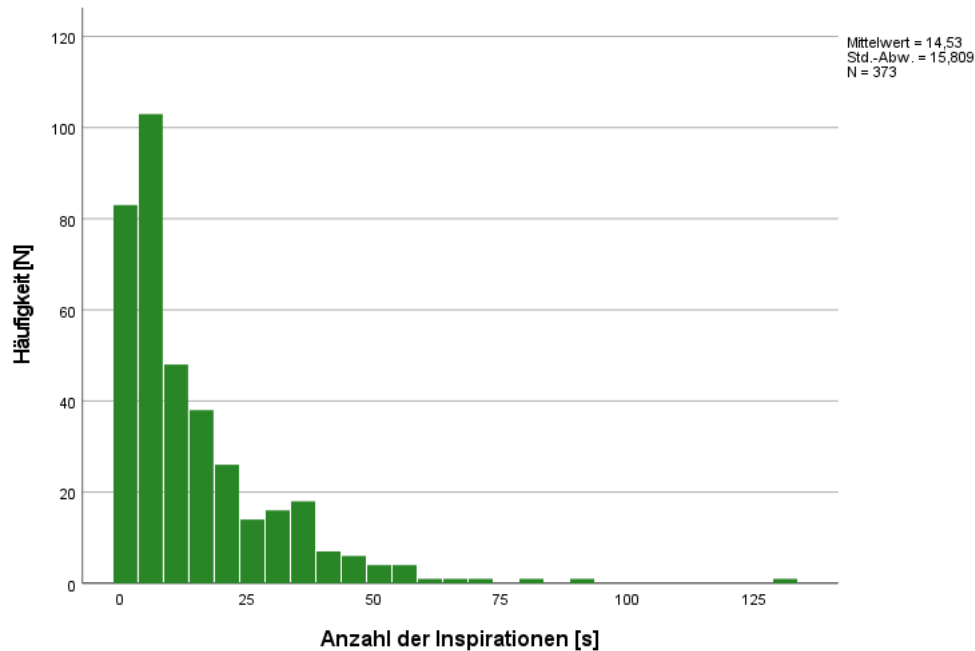
**3.2.4 Analyse der Inspirationen**

Die deskriptive Statistik der Anzahl der Inspirationen wird durch Tabelle 16 aufgezeigt. Insgesamt 5418 Inspirationen verteilten sich auf 373 Strophen. Dabei betrug der Median 9,0 Inspirationen pro Strophe. Der Mittelwert lag mit 14,53 deutlich darüber und spricht somit für Ausreißer nach oben.

**Tabelle 21**      **Deskriptive Statistik: Anzahl der Inspirationen**

Anzahl der Inspirationen N = 5418		Statistik
Mittelwert		14,53
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	12,92
	Obergrenze	16,14
5% getrimmtes Mittel		12,66
Median		9,00
Varianz		249,92
Standardabweichung		15,81
Minimum		1
Maximum		129
Schiefe		2,40
Kurtosis		9,43

Das Verteilungshistogramm in Abbildung 31 zeigt die Häufigkeiten graphisch auf. Es sind auch – analog zu den Expirationen – einige Strophen als Ausreißer mit sehr hohen Inspirationszahlen erkennbar.



**Abbildung 31**      **Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Anzahl der Inspirationen pro Strophe**

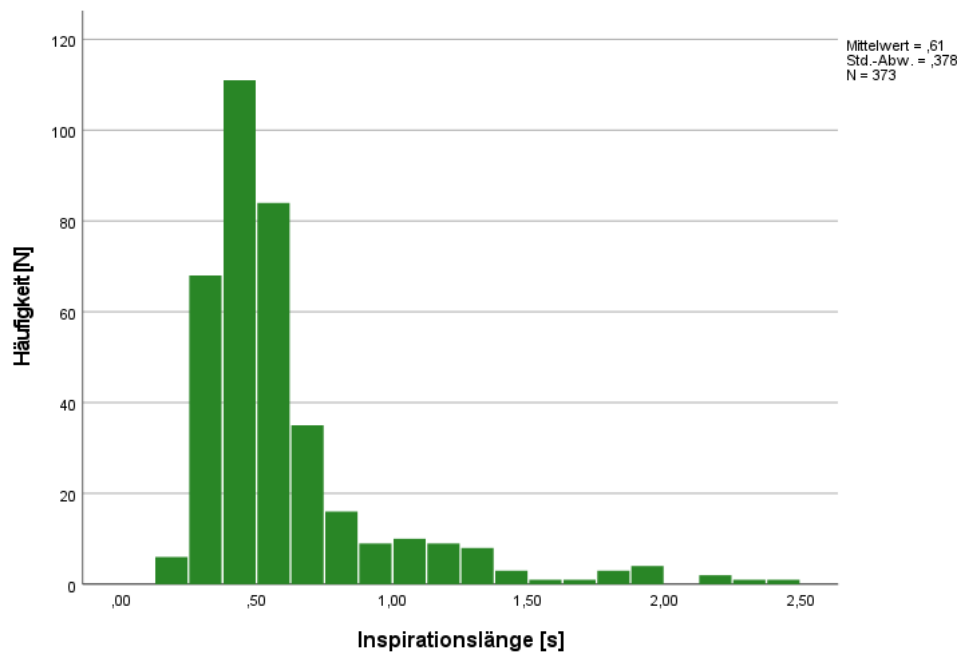
## ERGEBNISSE

Wie schon für die Expirationen sollten auch Inspirationslängen auf Strophenenebene verglichen werden, indem ein Mittelwert für die jede Strophe gebildet wird. Dabei zeigte sich eine mittlere Inspirationslänge von 0,61 s über alle Strophen hinweg.

**Tabelle 22** Temporale Eigenschaften der Inspirationen [s]

Anzahl der Strophen	Mittelwert	Median	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum
N = 373	,61	,50	,38	,16	2,92

Ein Histogramm soll in Abbildung 32 die Verteilung der Häufigkeiten der Inspirationslängen graphisch aufzeigen. Es lässt sich ein Häufigkeitspeak um den Median bei 0,5 s beobachten. Ab etwa 1,5 s Inspirationslänge gab es noch vereinzelte Werte, jedoch mit geringer Häufigkeit.



**Abbildung 32** Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Inspirationslänge

Abbildung 33 zeigt die Werte für weibliche und männliche Probanden in der Monatsübersicht auf. Bei männlichen Probanden war keine Tendenz zu höheren Inspirationslängen mit zunehmendem Lebensalter erkennbar. Für weibliche Probanden zeigte sich keine wesentliche Veränderung von Monat 1 zu Monat 2, jedoch ließ sich ein Anstieg der Werte zum dritten Monat hin beobachten. Im Geschlechtervergleich wiesen



## ERGEBNISSE

Mädchen im 1. und 3. Monat höhere Werte auf, während Jungen in Monat 2 minimal höhere Inspirationslängen zeigten.

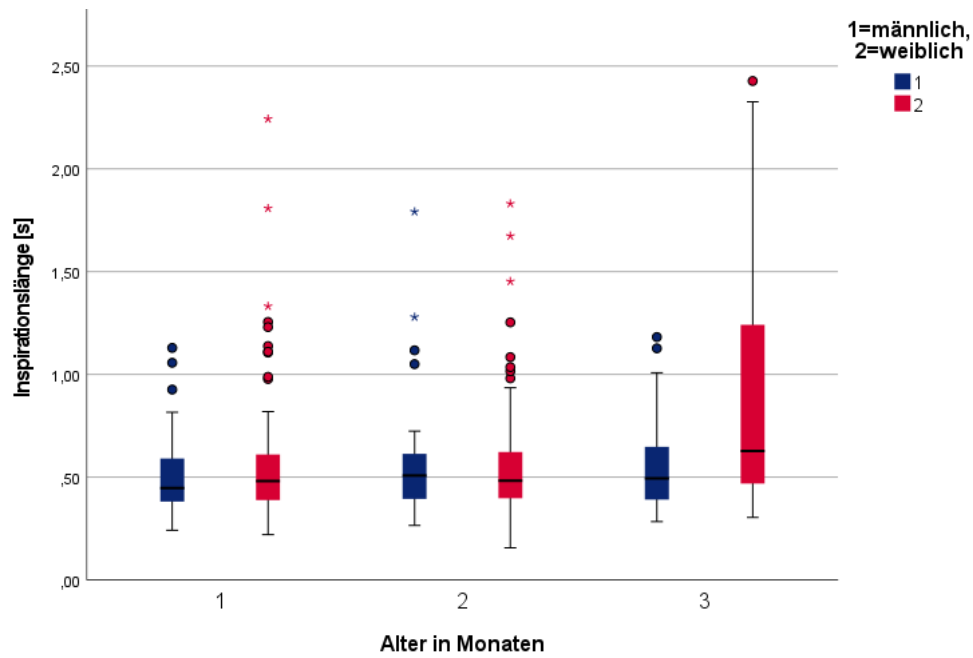


Abbildung 33 Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Inspirationslänge im Geschlechtervergleich nach Monaten

Der altersunabhängige Vergleich bestätigt in Abbildung 34 insgesamt etwas höhere Werte für weibliche Probanden. Die Signifikanz dieses Effekts wurde mittels gemischter Modelle untersucht (Tabelle 24).

## ERGEBNISSE

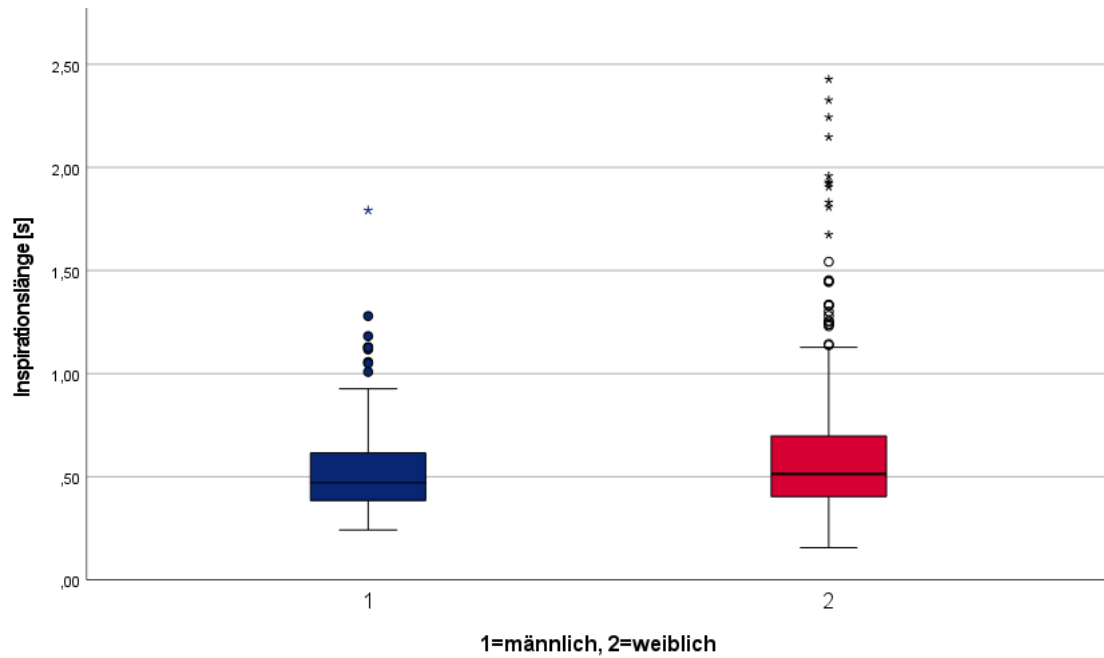


Abbildung 34 Boxplot der Verteilung der Inspirationslänge im Geschlechtervergleich

Der Wochenverlauf zeigt in Abbildung 35 eine leicht steigende Tendenz der Inspirationslängen vor allem zum Ende des Untersuchungszeitraums hin.

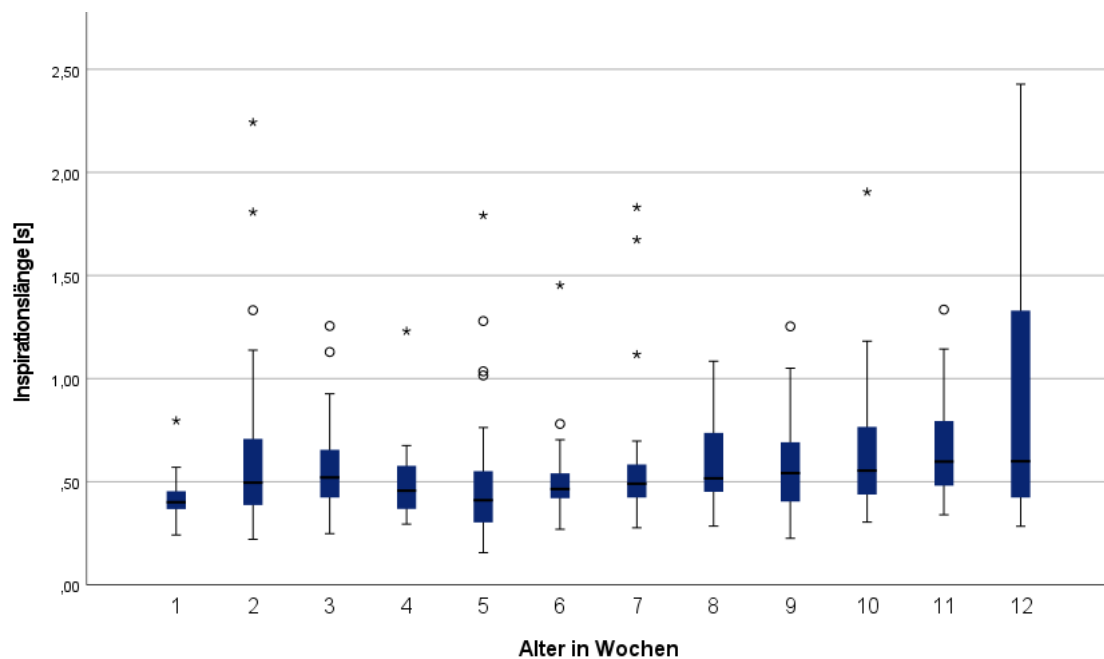
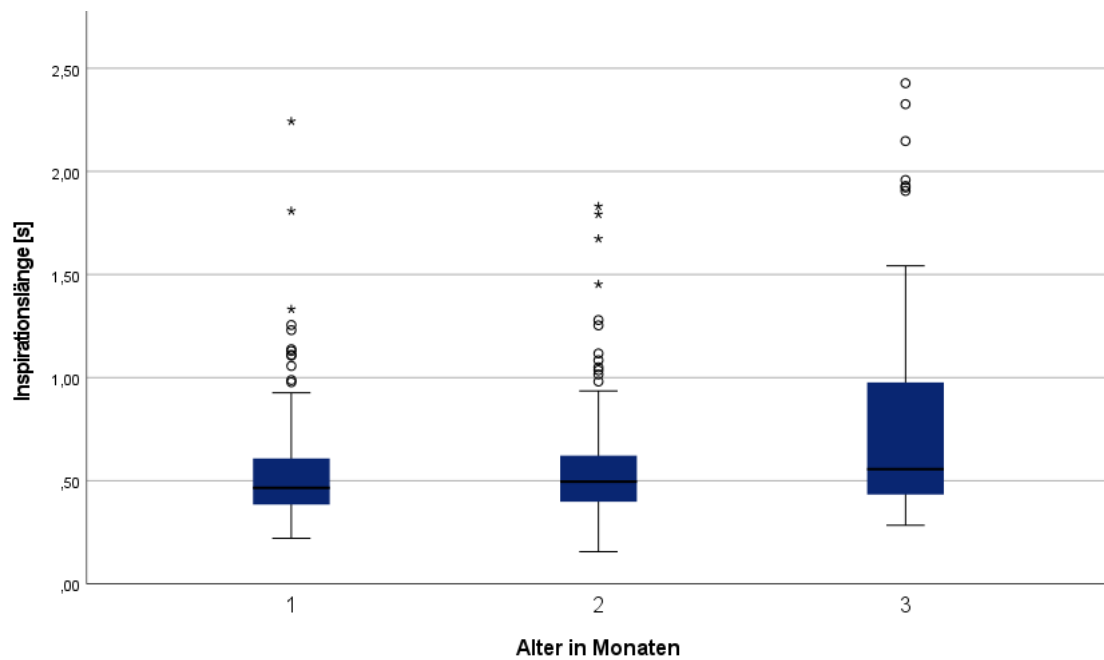


Abbildung 35 Boxplot der Verteilung der Inspirationslänge in der Wochenübersicht

Diese Tendenz konnte unter Betrachtung des Monatsverlaufs (Abbildung 36) bestätigt werden. Es zeigte sich ein leichter Anstieg vom ersten Lebensmonat mit einem Median

## ERGEBNISSE

von 0,47 s zum zweiten Monat (0,5 s), gefolgt von einem erneuten Anstieg der Medianwerte zum dritten Lebensmonat mit einem Median von 0,56 s.



**Abbildung 36** Boxplot der Verteilung der Inspirationslänge in der Wochenübersicht

Die explorative Statistik der Werte (Tabelle 23) zeigte die Altersentwicklung dem Monatsverlauf nach aufgeschlüsselt auf. Ob der hier beobachtete Alterseffekt statistisch signifikant war, wird nachfolgend untersucht.

**Tabelle 23 Explorative Statistik der Inspirationslänge im Monatsverlauf**

Monat		Statistik [s]
1	Mittelwert	,54
	Median	,47
	Standardabweichung	,28
	Minimum	,22
	Maximum	2,24
	Schiefe	2,92
	Kurtosis	12,56
2	Mittelwert	,57
	Median	,46
	Standardabweichung	,30
	Minimum	,16
	Maximum	1,83
	Schiefe	2,14
	Kurtosis	5,43
3	Mittelwert	,78
	Median	,56
	Standardabweichung	,54
	Minimum	,28
	Maximum	2,92
	Schiefe	1,86
	Kurtosis	3,32

Zur Signifikanzprüfung des Alterseffekts sowie anderer möglicher Einflussfaktoren wurden lineare gemischte Modelle verwendet. Ein ICC von 0,23 bestätigte die Notwendigkeit dieser Methode.

Das finale Modell mit zufälligen Konstanten und zufälliger Steigung wies einen AIC-Wert von -203,49 auf. Das Modell mit der Variable Lebensmonat zur Darstellung des Alterseffekts wies die höchste Modellgüte auf. Nicht signifikant war die Interaktion der Faktoren Geschlecht und Lebensmonat und wurde daher im finalen Modell nicht berücksichtigt. Es konnte ein signifikanter Einfluss des Lebensmonats auf die Inspirationslänge nachgewiesen werden ( $b=0,048$ ,  $p=0,001$ , 95% -CI [0,021, 0,076]).

## ERGEBNISSE

Deutlich nicht signifikant war für die Inspirationslänge hingegen das Geschlecht des Kindes ( $b=0,035$ ,  $p=0,492$ , 95%-CI  $[-0,069, 0,139]$ ).

**Tabelle 24**      **Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Inspirationslänge**  
**AIC = -203,49**

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	-,425983	,081549	19,750	-5,224	<,001	-,596229	-,255737
Monat	,048373	,013780	42,678	3,511	,001	,020578	,076169
Geschlecht	,034654	,049274	16,601	,703	,492	-,069495	,138804

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Inspirationslänge

Modellebenen: Proband, Aufnahme Monat, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Um die Signifikanz der Entwicklung der Inspirationslängen im Längsschnitt zu untersuchen, wurden die Lebensmonate als Faktor zusätzlich untereinander verglichen. Signifikant war die Entwicklung vom ersten zum dritten Lebensmonat ( $b=-0,088$ ,  $p=0,012$ , 95%-CI  $[-0,156, -0,021]$ ). Nicht signifikant war die Entwicklung von zweiten zum dritten Lebensmonat ( $b=-0,617$ ,  $p=0,090$ , 95%-CI  $[-0,134, 0,102]$ ). Diese Ergebnisse lassen sich bei Betrachtung der Abbildung 36 visuell nachvollziehen, da der Unterschied der Boxplots vom ersten zum dritten Monat deutlicher ist als vom zweiten zum dritten Lebensmonat. Die Residuen erwiesen sich im Histogramm sowie dem Q-Q-Diagrammen für alle berichteten Modelle als hinreichend normalverteilt.

**Tabelle 25** Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Inspirationslänge im Monatsvergleich  
AIC = 207,88

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	-,298731	,077930	23,182	-3,833	,001	-,459872	-,137590
Geschlecht	,044951	,045823	18,008	,981	,340	-,051318	,141219
[Monat=1]	-,088428	,032738	25,255	-2,701	,012	-,155819	-,021037
[Monat=2]	-,061661	,035253	31,022	-1,749	,090	-,133558	,010236
[Monat=3]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

b. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Inspirationslänge

Modellebenen: Proband, Aufnahmemonat, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

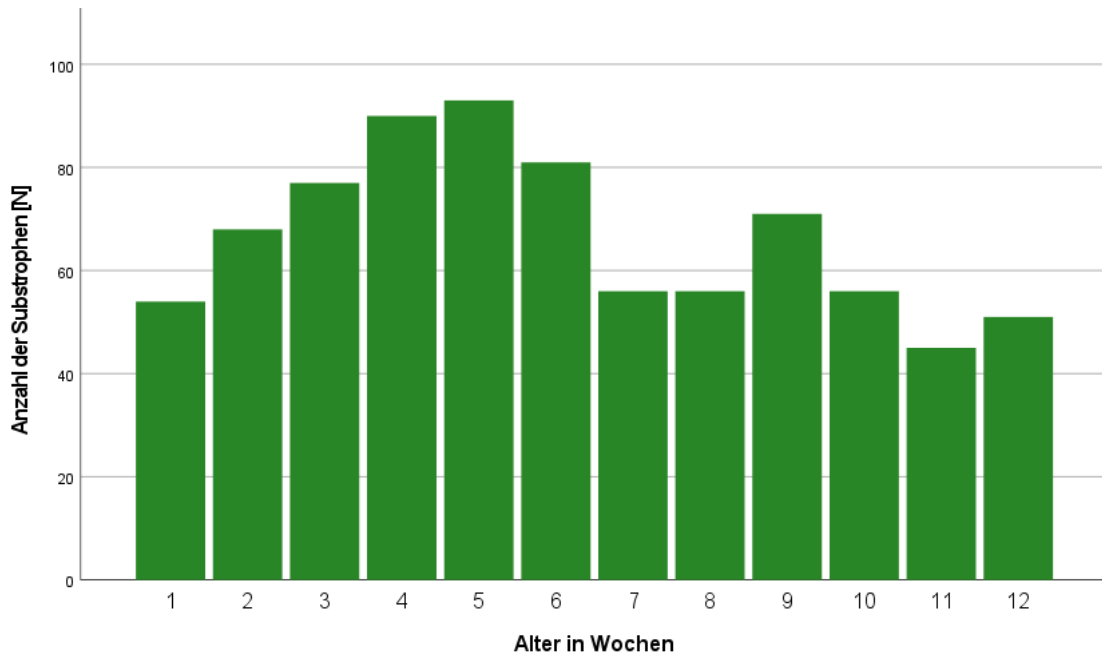
**3.3 Analysen auf Substrophenebene**

Analog zum Kapitel 3.2 beinhaltet dieses Kapitel die Ergebnisse der statistischen Analyse auf Substrophenebene. Diese Auswertungen betrachten folglich alle Einzelvariablen subsummiert auf Ebene einer Substrophe. Der Datensatz wurde wie in Kapitel 3 erläutert zunächst aufbereitet, sodass abgebrochene Substrophen oder solche mit nur einer Expiration nicht in der Analyse berücksichtigt wurden.

**3.3.1 Analyse der Substrophen**

Zunächst wurde eine gleichmäßige Verteilung der Substrophen auf den Untersuchungszeitraum überprüft. Das Verteilungshistogramm in Abbildung 37 zeigt eine ausreichende Datengrundlage und gleichmäßige Verteilung der 798 Substrophen über alle zwölf Untersuchungswochen hinweg.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 37**      **Histogramm der Anzahl der Substrophen im Wochenverlauf**  
Die Gesamtzahl der Substrophen lag bei N = 798.

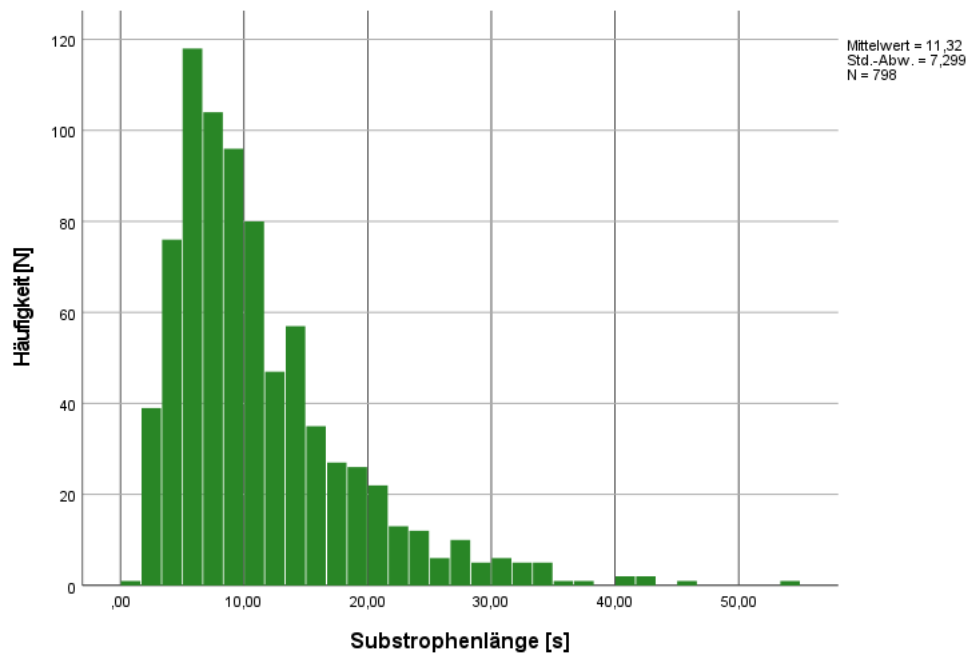
Nun sollen die Ergebnisse der Analyse der temporalen Eigenschaften der Substrophen betrachtet werden. Wie aus Tabelle 26 ersichtlich wird, gibt es einige fehlende Werte. Der Grund hierfür war, dass nicht jede Strophe auch über Substrophen verfügte. Tatsächlich zeigte sich, dass 181 Strophen keine Substrophen aufwiesen, da innerhalb dieser Strophen kein einziges Mal das Pausenkriterium (siehe Kapitel 2.3.1) ausgelöst wurde. Damit wurden diese Strophen folglich auch nicht weiter in Substrophen unterteilt. Tabelle 7 zeigt, dass insgesamt 373 Strophen untersucht wurden. Also verbleiben noch 192 Strophen, auf die sich die Gesamtzahl der 798 Substrophen verteilt. Die mittlere Substrophenlänge lag bei 11,36 s. Die kürzeste Substrophe war dabei nur 1,64 s lang, während die längste 53,97 s aufwies. In Summe betrug die Gesamtlänge aller Substrophen 9029,44 s oder 150,49 min bzw. 2,51 h.

**Tabelle 26**      **Temporale Eigenschaften der Substrophen [s]**

Anzahl der Substrophen		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
Gültig	Fehlend					
N = 798	N = 181	11,32	9,33	7,30	1,64	53,97

## ERGEBNISSE

Tabelle 4 zeigte bereits auf, dass die Gesamtstrophenlänge 9645,04 s oder 2,68 h betrug. Vergleicht man also die summierte Strophen- und Substrophenlängen, so wird Folgendes deutlich: Zwar haben von 373 Strophen 181 keine Substrophen. Diese nehmen allerdings insgesamt lediglich einen Bruchteil der Gesamtlänge aller Strophen ein. Die Strophen, welche auch in Substrophen einteilbar waren, vereinen nahezu die gesamte Aufnahmedauer auf sich. Die Verteilung der Häufigkeiten wurde in Abbildung 38 durch ein Histogramm graphisch aufbereitet.

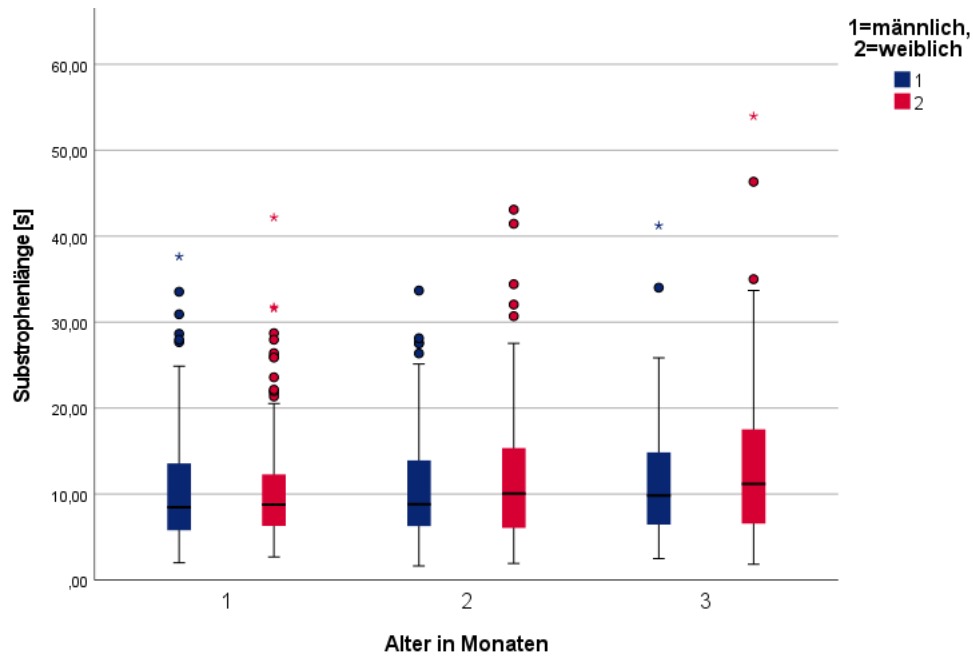


**Abbildung 38** Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Substrophenlänge

Im Folgenden zeigt Abbildung 39 die altersabhängige Verteilung der Substrophenlängen im Geschlechtervergleich auf. Dabei schien sich visuell eine Zunahme der Substrophenlängen im Monatsverlauf anzudeuten. Ferner schienen weibliche Probanden tendenziell längere Substrophen zu produzieren. Diese Unterschiede werden im Folgenden näher betrachtet.



## ERGEBNISSE



**Abbildung 39** Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Substrophenhänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht

Ein näherer Blick auf die Medianwerte der Substrophenhängen (Tabelle 27) für beide Geschlechter über die ersten 3 Lebensmonate hinweg bestätigte die erste Annahme einer zunehmenden Substrophenhänge im Altersverlauf: Im ersten Monat lag der Median für die Substrophenhängen bei 8,73 s, im zweiten bei 9,45 s und im dritten bei 10,57 s.

## ERGEBNISSE

**Tabelle 27      Explorative Statistik der Substrophenlänge  
im Monatsverlauf**

Monat		Statistik [s]
1	Mittelwert	10,49
	Median	8,73
	Standardabweichung	6,62
	Minimum	2,02
	Maximum	42,19
	Schiefte	1,66
	Kurtosis	3,31
2	Mittelwert	11,14
	Median	9,45
	Standardabweichung	6,75
	Minimum	1,64
	Maximum	43,09
	Schiefte	1,48
	Kurtosis	3,05
3	Mittelwert	12,91
	Median	10,57
	Standardabweichung	8,83
	Minimum	1,83
	Maximum	53,97
	Schiefte	1,54
	Kurtosis	3,13

Nachfolgend wird der leicht zunehmende Trend der Substrophenlängen auch in einem Boxplot (Abbildung 40) visuell verdeutlicht.

## ERGEBNISSE

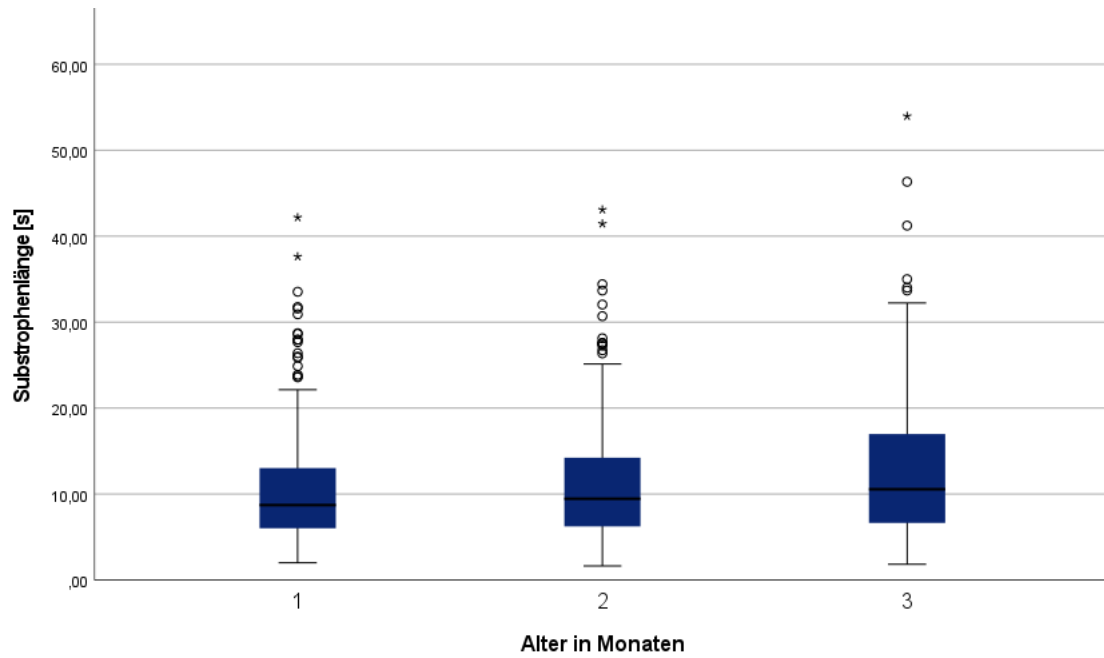


Abbildung 40 Boxplot der Verteilung der Substrophlänge in der Monatsübersicht

Die detailliertere Wochenübersicht zeigt in Abbildung 41 ebenfalls einen leicht zunehmenden Trend, wenngleich dieser nicht wöchentlich gleichmäßig ausfiel.

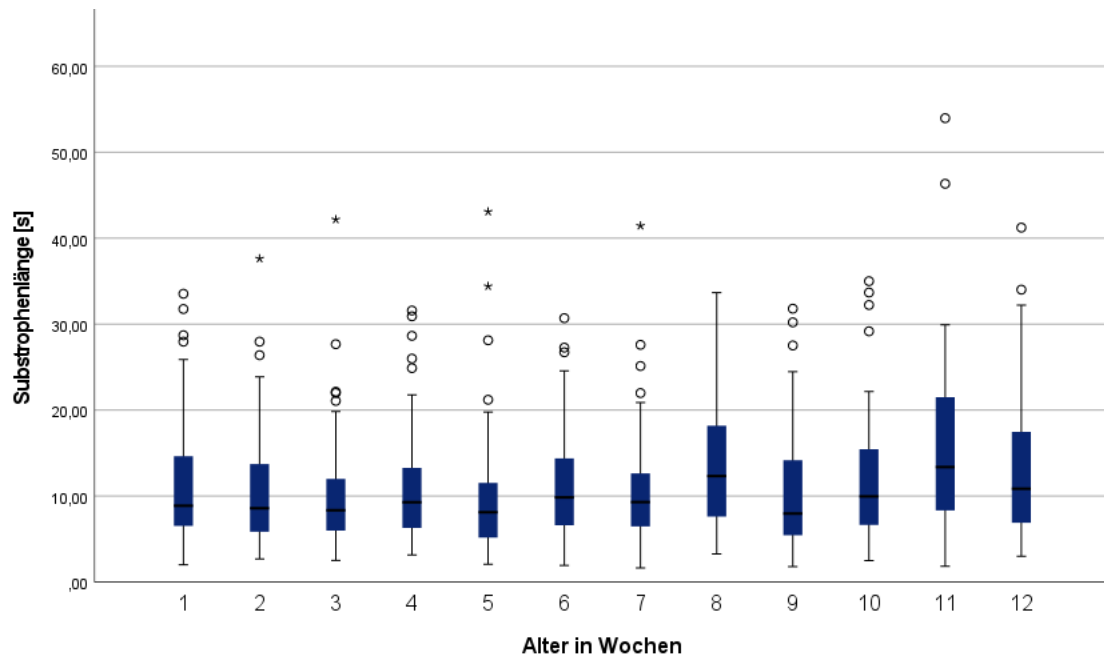
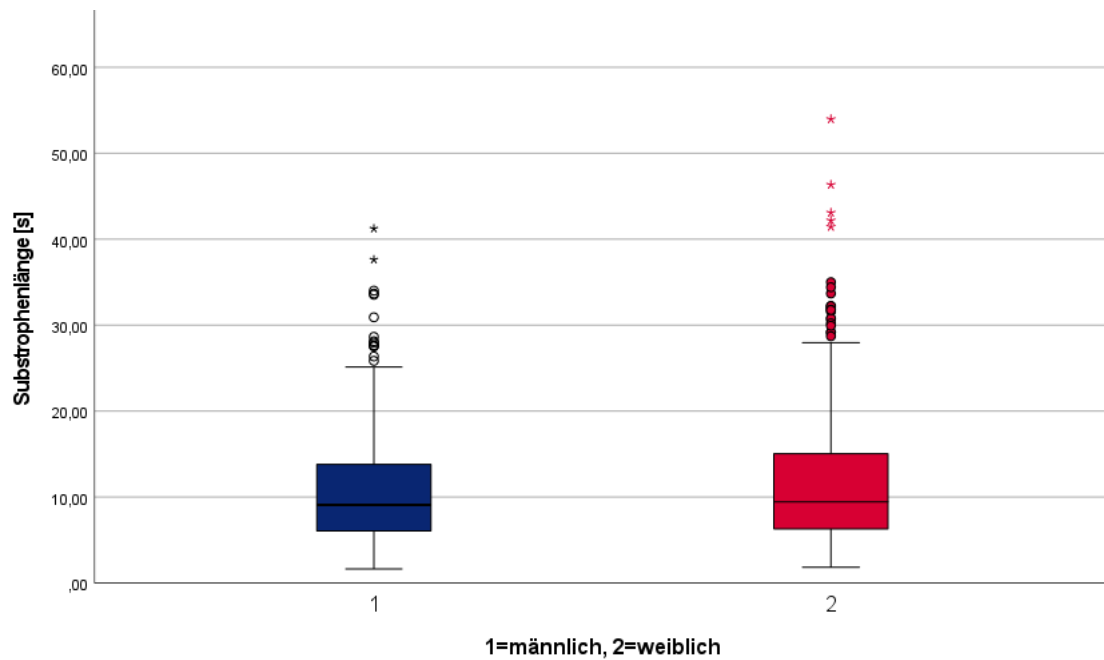


Abbildung 41 Boxplot der Verteilung der Substrophlänge in der Wochenübersicht

## ERGEBNISSE

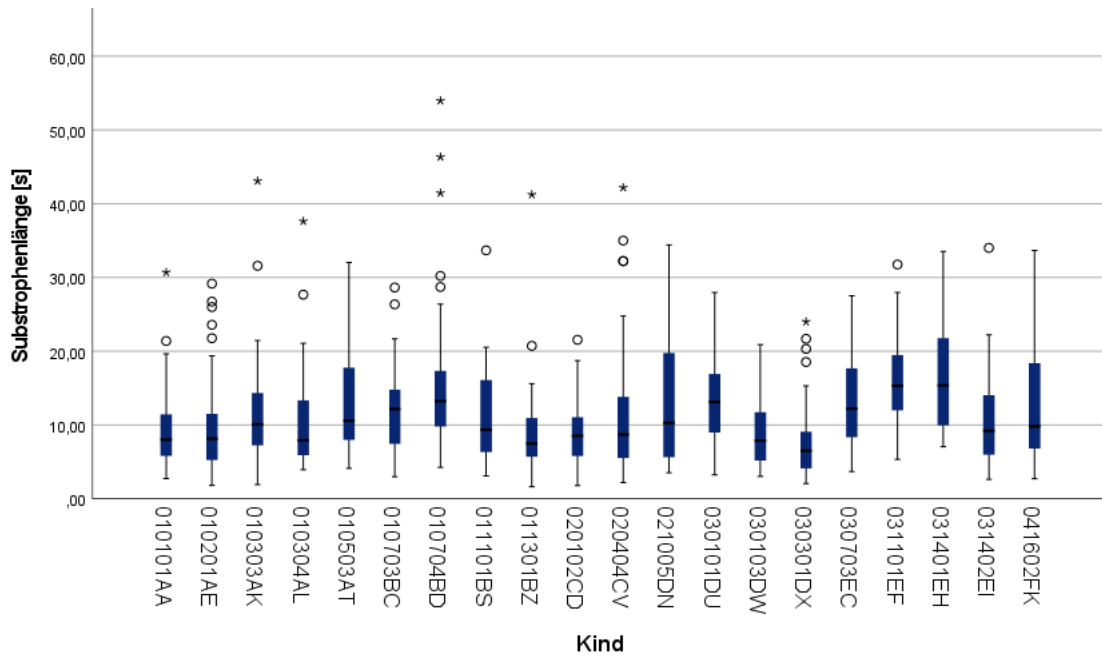
Den Vergleich zwischen Jungen und Mädchen soll Abbildung 42 näher aufzeigen. Im Geschlechtervergleich über alle 3 Monate hinweg zeigten Jungen mit einem Medianwert von 9,10 s marginal niedrigere Werte als Mädchen mit 9,44 s.



**Abbildung 42** Boxplot der Verteilung der Substrophenhänge im Geschlechtervergleich

Zuletzt soll noch Abbildung 43 eine Übersicht über die Substrophenhängen im Probandenvergleich bieten. Analog zur Säuglingsübersicht der Strophenlängen in Abbildung 12 zeigen sich einige Ausreißer mit einem Vielfachen des Mittelwerts. Die auditive Nachkontrolle dieser auffälligen Werte ergab deren Ursprung: Zumeist handelte es sich um Strophen, welche ein durchgehendes Schreien der Säuglinge beschrieben. Diese lösten seltener das in Kapitel 2.3.1 erläuterte Trennungskriterium der Substrophen aus und führten somit zur Entstehung längerer Substrophen.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 43** Boxplot der Substrophnenlänge in der Säuglingsübersicht

Die beobachteten Tendenzen der explorativen Analysen sollen nur auf Signifikanz geprüft werden. Eine Notwendigkeit gemischter Modelle war mit einem ICC von 0,110 gegeben. Die Variable „Substrophnenlänge“ wurde logarithmiert untersucht.

Für das finale Modell (siehe Tabelle 9) mit zufälliger Konstanten und zufälliger Steigung (Kovarianzmatrix diagonal) wurde hier ein AIC von 110,22 als Modellgütekriterium erreicht. Zur Berechnung des Alterseffekts erwies sich die Lebenswoche als Faktor mit dem besten Modell. Der Aufnahmetag sowie das Alter in Monaten produzierten schlechtere AIC-Werte. Daher wurde die Lebenswoche in das finale Modell aufgenommen. Die Interaktion zwischen Geschlecht und Alterseffekt wurde auf Signifikanz überprüft ( $b=0,002$ ,  $p=0,768$ , 95%-CI  $[-0,010, -0,130]$ ). Da diese deutlich nicht signifikant war, wurde sie nicht in das finale Modell übernommen.

Es zeigte sich kein signifikanter Einfluss der Faktors Geschlecht ( $b=0,055$ ,  $p=0,147$ , 95%-CI  $[-0,020, -0,130]$ ). Der Faktor Lebenswoche zeigte hingegen einen signifikanten Einfluss ( $b=0,007$ ,  $p=0,031$ , 95%-CI  $[>0,001, 0,013]$ ). Zwar wurde der Einflussfaktor Lebensmonat aufgrund einer Verschlechterung der Modellgüte (AIC=97,990) nicht in das finale Modell aufgenommen. Doch auch für ihn wurde ein signifikanter Zusammenhang angezeigt ( $b=0,026$ ,  $p=0,040$ , 95%-CI  $[0,0012, 0,050]$ ). Ebenfalls höchst signifikant war die Strophnenlänge ( $b=0,004$ ,  $p<0,001$ , 95%-CI  $[0,003, 0,006]$ ). Dies

## ERGEBNISSE

ergibt sich logisch aus der Überlegung, dass eine sehr lange Substrophe zwingend auch ihre jeweilige Strophe verlängert (siehe Abbildung 2). Sie verschlechterte jedoch die Modellgüte und wurde daher ebenso nicht in das finale Modell aufgenommen.

**Tabelle 28**      **Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Substrophelänge**  
**AIC = 110,22**

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	,864835	,062205	45,943	13,903	<,001	,739619	,990052
Geschlecht	,054819	,037210	47,956	1,473	,147	-,019998	,129635
Woche	,007082	,003137	33,958	2,257	,031	,000706	,013458

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Substrophelänge

Modellebenen: Proband, Aufnahmewoche, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Da der Alterseffekt an sich ein statistisch signifikanter Faktor war, soll nun der Altersverlauf nach Monaten segmentiert und auf den Effekt der einzelnen Lebensmonate untersucht werden. Dabei war der Unterschied vom ersten zum dritten Lebensmonat nur knapp nicht signifikant ( $b=-0,053$ ,  $p=0,072$ , 95%-CI [-0,111, 0,005]). Nicht signifikant war die Entwicklung von zweiten zum dritten Lebensmonat ( $b=-0,034$ ,  $p=0,231$ , 95%-CI [-0,093, 0,024]). Die Residuen des finalen Modells waren nach Shapiro-Wilk-Test mit  $p=0,473$  normalverteilt, ebenso die des ergänzenden Modells mit  $p=0,517$ .

**Tabelle 29** Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Substrophenlänge im Monatsvergleich  
AIC = 117,08

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	,940688	,064585	40,448	14,565	,000	,810203	1,071174
Geschlecht	,055352	,037660	46,279	1,470	,148	-,020441	,131145
[Monat=1]	-,053060	,027744	17,421	-1,912	,072	-,111487	,005368
[Monat=2]	-,034276	,027478	15,700	-1,247	,231	-,092616	,024064
[Monat=3]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

b. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Substrophenlänge

Modellebenen: Proband nach Aufnahmemonat, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Erneut erwiesen sich die Ergebnisse des finalen Modells (Tabelle 28) als übereinstimmend mit den Tendenzen der vorherigen Statistik (Abbildung 40 und Abbildung 41). Die Boxplots zeigten visuell kaum Geschlechtsunterschiede, während im Altersverlauf eine Zunahme sichtbar und im finalen Modell signifikant war. Der Monatsverlauf (Abbildung 42) ging zwar mit einer Zunahme der Substrophenlängen einher, die Monatsunterschiede waren untereinander jedoch nicht signifikant.

**3.3.2 Analyse der Pausenanzahl und Pausenlänge zwischen Substrophen**

Als trennendes Element der Substrophen wurden in Kapitel 2.3.1 die Pausen definiert, die zwischen zwei „Intensitätsbögen“ liegen. Sie segmentieren die Strophen in einzelne Substrophen und stellen einen Versuch dar, der komplexen rhythmischen Struktur der Säuglingsvokalisationen gerecht zu werden und ihre temporalen Eigenschaften messbar zu machen. Bei diesen Pausen handelt es sich im Allgemeinen um Inspirationssequenzen ohne Vokalisation. Zunächst soll die deskriptive Statistik in Tabelle 30 eine Übersicht vermitteln. Für diese wurden nur Strophen ausgewählt, welche auch tatsächlich Pausen enthielten, also in Substrophen unterteilt wurden. Es zeigte sich, dass insgesamt 573 Pausen annotiert wurden. Die Anzahl der Pausen pro Strophe variierte dabei zwischen 1 und 19, bei einem Mittelwert von 2,45. Die meisten Strophen wurden also durch wenige

## ERGEBNISSE

Pausen segmentiert, wodurch eine geringe Zahl an Substrophen produziert wurde. Einige wenige Strophen stellten Ausreißer mit einer hohen Pausenzahl dar.

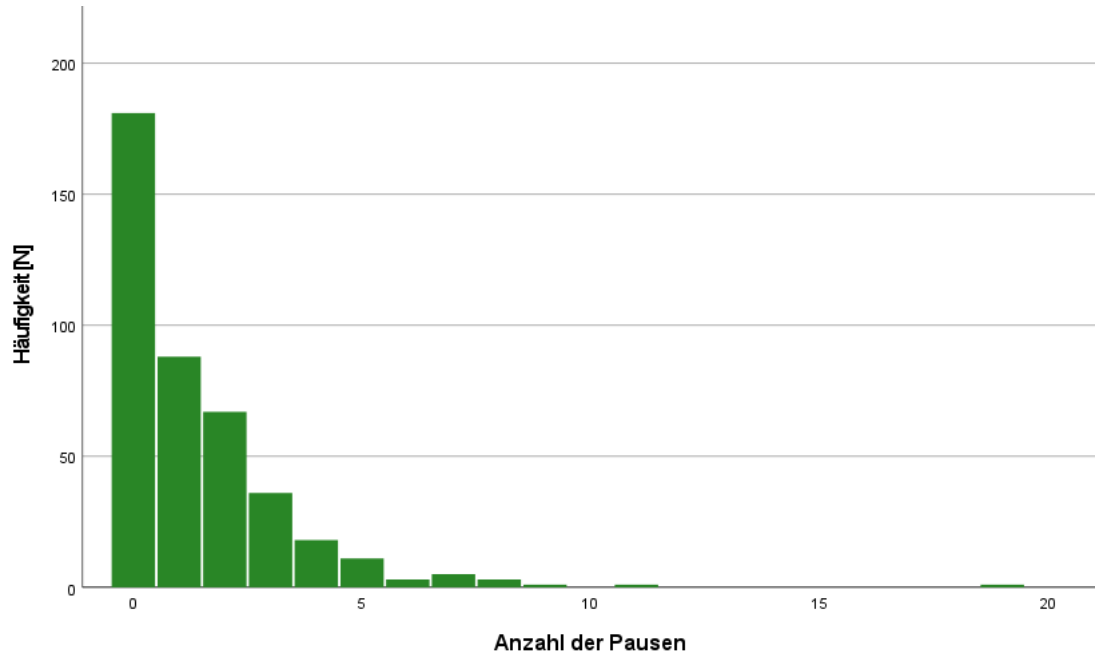
**Tabelle 30**      **Deskriptive Statistik: Anzahl der Pausen zwischen Substrophen pro Strophe.**

N(gesamt) = 573 Pausen	Statistik
Mittelwert	2,45
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	2,19
Untergrenze	
Obergrenze	2,71
5% getrimmtes Mittel	2,18
Median	2,00
Varianz	4,07
Standardabweichung	2,02
Minimum	1
Maximum	19
Schiefe	3,45
Kurtosis	20,56

Betrachtet man das Verteilungshistogramm der Pausen (Abbildung 44) über alle Strophen hinweg, also auch jene ohne weitere Segmentierung in Substrophen, so wird Folgendes deutlich: Die überwiegende Zahl aller Strophen wurde nicht weiter in Substrophen segmentiert und verfügte damit auch über keine Pausen. Die Anzahl an Pausen pro Strophe nimmt von 1 bis 9 stetig ab, Strophen mit Pausenzahlen  $\geq 10$  finden sich nur noch als vereinzelte Ausreißer.

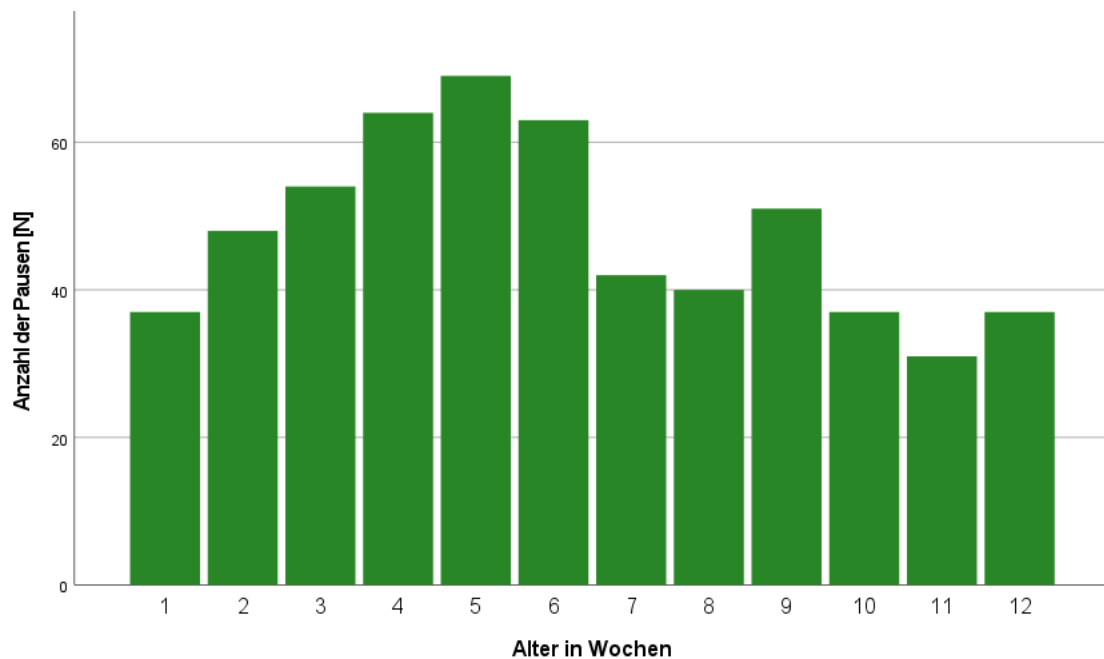


## ERGEBNISSE



**Abbildung 44** Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Anzahl der Pausen pro Strophe

Die Verteilung der Pausen im Altersverlauf (Abbildung 45) folgte wenig überraschend demselben Muster wie die Verteilung der Substrophen (Abbildung 37) und war über den Untersuchungszeitraum gleichmäßig.



**Abbildung 45** Histogramm der Anzahl der Pausen im Wochenverlauf  
Die Gesamtzahl der Pausen lag bei  $N = 573$ .

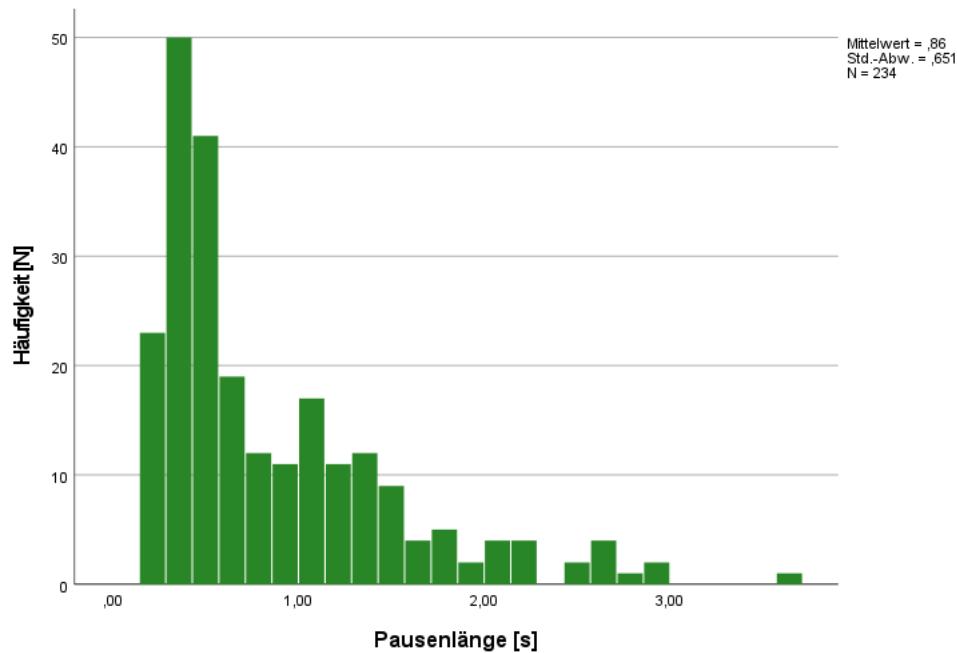
## ERGEBNISSE

Nun sollen die temporalen Eigenschaften der Pausen pro Strophe gemittelt untersucht werden. Tabelle 31 zeigt die deskriptive Statistik der Pausenlängen auf.

**Tabelle 31**      **Temporale Eigenschaften der gemittelten Pausen zwischen Substrophen pro Strophe [s]**

Anzahl der Pausen	Mittelwert	Median	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum
N = 573	,86	,58	,65	,20	3,57

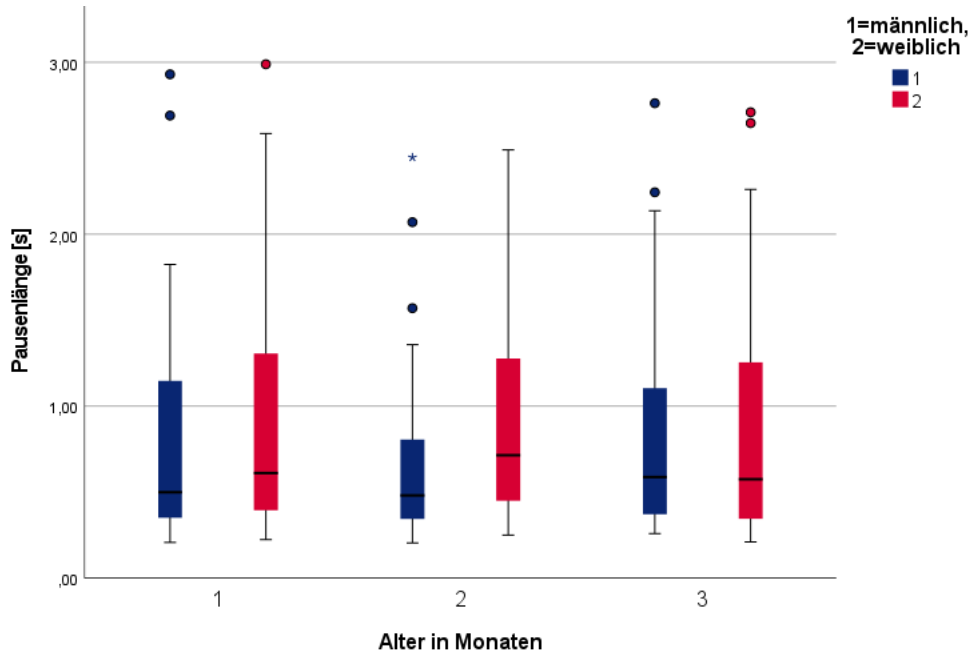
Abbildung 46 zeigt im Histogramm die Verteilungseigenschaften der Pausenlängen zwischen Substrophen auf. Dabei wurden die Werte auf Strophenbasis gemittelt.



**Abbildung 46**      **Histogramm der Verteilungshäufigkeit der mittleren Pausenlänge pro Strophe**

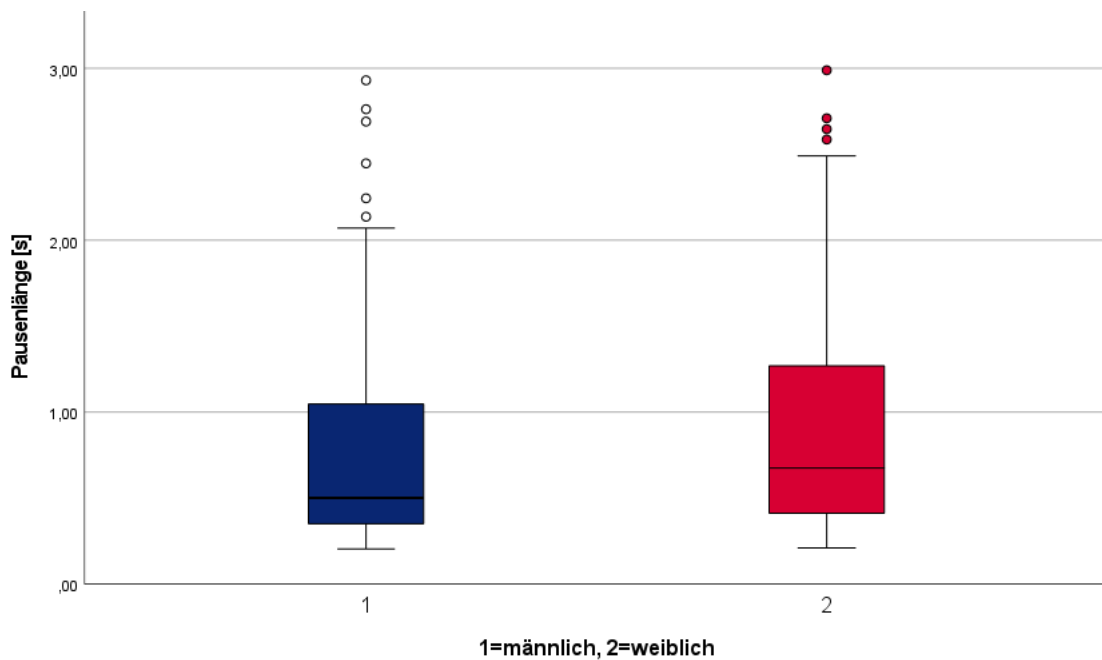
Im Geschlechtervergleich ergibt sich nach Betrachtung der Abbildung 47 visuell keine Tendenz zur Zu- oder Abnahme der Pausenlängen im Altersverlauf. Mädchen schienen in Monat 1 und 2 höhere Medianwerte aufzuweisen, in Monat 3 war dieser Unterschied kaum vorhanden.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 47** Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Pausenlänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht

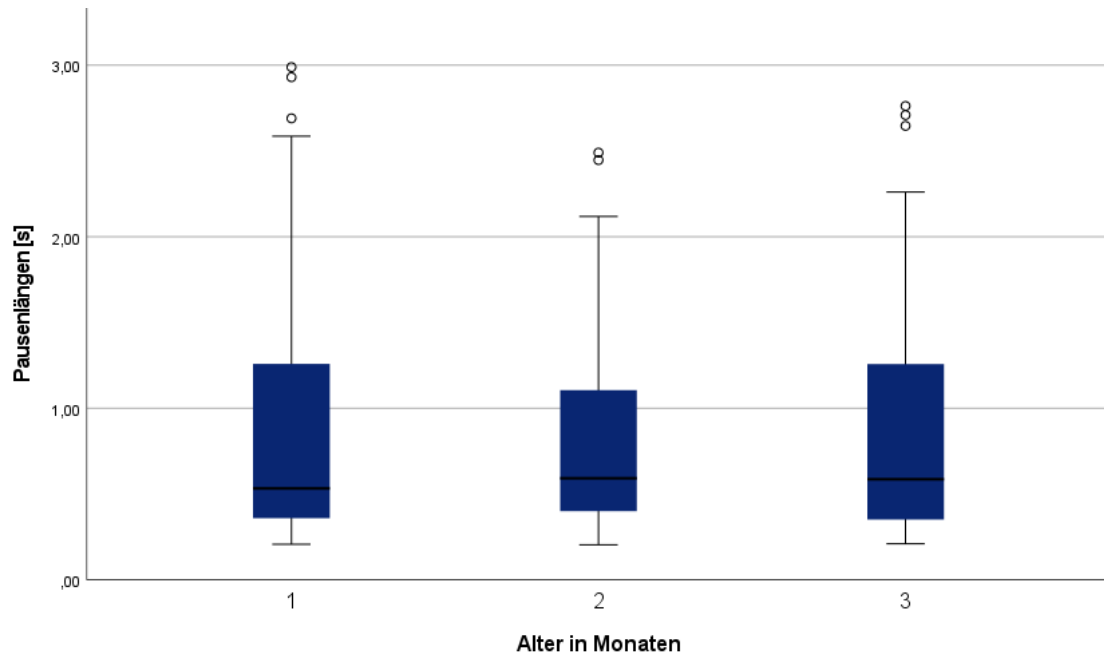
Im altersunabhängigen Geschlechtervergleich zeigte sich in Abbildung 48 für Mädchen weiterhin ein leicht höherer Median bei 0,68 s im Vergleich zu Jungen mit 0,50 s.



**Abbildung 48** Boxplot der Verteilung der Pausenlänge im Geschlechtervergleich

## ERGEBNISSE

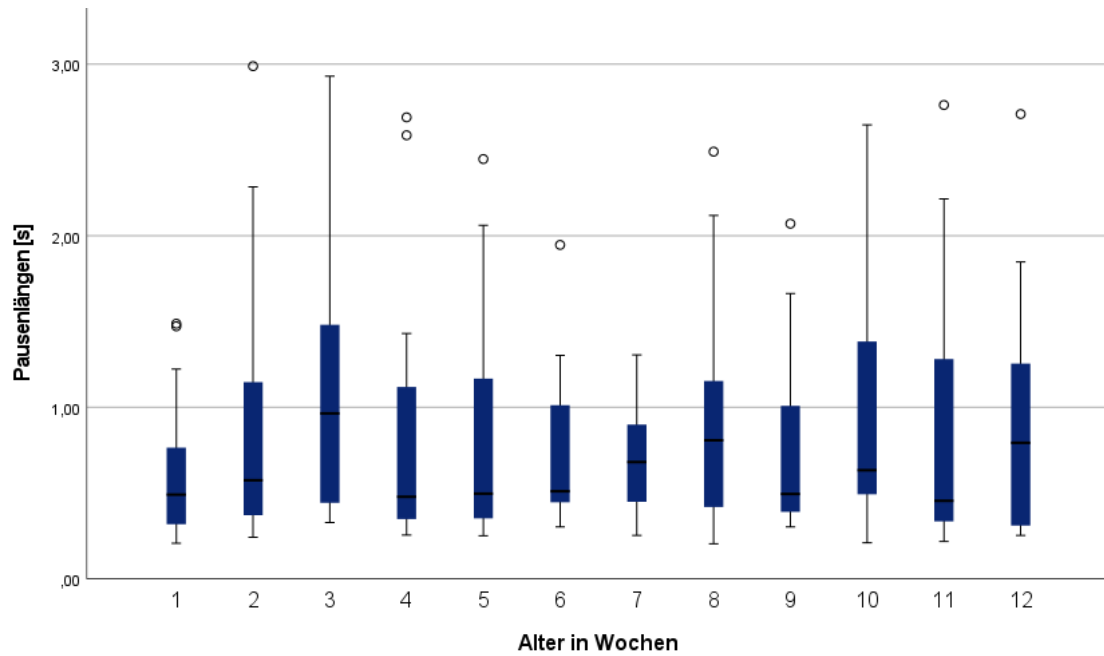
Der Monatsvergleich lieferte wie in Abbildung 49 gezeigt keine eindeutige Tendenz im Altersverlauf. Der Median stieg vom ersten zum zweiten Lebensmonat leicht an, fiel aber zum dritten Lebensmonat hin wieder ab.



**Abbildung 49** Boxplot der Verteilung der Pausenlänge in der Monatsübersicht

Genauer wurde dies im Wochenverlauf (Abbildung 50) sowie in einer explorativen Statistik (Tabelle 32) untersucht. Der Wochenverlauf zeigte ebenso wie der Monatsverlauf keine eindeutige Richtung. Die Werte zeigten vielmehr einen wellenartigen Verlauf mit Hochs im ersten und dritten Monat sowie einem Tal mit niedrigeren Werten im zweiten Lebensmonat.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 50** Boxplot der Verteilung der Pausenlänge in der Wochenübersicht

Tabelle 32 zeigt ergänzend die Ergebnisse der explorativen Analyse. Der Median der Pausenlänge steigt vom 1. zum 2. Lebensmonat an, verbleibt dann zum 3. Lebensmonat hin aber auf demselben Niveau.

**Tabelle 32 Explorative Statistik der Pausenlänge im Monatsverlauf**

Monat		Statistik [s]
1	Mittelwert	,88
	Median	,53
	Standardabweichung	,707
	Minimum	,21
	Maximum	3,57
	Schiefe	1,68
	Kurtosis	2,87
2	Mittelwert	,80
	Median	,59
	Standardabweichung	,55
	Minimum	,20
	Maximum	2,49
	Schiefe	1,28
	Kurtosis	1,10
3	Mittelwert	,91
	Median	,59
	Standardabweichung	,71
	Minimum	,21
	Maximum	2,76
	Schiefe	1,21
	Kurtosis	,47

Auch hier wurde wieder die Signifikanz der Ergebnisse getestet. Die Notwendigkeit gemischter Modelle wurde durch den ICC von 0,13 bestätigt. Die abhängige Variable Pausenlänge wurde logarithmiert untersucht. Die Interaktion zwischen dem Alterseffekt und dem Geschlecht war nicht signifikant ( $b=-0,037$ ,  $p=0,463$ , 95-%CI [-0,138, 0,063]) und wurde dementsprechend nicht berücksichtigt.

Für das finale Modell (Tabelle 33) mit zufälliger Konstanten und zufälliger Steigung (Kovarianzmatrix diagonal) wurde ein AIC von 108,59 als Modellgütekriterium erreicht. Die Signifikanzprüfung des Alterseffekts ergab für den Wochenvergleich das beste Modell. Daher wurde die Lebenswoche in das finale Modell aufgenommen. Unabhängig

## ERGEBNISSE

davon wurden auch Lebensmonat und Aufnahmetag getestet. Dadurch verschlechterte sich lediglich die Modellgüte, ohne eine Veränderung der Signifikanz zu bewirken.

Es zeigte sich weder ein statistisch signifikanter Effekt der Faktors Geschlecht ( $b=0,058$ ,  $p=0,304$ , 95%-CI [-0,056, 0,171]), noch konnte für die Aufnahmewoche eine Signifikanz nachgewiesen werden ( $b<0,001$ ,  $p=0,964$ , 95%-CI [-0,012, 0,013]). Der Faktor Lebensmonat führte zu einer Verschlechterung der Modellgüte (AIC=106,04) und wurde daher nicht in das finale Modell aufgenommen. Für ihn wurde ebenso kein signifikanter Zusammenhang errechnet ( $b=-0,003$ ,  $p=0,921$ , 95%-CI [-0,055, 0,050]).

**Tabelle 33**            **Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Pausenlänge**  
**AIC = 108,59**

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	-,272645	,093221	30,665	-2,925	,006	-,462854	-,082436
Geschlecht	,057727	,054930	22,875	1,051	,304	-,055939	,171393
Woche	,000286	,006376	59,699	,045	,964	-,012470	,013042

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Pausenlänge

Modellebenen: Proband, Aufnahmewoche, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Zusätzlichen wurde der Effekt einzelner Monatsunterschiede auf mögliche Signifikanz untersucht (Tabelle 34). Es ergab sich hier keine Signifikanz. Dies galt für den Unterschied zwischen dem ersten und dritten Monat ( $b=0,002$ ,  $p=0,976$ , 95%-CI [-0,135, 0,139]) sowie zwischen dem zweiten und dritten Monat ( $b=-0,016$ ,  $p=0,850$ , 95%-CI [-0,135, 0,112]). Ebenso blieb das Geschlecht nicht signifikant.

**Tabelle 34** Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Pausenlänge im Monatsvergleich  
AIC = 108,60

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	-,286944	,098138	25,169	-2,924	,007	-,488995	-,084894
Geschlecht	,071783	,053449	22,308	1,343	,193	-,038976	,182541
[Monat=1]	,002006	,066879	27,433	,030	,976	-,135118	,139130
[Monat=2]	-,011500	,060339	27,447	-,191	,850	-,135211	,112212
[Monat=3]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

b. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße Pausenlänge

Modellebenen: Proband nach Aufnahmemonat, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Die Ergebnisse der gemischten Modelle werden visuell durch die Boxplots in Abbildung 49 und Abbildung 50 untermauert. Hier zeigte sich ebenfalls kein eindeutiger Altersverlauf. Abbildung 48 zeigte marginale Unterschiede zwischen den Geschlechtern, diese erwiesen sich jedoch als nicht signifikant. Die Residuen waren nach Kontrolle des Histogramms und des Q-Q-Diagramms für alle Modelle hinreichend normalverteilt.

**3.4 Analyse der IOI-Anzahl und Länge**

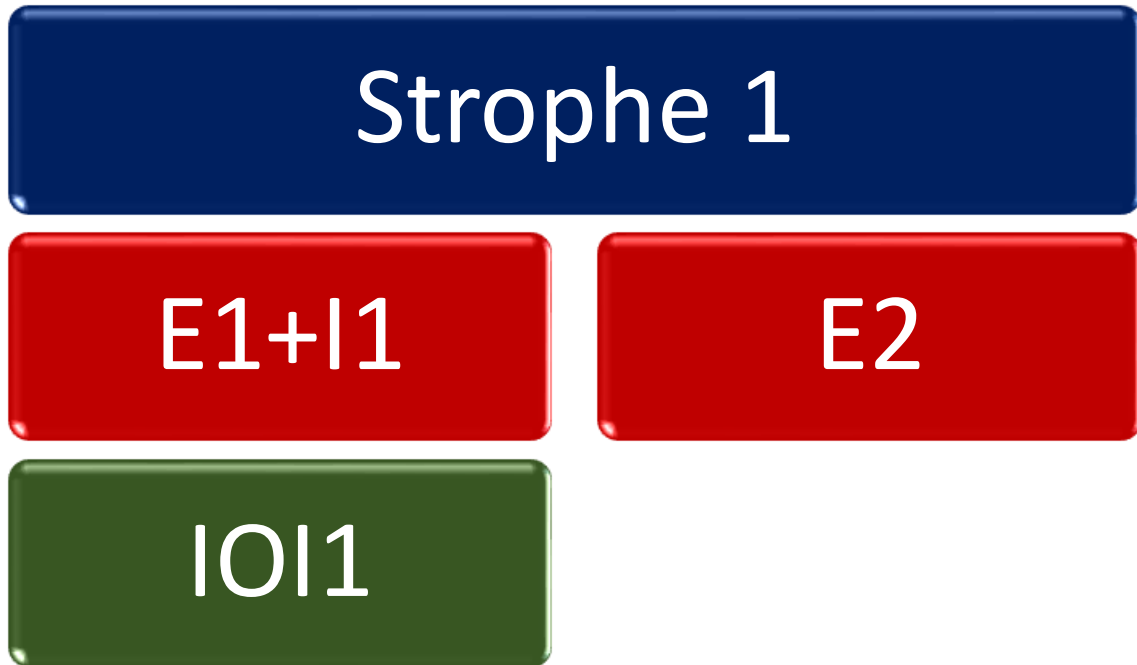
In Kapitel 2.4 wurde bereits die Definition der IOI-Signale als kleinstes rhythmisches Element erläutert. In der nachfolgenden Statistik wurden die Einzelsignale nicht länger auf Strophen- oder Substrophenebene subsummiert. Stattdessen floss jedes einzelne Signal ohne Mittelwertbildung in die Untersuchungen ein. Die deskriptive Analyse verschafft zunächst in Tabelle 35 eine Übersicht. Insgesamt wurde eine Stichprobe von 6430 IOIs erfasst.



**Tabelle 35**      **Deskriptive Statistik: Anzahl der IOIs pro Strophe**

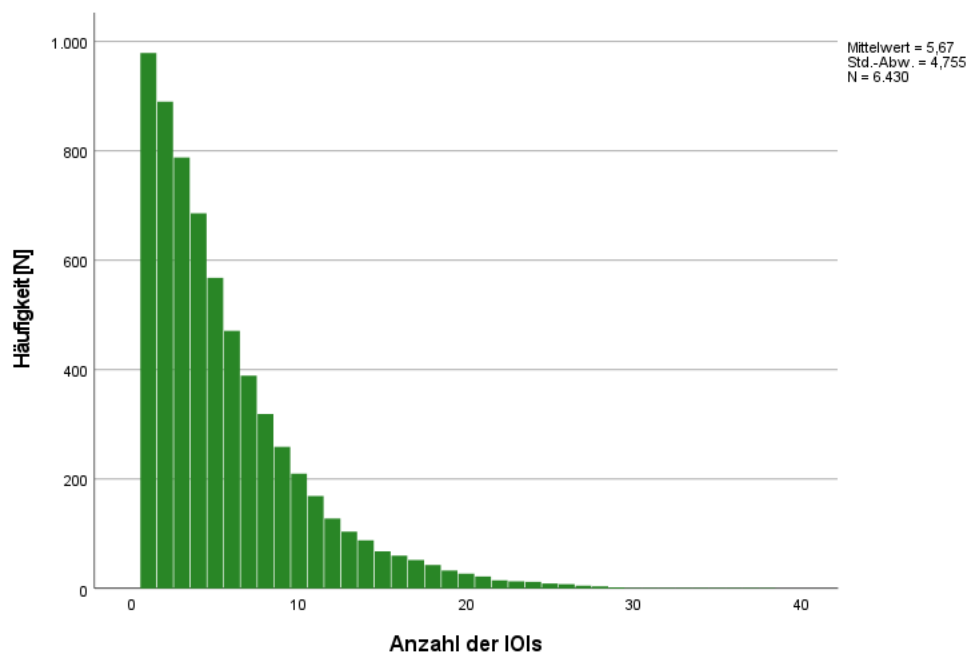
N(gesamt) = 6430 IOIs		Statistik
Mittelwert		5,67
Varianz		22,61
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	5,55
	Obergrenze	5,78
5% getrimmtes Mittel		5,15
Median		4,00
Standardabweichung		4,76
Minimum		1
Maximum		38
Schiefe		1,74
Kurtosis		4,07

Nach den in Kapitel 3 erläuterten Regeln wurden Strophen mit nur einer Expiration selektiv entfernt. Da IOIs eine Expiration und die darauffolgende Inspiration zusammenfassen, stellt sich die Frage, weshalb hier Strophen mit nur einem IOI vermessen wurden. Um dies zu erklären, muss ein Blick auf die Annotation in Kapitel 2.3.1 geworfen werden. Zusätzlich wird der Sachverhalt vereinfacht in Abbildung 51 schematisch dargestellt. Eine Strophe mit zwei Expirationen endete nach Definition der vorliegenden Arbeit stets auf eine Expiration. Dies hatte zur Folge, dass nur ein IOI entsteht. Dem zweiten IOI fehlte seine zugehörige Inspiration, daher wurde es nicht gebildet.



**Abbildung 51** Schematische Darstellung einer Strophe mit zwei Expirationen  
Eine Strophe mit zwei Expirationen enthält stets nur ein IOI.

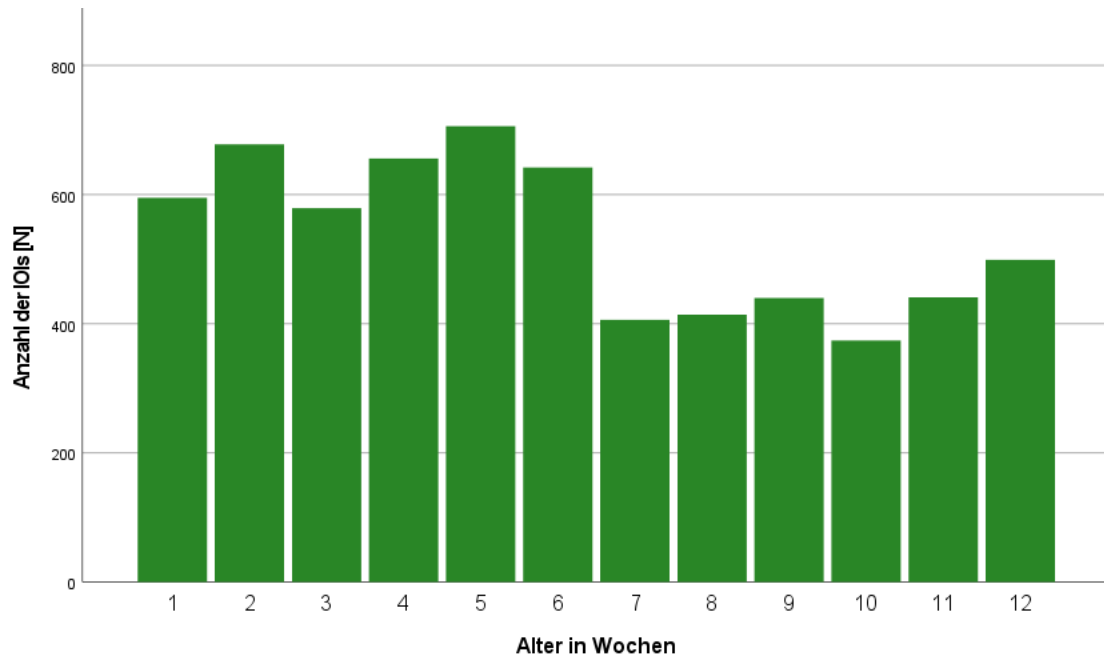
Das Verteilungshistogramm der Abbildung 52 zeigt die Häufigkeiten der IOI-Anzahl pro Strophe auf. Niedrige IOI-Zahlen pro Strophe waren häufiger als hohe. Aufgrund der enormen Stichprobengröße von 6430 Werten beschreiben die Balken des Histogramms eine nahezu perfekte Hyperbel.



**Abbildung 52** Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Anzahl der IOIs pro Strophe

## ERGEBNISSE

Anschließend wurde die Verteilung der IOIs auf den Untersuchungszeitraum analysiert und in Abbildung 53 graphisch dargestellt. Es zeigte sich eine gleichmäßige Abdeckung mit stets deutlich über 300 Werten pro Lebenswoche.



**Abbildung 53**      **Histogramm der Anzahl der IOIs im Wochenverlauf**  
Die Gesamtzahl der Strophen lag bei N = 6430.

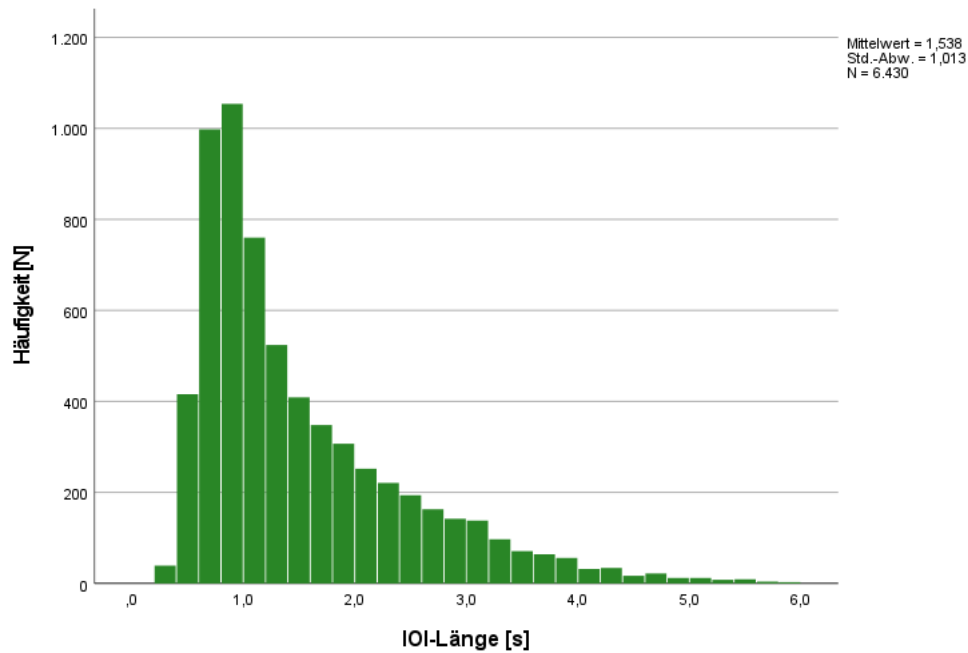
Nun soll zum Bericht der statistischen Analyse der temporalen Eigenschaften der IOIs übergegangen werden. Die deskriptive Statistik der Tabelle 36 verschafft einen ersten Überblick. Es wurde eine IOI-Gesamtlänge von 9888,08 s beziehungsweise 164,80 min oder 2,74 h untersucht.

**Tabelle 36**      **Temporale Eigenschaften der IOI-Länge [s]**

Anzahl der IOIs	Mittelwert	Median	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum	Summe
N = 6430	1,54	1,19	1,01	,26	11,08	9888,08

Das nachfolgende Histogramm der IOI-Längen stellt die Verteilungshäufigkeit in Abbildung 54 anschaulich dar.

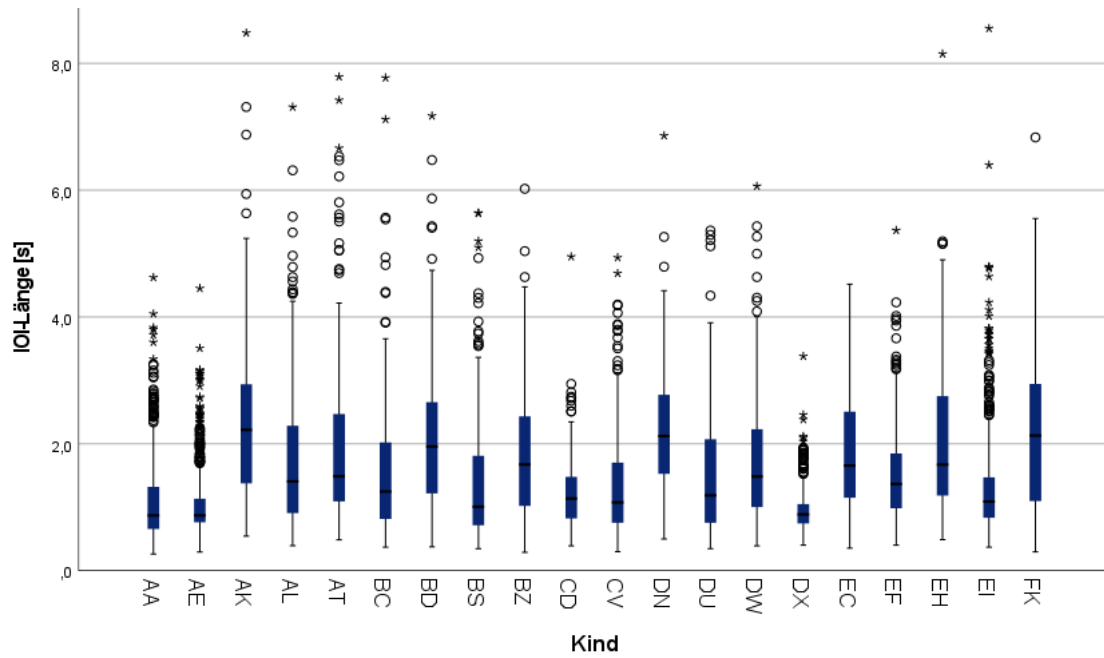
## ERGEBNISSE



**Abbildung 54** Histogramm der Verteilungshäufigkeit der IOI-Länge

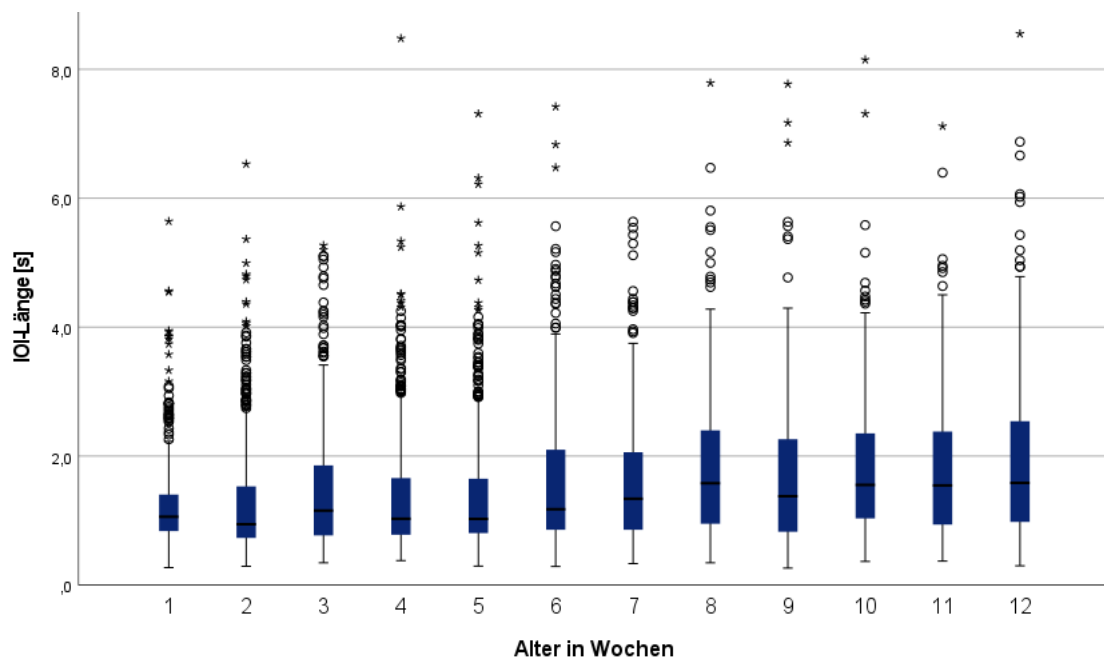
Ein Boxplot über die IOI-Längen in der Säuglingsübersicht liefert in Abbildung 55 einen Überblick. Die Werte scheinen im visuellen Säuglingsvergleich durchaus Schwankungen zu unterliegen. Die Anwendung gemischter Modelle sollte in diesem Kapitel klären, welchen Einfluss die Kindebene auf die IOI-Länge hat. Ein signifikanter Einfluss könnte beispielsweise als Hinweis gedeutet werden, dass „Schreikinder“ andere rhythmische Muster produzieren als weniger exzessiv vokalisierende Kinder.

## ERGEBNISSE



**Abbildung 55** Boxplot der Verteilung der IOI-Länge in der Säuglingsübersicht

Eine zusätzliche Wochenübersicht der IOI-Längen über alle Kinder hinweg zeigt in Abbildung 56 eine Tendenz zu höheren IOI-Längen im Wochenverlauf.



**Abbildung 56** Boxplot der Verteilung der IOI-Längen in der Wochenübersicht

Diese Einschätzung bestätigt sich in Abbildung 57 im Geschlechtervergleich über die ersten drei Lebensmonate. Für beide Geschlechter ist ein positiver Trend des

## ERGEBNISSE

Medianwertes der IOI-Länge sowohl vom ersten zum zweiten als auch vom zweiten zum dritten Monat ersichtlich.

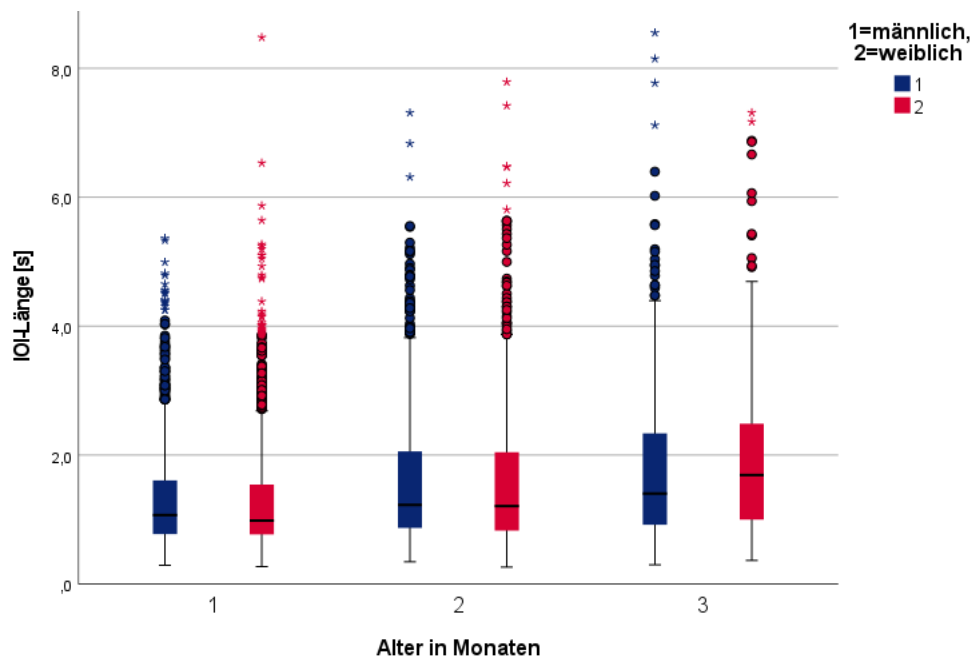


Abbildung 57 Boxplot der altersabhängigen Verteilung der IOI-Länge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht

Im direkten Geschlechtervergleich zeigt der Boxplot in Abbildung 58 über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg hingegen kaum einen Hinweis auf deutliche Geschlechtsunterschiede. Der Median weist einen leichten Unterschied mit 1,195 s für Jungen und 1,177 s für Mädchen auf.

## ERGEBNISSE

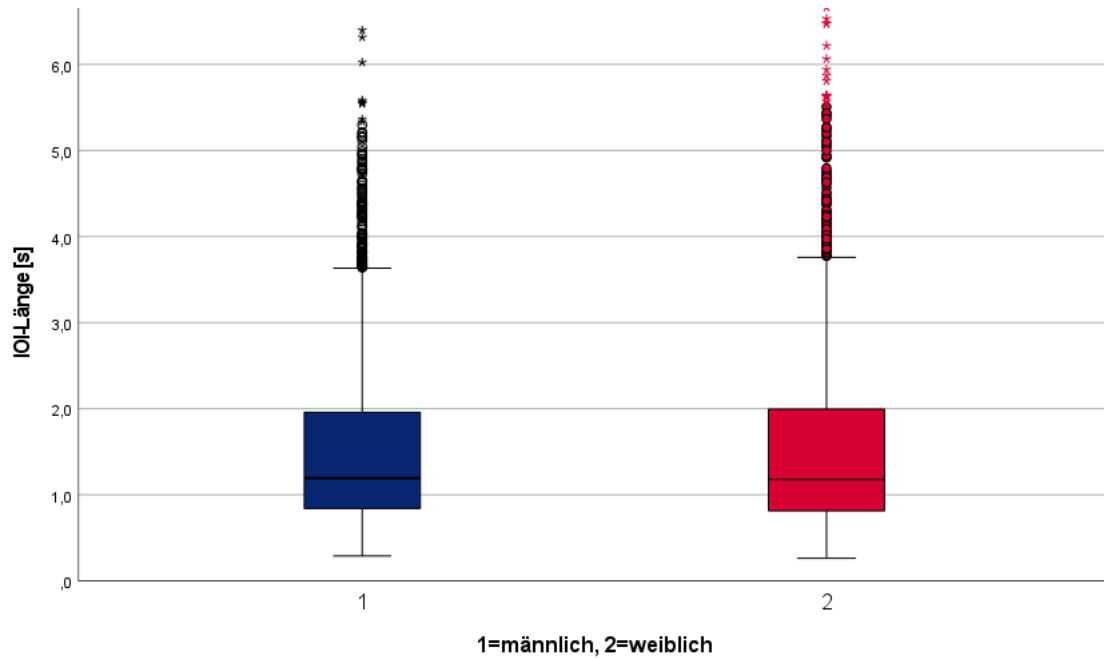


Abbildung 58 Boxplot der Verteilung der IOI-Länge im Geschlechtervergleich

Der Blick auf den geschlechterunabhängigen Monatsverlauf in Abbildung 59 bestätigt die Tendenz zu einem positiven Alterstrend. Der Median entwickelte sich vom ersten Monat mit 1,023 s über den zweiten Monat mit 1,220 s zum dritten Monat und einem Wert von 1,55 s.

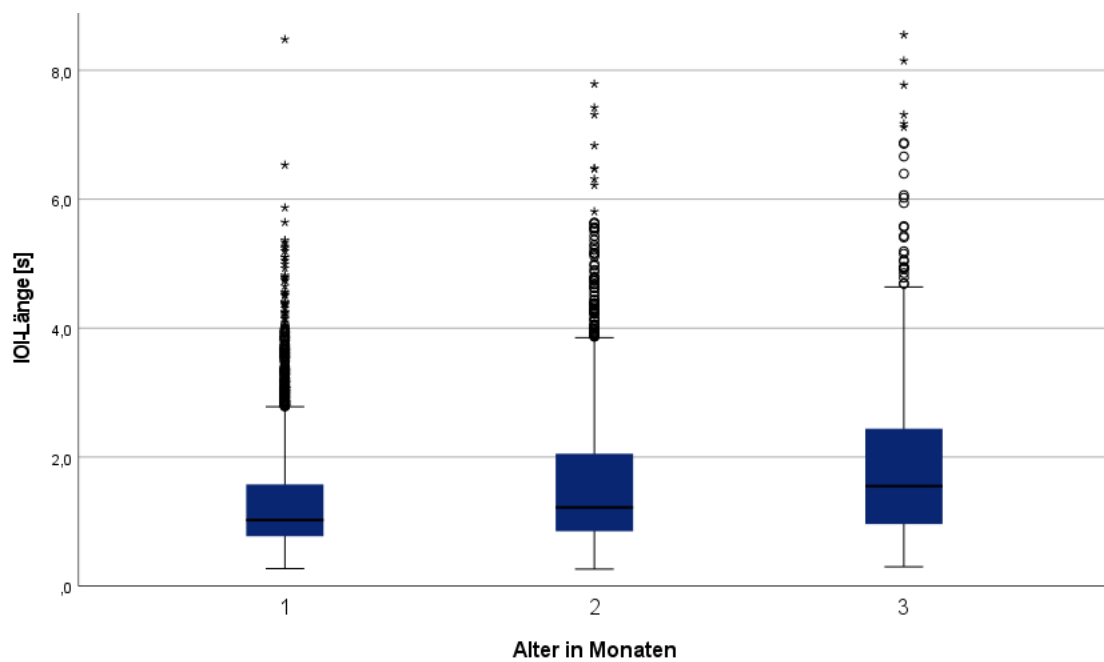


Abbildung 59 Boxplot der Verteilung der IOI-Länge in der Monatsübersicht

## ERGEBNISSE

Die explorative Statistik der IOI-Längen im Monatsverlauf wird ergänzend in Tabelle 37 aufgezeigt.

**Tabelle 37**                    **Explorative Statistik der IOI-Länge im Monatsverlauf**

Monat		Statistik [s]
1	Mittelwert	1,32
	Median	1,02
	Standardabweichung	,85
	Minimum	,27
	Maximum	8,48
	Schiefte	2,08
	Kurtosis	5,95
2	Mittelwert	1,59
	Median	1,22
	Standardabweichung	1,06
	Minimum	,26
	Maximum	11,08
	Schiefte	2,01
	Kurtosis	7,35
3	Mittelwert	1,83
	Median	1,55
	Standardabweichung	1,11
	Minimum	,30
	Maximum	8,55
	Schiefte	1,51
	Kurtosis	3,77

Die Notwendigkeit gemischter Modelle zur Signifikanzprüfung wurde auch für die Signalebene durch einen ICC von 0,16 bestätigt. Die abhängige Variable IOI wurde logarithmiert untersucht.

Das finale Modell mit zufälliger Konstanten und zufälliger Steigung (Kovarianzmatrix diagonal) mit einem AIC von -939,09 als Modellgütekriterium wurde auf Wochenebene berechnet (Tabelle 38). Die Signifikanzprüfung des Alterseffekts ergab für den



## ERGEBNISSE

Monatsvergleich schlechtere AIC-Werte und damit Modelle geringerer Güte. Die Signifikanz blieb jedoch unverändert gegeben. Die Interaktion zwischen Geschlecht und Alterseffekt war nicht signifikant und wurde daher nicht berücksichtigt ( $b=-0,001$ ,  $p=0,180$ , 95-% CI [-0,002, >0,001]).

Es wurde kein signifikanter Effekt der Faktors Geschlecht errechnet ( $b=0,048$ ,  $p=0,348$ , 95-% CI [-0,057, 0,153]). Der Alterseffekt auf Wochenbasis war hingegen deutlich signifikant ( $b=0,013$ ,  $p<0,001$ , 95%-CI [0,008, 0,018]). Ergänzend wurde der Monateffekt berechnet und war ebenso hochsignifikant ( $b=0,053$ ,  $p<0,001$ , 95%-CI [0,036, 0,070]). Die Kindebene erwies sich als nicht signifikant einflussnehmend auf die abhängige Variable IOI-Länge ( $b=-0,008$ ,  $p=0,909$ , 95%-CI [-0,144, 0,128]).

**Tabelle 38**                    **Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten IOI-Werte.**  
**AIC = -939,09**

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	-,007522	,064754	18,112	-,116	,909	-,143504	,128460
Geschlecht	,047635	,049106	14,505	,970	,348	-,057345	,152615
Woche	,013015	,002165	19,161	6,011	<,001	,008486	,017544

### Modellparameter

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße IOI

Modellebenen: Proband, Aufnahmewoche, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Nach Feststellung der Signifikanz des Alterseffekts auf die IOI-Länge wurde der Effekt der einzelnen Lebensmonate untersucht (Tabelle 39).

Der Vergleich von Monat eins zu Monat drei war ebenso deutlich signifikant ( $b=-0,108$ ,  $p>0,001$ , 95-% CI [-0,145, -0,070]) wie die Entwicklung von Monat zwei zu Monat drei ( $b=-0,067$ ,  $p=0,001$ , 95-% CI [-0,101, -0,032]). Auch für dieses Modell ergab sich für das Geschlecht deutlich keine Signifikanz ( $b=0,012$ ,  $p=0,794$ , 95%-CI [-0,086, 0,111]). Die Residuen waren nach Kontrolle des Histogramms und des Q-Q-Diagramms normalverteilt.

ERGEBNISSE

**Tabelle 39** Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten IOI-Länge im Monatsvergleich

Parameter	Schätzer	Std.-Fehler	df	T	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	,191744	,071968	15,540	2,664	,017	,038811	,344677
Geschlecht	,012419	,046869	17,344	,265	,794	-,086317	,111154
[Monat=1]	-,107754	,018054	24,062	-5,968	<,001	-,145011	-,070498
[Monat=2]	-,066666	,016391	19,250	-4,067	,001	-,100943	-,032389
[Monat=3]	0 <sup>b</sup>	0	.	.	.	.	.

b. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

**Modellparameter**

Abhängige Variable: Transformierte Werte für die Messgröße IOI

Modellebenen: Proband nach Aufnahmemonat, Geschlecht

Kovarianzmatrix: Diagonal

**Legende:** df = Freiheitsgrade, T = Teststatistik, Sig. = Signifikanz

Die deskriptive Statistik spiegelte die Ergebnisse der gemischten Modelle graphisch wider. So zeigten bereits die Boxplots in Abbildung 56 und Abbildung 59 eine deutliche Altersentwicklung über alle drei Monate hinweg, während Abbildung 58 visuell keine deutlichen Geschlechtsunterschiede präsentierte.

## 4 Diskussion

Säuglinge mit OFS sind im Vergleich zu medizinisch unauffälligen Altersgenossen beim Spracherwerb diversen Herausforderungen ausgesetzt. Die Spaltbildung selbst limitiert in Abhängigkeit von der Ausprägung die Vokalisationskapazität des Kindes (Harding & Grunwell, 1996). Zusätzlich ist das orofaziale System einem ständigen Veränderungsprozess unterworfen; durch das Wachstum des Säuglings selbst wie auch durch äußere Einflüsse, etwa die Gaumenplatte, welche ständig an die sich verändernden anatomischen Gegebenheiten angepasst werden muss oder auch durch chirurgische Interventionen (Kramer et al., 1996; Manna et al., 2009). Diese erschwerten Bedingungen führen zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit der Ausbildung von Sprech- und Sprachentwicklungsauffälligkeiten (Jones et al., 2003; Smith & Guyette, 2004).

Analog zu den Fortschritten beim Monitoring der auditiven Fähigkeiten von Neugeborenen zur Prävention späterer Entwicklungsverzögerungen ist eines der Ziele der Säuglingsschreiforschung von der Ausprägung von Sprachentwicklungsauffälligkeiten besonders gefährdete Kinder sowohl mit als auch ohne OFS frühzeitig zu identifizieren. So ist bereits in der Literatur beschrieben, dass unerkannte Hörstörungen die frühkindliche Sprachentwicklung nachhaltig negativ beeinflussen.

*„Children with hearing loss frequently appear to be normal, and often their handicaps are not apparent. Hearing loss that is undetected and untreated can result in speech, language, and cognitive delays. Early identification and intervention [...] improve language, communication, and cognitive skills.“ (El-Serafy et al., 2013).*

Verspätetes Eingreifen kann nachhaltig negative Auswirkungen auf die berichtete Lebensqualität der betroffenen Kinder bis hin zu Problemen bei der schulischen Integration und sozialen Interaktion mit Gleichaltrigen nach sich ziehen (Roland et al., 2016). Die Gesamtheit der Konsequenzen verspäteter Intervention führte dazu, dass anno 2009 für jedes Neugeborene in Deutschland ein kassenrechtlicher Anspruch auf ein Neugeborenenhörscreening eingeführt wurde. Der Erfolg der flächendeckenden Implementation des Hörscreenings für Neugeborene besteht darin, dass eine therapeutische Intervention so früh wie möglich erfolgen kann und damit entwicklungsverzögernden Effekten der Hörschädigung vorgebeugt wird (Loderstedt et al., 2017; Müller et al., 2017; Schmuziger et al., 2008).

Die Säuglingsschreiforschung möchte beziehend auf die Hörforschung für Neugeborene Ansätze für primär-präventive therapeutische Maßnahmen liefern. Zunächst gilt es jedoch die Frage zu beantworten, ob akustische Eigenschaften von Säuglingsvokalisationen in der vorsprachlichen Phase der Sprachentwicklung Hinweise auf Sprachentwicklungsstörungen geben und somit „Risikokinder“ frühzeitig identifizieren könnten. Dies würde Anknüpfungspunkte für eine Individualförderung beispielsweise im Rahmen einer logopädischen Begleitung liefern und wäre insbesondere für Säuglinge mit OFS hilfreich, allerdings fehlen bisher geeignete Normwerte gesunder Säuglinge.

In der vorliegenden Arbeit wurden erstmalig temporale und rhythmische Eigenschaften von Vokalisationssequenzen gesunder Säuglinge ohne orofaziale Spaltbildungen und andere Malformationen des Vokaltraktes in verschiedenen Zeitskalen untersucht. Hierzu wurden anonymisierte Aufzeichnungen von Säuglingsschreisequenzen in Strophenlängen, Substrophenlängen, IOIs und andere temporale Messgrößen untergliedert (siehe Kapitel 2.3.1). Ziel war es erste Referenzwerte gesunder Säuglinge zu generieren.

Da dies die erste wissenschaftliche Arbeit ist, welche sich dieser Fragestellung widmet, gibt es kaum Fachliteratur auf die sich der Autor vergleichend beziehen kann. Es gibt jedoch einige relevante Arbeiten aus dem ZVES selbst. Diese untersuchten keine vollständigen Vokalisationssequenzen, dennoch können sie für einzelne temporale Messgrößen wie Expirationslängen und Inspirationslängen Vergleichswerte liefern. Ferner gibt es umfangreiche Untersuchungen zu Säuglingsschreien im Zusammenhang mit „colic crying“, also exzessivem Schreien Neugeborener (Hewson et al., 1987; Pinyerd & Zipf, 1989; Roberts et al., 2004; Schmitt, 1985). Hier ist jedoch zu beachten, dass die in der vorliegenden Arbeit aufgenommenen Schreisequenzen primär spontanes Weinen beinhalten, welches nicht mit exzessivem colic crying gleichzusetzen ist. Behelfsmäßig werden auch Arbeiten der Vogelgesangsforschung zum Vergleich zitiert, da Studien am Menschen fehlen. Dies mag zunächst kontraintuitiv klingen. Es bestehen jedoch faszinierende Parallelen, wie bereits Prather et al. (2017) eindrücklich aufzeigten:

*„Language as a computational cognitive mechanism appears to be unique to the human species. However, there are remarkable behavioral similarities between song learning in*

*songbirds and speech acquisition in human infants that are absent in non-human primates. [...] Taken together, song learning in birds and speech acquisition in humans may provide useful insights into the evolution and mechanisms of auditory-vocal learning.“*

#### **4.1 Untersuchung temporaler Eigenschaften frühkindlicher Lautäußerungen im Längsschnitt**

Beginnend bei Strophen und Substrophen bis hin zu den einzelnen Expirationen und Inspirationen wurden zeitliche Messparameter erfasst und im Längsschnitt der ersten 3 Lebensmonate ausgewertet. Zu berücksichtigen bei den Ergebnissen und ihrer Diskussion ist der Umstand, dass die Definition Strophe und Substrophe formal gesetzt wurde. Diese Größen erschienen nach einer Reihe von Voruntersuchungen audio-visueller Art als sinnvoll. Mangels geeigneter Vergleichswerte in der Literatur wurde sie daher als möglichst reproduzierbare und auswertbare Parameter definiert. Auf die untergeordneten temporalen Einzelgrößen wie Expiration, Inspiration und IOI haben diese keinen Einfluss.

##### **4.1.1 Verändern sich Anzahl und Länge von Strophen und Substrophen über den Beobachtungszeitraum hinweg?**

Wie aus Tabelle 7 bekannt ist, weist die Strophenlänge eine große Streubreite auf. Bei 373 untersuchten Strophen wies die kürzeste eine Gesamtlänge von gerade einmal 2,15 s auf, die längste lag bei 119,61 s. Auch liegen Mittelwert (25,86 s) und Median (18,78 s) recht weit auseinander.

Die Ursache für die recht hohe Streubreite der Strophenlängen wurde vom Verfasser dieser Arbeit auditiv kontrolliert, in dem die kürzesten und längsten Strophen erneut abgehört und mit ihrer entsprechenden Segmentierung in Praat überprüft wurden. Tatsächlich zeigte sich, dass die sehr kurzen Strophen aus Vokalisationssequenzen wenig exzessiv schreiender Säuglinge bestanden. Die längsten Strophen hingegen wurden gebildet aus durchgehendem, exzessivem Schreien der Probanden. Dies erscheint vor dem Hintergrund der Strophendefinition aus Kapitel 2.3.1 logisch nachvollziehbar. Da eine neue Strophe stets dann von der vorherigen abgegrenzt wird, wenn dazwischen eine Vokalisationspause von  $\geq 3$  s besteht, wird dieses Pausenkriterium bei exzessivem

Schreien des Säuglings kaum ausgelöst. Zumeist wird in solchen Strophen nur kurz inspiriert, um wieder Luft für den nächsten Schrei zu „tanken“. Weniger exzessive Schreisequenzen scheinen als Vokalisationsmodus längere Pausen zuzulassen, sodass häufig bereits auf wenige Lautäußerungen eine zum Auslösen einer neuen Strophe ausreichend lange Pause folgt. Ob diese unterschiedlichen Vokalisationsmodi in Form der Strophenlänge statistisch messbar und signifikant sind, wurde in Kapitel 3.2.1 untersucht. Auch ein möglicher Einfluss der Faktoren Geschlecht und Lebensalter wurde überprüft.

Es zeigte sich für die Messgröße der Strophenlänge mit  $p = 0,059$  knapp kein signifikanter Einfluss des Alters. Das Ergebnis der deskriptiven Statistik wird ebenfalls visuell durch eine Betrachtung der Boxplots (Abbildung 15, Abbildung 16) bestätigt. Hier zeigte sich weder auf Wochen- noch auf Monatsbasis ein linearer Trend in Richtung zu- oder abnehmender Strophenlängen. Ebenso zeigte die Länge der Breaks, also der Pausen zwischen den Strophen, mit  $p=0,853$  keinen signifikanten Alterseinfluss.

Für die Substrophenlänge zeigte sich dagegen ein deutlicher Alterseffekt. So nahm der Median der Substrophenlänge von 8,73 s im ersten Lebensmonat über 9,45 s im zweiten Lebensmonat zu 10,57 s im dritten Lebensmonat kontinuierlich zu. Der Effekt war mit  $p=0,040$  statistisch signifikant. Auch unter Betrachtung der einzelnen Lebenswochen als Einflussfaktor auf die Substrophenlänge blieb der Effekt mit  $p=0,031$  signifikant. Für die Pausen zwischen den Substrophen zeigte sich mit  $p=0,921$  hingegen kein Alterseffekt.

Die unterschiedlichen Ergebnisse für die Altersabhängigkeit der Strophen und Substrophen sind methodisch bedingt (siehe 2.3.1). Als Trennungskriterium für Strophen wurde das Break als Unterbrechung zwischen zwei Lautäußerungen von  $\geq 3$  s und  $\leq 15$  s definiert. Zur Trennung von Substrophen wurde das Intensitätskriterium eingeführt. Dieses trägt dem Phänomen Rechnung, dass Sequenzen von Säuglingsvokalisationen häufig einem auf- und absteigenden Intensitätsmuster folgen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung legen folglich nahe, dass Säuglinge im Altersverlauf der ersten drei Lebensmonate keine altersabhängige Veränderung der Strophenlängen ihrer Vokalisationssequenzen erfahren, sofern das vom Autor definierte Trennungskriterium für zwei Strophen von  $\geq 3$  s und  $\leq 15$  s gewählt wird. Betrachtet man jedoch das melodieähnlich auf- und absteigende Intensitätsmuster der Säuglingsschreie, welches als

Substrophe in der vorliegenden Studie auf seine temporalen Eigenschaften hin untersucht wurde, so lässt sich eine kontinuierliche Längenzunahme der Intensitätswellen im Altersverlauf der ersten drei Lebensmonate beobachten.

Durch vorhergehende Untersuchungen wurde bereits bestätigt, dass eine neurophysiologische Reifung in den ersten Lebensmonaten eine Zunahme der Komplexität und Variabilität der Vokalisationsmuster von gesunden Säuglingen bedingt (Wermke, 2002). Möglicherweise erhöht die zunehmende Komplexität der einzelnen Vokalisationslaute als Ausdruck neurophysiologischer Maturation auch die Fähigkeit der Säuglinge zur Produktion von zunehmend langen und komplexen Intensitätsmustern. Diese wurden in der vorliegenden Arbeit als Substrophen in ihren temporalen Eigenschaften untersucht, es wurde jedoch nicht nach Komplexität der Vokalisationssequenzen differenziert. Der Autor schlägt für weitere Längsschnittarbeiten daher vor, diesen Parameter zusätzlich zu untersuchen.

### **4.1.2 Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in den Messgrößen Strophen- und Substrophelänge?**

Die Untersuchung der Messgrößen auf geschlechtsspezifische Unterschiede ergab keine Signifikanzen für die Substrophen und deren Pausen. Anders verhielt es sich bei den Strophen und Breaks. Für die Strophen zeigte sich mit  $p=0,001$  ein signifikanter Einfluss des Geschlechts auf die Messgröße der Strophenlänge. Dabei wiesen männliche Probanden über alle drei untersuchten Lebensmonate hinweg gleichmäßig signifikant höhere Werte als weibliche auf (Tabelle 10). Das zeigte sich ebenso anhand der deskriptiven Statistik (Abbildung 13). Genau umgekehrt war der Zusammenhang bei den Breaks zwischen den Strophen. Männliche Probanden wiesen durchgehend niedrigere Breaklängen auf als weibliche Probanden. Der Effekt war mit  $p=0,041$  statistisch signifikant.

Ein Erklärungsansatz hierfür ist, dass männliche Probanden exzessivere Schreisequenzen mit längeren durchgehenden Schreiperioden mit kürzeren Pausen produzieren. Weibliche Probanden lassen häufiger längere Pausen zu, somit werden ihre Schreisequenzen häufiger in kürzere Strophen segmentiert. Für diese Beobachtung gibt es keine Vergleichsliteratur, hier wären weitere Untersuchungen im Längsschnitt nötig, um Geschlechtsunterschiede weiter auszuarbeiten. Sollte sich diese Vermutung bestätigen, wären hormonelle Ursachen denkbar. In der Literatur wurden bereits hormonelle

Einflüsse, etwa des Cortisols, auf Säuglingsvokalisationen untersucht (Hechler et al., 2018). Bei Untersuchungen der geschlechtshormonellen Einflüsse wurde ein negativer Effekt des Testosterons auf die artikulatorischen Fähigkeiten von männlichen und weiblichen Säuglingen im Alter von 5 Monaten beobachtet, während Estradiol als Einflussfaktor diskutiert wird im Alter von 4 Wochen positiv mit der Artikulationskompetenz korreliert (Quast et al., 2016; Wermke et al., 2014; Wermke et al., 2018). Estradiol wurde in einer früheren Studie mit einer Tendenz zu komplexeren Vokalisationsmustern in Verbindung gebracht, während für Testosteron kein signifikanter Effekt beobachtet wurde (Wermke et al., 2014). Ferner begünstigt Estradiol die physiologische Lungenreifung (Seaborn et al., 2010), während androgene Hormone primär die anatomische Lungenentwicklung stimulieren (Sallon et al., 2018).

#### **4.1.3 Verändern sich Anzahl und Länge der Expirationen und Inspirationen über den Beobachtungszeitraum hinweg?**

Expirationen und Inspirationen als kleinste Untereinheiten der Vokalisationssequenzen zeigten beide einen signifikanten Alterseffekt ( $p=0,004$ ). Für die Expirationen nahm der Median im Monatsverlauf von Monat 1 mit 1,03 s über Monat 2 mit 1,2 s zum Monat 3 mit 1,26 s kontinuierlich zu. Bei den Inspirationen blieb der Median von 0,47 s im ersten Monat über 0,46 s im zweiten Monat annähernd gleich, stieg dann aber auf 0,56 s im dritten Monat an. Hier war der Effekt ebenfalls mit  $p<0,001$  statistisch signifikant. Für diese Werte gibt es bereits Vergleichswerte in der Literatur, etwa bei Sereschk (2019) für Neugeborene. Für die Expirationsdauer wurde von ihm ein Median von 1,05 s gemessen. Beachtet man, dass die Studie Säuglinge in der ersten Lebenswoche untersuchte, so liegen die Messungen sehr nahe am Ergebnis der vorliegenden Arbeit von 1,03 s im Median für Monat 1. Die Inspirationslänge wird mit einem Median von lediglich 0,2 s beziffert und damit wesentlich kürzer als die hier gemessenen 0,47 s für den ersten Lebensmonat. Dies hat methodische Gründe: Sereschk teilte die Inspirationsphase in eine eigentliche, lautierete Inspiration, sowie eine davon abzugrenzende stille Inspirationsphase, welche als Übergangsphase bezeichnet wurde. Wermke et al. (2017) nannten ähnliche Referenzwerte mit 1,13 s für die Expiration und 0,31 s für die Inspirationslänge, ohne die Inspirationsphase analog zu Sereschk weiter in lautierete Inspiration und Übergangsphase zu differenzieren. Auch hier ist zu beachten, dass die Probanden in der ersten Lebenswoche erfasst wurden. Die erneut kürzere Inspirationsdauer könnte dadurch



erklärt werden. Eine reifeabhängige Inspirationslänge wird beispielsweise durch Bancalari und Gerhardt (1986) vermutet, es wurde ein Zusammenhang zwischen Frühgeburt und verkürzter Inspirationsdauer durch die Autoren beschrieben.

#### **4.1.4 Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in den Messgrößen Expirationslänge und Inspirationslänge?**

Weder für die Expirationslänge ( $p=0,535$ ) noch für die Inspirationslänge ( $p=0,492$ ) konnte unabhängig vom Alter der Säuglinge ein statistisch signifikanter Geschlechtseffekt gemessen werden. Sereschk stellte dagegen einen knapp signifikanten Einfluss des Geschlechts auf die Expirationsdauer bei Neugeborenen fest ( $p=0,049$ ), nicht jedoch für die Inspirationslänge. Den in der Literatur postulierten Geschlechtsdimorphismus bedingt durch Unterschiede in den Lungenvolumina und unterschiedlichem Reifungsfortschritt (Boezen et al., 2004; Gortner et al., 2013; Liptzin et al., 2015) kann die vorliegende Untersuchung zumindest durch temporale Messgrößen nicht bestätigen. Zu den beschriebenen entwicklungsbedingten Differenzen zählt beispielsweise, dass Östrogen die funktionelle Reifung der Lunge etwa durch Steigerung der Surfactant-Synthese fördert (Seaborn et al., 2010). Möglicherweise tritt der Effekt verstärkt nach der Mini-Pubertät auf, welche im 3. und 4. Monat ihren Höhepunkt hat und durch erhöhte Konzentrationen der Sexualhormone Estradiol und Testosteron Einfluss auf die Vokalisationskompetenz der Säuglinge nimmt (Quast et al., 2016). Dieser Zeitraum wird durch die vorliegende Arbeit nicht vollständig abgedeckt und kann daher nicht beurteilt werden.

#### **4.2 Wie wirkte sich die Strophen- und Substrophendefinition auf die Ergebnisse aus?**

Als Trennungskriterium zwischen zwei Strophen diente das Break. Es wurde als Unterbrechung zwischen zwei Lautäußerungen von  $\geq 3$  s und  $\leq 15$  s definiert und legte entsprechend die Strophenlänge fest. Mangels Literatur zu einem vergleichbaren Studiendesign konnte der Autor sich an keinen Referenzwerten orientieren. Die in der vorliegenden Arbeit gewählte Definition führte zu einer mittleren Anzahl von 1,85 Strophen pro Aufnahme mit maximal 8 Strophen je einzelner Aufnahmesequenz (Abbildung 9). Es wurden also viele Sequenzen mit zeitlich ähnlich eng aufeinanderfolgenden Vokalisationen ohne Vokalisationspausen  $\geq 3$  s untersucht. Dies

spricht für einen ähnlich emotional geladenen Affektzustand der Säuglinge während der Aufnahmetermine. Dies scheint im Altersverlauf vor allem in den ersten 4 Lebenswochen verstärkt der Fall gewesen zu sein (Abbildung 10). Zu beachten ist ferner, dass dieses Ergebnis auch auf den hier verwendeten Aufnahmesequenzlängen basierte; kürzere Aufnahmesequenzen enthalten automatisch tendenziell weniger Strophen und umgekehrt.

Als Trennungskriterium zwischen zwei Substrophen diene das Intensitätskriterium. Der Affektzustand der Säuglinge äußerte sich nicht nur in Form der kurzen Breaks zwischen den Strophen, sondern auch in der Ausprägung der Intensitätswellen. Daher wurden diese in der vorliegenden Arbeit als zusätzliche Messgröße in Form der Substrophen erfasst. Maßgeblich war hier deshalb nicht die Dauer der Pause, sondern das in Kapitel 2.3.1 beschriebene Intensitätsmuster. Die beobachteten Intensitätsverläufe, die für die Substrophendefinition verwendet wurden, zeigten ebenfalls eine Art Rhythmik. Die Säuglinge begannen also häufig mit leiseren Vokalisationen geringerer Intensität, welche zu einem Wellenberg anstieg und zum Ende der Intensitätswelle hin wieder abfiel (Abbildung 1). Die Rhythmik dieser Intensitätswellen wurde in der vorliegenden Arbeit noch nicht untersucht, dies wäre jedoch ein interessanter Ansatzpunkt für künftige Studien. Ob die Strophen- und Substrophendefinition optimal gewählt wurde, wird nachfolgend in Kapitel 4.4 diskutiert.

### **4.3 Untersuchung rhythmischer Elemente der Säuglingsvokalisationen im Längsschnitt**

Eine rhythmische Komponente in Sequenzen von Säuglingsschreien wurde anhand der IOI-Definition als Zeitdauer zwischen Beginn eines Vokalisationsereignisses und dem Beginn des nächsten, gleichen Ereignisses (siehe Kapitel 2.4) untersucht und auf Veränderungen im Altersverlauf hin analysiert.

#### **4.3.1 Verändern sich die untersuchten rhythmischen Elemente über den Untersuchungszeitraum hinweg?**

Es zeigte sich eine kontinuierliche Zunahme des Medians der IOI-Länge vom ersten Monat mit 1,02 s über den zweiten Monat mit 1,22 s zum dritten Lebensmonat mit 1,55 s. Der Alterseffekt war mit  $p < 0,001$  statistisch signifikant. Die Verteilung der gemessenen IOI-Längen ist relativ gleichmäßig, damit zeigen sich keine markanten Rhythmen.

Allerdings war zu beobachten, dass IOI-Längen im Bereich von 0,7 s – 1,2 s deutlich überrepräsentiert waren. Dies bedeutet, dass ein großer Teil der untersuchten zeitlichen Intervalle von einem Schreiereignis zum nächsten in diesem Zeitbereich wiederholt wurde und damit recht stabil war. Man erkennt jedoch in den zugehörigen Boxplots (Abbildung 56, Abbildung 59) eine Verschiebung hin zu längeren Intensitätsintervallen und damit einer leicht veränderten Rhythmik in den ersten 12 Lebenswochen. Dies war identisch bei beiden Geschlechtern messbar. Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Untersuchung von Säuglingsschreien mittels IOI-Messung neu ist und bisher nicht auf Schreivokalisationssequenzen angewendet wurde, können keine Vergleiche mit Literaturwerten vorgenommen werden. Die einzige vergleichbare Arbeit stammt ebenfalls aus dem ZVES und hat diese Messgröße für Komfortvokalisationen im Alter von 3 – 6 Monaten verwendet (Rachor 2022). Rachor hat über den gesamten von ihr untersuchten Alterszeitraum von 2 bis 5 Monaten einen IOI-Medianwert von 2,03 s für die gesunde Kontrollgruppe ermittelt, welcher aufgrund der unterschiedlichen untersuchten Vokalisationsmodi nicht direkt mit dem in der vorliegenden Arbeit gemessenen Medianwert verglichen werden kann. Die Tatsache, dass Rachor für diese Messgröße statistisch signifikante Unterschiede der Kontrollgruppe zu einer Probandengruppe aus Kindern mit hochgradig sensorineuraler Hörstörung fand, zeigt jedoch, dass Hörstörungen einen Einfluss auf die rhythmische Regelung der Lautproduktion im Altersbereich von 3 – 6 Monaten haben. Ähnliches wäre für Säuglinge mit OFS vorstellbar. Damit scheint es versuchsweise interessant, die in der vorliegenden Arbeit an Säuglingen ohne OFS durchgeführte Messung der Größe IOI an altersgleichen OFS-Patienten präoperativ durchzuführen und das Ergebnis mit dem outcome zu vergleichen.

Zur Untersuchung der Rhythmik wird die Größe IOI in der Biologie bereits eingesetzt, etwa in der Vogelgesangsforschung. So wurden IOI-Sequenzen zwischen 75 ms und 275 ms Dauer verwendet, um die Fähigkeit von Zebrafinken zur Diskrimination von rhythmischen Mustern zu untersuchen (Rouse et al., 2021). Dabei erwiesen sich Zebrafinken als fähig zur Diskrimination von Rhythmen, und zwar abhängig von der Länge des IOI-Intervalls. Während kurze IOIs zwischen 75 ms - 85 ms Länge nicht besser als per Zufallsprinzip erkannt wurden, stieg die Trefferquote für IOIs zwischen 95 ms und 235 ms bis zur statistischen Signifikanz an ( $p < 0,001$ ). Es stellt sich natürlich die

Frage, ob Vogelgesangsstudien überhaupt Relevanz für den Vergleich mit humanen Vokalisationsrhythmen haben. Vergleichende Untersuchungen gibt es bereits: der Sprosser, eine nordöstliche Schwesternart der Nachtigall, wurde auf das Vorhandensein von universellen Gesangsrhythmen hin untersucht und mit den musikalischen Rhythmen menschlicher Live-Performances verglichen (Roeske et al., 2020). Dabei wurden bevorzugte Rhythmusmuster für beide Spezies beobachtet. Isochrone 1:1 Rhythmen wurden vergleichbar oft verwendet, die menschlichen Live-Performer bevorzugten kleine Rhythmusverhältnisse wie 1:2 oder 1:3. Vom Sprosser wurden höhere Verhältnisse von 1:7 bis 1:9 präferiert. Dies legt die Vermutung nahe, dass Vogelgesang schlicht eine höhere Frequenzmodulation hat. Interessant ist dennoch, dass es überhaupt präferierte Rhythmusverhältnisse gibt. Eine solche Präferenz für spezifische Rhythmen wurde nicht bei allen Arten beobachtet. Diese fehlt etwa bei domestizierten Zebrafinken, die sich als Vertreter simplen Vogelgesangs durch ständige Wiederholung eines isochronen „Motivs“ auszeichnen (Norton & Scharff, 2016). Sprosser gelten als Vertreter komplexeren Vogelgesangs mit der Fähigkeiten zum Wechsel zwischen festen und flexiblen Rhythmen und der Produktion von Substrophen mit variablen Gesangsmustern (Norton & Scharff, 2016; Roeske et al., 2018).

#### **4.3.2 Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede für die rhythmischen Elemente?**

Für die IOI-Längen konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p=0,348$ ) zwischen den Geschlechtern gemessen werden, für beide wurde eine Längenzunahme im Altersverlauf festgestellt. Auch erwies sich die Kindebene mit  $p=0,909$  als nicht signifikant.

Weder zwischen den Geschlechtern noch zwischen den Probanden wurden also statistisch signifikante Unterschiede in der präferierten Rhythmuslänge gemessen. Es scheint somit, als könnte das IOI einen robusten Referenzwert für vergleichende Studien liefern. Interessant wäre es nun, diese Ergebnisse gesunder Säuglinge einer Vergleichsuntersuchung mit einer Kohorte an Säuglingen mit OFS bzw. Sprachentwicklungsauffälligkeiten zu unterziehen.

#### **4.4 Limitationen der vorliegenden Untersuchung und Vorschläge für zukünftige Studiendesigns**

Trotz größtmöglicher Sorgfalt bei der Konzeption und Durchführung der vorliegenden Untersuchung bestehen für die Interpretation der Ergebnisse relevante einschränkende Faktoren, die an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben sollen.

Als rückblickend methodisch optimierbar kann die Auswahl der Aufnahmen betrachtet werden. Diese schließen eine große Bandbreite von Aufnahmelängen zwischen 4,02 s und 224,05 s ein. Ursächlich dafür ist, dass die Probanden spontane, nicht schmerzevozierte Lautäußerungen produzieren sollten. Hierzu wurden sie von Mitarbeiterinnen der GLaD-Study standardmäßig einige Minuten lang aufgezeichnet. Naturgemäß kam es dadurch vor, dass die Säuglinge auch nach mehreren Versuchen in diesem Zeitraum kaum Laute von sich gaben. Im Laufe der Datenaufbereitung (Kapitel 2.2) wurden diese Leersequenzen entfernt, sodass sich zum Teil deutlich verkürzte Aufnahmelängen ergaben. Dies ließ sich in der vorliegenden Studie nicht umgehen, da bereits bei der Probandenauswahl jene Säuglinge inkludiert wurden, welche die höchste Aufnahmelänge sowie Dichte an Messungen (möglichst wöchentlich) aufwiesen. Hier würde der Autor für zukünftige prospektive Untersuchungen empfehlen, bei einem „gescheiterten“ Aufnahmeversuch ohne längere Vokalisationssequenzen des Säuglings die Aufnahme am Folgetag zu wiederholen, um eine aussagekräftigere Datengrundlage zu gewährleisten.

Die Substrophendefinition und deren Abgrenzung durch das in Kapitel 2.3.1 beschriebene Verfahren mittels Intensitätskriterium erwies sich im Laufe der Arbeit als stellenweise schwer exakt zu reproduzieren. Das Intensitätskriterium war in vielen Aufnahmen deutlich visuell und auditiv wahrnehmbar. Dies gelang jedoch nicht immer. Anders als die Strophenbreaks, die durch eine feste zeitliche Unterbrechung von  $\geq 3$  s und  $\leq 15$  s definiert wurden, musste das Intensitätskriterium visuell-auditiv bestimmt werden. Diese Festlegung ließ Raum für Interpretation. Da nicht jede Aufnahmesequenz stark ausgeprägte und damit leicht visuell-auditiv erkennbare Intensitätsbögen enthielt, zeigte eine stichprobenweise Kontrolle der Interrater-Reliabilität für die weniger ausgeprägten Intensitätsbögen teilweise hohe Schwankungen der Messgenauigkeit. Die eindeutige zeitliche Definition der Strophenbreaks erwies sich hingegen als wesentlich robuster.

Die gewählten Definitionen sollen also als erste Anknüpfungspunkte verstanden werden und sollten in zukünftigen Untersuchungen hinterfragt werden. Möglicherweise erweist sich auch die Verwendung einer einzigen Strophendefinition ohne Substrophen als hinreichend. Dies würde die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse sicherlich vereinfachen. Alternativ empfiehlt der Autor im Sinne der Objektivierbarkeit in zukünftigen Untersuchungen eine Vorauswahl der Aufnahmesequenzen mit deutlich ausgeprägten Intensitätsbögen zu treffen und nur diese in Substrophen zu unterteilen. Ob möglicherweise eine potenzielle prognostische Aussagekraft der temporalen Eigenschaften der Strophen und Substrophen für Sprachentwicklungsauffälligkeiten besteht, sollte in zukünftigen vergleichenden Untersuchungen mit unterschiedlichen Strophendefinitionen evaluiert werden.

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine Studie mit Pilotcharakter, es sollten mögliche Untersuchungsschwerpunkte für künftige Projekte sondiert sowie Referenzwerte gesunder Säuglinge etabliert werden. Es wurden daher gezielt Probanden ohne orofaziale Malformationen und andere medizinische Entitäten sowie ohne Sprachentwicklungsauffälligkeiten in der Anamnese ausgewählt. In einem nächsten Schritt erscheint es sinnvoll vergleichende Untersuchungen anzustellen. Hier können die Ergebnisse der gesunden Säuglinge als Referenz für Probanden mit OFS und/oder Sprachentwicklungsschwierigkeiten dienen und so Ansatzpunkt zur Identifikation möglicher Prädiktoren einer Sprachentwicklungsauffälligkeit sein. Es existieren bereits zahlreiche Untersuchungen zu Vokalisationsmustern von OFS-Patienten. Diese sind aber nicht mit der vorliegenden Studie vergleichbar, weil sie etwa nur schmerzevozierte Schreie untersuchen (Michelsson et al., 1975; Touwen et al., 1982). Weitere Studien untersuchten zwar auch spontane Vokalisationen, werteten jedoch nur auf der Signalebene aus (Lederman et al., 2008; Wermke et al., 2002; Wermke et al., 2011). Ein direkter Vergleich von Vokalisationslangserien gesunder Probanden mit sprachentwicklungsauffälligen Altersgenossen steht damit noch aus und würde mutmaßlich neue Erkenntnisse und potenzielle Anknüpfungspunkte zur Entwicklung eines prognostisch-diagnostischen Tools zur Früherkennung von Risikokindern liefern.

## 5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die erstmalige systematische Untersuchung von Vokalisationssequenzen im Längsschnitt der ersten drei Lebensmonate bei Säuglingen ohne orofaziale Spaltbildungen (OFS) und nachfolgend unauffälligem Spracherwerb. Es wurden Schreisequenzen von 20 gesunden Säuglingen bezüglich einfacher Rhythmuskomponenten auf mehreren Lautebenen analysiert und verschiedene temporalen Eigenschaften untersucht. Neben klassischen explorativen statistischen Analysen wurden gemischte Mehrebenenmodelle eingesetzt, um die hierarchische Datenstruktur in ihrer Tiefe zu erfassen. Perspektivisch dient dies einer vorsprachlichen Diagnostik, die in Zukunft nicht-invasiv prognostische Aussagen für ein Risiko von Säuglingen mit und ohne OFS für Sprachentwicklungsverzögerungen treffen könnte. Dies würde eine frühzeitige logopädische und sprachtherapeutische Unterstützung prädisponierter Säuglinge ermöglichen.

Die bisherige Säuglingsschreiforschung konzentriert sich primär auf die Analyse von Einzelvokalisationen, ohne diese im Kontext der Gesamtaufnahme zu sehen. Daher ist die komplexe Zusammensetzung der Einzelschreie in größeren Strukturen (analog der Zusammensetzung von Einzelworten in Sätzen) bislang nicht hinreichend untersucht worden.

Die vorliegende Arbeit hatte das Ziel dazu beizutragen diese Lücke zu schließen, indem Einzelvokalisationen drei übergeordneten rhythmischen Ebenen zugeordnet wurden. Dabei handelte es sich zum einen um die Strophe, welche als „ununterbrochene“ Abfolge von Säuglingsschreien definiert und durch Pausen von  $\geq 3$  Sekunden segmentiert wurde. Zum anderen wurde die Substrophe definiert, die in die Strophenstruktur eingebettet war. Als kleinste rhythmische Einheit wurden Inter-onset-Intervalle (IOI) analysiert, die als Zeitdauer zwischen Beginn eines Einzellautes und dem Beginn des nächsten Einzellautes definiert waren.

Es wurden 20 Säuglinge von der ersten bis zur zwölften Lebenswoche untersucht. Dabei wurden insgesamt 3,22 Stunden Säuglingsschreie vom Autor dieser Arbeit interaktiv mit Hilfe der Sprachanalysesoftware Praat segmentiert.

Als rhythmische Komponenten wurden die Strophen, Substrophen sowie das IOIs untersucht. Während für die Strophenlänge knapp keine signifikante Altersabhängigkeit

## ZUSAMMENFASSUNG

nachgewiesen werden konnte, zeigten sich die Länge von Substropfen sowie IOIs als signifikant mit dem Säuglingsalter zunehmend. Dies kann als Hinweis einer sich im Altersverlauf steigenden neurophysiologischen Fähigkeit zur Produktion komplexer phonatorischer Vokalisationsmuster von Säuglingen ohne OFS gewertet werden.

Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede konnten dabei nur auf Ebene der Strophen gefunden werden. Die Rhythmuskomponenten Substrophe und IOI liefern hingegen insgesamt keine Hinweise auf signifikante Entwicklungsunterschiede zwischen weiblichen und männlichen Säuglingen ohne OFS.

Die vorliegende Arbeit liefert damit erste Analyseergebnisse für rhythmische Komponenten von Säuglingsvokalisationen im Verlauf der ersten drei Lebensmonate. Diese können als Ausgangswerte für künftige Studien mit Einschluss von Säuglingen mit orofazialen Malformationen dienen und dabei helfen, diagnostisch relevante Messgrößen zur frühzeitigen Identifikation von Risikokindern zu definieren.



## 6 Literaturverzeichnis

- Abels, H. (2014). Sprachkompetenz und motorische Fähigkeiten von Säuglingen mit lagerungsbedingtem Plagiozephalus und Helmtherapie im Alter von sechs und zwölf Monaten im Vergleich zu gleichaltrigen unauffälligen Säuglingen. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.*
- Bancalari, E. & Gerhardt, T. (1986). Bronchopulmonary Dysplasia. *Pediatric clinics of North America*, 33(1), 1–23.
- Boersma, P. & Weenink, D. (2001). PRAAT: Doing phonetics by computer. *Glott International Vol. 5, No. 9/10, November/December 2001*, 341–347.
- Boezen, H. M., Jansen, D. F. & Postma, D. S. (2004). Sex and gender differences in lung development and their clinical significance. *Clinics in chest medicine*, 25(2), 237–245.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. (Limitierte Sonderausgabe, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Heidelberg: Springer Verlag.
- Bosma, J. F., Truby, H. M. & Lind, J. (1965). Cry Motions Of The Newborn Infant. *Acta Paediatrica*, 54, 60–92.
- Brito, L. A., Meira, J. G.-C., Kobayashi, G. S. & Passos-Bueno, M. R. (2012). Genetics and management of the patient with orofacial cleft. *Plastic surgery international 2012(6)*, 782821.
- Campisi, P., Tewfik, T. L., Pelland-Blais, E., Husein, M. & Sadeghi, N. (2000). MultiDimensional Voice Program analysis in children with vocal cord nodules. *The Journal of otolaryngology*, 29(5), 302–308.
- Conrad, A. L., Wermke, K., Eisenmann, M., Kuhlmann, E., Benavides, A., Kosciak, T. & Magnotta, V. (2021). Preliminary evaluation of pre-speech and neurodevelopmental measures in 7-11-week-old infants with isolated oral clefts. *Pediatric research*, 89(1), 85–90.
- Dobnig, D. (2017). Quantitative Analyse von F0-Intervallstrukturen in Lautäußerungen von Neugeborenen mit tonaler Sprachumgebung – Ein Beitrag zur Identifikation potenzieller Risikomarker für Sprachentwicklungsstörungen. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.*
- Eiband, D. (2018). Charakterisierung vorsprachlicher Komfortvokalisationen von Kindern mit orofazialen Spaltbildungen vor und nach operativem Gaumenverschluss. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.*
- Eisenmann, M. S. (2021). Entwicklung, Testung und Anwendung von PRAAT Skripten zur semi-automatischen Vokalisationsanalyse im Rahmen der Vorsprachlichen Diagnostik am ZVES. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.*
- El-Serafy, G. M., El-Bahnasawy, M. M. & Morsy, T. A. (2013). Management of hearing impairment in children. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology*, 43(2), 333–340.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Goldstein, H. (2010). *Multilevel Statistical Models*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Gortner, L., Shen, J. & Tutdibi, E. (2013). Sexual dimorphism of neonatal lung development. *Klinische Padiatrie*, 225(2), 64–69.
- Günzel, H. (2014). Vergleich akustischer Eigenschaften von Komfortvokalisationen von Säuglingen mit Lagerungsplagiocephalus und unauffälligen Säuglingen im Alter von 5-7 Monaten. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg*.
- Harding, A. & Grunwell, P. (1996). Characteristics of cleft palate speech. *European journal of disorders of communication: the journal of the College of Speech and Language Therapists, London*, 31(4), 331–357.
- Hechler, C., Beijers, R., Riksen-Walraven, J. M. & Weerth, C. de (2018). Are cortisol concentrations in human breast milk associated with infant crying? *Developmental Psychobiology*, 60(6), 639–650.
- Hewson, P., Oberklaid, F. & Menahem, S. (1987). Infant colic, distress, and crying. *Clinical pediatrics*, 26(2), 69–76.
- Hinderer, K. (2013). Untersuchung der laryngealen Regelleistung in Form der Kurzzeitvariabilität der Grundfrequenz in vorsprachlichen Vokalisationen des 2. und 3. Lebensmonats von Säuglingen mit und ohne oro-faziale Spaltbildungen. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg*.
- Howard, S. & Lohmander, A. (2011). *Cleft Palate Speech: Assessment and Intervention*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Hox, J., Moerbeek, M. & van de Schoot, R. (2010). *Multilevel Analysis*. London, UK: Routledge.
- Jones, C. E., Chapman, K. L. & Hardin-Jones, M. A. (2003). Speech development of children with cleft palate before and after palatal surgery. *The Cleft palate-craniofacial journal*, 40(1), 19–31.
- Kähler, W.-M. (2004). *Statistische Datenanalyse* (3. Auflage). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Kajtazovic, J. (2015). Ermittlung des Variabilitätsbereiches der mittleren Grundfrequenz in Vokalisationen von Säuglingen mit syndromaler und nicht-syndromaler Spaltbildung in den ersten 90 Lebenstagen. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg*.
- Kauffmann, M.-C. (2018). Vergleich temporaler Eigenschaften von Komfortlauten von Säuglingen mit einem lagerungsbedingten Plagiozephalus und Säuglingen ohne sichtbare Kopfasymmetrien. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg*.
- Kramer, G. J., Hoeksma, J. B. & Prah-Andersen, B. (1996). Early palatal changes after initial palatal surgery in children with cleft lip and palate. *The Cleft palate-craniofacial journal*, 33(2), 104–111.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Kunick, A. (2016). Untersuchung vorsprachlicher, kognitiver und motorischer Fähigkeiten von Säuglingen mit isolierter Sagittalnahtsynostose im Alter von 5 bis 7 Monaten im Vergleich zu gleichaltrigen gesunden Säuglingen. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.*
- Lederman, D., Zmora, E., Hauschildt, S., Stellzig-Eisenhauer, A. & Wermke, K. (2008). Classification of cries of infants with cleft-palate using parallel hidden Markov models. *Medical & biological engineering & computing*, 46(10), 965–975.
- Lind, J., Vuorenkoski, V., Rosberg, G., Partanen, T. J. & Wasz-Höckert, O. (1970). Spectrographic analysis of vocal response to pain stimuli in infants with Down's syndrome. *Developmental medicine and child neurology*, 12(4), 478–486.
- Lind, K. (2007). Untersuchung spektraler und melodischer Eigenschaften von Säuglingsschreien. Eine Longitudinalstudie über die ersten 16 Lebenswochen im Rahmen der Deutschen Sprachentwicklungsstudie. *Dissertation. Freie Universität, Berlin.*
- Liptzin, D. R., Landau, L. I. & Taussig, L. M. (2015). Sex and the lung: Observations, hypotheses, and future directions. *Pediatric pulmonology*, 50(12), 1159–1169.
- Loderstedt, M., Vorwerk, W., Arens, C. & Vorwerk, U. (2017). Neugeborenen-Hörscreening, Tracking und hörgerichtete Frühförderung [Not Available]. *Laryngo- rhino- otologie*, 96(8), 555–569.
- Manna, F., Pensiero, S., Clarich, G., Guarneri, G. F. & Parodi, P. C. (2009). Cleft lip and palate: current status from the literature and our experience. *The Journal of craniofacial surgery*, 20(5), 1383–1387.
- Mayer, J. (2017). *Praat-Handbuch: Die Praatpfanne*. URL: <http://praatpfanne.lingphon.net/das-praat-handbuch/> [Stand: 23.08.2022].
- Michelsson, K., Sirviö, P., Koivisto, M., Sovijärvi, A. & Wasz-Höckert, O. (1975). Spectrographic analysis of pain cry in neonates with cleft palate. *Biology of the neonate*, 26(5-6), 353–358.
- Michelsson, K., Sirviö, P. & Wasz-Höckert, O. (1977). Sound spectrographic cry analysis of infants with bacterial meningitis. *Developmental medicine and child neurology*, 19(3), 309–315.
- Müller, J., Fechner, H., Köhn, A. & Reißmann, A. (2017). Neugeborenen-Hörscreening – Ergebnisse einer Elternbefragung in Sachsen-Anhalt. *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes)*, 79(5), 388–393.
- Norton, P. & Scharff, C. (2016). “Bird Song Metronomics”: Isochronous Organization of Zebra Finch Song Rhythm. *Frontiers in neuroscience*, 10, 309.
- Ostermann, T. (2010). Die Analyse segmentierter vorsprachlicher Melodiestrukturen von Säuglingen mit orofazialen Spalten im Alter von 2 - 3 Monaten. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.*

## LITERATURVERZEICHNIS

- Pelzer, A.-M. (2011). Längsschnittanalyse der frühen sprachlichen Entwicklung bis zur Wortproduktion von Säuglingen mit orofazialen Spalten. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.*
- Pinyerd, B. J. & Zipf, W. B. (1989). Colic: idiopathic, excessive, infant crying. *Journal of pediatric nursing, 4*(3), 147–161.
- Poeppel, D. & Assaneo, M. F. (2020). Speech rhythms and their neural foundations. *Nature reviews. Neuroscience, 21*(6), 322–334.
- Prather, J. F., Okanoya, K. & Bolhuis, J. J. (2017). Brains for birds and babies: Neural parallels between birdsong and speech acquisition. *Neuroscience and biobehavioral reviews, 81*(Pt B), 225–237.
- Prechtl, H. F. & Beintema, D. J. (1976). *Die neurologische Untersuchung des reifen Neugeborenen* (2. überarb. Auflage). Stuttgart: Thieme Verlag.
- Prechtl, H. F., Theorell, K., Gramsbergen, A. & Lind, J. (1969). A statistical analysis of cry patterns in normal and abnormal newborn infants. *Developmental medicine and child neurology, 11*(2), 142–152.
- Quast, A., Hesse, V., Hain, J., Wermke, P. & Wermke, K. (2016). Baby babbling at five months linked to sex hormone levels in early infancy. *Infant behavior & development, 44*, 1–10.
- Rachor, E. (2022). Vergleichende Untersuchung rhythmischer Eigenschaften von Komfortvokalisationen gesunder und hochgradig hörbeeinträchtigter Säuglinge im Alter von zwei bis fünf Monaten. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.*
- Raudenbush, S. W. & Bryk, A. S. (2010). *Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods* (2. ed.). Thousand Oaks, USA: Sage Publications.
- Ravignani, A. & Madison, G. (2017). The Paradox of Isochrony in the Evolution of Human Rhythm. *Frontiers in Psychology, 8*, 1820.
- Ravignani, A. & Norton, P. (2017). Measuring rhythmic complexity: A primer to quantify and compare temporal structure in speech, movement, and animal vocalizations. *Journal of Language Evolution, 2*(1), 4–19.
- Roberts, D. M., Ostapchuk, M. & O'Brien, J. G. (2004). Infantile colic. *American family physician, 70*(4), 735–740.
- Roeske, T. C., Kelty-Stephen, D. & Wallot, S. (2018). Multifractal analysis reveals music-like dynamic structure in songbird rhythms. *Scientific reports, 8*(1), 4570.
- Roeske, T. C., Tchernichovski, O., Poeppel, D. & Jacoby, N. (2020). Categorical Rhythms Are Shared between Songbirds and Humans. *Current biology: CB, 30*(18), 3544-3555.e6.
- Roland, L., Fischer, C., Tran, K., Rachakonda, T., Kallogjeri, D. & Lieu, J. E. (2016). Quality of Life in Children with Hearing Impairment: Systematic Review and Meta-analysis. *Otolaryngology - head and neck surgery, 155*(2), 208–219.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Rouse, A. A., Patel, A. D. & Kao, M. H. (2021). Vocal learning and flexible rhythm pattern perception are linked: Evidence from songbirds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(29).
- Sallon, C., Provost, P. R., LeBlanc, D., Soulet, D. & Tremblay, Y. [Y.] (2018). Essential Intracrine Androgenic Action in Lung Development for Both Sexes. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 183, 184–191.
- Schmitt, B. D. (1985). Colic: excessive crying in newborns. *Clinics in perinatology*, 12(2), 441–451.
- Schmuziger, N., Veraguth, D. & Probst, R. (2008). Das allgemeine Neugeborenenhörscreening—eine stille Revolution [Universal newborn hearing screening—a silent revolution]. *Praxis*, 97(19), 1015–1021.
- Seaborn, T., Simard, M., Provost, P. R., Piedboeuf, B. & Tremblay, Y. (2010). Sex hormone metabolism in lung development and maturation. *Trends in endocrinology and metabolism: TEM*, 21(12), 729–738.
- Sereschk, N. (2019). Temporale Eigenschaften ingressiver und egressiver Phonationsleistungen gesunder Neugeborener. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg*.
- Smith, B. & Guyette, T. W. (2004). Evaluation of cleft palate speech. *Clinics in plastic surgery*, 31(2), 251–260.
- Tavakoli, H. (2013). *A dictionary of research methodology and statistics in applied linguistics*. Tehran, Iran: Rahnamā.
- Touwen, B. C., Lok-Meijer, T. Y., Huisjes, H. J. & Olinga, A. A. (1982). The recovery rate of neurologically deviant newborns. *Early Human Development*, 7(2), 131–148.
- Vajargah, K. F. & Masoomnikbakht, V. (2015). Application REML model and determining cut off of ICC by multi-level model based on Markov Chains simulation in health. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* 5(S2), 1432–1448.
- Vink, F. (2018). Vorsprachliche Diagnostik im zweiten Lebenshalbjahr - Ein Vergleich zwischen Kindern mit isolierter Sagittalnahtsynostose vor und nach operativer Therapie, Säuglingen mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus und Kontrollkindern. *Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg*.
- Wasz-Höckert, O., Vuorenkoski, V., Valanne, E. & Michelsson, K. (1962). Sound spectrographic studies of the cry of newborn infants. *Experientia*, 18, 583–584.
- Wermke, K. (2002). Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten Zwillingen in den ersten 5 Lebensmonaten. *Habilitation. Humboldt-Universität, Berlin*.
- Wermke, K., Birr, M., Voelter, C., Shehata-Dieler, W., Jurkutat, A., Wermke, P. & Stellzig-Eisenhauer, A. (2011). Cry melody in 2-month-old infants with and without clefts. *The Cleft palate-craniofacial journal*, 48(3), 321–330.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Wermke, K., Hain, J., Oehler, K., Wermke, P. & Hesse, V. (2014). Sex hormone influence on human infants' sound characteristics: melody in spontaneous crying. *Biology letters*, *10*(5), 20140095.
- Wermke, K., Hauser, C., Komposch, G. & Stellzig, A. (2002). Spectral analysis of prespeech sounds (spontaneous cries) in infants with unilateral cleft lip and palate (UCLP): a pilot study. *The Cleft palate-craniofacial journal*, *39*(3), 285–294.
- Wermke, K. & Mende, W. (2009). Musical elements in human infants' cries: In the beginning is the melody. *Musicae Scientiae*, *13*(2\_suppl), 151–175.
- Wermke, K., Quast, A. & Hesse, V. (2018). From melody to words: The role of sex hormones in early language development. *Hormones and behavior*, *104*, 206–215.
- Wermke, K., Ruan, Y., Feng, Y., Dobnig, D., Stephan, S., Wermke, P., Ma, L., Chang, H., Liu, Y., Hesse, V. & Shu, H. (2017). Fundamental Frequency Variation in Crying of Mandarin and German Neonates. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, *31*(2), 255.e25-255.e30.
- Wermke, K., Sereschk, N., May, V., Salinger, V., Sanchez, M. R., Shehata-Dieler, W. & Wirbelauer, J. (2021). The Vocalist in the Crib: the Flexibility of Respiratory Behaviour During Crying in Healthy Neonates. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, *35*(1), 94–103.
- Wyatt, R., Sell, D., Russell, J., Harding, A., Harland, K. & Albery, L. (1996). Cleft palate speech dissected: a review of current knowledge and analysis. *British Journal of Plastic Surgery*, *49*(3), 143–149.
- Zeskind, P. S. & Lester, B. M. (1981). Analysis of Cry Features in Newborns with Differential Fetal Growth. *Child Development*, *52*(1), 207.
- Zeskind, P. S., Parker-Price, S. & Barr, R. G. (1993). Rhythmic organization of the sound of infant crying. *Developmental Psychobiology*, *26*(6), 321–333.

## Appendix

### I. Abkürzungsverzeichnis

AIC	Akaikes Information Criterion
b	Break
BERA	brainstem-evoked response audiometry
CI	confidence interval
CSL	Computerized Speech Lab
e	Expiration
i	Inspiration
ICC	intraclass correlation coefficient
IOI	inter-onset interval
OAE	Otoakustische Emissionen
OFS	Orofaziale Spaltbildungen
P	Pause
S	Strophe
SS	Substrophe
ZVES	Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen

## II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Manuelles Segmentieren in Praat am Beispiel einer Langserie.....	11
Abbildung 2	Schematische Darstellung der Segmentierung in Praat.....	13
Abbildung 3	Vom Autor erstelltes Praat-Skript zur Überführung der Annotationsdaten in eine Editor-Datei.....	15
Abbildung 4	Beispiel einer extrahierten Editordatei.....	17
Abbildung 5	Schematische Darstellung der Mehrebenenstruktur des Datensets.....	21
Abbildung 6	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Aufnahmelänge.....	25
Abbildung 7	Kreisdiagramm der Verteilung der aufsummierten Gesamtstrophenlänge [s] im Untersuchungszeitraum in Monaten.....	28
Abbildung 8	Histogramm der Verteilung der aufsummierten Gesamtstrophenlänge [s] im Untersuchungszeitraum aufgeschlüsselt nach Monaten in der Säuglingsübersicht.....	29
Abbildung 9	Kreisdiagramm der Verteilung der Strophenzahl pro Aufnahme.....	31
Abbildung 10	Histogramm der Anzahl der Strophen im Wochenverlauf.....	32
Abbildung 11	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Strophenlänge.....	33
Abbildung 12	Boxplot der Verteilung der Strophenlänge in der Säuglingsübersicht	34
Abbildung 13	Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Strophenlänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht.....	35
Abbildung 14	Boxplot der Verteilung der Strophenlänge im Geschlechtervergleich	35
Abbildung 15	Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Strophenlänge in der Wochenübersicht.....	36
Abbildung 16	Boxplot der Verteilung der Strophenlänge in der Monatsübersicht....	37
Abbildung 17	Kreisdiagramm der Verteilung der Anzahl der Breaks pro Aufnahme.....	42
Abbildung 18	Histogramm der Anzahl der Breaks im Wochenverlauf.....	43
Abbildung 19	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Breaklänge.....	44
Abbildung 20	Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Breaklänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht.....	45
Abbildung 21	Boxplot der Verteilung der Breaklänge in der Monatsübersicht.....	45
Abbildung 22	Boxplot der Verteilung der Breaklänge in der Wochenübersicht.....	46
Abbildung 23	Boxplot der Verteilung der Breaklänge im Geschlechtervergleich....	47
Abbildung 24	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Anzahl der Expirationen pro Strophe.....	51
Abbildung 25	Kreisdiagramm der Verteilung der Expiration auf den Untersuchungszeitraum in Monaten.....	52



Abbildung 26	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Expirationslänge .....	53
Abbildung 27	Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Expirationslänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht .....	54
Abbildung 28	Boxplot der Expirationslänge im Geschlechtervergleich .....	54
Abbildung 29	Boxplot der Verteilung der Expirationslänge in der Wochenübersicht.....	55
Abbildung 30	Boxplot der Verteilung der Expirationslänge in der Monatsübersicht .....	55
Abbildung 31	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Anzahl der Inspirationen pro Strophe.....	59
Abbildung 32	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Inspirationslänge .....	60
Abbildung 33	Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Inspirationslänge im Geschlechtervergleich nach Monaten .....	61
Abbildung 34	Boxplot der Verteilung der Inspirationslänge im Geschlechtervergleich.....	62
Abbildung 35	Boxplot der Verteilung der Inspirationslänge in der Wochenübersicht.....	62
Abbildung 36	Boxplot der Verteilung der Inspirationslänge in der Wochenübersicht.....	63
Abbildung 37	Histogramm der Anzahl der Substrophen im Wochenverlauf .....	67
Abbildung 38	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Substrophenlänge .....	68
Abbildung 39	Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Substrophenlänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht .....	69
Abbildung 40	Boxplot der Verteilung der Substrophenlänge in der Monatsübersicht .....	71
Abbildung 41	Boxplot der Verteilung der Substrophenlänge in der Wochenübersicht.....	71
Abbildung 42	Boxplot der Verteilung der Substrophenlänge im Geschlechtervergleich.....	72
Abbildung 43	Boxplot der Substrophenlänge in der Säuglingsübersicht.....	73
Abbildung 44	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Anzahl der Pausen pro Strophe .....	77
Abbildung 45	Histogramm der Anzahl der Pausen im Wochenverlauf.....	77
Abbildung 46	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der mittleren Pausenlänge pro Strophe.....	78
Abbildung 47	Boxplot der altersabhängigen Verteilung der Pausenlänge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht .....	79
Abbildung 48	Boxplot der Verteilung der Pausenlänge im Geschlechtervergleich...	79

Abbildung 49	Boxplot der Verteilung der Pausenlänge in der Monatsübersicht.....	80
Abbildung 50	Boxplot der Verteilung der Pausenlänge in der Wochenübersicht .....	81
Abbildung 51	Schematische Darstellung einer Strophe mit zwei Expirationen.....	86
Abbildung 52	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der Anzahl der IOIs pro Strophe .....	86
Abbildung 53	Histogramm der Anzahl der IOIs im Wochenverlauf .....	87
Abbildung 54	Histogramm der Verteilungshäufigkeit der IOI-Länge .....	88
Abbildung 55	Boxplot der Verteilung der IOI-Länge in der Säuglingsübersicht .....	89
Abbildung 56	Boxplot der Verteilung der IOI-Längen in der Wochenübersicht.....	89
Abbildung 57	Boxplot der altersabhängigen Verteilung der IOI-Länge im Geschlechtervergleich in der Monatsübersicht .....	90
Abbildung 58	Boxplot der Verteilung der IOI-Länge im Geschlechtervergleich.....	91
Abbildung 59	Boxplot der Verteilung der IOI-Länge in der Monatsübersicht.....	91

### III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Einschlusskriterien für die hier untersuchten Probanden der GLaD-Study, Quelle: Deutsche Sprachentwicklungsstudie, modifiziert nach K. Lind (2007, S. 8–9).....	7
Tabelle 2	Probanden- und Datenübersicht .....	9
Tabelle 3	Explorative Statistik der Aufnahmesequenzen .....	25
Tabelle 4	Deskriptive Statistik: Überblick über den Rohdatensatz.....	26
Tabelle 5	Deskriptive Statistik: Überblick über den selektierten Datensatz.....	27
Tabelle 6	Deskriptive Statistik: Anzahl der Strophen.....	30
Tabelle 7	Temporale Eigenschaften der Strophen [s] .....	32
Tabelle 8	Explorative Statistik der Strophenlänge.....	38
Tabelle 9	Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Strophenlänge.....	39
Tabelle 10	Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Strophenlänge im Monatsvergleich .....	40
Tabelle 11	Deskriptive Statistik: Anzahl der Breaks .....	41
Tabelle 12	Temporale Eigenschaften der Breaks [s] .....	43
Tabelle 13	Explorative Statistik der Breaklänge.....	48
Tabelle 14	Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Breaklänge.....	49
Tabelle 15	Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Breaklänge im Monatsvergleich.....	50
Tabelle 16	Deskriptive Statistik: Anzahl der Expirationen.....	51
Tabelle 17	Temporale Eigenschaften der Expirationen [s] .....	52
Tabelle 18	Explorative Statistik der Expirationslänge .....	56
Tabelle 19	Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Expirationslänge .....	57
Tabelle 20	Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Expirationslänge im Monatsvergleich .....	58
Tabelle 21	Deskriptive Statistik: Anzahl der Inspirationen .....	59
Tabelle 22	Temporale Eigenschaften der Inspirationen [s] .....	60
Tabelle 23	Explorative Statistik der Inspirationslänge .....	64
Tabelle 24	Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Inspirationslänge .....	65
Tabelle 25	Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Inspirationslänge im Monatsvergleich .....	66

Tabelle 26	Temporale Eigenschaften der Substrophen [s].....	67
Tabelle 27	Explorative Statistik der Substrophenlänge .....	70
Tabelle 28	Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Substrophenlänge .....	74
Tabelle 29	Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Substrophenlänge im Monatsvergleich .....	75
Tabelle 30	Deskriptive Statistik: Anzahl der Pausen zwischen Substrophen .....	76
Tabelle 31	Temporale Eigenschaften der gemittelten Pausen zwischen.....	78
Tabelle 32	Explorative Statistik der Pausenlänge .....	82
Tabelle 33	Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten Pausenlänge.....	83
Tabelle 34	Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten Pausenlänge im Monatsvergleich.....	84
Tabelle 35	Deskriptive Statistik: Anzahl der IOIs pro Strophe .....	85
Tabelle 36	Temporale Eigenschaften der IOI-Länge [s].....	87
Tabelle 37	Explorative Statistik der IOI-Länge .....	92
Tabelle 38	Schätzer der festen Effekte des finalen Modells der logarithmierten IOI-Werte. ....	93
Tabelle 39	Schätzer der festen Effekte des ergänzenden Modells der logarithmierten IOI-Länge im Monatsvergleich .....	94

## **IV. Danksagung**

Mein Dank gilt besonders Prof. Dr. Kathleen Wermke für die Überlassung des Dissertationsthemas und die stets herzliche fachliche Anleitung sowie persönliche Unterstützung über alle Hürden hinweg. Ihr Engagement für die Doktoranden des ZVES und ihre Begeisterung für die Forschung haben mich inspiriert und stets zum Weitermachen motiviert.

Ebenfalls herzlich danken möchte ich Herrn Peter Wermke, ohne dessen technisches Know-how im Bereich Microsoft Word und Excel die Umsetzung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Auch bedanke ich mich herzlich bei meinem lieben Freund Jonas für die langjährige Freundschaft und das freundliche Lektorat, welches zahlreiche überflüssige Kommata in dieser Dissertation verhinderte.

Ich danke außerdem meinen Pateneltern Mihail und Ludmila, die mich immer auf meinem Weg unterstützten und ohne die ich nicht der Mensch wäre, der ich heute bin.