

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit
der Universität Würzburg
Klinik für Kieferorthopädie
Direktorin: Professor Dr. med. dent. A. Stellzig-Eisenhauer

**Vergleich laryngealer Konstriktionsphänomene in Komfortvokalisationen
normalhörender und hochgradig hörbeeinträchtigter Säuglinge im
3.-5. Lebensmonat**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Jennifer Schenk

aus Mannheim

Würzburg, März 2022

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

Tag der mündlichen Prüfung:
12.08.2022

Die Promovendin ist Ärztin

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Material und Methoden	7
2.1	Ethikvotum und Studiendesign des übergeordneten Gesamtprojekts	7
2.2	Probandenkollektiv	10
2.3	Datenbasis	13
2.4	Datenanalyse	15
2.4.1	Rohdatenaufbereitung	15
2.4.2	Identifikation laryngealer Konstriktionsphänomene	18
2.4.3	Bestimmung des Vokalisationstyps	21
2.4.4	Graduierung	24
2.4.5	Kategorisierung	27
2.4.6	Beispielvokalisationen der Konstriktionskategorien	31
2.4.6.1	Konstriktionskategorie Anfang [A]	31
2.4.6.2	Konstriktionskategorie Totale Konstriktion [T]	32
2.4.6.3	Konstriktionskategorie Lautmitte/Lautende [M_uv/M_v]	34
2.4.6.4	Konstriktionskategorie Mix	36
2.4.7	Vermessung temporaler Eigenschaften	37
2.5	Statistische Analyse	44
3	Ergebnisse	45
3.1	Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionsphänomene im gesamten Beobachtungszeitraum	45
3.2	Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionsphänomene im Altersverlauf	47
3.3	Analyse qualitativer Ausprägungsformen auf Signalebene	51
3.3.1	Analyse des Vokalisationstyps im Probandengruppenvergleich	51
3.3.2	Analyse des Vokalisationstyps im Altersverlauf	53
3.3.3	Analyse der Graduierung im Probandengruppenvergleich	55
3.3.4	Analyse der Graduierung im Altersverlauf	57
3.3.5	Analyse der Konstriktionskategorien im Probandengruppenvergleich	59
3.3.6	Analyse der Konstriktionskategorien im Altersverlauf	61
3.4	Analyse temporaler Eigenschaften auf Signalebene	62
3.4.1	Gesamtvokalisationslänge	62
3.4.2	Konstriktionslänge	67

3.4.3 Anteil_K	73
4 Diskussion	77
4.1 Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen	77
4.2 Qualitative Eigenschaften laryngealer Konstriktionen	81
4.3 Temporale Eigenschaften laryngealer Konstriktionen	85
4.4 Limitationen	90
4.4.1 Datenerhebung und Studiendesign	90
4.4.2 Analyse laryngealer Konstriktionsphänomene	91
5 Zusammenfassung	93
6 Literaturverzeichnis	94

Appendix

- I Abkürzungsverzeichnis
- II Abbildungsverzeichnis
- III Tabellenverzeichnis
- IV Danksagung
- V Lebenslauf

1 Einleitung und Zielsetzung

Nach Schätzungen der World Health Organization (WHO) werden schon 2050 weltweit ungefähr 2,5 Milliarden Menschen mit verschiedenen Schweregraden an Hörverlust leben (World Health Organization, 2021, S. 1). Mit dieser besorgniserregenden Schätzung eröffnet die WHO 2021 die Zusammenfassung des „World report on hearing“ und verdeutlicht damit, wie zugleich schwerwiegend und bedeutsam die Thematik der Hörstörungen ist.

Eine fehlende auditorische Stimulation in der Frühentwicklung führt in Tiermodellen nachweislich zu einer veränderten synaptischen Aktivität im Gehirn und zu mangelnder Ausbildung von kortikalen Verbindungen (Kral, Hartmann, Tillein, Heid, & Klinke, 2000). Ein ähnlicher Mechanismus wird für den Hörverlust bei menschlichen Säuglingen angenommen (ebenda). Werden Hörstörungen nicht rechtzeitig erkannt und unzureichend therapiert, bedingen diese durch die fehlende auditive Rückkopplung langfristig Sprachprobleme. Dagegen weisen Säuglinge, deren Hörstörungen vor dem 6. Lebensmonat entdeckt werden, eine signifikant bessere Sprachentwicklung auf (Yoshinaga-Itano, Sedey, Coulter, & Mehl, 1998). Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer möglichst frühen Identifizierung von Hörstörungen (Hörscreening).

Für ein Hörscreening stehen subjektive und objektive Diagnostikverfahren zur Verfügung. Subjektive Hörtests erfordern eine Kooperationsbereitschaft und aktive Mitarbeit des Patienten und können dadurch in ihren Ergebnissen beeinflusst werden. Dahingegen benötigen objektive Hörprüfungen keine aktive Mitarbeit des Patienten und werden deswegen bevorzugt zum Hörscreening von Säuglingen angewendet. Eine wichtige Form des objektiven Diagnostikverfahrens in der Pädaudiologie ist die Ableitung früher akustisch evozierter Potentiale (FAEP), welche auch Hirnstammaudiometrie oder BERA-Untersuchung (brainstem electric response audiometry) genannt wird. Am Universitätsklinikum Würzburg wird die BERA-Untersuchung seit 1997 mittels des von Finkenzeller (Patent Nummer DE000019636478C1, 1996) entwickelten BERAPhons® für die Hörschwellendiagnostik bei Säuglingen eingesetzt (Shehata-Dieler et al., 2000). Bei diesem Verfahren werden in definierten Zeitabständen akustische Reize (Klicklaute) mit zunehmendem Reizpegel generiert. Die akustischen Reize werden in der Cochlea von den inneren Haarzellen in elektrische Signale umgewandelt und an die nachfolgenden anatomischen Strukturen der Hörbahn weitergeleitet. Diese elektrischen Signale lassen sich bei der BERA-Untersuchung im Rahmen eines

Elektroenzephalogramms über Elektroden am Kopf ableiten und in Form von fünf einzelnen Wellen veranschaulichen. Die charakteristische Abfolge der abgeleiteten Wellen entspricht dabei den akustisch stimulierten anatomischen Strukturen der Hörbahn. Die BERA-Untersuchung bildet dabei die anatomischen Strukturen des Hörsystems, beginnend in den peripheren Anteilen des N. cochlearis (Welle I) bis zum Lemniscus lateralis, bzw. bis zu den Colliculi inferiores (Welle V), ab. Dabei ist insbesondere die Welle V ein wichtiger Diagnostikparameter in der Hörschwellenbestimmung. Der Reizpegel, der die Welle V auslöst, wird als Richtwert für die Hörschwelle in dem Frequenzbereich von 1-4 Kilohertz gesehen (± 10 Dezibel [dB]) (Shehata-Dieler et al., 2000). Akustische Reize unterhalb der Hörschwelle erzeugen keine reproduzierbaren Antworten. Studien konnten zeigen, dass sich diese Methode nicht nur als ein zuverlässiges Verfahren für ein Hörcreening eignet (Cebulla & Shehata-Dieler, 2012; Shehata-Dieler et al., 2002), sondern auch wertvolle Informationen über Art und Grad einer Hörminderung liefert (Shehata-Dieler et al., 2000).

Alle bereits erwähnten audiologischen Diagnostikverfahren befassen sich mit dem Vorgang des Hörens. Dabei kann auch die Sprache weitere wertvolle Informationen über das audiologische System liefern, da diese im Gegensatz zur BERA-Untersuchung die gesamte Hörbahn (bis in den auditorischen Cortex) abbildet. Wie eng das audiovokale System miteinander verbunden ist, lässt sich in einer Studie mit 22 normalhörenden Probanden erkennen, in welcher die Effekte eines verzögerten visuellen und auditorischen Feedbacks auf die Sprache untersucht wurden (Chesters, Baghai-Ravary, & Möttönen, 2015). Die Ergebnisse zeigen, dass eine künstlich verspätete, visuelle Rückkopplung die Sprache der Probanden nicht beeinflusste. Die künstlich erzeugte verspätete auditorische Rückkopplung beeinträchtigte jedoch maßgeblich den Redefluss, die Vokalkontrolle und die Sprachrhythmik der Probanden. Demnach kann eine systematische Sprachanalyse als weiterer wichtiger ergänzender Parameter für ein Hörscreening, oder zur Kontrolle des Hörvermögens nach einer Cochlea-Implantation, dienen. Dies gilt nicht nur für die Sprache Erwachsener, sondern bezieht sich bereits auf die vorsprachliche Entwicklung von Säuglingen.

Wissenschaftler beschäftigen sich bereits seit Jahren mit der vorsprachlichen Entwicklung von Säuglingen, die in bestimmten Entwicklungsphasen abläuft (Nathani, Ertmer, & Stark, 2006; Oller, 2000; Stark, 1980). Die einzelnen Phasen sind durch charakteristisch geäußerte Laute des Säuglings gekennzeichnet und überschneiden sich, als Ausdruck eines dynamischen Lernprozesses, in ihrem zeitlichen Vorkommen.

Vergleicht man die Sprachentwicklung gesunder Säuglinge mit der Sprachentwicklung hörbeeinträchtigter Säuglinge, die nicht adäquat mit einer Hörhilfe versorgt wurden, zeigen sich nachweislich Unterschiede in dieser (Eilers & Oller, 1994; Lynch, Oller, & Steffens, 1989; Moeller et al., 2007; Möller & Schönweiler, 1999; Oller & Eilers, 1988; Oller, Eilers, Bull, & Carney, 1985; Shehata-Dieler et al., 2013; Stoel-Gammon, 1988; Stoel-Gammon & Otomo, 1986).

Eine Studie, die das Lautrepertoire hochgradig hörgeschädigter Kinder durch spektrographische Analysen untersuchte, zeigte ein bisher unentdecktes Phänomen. Vor der Erstanpassung der Cochlea-Implantate äußerten alle Probanden eine hohe Anzahl an Lauten, die einen hohen Energiegehalt der Grundfrequenzkomponente im Spektrum aufwiesen (Gräfin von Spiegel zum Diesenberg-Hanxleden, 2009). Diese Laute wurden von ihr als „propriozeptive Vokalisationen“ definiert, da vermutet wurde, dass ihre Erzeugung vor allem durch eine taktil-kinästhetische Wahrnehmung beeinflusst wird und weniger durch auditorische Rückkopplung, die den hörbeeinträchtigten Säuglingen fehlt. Demnach könnten „propriozeptive Vokalisationen“ den hörbeeinträchtigten Säuglingen Rückkopplungen liefern, vergleichbar mit bereits eingesetzten Vibrationssprachumwandlern, die durch exogene Vibrationsstimuli zusätzliche Sprachsignale auf der Haut hervorrufen (Erber, 1978).

Weitere Vokalisationen, welche bei ihrer Erzeugung auch zu einer verstärkten kinästhetischen Wahrnehmung führen, sind laryngeale Konstriktionen. Laryngeale Konstriktionen werden in der Fachliteratur uneinheitlich definiert (Buder et al., 2008; Esling, 2005; Kent & Murray, 1982). Unabhängig davon sind aber alle Phänomene ebenfalls durch eine tiefe Grundfrequenz charakterisiert. Die harmonischen Vielfachen der Grundfrequenz können dabei im Spektrogramm so dicht beieinander liegen, dass diese als einzelne glottale Pulse zu sehen sind. Akustisch können glottale Pulse als „zipper-like“ (Buder, Chorna, Oller, & Robinson, 2008, S. 557) beschrieben werden. Eine maximale laryngeale Konstriktion führt zu einer Unterbrechung des Luftstromes durch den Larynx, wodurch eine Oszillationspause (glottaler Stopp) entsteht. In der Fachliteratur wurde die Tendenz hörbeeinträchtigter Säuglinge zu einer vermehrten Erzeugung glottaler Laute, glottaler Frikative und glottaler Stopps beschrieben (Oller et al., 1985; Oller & Eilers, 1988; Stoel-Gammon, 1988; Stoel-Gammon & Otomo, 1986). Systematische Analysen zu laryngealen Konstriktionsphänomenen bei hörbeeinträchtigten Säuglingen sind bisher nicht publiziert. Dabei könnten diese ein wichtiges Element in der vorsprachlichen Entwicklung hörbeeinträchtigter Säuglinge sein.

In der Fachliteratur gibt es verschiedene Ansichten über laryngeale Konstriktionsphänomene in ihrer Rolle der vorsprachlichen Entwicklung. Auf der einen Seite werden diese als Zeichen respiratorischer Unreife und als Ausdruck mangelnder neurophysikalischer Kontrolle bei der Phonation gedeutet (Goberman & Robb, 2005). Auf der anderen Seite wird ihnen eine Schlüsselrolle in der Entwicklung der Artikulation im Rahmen der vorsprachlichen Lautproduktion zugeschrieben (Benner, 2009; Benner & Grenon, 2011; Esling, 2005, 2019; Gregory, Tabain, & Robb, 2018).

In den Konzepten, die den laryngealen Konstriktionen eine Schlüsselrolle zuschreiben, werden sie als konsonant-ähnliche Vorstufen in Komfortvokalisationen („Nicht-Schreivokalisationen“) beschrieben und als Vorläufer der Silbenbildung interpretiert (Buder, Warlaumont, & Oller, 2013; Kent & Murray, 1982; Stark, 1980). Ein zentrales theoretisches Modell für laryngeale Konstriktionsphänomene ist das Modell des laryngealen Artikulators (LAM) des Kanadiers John Esling (Esling, 2005). Das Modell veranschaulicht nicht nur die anatomische und physiologische Grundlage laryngealer Konstriktionen, sondern begründet auch die wichtigste Funktion dieser: John Esling postuliert, dass die Sprachentwicklung im Pharynx beginnt und Säuglinge innerhalb des ersten Lebensjahres durch wiederholtes Üben der Lautproduktion die Kontrolle über die pharyngeale Artikulation erlangen (Esling, 2005, 2012, 2019). In diesem Modell des laryngealen Artikulators wird deutlich, dass der Larynx nicht nur als passive Quelle für die Stimmbandschwingungen dient, sondern selbst als aktiver Artikulator fungiert. Der laryngeale Anteil des Vokaltraktes wird von Esling als „laryngeal constrictor“ bezeichnet, (Esling, 2019, S.5), da durch den aryepiglottischen Sphinctermechanismus eine Konstriktion an der Glottis erfolgt, wodurch pharyngeale und epiglottale Laute erzeugt werden.

Neueste Erkenntnisse über die Funktion laryngealer Konstriktionsphänomene wurden durch eine Längsschnittstudie gesunder Säuglinge erlangt, welche in allen untersuchten Vokalisationstypen (Weinen, Babbeln, Komfortlaute) regelhaft vorkommende laryngeale Konstriktionsphänomene nachwiesen (Robb et al., 2020; Yavarzadeh, 2020).

Dies unterstützt die Annahme von John Esling, dass laryngeale Konstriktionen keine Phänomene respiratorischer Unreife, sondern reguläre Auftretisphänomene gesunder Säuglinge sind, welche ein Element der weiteren Sprachentwicklung bilden (Esling, 2005).

Das Thema der laryngealen Konstriktionen in der vorsprachlichen Entwicklung bedarf jedoch weiterer Untersuchungen, um die frühen Schritte des Säuglings in Richtung Sprache besser zu verstehen. Wie bereits erwähnt, werden laryngeale Konstriktionen in

der Fachliteratur als Vorläufer des silbischen Sprechvermögens interpretiert und gehäuft bei hörbeeinträchtigten Säuglingen vorkommend angenommen. In der Fachliteratur sind bisher keine systematischen Untersuchungen oder Vergleiche der Auftrittshäufigkeiten und Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionsphänomene zwischen normalhörenden und hörbeeinträchtigten Säuglingen publiziert. Dabei könnten Unterschiede in den Ausprägungsformen und Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen zwischen normalhörenden und hörbeeinträchtigten Säuglingen frühzeitig zusätzliche Hinweise für eine mögliche Hörstörung liefern. Daneben könnte auch die Analyse temporaler Eigenschaften zum besseren Verständnis laryngealer Konstriktionen im Rahmen des Phonationsregelnetzwerkes beitragen.

Die vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag zum Thema laryngeale Konstriktionen. Da die quantitativen Analysen laryngealer Konstriktionsphänomene am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg sehr zeitaufwändig sind, musste sich die Autorin im Rahmen der Dissertation auf bestimmte Fragestellungen fokussieren. Die Arbeit erfolgte im Rahmen einer Kohortenstudie (siehe Kapitel 2.1), die den Vergleich des Lautrepertoires bzw. artikulatorischer Eigenschaften von Komfortvokalisationen zwischen normalhörenden und hörbeeinträchtigten Säuglingen zum Ziel hatte. Der Fokus der vorliegenden Arbeit lag darin, dem kaum untersuchten Phänomen der laryngealen Konstriktionen erstmalig systematisch nachzugehen und den möglichen Einfluss einer hochgradig sensorineuralen Hörschädigung auf die Auftrittshäufigkeiten und Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionen explorativ zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden in der vorliegenden Arbeit quantitative und qualitative Eigenschaften laryngealer Konstriktionsphänomene in Komfortvokalisationen von normalhörenden (Gruppe NH) und hochgradig hörbeeinträchtigten Säuglingen (Gruppe HI) durch auditive und spektrographische Analysen untersucht. Exemplarisch sollten daher an einer Teilmenge auch die temporalen Eigenschaften laryngealer Konstriktionsphänomene erstmalig untersucht werden.

Die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit waren:

- Beeinflusst eine hochgradig sensorineurale Hörbeeinträchtigung die Auftrittshäufigkeiten und Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionsphänomene?
- Gibt es im Untersuchungszeitraum vom 3.-5. Lebensmonat nachweisbare Alterseffekte in den untersuchten Messgrößen?

Zusätzlich sollte an einer Teilmenge der erfassten Lautproduktionen temporale Eigenschaften laryngealer Konstriktionsphänomene explorativ untersucht werden:

- Beeinflusst eine hochgradige Hörbeeinträchtigung ausgewählte temporale Eigenschaften der laryngealen Konstriktionselemente und der Vokalisationen, in denen sie vorkommen?
- Gibt es einen Alterseffekt in den hier analysierten temporalen Eigenschaften und unterscheidet sich dieser zwischen den Probandengruppen?

2 Material und Methoden

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zu der Analyse und Charakterisierung von Vokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen im Rahmen der Sprachentwicklung normalhörender Säuglinge und Säuglinge mit einer diagnostizierten sensorineuralen Hörstörung. Es handelte sich um eine explorative, kombinierte Analyse von Längs- und Querschnittsdaten von drei- bis fünf Monate alten Säuglingen. Die Daten der vorliegenden Arbeit wurden sowohl selbstständig im Rahmen einer prospektiven klinischen Querschnittsstudie erhoben (siehe Kapitel 2.1), als auch durch eine retrospektive Analyse von Archivdaten ergänzt. Die zusätzlich analysierten Archivdaten stammen aus vergangenen Gemeinschaftsstudien des ZVES und des CHC (Comprehensive Hearing Center Würzburg, Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen) und waren bereits in Form von anonymisierten Audiofiles im ZVES vorliegend. Die prospektive klinische Kohortenstudie wird im nächsten Kapitel in ihrem Aufbau und in der für die vorliegende Arbeit relevanten Studienpopulation im Detail erläutert.

2.1 Ethikvotum und Studiendesign des übergeordneten Gesamtprojekts

Die Querschnittsdaten der vorliegenden Arbeit sind im Rahmen der Studie „Analyse von Komfortlauten (Babbling) bei Säuglingen zum Zeitpunkt des Neugeborenen-Hörscreenings-2“ (im Folgenden „NHS-2“ genannt) erhoben worden. Nach positivem Votum durch die Ethikkommission des Universitätsklinikums Würzburg am 19.12.2017 (Ethikvotum 308/17m3) konnten die Aufnahmen der Kohorte im Januar 2018 in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki in ihrer aktuellen Fassung starten. Diese Kohortenstudie war eine Gemeinschaftsstudie zwischen dem ZVES Würzburg, des CHC, sowie der Kinderklinik Würzburg.

Das übergeordnete Ziel der Studie war es, bei allen Säuglingen, die am Universitätsklinikum Würzburg geboren und über den Projektzeitraum im Neugeborenenhörscreening-1 auffällig waren (im Folgenden „NHS-1“ abgekürzt), zwischen ihrer 10. und 24. Lebenswoche, ergänzend zum routinemäßig durchgeführten Hörtest mittels einer BERA Hirnstammaudiometrie (NHS-2) einmalig die spontane Lautproduktion durch Aufzeichnung von Komfortvokalisationen (parallel zum NHS-2) zu untersuchen.

Damit wurden im Rahmen des Projektes neben der routinemäßigen Nachuntersuchung der perzeptiven Hörleistung auch die Lautproduktionen der Säuglinge, also die Gesamtleistung des gekoppelten audio-vokalen Systems, erfasst.

Unterschiede zwischen den Komfortvokalisationen der Säuglingsgruppen zum Zeitpunkt des NHS-2 würden bedeuten, dass die sensorineurale Hörbeeinträchtigung erkrankter Säuglinge bereits deren Produktionsleistungen (Vokalisationseigenschaften) beeinflussen.

Die Abbildung 1 gibt das Studiendesign und die Probandengruppen der Kohortenstudie wieder.

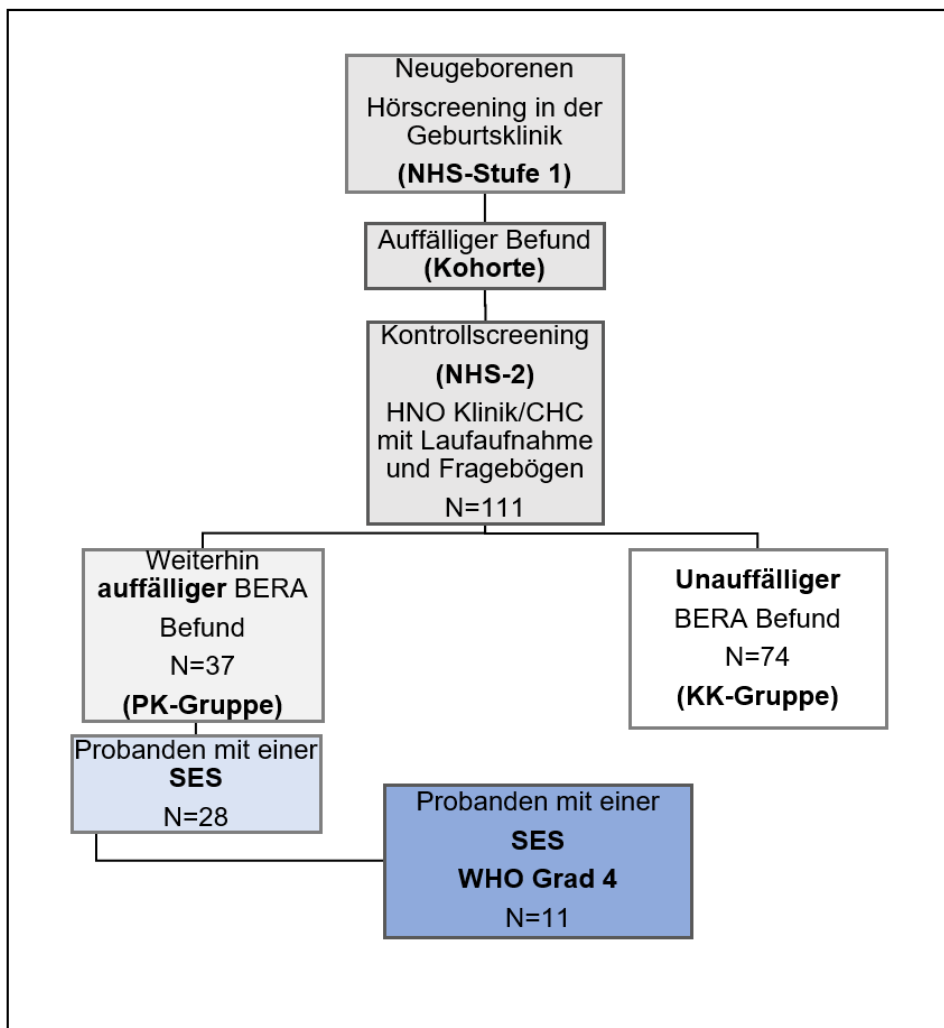


Abbildung 1: Übersicht über das allgemeine Studiendesign der Kohortenstudie

Legende: [BERA] brainstem electric response audiometry; [KK] Kontrollkollektiv; [N] Anzahl; [NHS] Neugeborenenhörscreening; [PK] Probandenkollektiv; [SES] Schallempfindungsstörung [WHO] World Health Organization

Die Säuglinge wurden nach dem NHS-2 in eine weiterhin auffällige Gruppe, die als Patienten in dem Universitätsklinikum Würzburg verblieben, (in Abbildung 1 als Probandenkollektiv, „PK-Gruppe“ bezeichnet) und in eine unauffällige Probandengruppe eingeteilt (in Abbildung 1 als Kontrollkollektiv, „KK-Gruppe“ bezeichnet).

Nach einer vollständigen klinischen Diagnostik und weiterführenden audiologischen Tests (Messung otoakustischer Emissionen, Otoskopie, Tympanometrie) wurden die Säuglinge gemäß ihrer individuellen Diagnose in weitere Untergruppen eingeteilt. Im Zuge dessen wurden 28 Säuglinge mit einer sensorineuralen Hörstörung diagnostiziert (siehe „Probanden mit einer SES“ in Abbildung 1). Die Koordination der Aufnahmetage und Eingliederung des eingeschlossenen Probandenkollektivs in die nachfolgenden Diagnosegruppen erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Prof. Dr. med. W. Shehata-Dieler, Leitende Ärztin der Audiologie, Pädaudiologie, Elektrophysiologie und Phoniatrie des Universitätsklinikums Würzburg.

Sensorineurale Hörstörungen werden auch Schallempfindungsstörungen genannt (im Folgenden „SES“ abgekürzt), da die Ursache für die Hörstörung im Innenohr, im Bereich der Hörnerven oder bei der Verarbeitung akustischer Signale im Gehirn liegt. Abhängig vom Grad der Hörminderung konnte eine weitere Unterteilung der Probanden mit einer SES vorgenommen werden. Dabei dienten die Angaben der WHO als Referenzwerte für den Grad der Hörminderung (World Health Organization, 1991). Säuglinge mit einer an Taubheit grenzenden Schwerhörigkeit/Ertaubung (WHO Grad 4) wurden in das Probandenkollektiv der vorliegenden Arbeit eingeschlossen (siehe blauer Kasten der Abbildung 1 „Probanden mit einer SES, WHO Grad 4“). Dies entspricht einer mittleren Hörschwelle von ≥ 81 dB im Tonaudiogramm.

Das Probandenkollektiv der vorliegenden Arbeit wird im Kapitel 2.2 im Detail beschrieben.

2.2 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv der vorliegenden Arbeit gliederte sich in zwei Probandengruppen (Gruppe NH und Gruppe HI) und wird in der Abbildung 2 schematisch dargestellt.

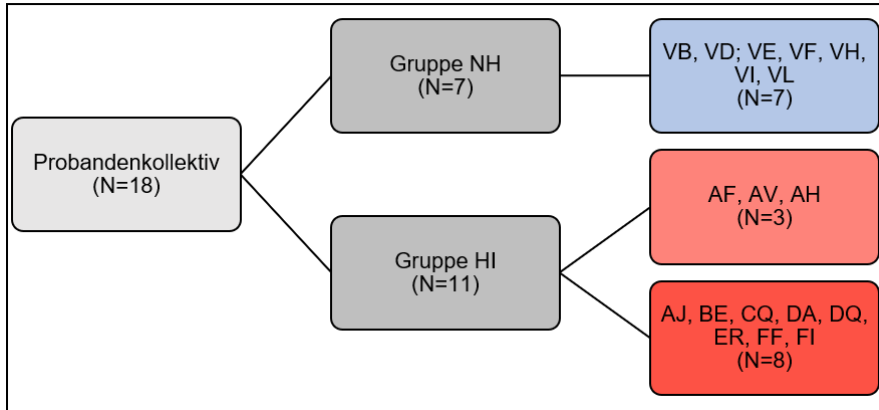


Abbildung 2: Probandenkollektiv der vorliegenden Arbeit

Legende: **[HI]** hörbeeinträchtigte Säuglinge; **[N]** Anzahl der Probanden; **[NH]** normalhörende Säuglinge; **Die Buchstabenkombinationen in den farbigen Kästen entsprechen den Probandencodes**

Die Gruppe der normalhörenden Säuglinge (Gruppe NH) wurde durch sieben Säuglinge gebildet (siehe blauer Kasten in Abbildung 2), deren Lautproduktionen bereits in vorangegangenen Studien am ZVES durch multiple, individuelle Aufnahmezeitpunkte im ausgewählten Alterszeitraum des 3.-5. Lebensmonats erfasst wurden. Die Audiodateien lagen, wie zuvor in Kapitel 2.1 beschrieben, bereits in anonymisierter Form im Datenarchiv des ZVES vor und wurden von der Autorin der vorliegenden Arbeit retrospektiv analysiert. Diese Längsschnittdaten eigneten sich durch ihre große, qualitativ hochwertige Datenmenge besonders für die Fragestellung nach einem möglichen Alterseffekt der qualitativen und quantitativen Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionsphänomene. Überdies waren diese sieben Säuglinge bereits Teil einer explorativen Pilotstudie in welcher laryngeale Konstriktionsphänomene an gesunden Säuglingen im ersten Lebensjahr untersucht wurden (Robb et al., 2020; Yavarazdeh, 2020). Alle Vokalisationen der normalhörenden Säuglinge wurden von der Autorin der vorliegenden Arbeit unabhängig von den vorliegenden Ergebnissen von Robb et al. und Yavarazdeh durchgeführt und nach eigenen Kriterien erneut analysiert (siehe Kapitel 2.4.2). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lieferten somit eine gute Grundlage für mögliche Vergleiche zwischen den Studien (siehe Kapitel 4).

Die zweite Gruppierung (Gruppe HI) wurde zum einen aus drei Säuglingen (siehe hellroter Kasten in Abbildung 2) mit einer hochgradigen Schallempfindungsstörung gebildet, deren Lautaufnahmen ebenfalls dem Datenarchiv des ZVES entstammen und retrospektiv ausgewertet wurden. Die Lautaufnahmen dieser drei Säuglinge lagen, analog zu den Daten der Gruppe NH, im Längsschnitt vor, sodass sich die Daten gleichermaßen für die Analyse laryngealer Konstriktionen im Entwicklungsverlauf eigneten. Zum anderen wurde die Gruppe HI durch die hochgradig hörbeeinträchtigte Säuglinge aus der in Kapitel 2.1 beschriebenen Kohortenstudie gebildet. Von den elf hochgradig hörbeeinträchtigte Säuglingen, welche im Rahmen der bereits beschriebenen Studie erfasst wurden (siehe Kapitel 2.1, Abbildung 1), konnten acht Säuglinge in das Probandenkollektiv der folgenden Arbeit eingeschlossen werden (siehe Abbildung 2, dunkelroter Kasten), da bei diesen Säuglingen die Aufnahmezeitpunkte innerhalb des definierten Zeitraums lagen und die Aufnahmequalität hochwertig genug für eine Auswertung nach festgelegtem Standard war.

Die Tabelle 1 gibt im Detail die klinischen Daten zur Hörleistung und Versorgung der HI-Gruppe wieder.

Tabelle 1: Klinische Daten zur Hörleistung und Versorgung der Probanden der Gruppe HI

Gruppe	Proband	Geschlecht [m/w]	Diagnose	Ätiologie der SES	Hörschwellenmessung [ABR]	Verlauf der Versorgung mit Hörhilfen [HA/CI]
HI	AH	m	hochgradige SES bds.	Nicht näher bezeichnet	R: 100dB L: 100dB (41)	HA (77)
	AF	m	hochgradige SES bds.	Hereditär	R: >100dB L: >100dB (138, 170)	HA (50) CI L (170) CI R (183)
	AV	m	hochgradige SES bds.	Connexin Mutation	R: >100dB L: 100dB (69)	HA (89) CI R (222) CI L (229)
	AJ	m	hochgradige SES bds.	Aplasie des Nervus cochlearis bds.	R: >100dB L: >100dB (128)	HA (216) CI R (431) CI L (1291)
	BE	w	hochgradige SES bds.	Connexin Mutation	R: NR L: NR (88)	HA (207) CI R (1030) CI L (558)
	CQ	m	hochgradige SES bds.	Hereditär	R: 100dB L: 100dB (141)	HA (144)
	DA	m	hochgradige SES bds.	Schwerste cochleäre Missbildungen bds.	R: >100dB L: >100dB (138)	HA (79) CI R (742) CI L (298)
	DQ	m	hochgradige SES bds.	Genetik aktuell noch ausstehend	R: 100dB L: 100dB (108)	HA (133) CI R (383) CI L (383)
	ER	m	hochgradige SES bds.	Auditive Neuropathie bds.	R: 100dB L: 100dB (102)	CI R (347) CI L (347)
	FF	m	hochgradige SES bds.	Nicht näher bezeichnet	R: 80dB L: 100dB (98)	CI R (530) CI L (530)
	FI	w	hochgradige SES bds.	Connexin Mutation	R: 90-100dB L: 100dB (105)	CI R (266) CI L (266)

Legende: [ABR] auditory brainstem response; [bds.] beidseits; [CI] Cochlea-Implantation; [dB] Dezibel; [HA] hearing aid; [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge; [L] links [m] männlich; [NR] no response; [R] rechts; [SES] Schallempfindungsstörung; [w] weiblich; **Die Zahl in den Klammern gibt das Alter der Probanden in Tagen an**

2.3 Datenbasis

In der vorliegenden Arbeit wurden alle Einzelvokalisationen des im vorherigen Kapitel 2.2 beschriebenen Probandenkollektivs zwischen dem 61. und 150. Lebenstag (3.-5. Lebensmonat) analysiert. Eine Einzelvokalisation bestand dabei aus einer einzelnen Lautäußerung während einer Expirationsphase. Es wurden ausschließlich Komfortvokalisationen analysiert, die das Cooing (Gurren) und Babbeln der Säuglinge umfassten. Durch Buder et al. (2013) definierte, vegetative Laute (Husten, Niesen) wurden hier von der Datenbasis ausgeschlossen.

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Gesamtanzahl aller geäußerten Komfortlaute der Probanden und die Anzahl der Aufnahmetermine.

Tabelle 2: Gesamtanzahl aller Laute und Aufnahmetermine aller Probanden

Gruppe	Proband	Anzahl aller Aufnahmetermine	Gesamtanzahl aller Laute
NH	VB	10	749
	VD	8	557
	VE	6	436
	VF	19	1761
	VH	13	365
	VI	9	622
	VL	10	406
	Σ NH	75	4896
HI	AF	3	73
	AH	21	1102
	AV	9	299
	AJ	2	125
	BE	1	44
	CQ	1	150
	DA	1	169
	DQ	1	48
	ER	2	122
	FF	1	22
	FI	1	61
	Σ HI	43	2215
	Gesamtsumme	118	7111

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge; [NH] normalhörende Säuglinge

Zur besseren Vergleichbarkeit der vorliegenden Lautaufnahmen innerhalb der zwei Probandengruppen wurden Tabellen mit Übersicht der Altersverteilung angefertigt (Tabelle 3 und Tabelle 4).

Tabelle 3: Übersicht der gesamten Einzelvokalisationen differenziert nach Anzahl der Aufnahmetermine und Alter in Wochen/Tagen der Gruppe NH

Proband		VB	VD	VE	VF	VH	VI	VL
Geschlecht		w	w	m	m	w	m	w
Anzahl der Aufnahmetermine		10	8	6	19	13	9	10
Alter in		Anzahl der Einzelvokalisationen						
Wochen	Tagen							
10	64-70	135						
11	71-77			98	142		106	
12	78-84		62		126		85	26
13	85-91	94				37	26	21
14	92-98		103	53		53	70	23
15	99-105	142	100	56	554	64	70	59
16	106-112					29	48	
17	113-119				374	41	50	
18	120-126	117	91	106	210	66		76
19	127-133				101		64	
20	134-140	81				17		89
21	141-147	81	55	65	215	39	103	112
22	148-154	99	146	58	39	19		
Gesamtzahl aller Laute		749	557	436	1761	365	622	406

Legende: **[m]** männlich; **[w]** weiblich

Tabelle 4: Übersicht der gesamten Einzelvokalisationen differenziert nach Anzahl der Aufnahmetermine und Alter in Wochen/Tagen der Gruppe HI

Proband		AF	AH	AV	AJ	BE	CQ	DA	DQ	ER	FF	FI
Geschlecht		m	m	m	m	w	m	m	m	m	m	w
Anzahl der Aufnahmetermine		3	21	9	2	1	1	1	1	2	1	1
Alter in		Anzahl der Einzelvokalisationen										
Wochen	Tagen											
10	64-70											
11	71-77		18		73							
12	78-84		71					169				
13	85-91		65	109		44						
14	92-98			27							22	
15	99-105	25		30						27		61
16	106-112		146	59			150		48			
17	113-119	48	75									
18	120-126		143	56								
19	127-133		259		52							
20	134-140		80	18								
21	141-147		100							95		
22	148-154		145									
Gesamtzahl aller Laute		73	1102	299	125	44	150	169	48	122	22	61

Legende: **[m]** männlich; **[w]** weiblich

2.4 Datenanalyse

2.4.1 Rohdatenaufbereitung

An der Durchführung und Auswertung der in Kapitel 2.1 beschriebenen Studie waren mehrere Humanmedizinstudentinnen und zwei zahnmedizinische Doktoranden beteiligt. Die Autorin der vorliegenden Arbeit befasste sich vorwiegend mit der Datenaufbereitung. Die einzelnen Schritte der Datenaufbereitung werden in den folgenden Absätzen im Detail erläutert.

Ausgangspunkt der Rohdatenaufbereitung waren die Lautaufnahmen aus dem Universitätsklinikum Würzburg (siehe Kapitel 2.1), für welche zunächst eine komplette Archivierung und Voranalyse nach den vorgeschriebenen Routinen am ZVES durchgeführt wurden.

Endpunkt der Rohdatenaufbereitung waren Einzelvokalisationen, deren Grundfrequenzverlauf (Melodie) und Intensitätsverlauf mehrfach überprüft worden waren und für weitere phonetische und akustische Analysen zur Verfügung standen. Für die Rohdatenaufbereitung wurden maßgeblich drei Programme (CSL, PRAAT und CDAP) verwendet, die nun kurz erläutert werden.

Mit Hilfe des Sprachanalyse-Systems Computer Speech Laboratory 4500 (CSL) der Firma KAY/PENTAX (USA) wurden die Lautaufnahmen aus der Klinik in den Computer eingelesen, abgehört und nach einem definierten Schema unter Verwendung des Probandenpseudonyms archiviert. In einem weiteren Schritt wurden die Vokalisationen mittels PRAAT, ein open-source Programm zur phonetischen und akustischen Analyse von Lautaufnahmen, Version 5.0.34 (Boersma & Weenink, 2020), dargestellt und manuell in kürzere Aufnahmesequenzen (Langserien) segmentiert.

Die Abbildung 3 gibt einen Zeitausschnitt aus einer Langserie in einem PRAAT-Ausgabefenster wieder.

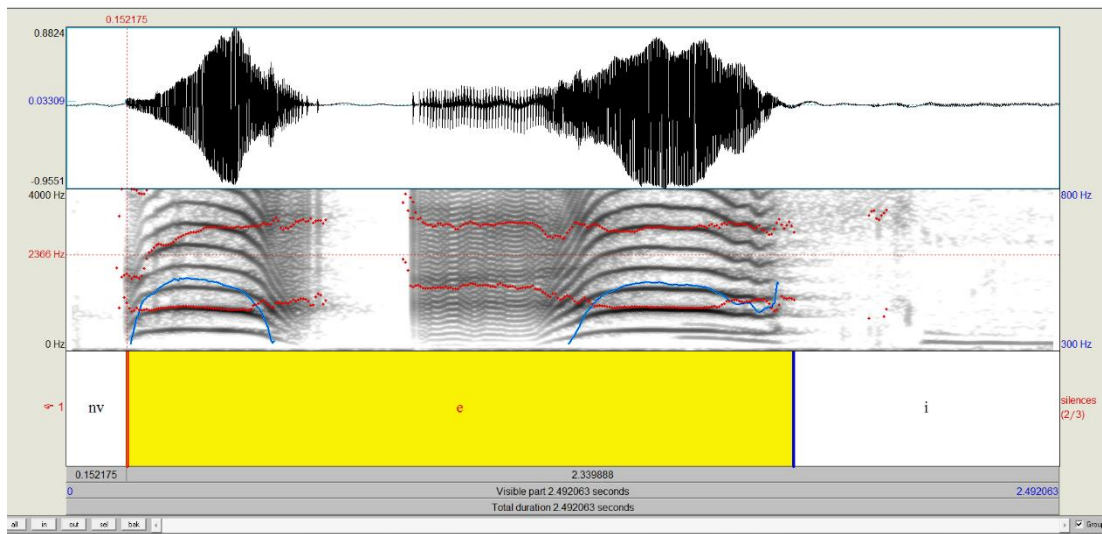


Abbildung 3: Einzelvokalisation in einem PRAAT-Ausgabefenster

Im oberen Ausgabefenster der Abbildung 3 ist die Amplitude des Signals (Y-Achse) gegen die Zeit (X-Achse) in Sekunden aufgetragen (Zeitbereichsdarstellung). Das untere Fenster des Ausgabefensters zeigt das Schmalbandspektrum der Einzelvokalisation. Während die X-Achse, abhängig von der jeweiligen Signallänge, die Zeitachse in Sekunden angibt, stellt die Ordinate linear den Frequenzverlauf bis 4000Hz dar. Die Veränderung der Grundfrequenz (F0) über die Zeit entspricht der Melodie, welche hier mit einer blauen Linie und entsprechender blauer Skala an der rechten Bildrandseite gezeigt ist. Darüber zeichnen sich die ganzzahligen Vielfachen von F0 ab (Harmonische der Grundfrequenz). Der Intensitätsgehalt der einzelnen Harmonischen wird über eine Grauskalierung grafisch kodiert. Je dunkler die Grauskalierung des Schmalbandspektrummes, desto energiereicher ist der jeweilige Frequenzbereich. Die unterste große Zeile der Abbildung 3 zeigt das Eingabetier, in dem Lautpassagen manuell beschriftet wurden (Annotation). Diese sind dadurch mit einem bestimmten Zeitabschnitt des Signals assoziiert. Die manuelle Annotation der Lautaufnahmen erfolgte nach einem vorher klar definierten Schema, welches einheitlich vom gesamten Team der Datenaufbereitung angewendet wurde. Expirationsphasen, welche die Lautäußerungen enthielten, wurden in dem Eingabetier mit „e“ gekennzeichnet (siehe gelber Bereich der Abbildung 3), Inspirationsphasen wurden mit einem „i“ kenntlich gemacht (siehe Kennzeichnung „i“ in Abbildung 3). Lautabschnitte, die weder Expirations- noch Inspirationsphasen oder andere relevante Passagen enthielten wurden mit „nv“ (nicht vermessen) gekennzeichnet.

Für die vorliegende Arbeit war vornehmlich die Annotation der Expirationsphasen und Inspirationsphasen der Lautaufnahmen relevant, eine detaillierte Erklärung zu den weiteren Formen der Annotation kann der Dissertation von Blum entnommen werden (Blum, 2020).

Unterstützt wurde die Analyse der Lautaufnahmen durch spezifische Textskripte in PRAAT, die von Michael Eisenmann geschrieben und zur Analyse der Lautaufnahmen im ZVES implementiert wurden (Eisenmann, 2021). Mittels eines Textskriptes von

Michael Eisenmann konnte die Annotation der Langserien zum Teil automatisiert werden, da das Skript eine Einteilung der Lautpassagen in Expirationsphasen und Inspirationsphasen in Abhängigkeit ihrer Intensitätskurven vornahm. Diese automatisierte Einteilung musste jedoch vollständig manuell kontrolliert und gegebenenfalls durch erneute Cursersetzung korrigiert werden.

Nach der abgeschlossenen Kontrolle der Annotation wurden die mit „e“ gekennzeichneten Expirationsphasen (=Einzelvokalisationen) mittels eines weiteren Textskriptes von Eisenmann extrahiert (Eisenmann, 2021, S. 55). Die in PRAAT automatisch errechneten Intensitäts- und Grundfrequenzverläufe und die extrahierten Audiofiles (WAVE-Dateien) der Einzelvokalisationen konnten anschließend in dem seit Jahren zur laborinternen vorsprachlichen Datenanalyse eingesetzten CDAP-Programm (Cry-Data-Analysis-Programm; Programmator P. Wermke - „pw-project“) dargestellt und weiter analysiert werden. Innerhalb des CDAP Programmes konnte die Analyse der Einzelvokalisationen über verschiedene Module erfolgen. Die in PRAAT errechneten Grundfrequenzverläufe der Einzelvokalisationen wurden zunächst von der Verfasserin der vorliegenden Arbeit für jeden einzelnen Laut anhand des Melodie- und Intensitätsdiagramms im Modul EFA (Energie-/Frequenzamplitude) kontrolliert und gegebenenfalls erneut in PRAAT korrigiert. Die Einzelvokalisationen mit korrigierten Grundfrequenzverläufen und Intensitäten bildeten die Datenbasis für die Analyse laryngealer Konstriktionsphänomene, welche in den nachfolgenden Kapiteln detailliert erläutert wird.

2.4.2 Identifikation laryngealer Konstriktionsphänomene

Wie in der Einleitung beschrieben, wurden in der vorliegenden Arbeit die quantitativen und qualitativen Eigenschaften der Einzelvokalisationen mit Konstriktionsphänomenen (im Folgenden „K1“ genannt) in Komfortvokalisationen analysiert.

Die Entwicklung einer geeigneten Methode zur Identifikation, Graduierung (Kapitel 2.4.4), Kategorisierung (Kapitel 2.4.5) und Vermessung temporaler Eigenschaften (Kapitel 2.4.7) von K1 erfolgte in enger Zusammenarbeit mit zwei Doktorandinnen, die Konstriktionsphänomene in den Vokalisationen von Säuglingen mit oro-fazialen Spaltbildungen untersuchten, Jasmin Mack (Dissertation in Vorbereitung) und Pauline Hammerstädt (Dissertation in Vorbereitung).

In Abbildung 4 werden die verschiedenen Analyseelemente von K1 schematisch dargestellt.

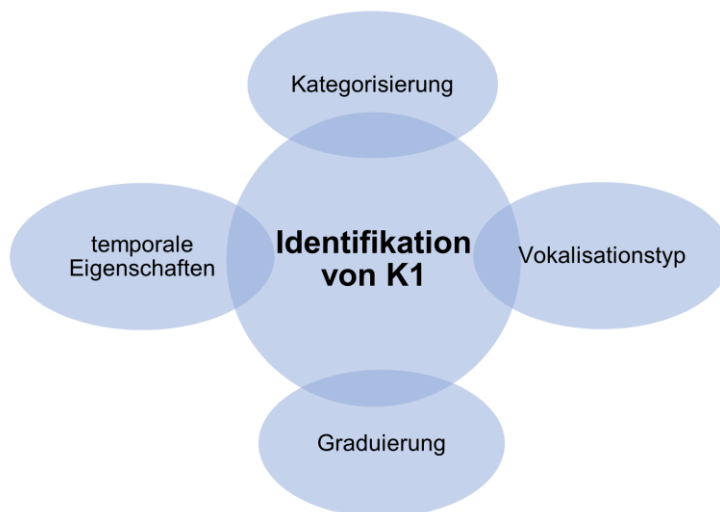


Abbildung 4: Analyseelemente von K1

Zentraler Baustein der vorliegenden Arbeit war die Identifikation von K1 unter allen aufbereiteten Einzelvokalisationen des gesamten Probandenkollektivs. Hierfür wurde das Alben-Modul in CDAP genutzt. Dieses Modul gab für jeden Probanden eine Übersicht über alle Einzelvokalisationen in Form von Schmalbandspektrogrammen, welche mit dem CSL-4500 System automatisch graphisch dargestellt wurden. Die Einzelvokalisationen konnten in der Übersichtsdarstellung einzeln ausgewählt und die entsprechende Audiodatei abgespielt werden.

Da in der Fachliteratur laryngeale Konstriktionsphänomene uneinheitlich definiert wurden, erfolgte basierend auf dem theoretischen Modell von Esling (2005) und dem phonetischen Katalog vorsprachlicher Vokalisationen von Buder et al. (2013) eine eigenständige Auswahl an Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionsphänomene, die in die nachfolgenden Analysen der vorliegenden Arbeit eingeschlossen wurden. Da laryngeale Konstriktionen neben stimmlosen glottalen Stoppsequenzen akustisch auch als Pulsregister wahrgenommen werden können (Buder et al., 2013), wurden glottale Stopps und glottale Pulse als Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionen in die Analysen der vorliegenden Arbeit eingeschlossen. Laryngeale Konstriktionen mit sehr eng verlaufenden Harmonischen im Spektrogramm („creaky“=Strohbas), die jedoch keine einzelnen glottalen Pulse aufwiesen, wurden in der vorliegenden Arbeit durch ihren tiefen, gepressten Klang als „Pressen“ bezeichnet und als weitere Ausprägungsform laryngealer Konstriktionen in die Analysen eingeschlossen. Demnach wurden in der vorliegenden Arbeit folgende visuell und auditiv definierten Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionen analysiert: Pressen, glottale Pulse und glottale Stopps (siehe Abbildung 5). Enthielt eine Lautäußerung eine dieser Ausprägungsformen, wurde diese als Einzelvokalisation mit laryngealem Konstriktionsphänomen [K1] klassifiziert.

In einer Vorbereitungsphase des Doktorandenteams wurde die Identifikation der graphischen und auditiven Erkennungsmuster laryngealer Konstriktionen anhand von Audiofiles und Spektrogrammen gemeinsam erlernt und geübt, sodass eine hohe Übereinstimmung sowie Reproduzierbarkeit in den nachfolgenden Analysen der vorliegenden Arbeit sichergestellt werden konnte.

Abbildung 5 zeigt das Schmalbandspektrogramm einer Beispielvokalisation im CSL-Ausgabefenster, die alle drei genannten Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionsphänomene enthält.

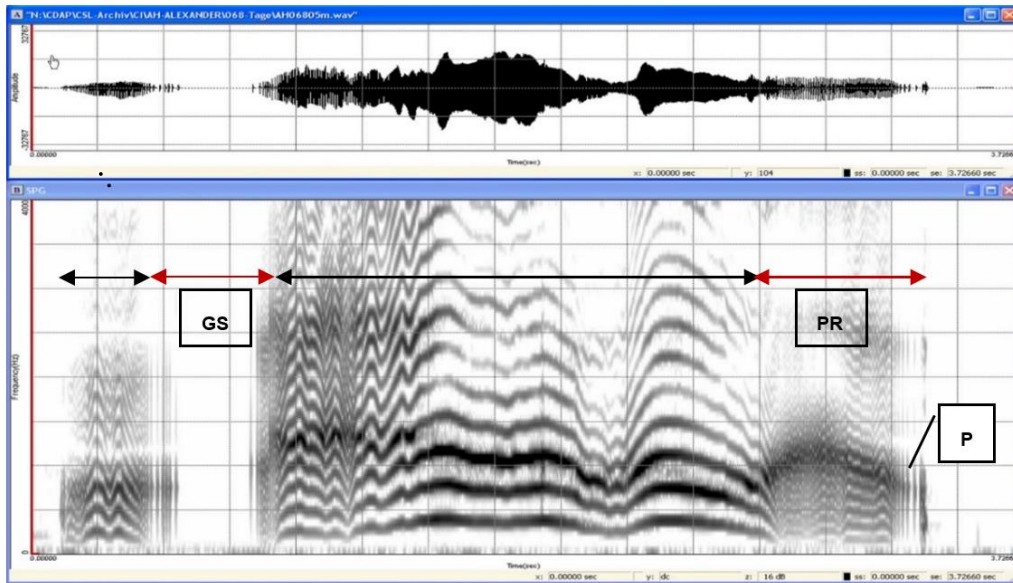


Abbildung 5: Beispielvokalisation mit laryngealem Konstriktionsphänomen [K1]

Das obere Fenster gibt die Zeitbereichsdarstellung mit dem Amplitudenverlauf der Einzelvokalisation wieder. Unterhalb des Zeitausgabefensters ist das Schmalbandspektrogramm der Vokalisation im zeitlichen Verlauf dargestellt. Die Grundfrequenz und die harmonischen Vielfachen werden an der Y-Achse linear bis 4000 Hz abgebildet und gegen die Zeit (X-Achse) aufgezeichnet. Zur Veranschaulichung wurden von der Autorin der vorliegenden Arbeit laryngeale Konstriktionsphänomene mit zusätzlichen roten Doppelpfeilen im Spektrogramm kenntlich gemacht. Harmonische Lautpassagen wurden mit schwarzen Doppelpfeilen im Spektrogramm versehen. Der Lautbeginn besteht aus einer kurzen harmonischen Lautpassage im Spektrogramm, (Melodie verläuft bogenförmig) und geht dann über einzelne glottale Pulse in einen glottalen Stopp (weiße „frequenzfreie“ Fläche, gekennzeichnet mit „GS“) über. Der Säugling verschließt dabei den Vokaltrakt vollständig, es findet keine Inspiration statt. Die Vokalisation geht anschließend wieder in harmonische Melodiebögen über und endet mit dem zweiten Konstriktionsphänomen, welches aus Pressen (graue flächige Harmonische innerhalb des zweiten roten Doppelpfeils, „PR“) und einzelnen glottalen Pulsen (vertikale schwarze Linien innerhalb des zweiten roten Doppelpfeils, „P“) am Lautende besteht.

Für eine einheitliche Analyse von Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen wurden folgende Ausschlusskriterien festgelegt:

- Gesamtvokalisationslänge <300ms
- Konstriktionsphänomen mit einer Dauer <50ms
- Vokalisationsart: Growls
- Vokalisationsart: Raspberries

Einzelvokalisationen mit einer Gesamtdauer unter 300ms wurden von den Analysen ausgeschlossen, da diese aufgrund ihrer kurzen Dauer mit der verwendeten Messmethode nicht analysierbar waren. Laryngeale Konstriktionsphänomene innerhalb der Einzelvokalisationen, die eine geringere zeitliche Dauer als 50ms umfassten, konnten im Spektrogramm ebenfalls nicht sicher identifiziert werden. Daher wurde durch das Doktorandenteam eine Mindestdauer von 50ms für die Identifikation laryngealer Konstriktionsphänomene festgelegt.

Ein weiteres Ausschlusskriterium waren bestimmte Vokalisationsarten. Sogenannte Growls werden beim traditionellen Jazz oder Gospel eingesetzt, können in vielen Tonlagen vorkommen und sind durch einen eher rollenden Klang gekennzeichnet. Growls entstehen durch eine Vibration der Aryknorpel gegen die Epiglottis (Complete Vocal Institute, 2019). Vokalisationen, die sogenannte Raspberries enthielten, wurden in der vorliegenden Arbeit nicht analysiert. Raspberries sind Formen supralaryngealer Artikulation, die durch starke Vibrationen der Lippen erzeugt werden (Buder et al., 2013). Damit handelt es sich bei den Raspberries nicht um laryngeale Konstriktionen.

2.4.3 Bestimmung des Vokalisationstyps

Mittels des Vokalisationstyps wurde in Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen [K1] zusätzlich das Vorkommen von supralaryngealen Konsonanten untersucht. Zu diesem Zweck unterschied die Autorin der vorliegenden Arbeit zwei Vokalisationstypen [U und B].

Der Vokalisationstyp U umfasste dabei alle Komfortvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen, die ausschließlich aus vokalischen Elementen bestanden.

Vokale werden als Selbstlaute definiert, die durch eine ungehinderter Luftpassage im Vokaltrakt entstehen. Der Vokalisationstyp B wurde durch Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionen gebildet, welche zusätzlich aus einer Konsonant-Vokal-Kombination bestanden oder ein konsonant-ähnliches Element innerhalb der Vokalisation enthielten. Konsonanten werden dabei durch Verengungen im Vokaltrakt gebildet, wodurch es zu einer Unterbrechung des Luftstromes im Vokaltrakt kommt. Konsonanten sind vorwiegend als schmale, vertikale Rauschbanden im Spektrogramm zu erkennen (siehe Abbildung 6).

Die Einteilung der Komfortvokalisationen in die zwei beschriebenen Vokalisationstypen erfolgte auditiv und visuell durch die Analyse der Frequenzspektrogramme im Albenmodus in CDAP.

Ziel war es, die Auftretshäufigkeiten der Vokalisationstypen gruppenspezifisch und altersspezifisch zu untersuchen. Die nachfolgenden Abbildungen 6 und 7 geben zwei Beispielvokalisationen für die zwei Vokalisationstypen wieder.

Die Beispielvokalisation für den Vokalisationstyp U in der Abbildung 6 enthält ein laryngeales Konstriktionsphänomen, das sowohl aus Pressen (grauer flächiger Verlauf der Harmonischen im Schmalbandspektrum) und aus einem glottalen Stopp („intensitätsfreie“ Fläche) besteht. Dass die hier gezeigte Komfortvokalisation ausschließlich durch vokalische Elemente gebildet wird, lässt sich nicht nur durch das Abspielen der Audiodatei hören, sondern spiegelt sich auch durch den klaren, rauschfreien Frequenzverlauf der Harmonischen im Spektrum wider. In dieser Beispielvokalisation gibt es keine supralaryngeale Konstriktion.

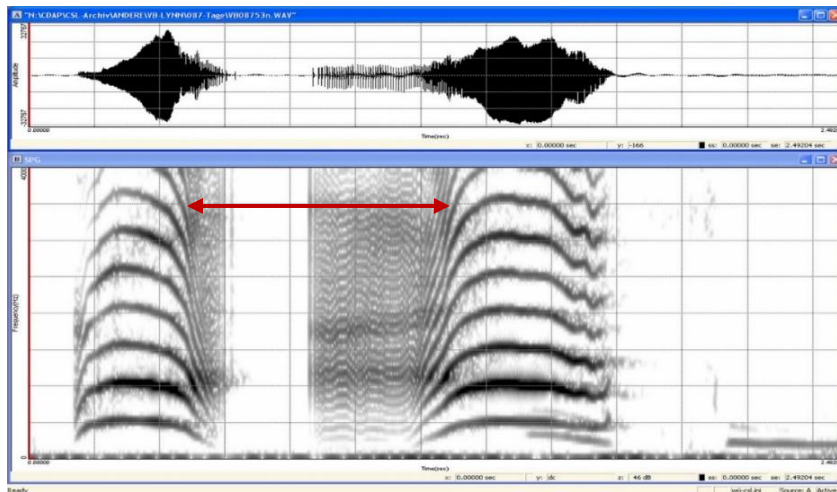


Abbildung 6: Vokalisationstyp U

Das obere Fenster der Abbildung 6 stellt das Zeitausgabefenster mit dem Amplitudenverlauf der Einzelvokalisation dar. Das untere Fenster zeigt das entsprechende Schmalbandspektrum der Einzelvokalisation mit dem zeitlichen Verlauf der Grundfrequenz und den Harmonischen. Das Konstriktionsphänomen innerhalb der Vokalisation wurde von der Autorin der vorliegenden Arbeit mit einem zusätzlichen roten Doppelpfeil kenntlich gemacht.

Abbildung 7 zeigt eine Komfortvokalisation mit einem laryngealen Konstriktionsphänomen, welche zusätzlich eine Vokal-Konsonant-Kombination enthält (Vokalisationstyp B). Im Spektrogramm zeigen sich als Korrelat der Konsonanten die vertikal verlaufenden Rauschbanden im Grundfrequenzverlauf der Vokalisation.

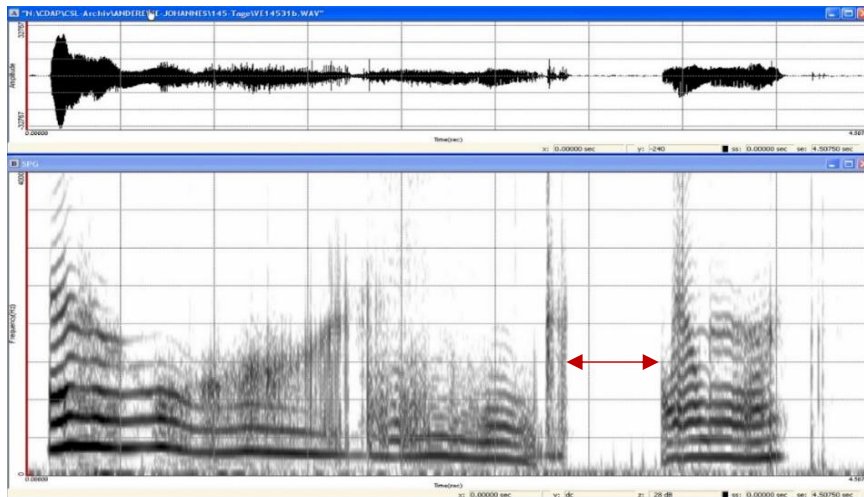


Abbildung 7: Vokalisationstyp B

Das Zeitausgabefenster mit dem Amplitudenverlauf der Einzelvokalisation wird in der oberen Zeile des Ausgabefensters dargestellt. Das untere Fenster zeigt das entsprechende Schmalbandspektrogramm mit dem zeitlichen Verlauf der Grundfrequenz und den Harmonischen. Das Konstriktionsphänomen selbst besteht aus einem glottalen Stopp. Zur besseren Darstellung wurde das Konstriktionsphänomen von der Autorin der vorliegenden Arbeit manuell durch einen roten Doppelpfeil gekennzeichnet.

2.4.4 Graduierung

Ein weiterer Schritt in der Analyse von laryngealen Konstriktionsphänomenen war die Graduierung der in Kapitel 2.4.2 beschriebenen Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionsphänomene (Pressen, glottale Pulse, glottaler Stopp).

Peter Ladefoged begründet das „Kontinuum der Phonationstypen“, welches eine kontinuierliche Aufeinanderfolge der Phonationstypen basierend auf der Öffnungsweite der Aryknorpel beschreibt (Gordon & Ladefoged, 2001; Ladefoged, 1981). Mit zunehmender Verengung im Larynx entsteht ein Übergang vom modalen Phonationstyp in den „creaky“ Phonationstyp (Strohbas), bis es zu einer maximalen Verengung der Aryknorpel kommt, die mit einem glottalen Schluss („glottal closure“ = glottaler Stopp) einhergeht.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Bereich zwischen dem creaky Phonationstyp und dem glottalen Stopp weiter differenziert und Konstriktionsphänomene final als „unvollständig“ [UV] und „vollständig“ [V] bezeichnet. Die Abbildung 8 gibt die bei der Analyse im Schmalbandspektrum verwendete Merkmalsbeschreibung der Konstriktionsphänomene schematisch wieder. Angelehnt an das Phonationsmodell von Ladefoged (1981) nimmt mit zunehmendem Grad „A-E“ die Verengung im Vokaltrakt immer weiter zu, bis es zu einer vollständigen Oszillationspause (glottaler Stopp) kommt.

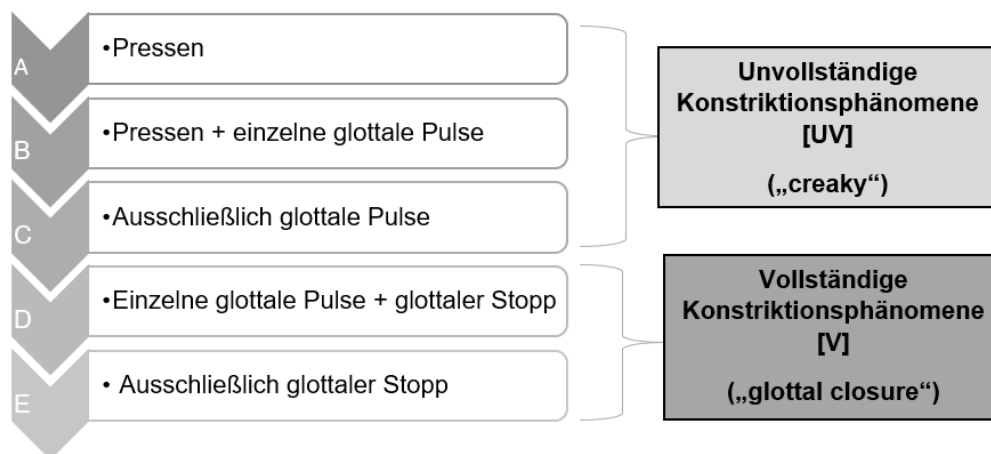


Abbildung 8: Differenzierung der Konstriktionsphänomene von Strohbas bis vollständiger Glottisverschluss und finale Einteilung in unvollständige und vollständige Konstriktionsphänomene, angelehnt an Ladefoged (1981)

Konstriktionsphänomene ohne einen glottalen Stopp (Pulsregister, Pressen) wurden als unvollständige Konstriktionsphänomene [UV] bezeichnet (Graduierung „A-C“ in Abbildung 8). Als vollständiges Konstriktionsphänomen [V] wurden alle laryngealen Konstriktionsphänomene definiert, die eine vollständige Unterbrechung des Luftstromes im Vokaltrakt beinhalteten (glottaler Stopp in Graduierung „D“ und „E“).

Die Abbildungen 9 und 10 geben schematisch die Einteilung der laryngealen Konstriktionsphänomene in ihre Graduierung wieder.

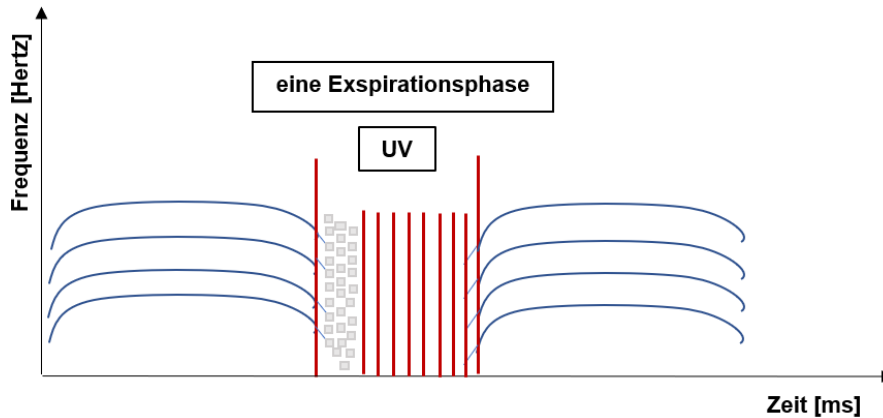


Abbildung 9: Einzelvokalisation mit einem unvollständigen Konstriktionsphänomen [eigene Darstellung]

Legende: [ms] Millisekunden; [UV] unvollständiges Konstriktionsphänomen

In Abbildung 9 ist der zeitliche Verlauf der Grundfrequenz und drei weiterer Harmonischer schematisch dargestellt. Der Übergang des harmonischen Bereiches der Komfortvokalisation (blaue Bögen) in eine laryngeale Konstriktion und wieder in einen harmonischen Bereich zurück ist durch zwei lange, rote vertikale Linien gekennzeichnet. Das laryngeale Konstriktionsphänomen selbst besteht dabei aus Pressen (graue Rechtecke) und geht anschließend in einzelne glottale Pulse über (kürzere, rote vertikale Linien).

Wie zuvor beschrieben (Kapitel 2.4.2), treten die Konstriktionsphänomene nach oder zwischen harmonischen Bereichen auf und haben eine Dauer von mindestens 50 ms. Das Konstriktionsphänomen führt in diesem Beispiel nicht zu einer vollständigen Oszillationspause.

Abbildung 10 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf einer Beispielvokalisation von K1 mit einem vollständigen Konstriktionsphänomen.

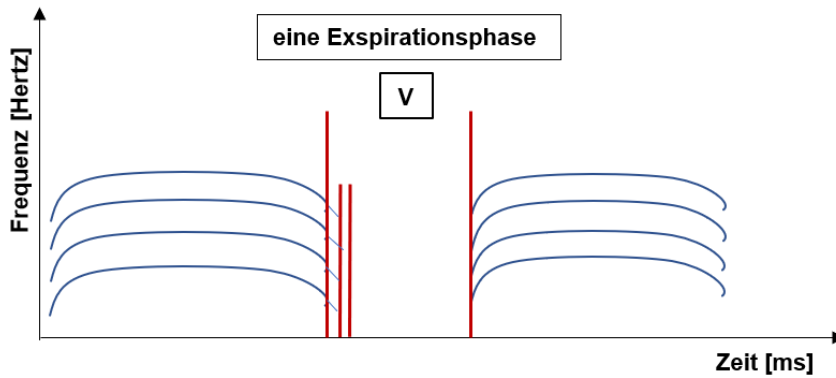


Abbildung 10: Einzelsvokalisation mit einem vollständigen Konstriktionsphänomen
[eigene Darstellung]

Legende: [**ms**] Millisekunden; [**V**] vollständiges Konstriktionsphänomen

In Abbildung 10 ist der zeitliche Verlauf der Grundfrequenz und drei weiterer Harmonischer schematisch dargestellt. Der Bereich zwischen den zwei längeren, vertikalen roten Linien kennzeichnet die vollständige laryngeale Konstriktion innerhalb der Gesamtvokalisation (V). Diese beginnt mit einzelnen glottalen Pulsen (kürzere, rote vertikale Linien) und mündet anschließend in einer Oszillationspause, welche hier durch eine weiße „frequenzfreie“ Fläche im Spektrogramm gekennzeichnet ist. Während der Oszillationspause findet keine Inspiration statt, sodass der ganze Laut während einer Expirationsphase geäußert wird.

2.4.5 Kategorisierung

Bisher wurde in der Fachliteratur keine systematische Kategorisierung laryngealer Konstriktionen beschrieben. Als Pilotprojekt erfolgte, in Abhängigkeit der Graduierung (siehe Kapitel 2.4.4) und der genauen Position/Anzahl der Konstriktionsphänomene innerhalb einer Einzelvokalisation, eine Einordnung dieser in zwölf finale Kategorien (siehe Abbildung 11). Die Definition der Kategorisierung erfolgte in Zusammenarbeit mit den in Kapitel 2.4.2 erwähnten zwei Doktorandinnen.

Abbildung 11 gibt einen Überblick über die Einteilung der zwölf Konstriktionskategorien, welche durch rot konturierte Kästen gekennzeichnet sind.

Die Terminologie der Konstriktionskategorien wurde so gewählt, dass aus dieser die Anzahl, Position und Graduierung der Konstriktionsphänomene innerhalb der Einzelvokalisation sofort erkenntlich waren.

Die Variable „Anzahl“ gibt die Summe der Konstriktionsphänomene innerhalb der Gesamtvokalisation wieder. Differenziert wurde zwischen einem Konstriktionsphänomen und mehr als einem Konstriktionsphänomen innerhalb einer Einzelvokalisation (siehe Kästen „1“ und „>1“ in Abbildung 11). Für jedes Konstriktionsphänomen wurde die genaue Position innerhalb des Lautes bestimmt. Diese konnte entweder am Lautanfang („A“ =Anfang/Anpressen), in der Lautmitte/Ende („M“=Mitte) oder durchgehend („T“=Totale Konstriktion) sein. Traten mehrere Konstriktionsphänomene innerhalb der Einzelvokalisation auf, wurden die entsprechenden Positionen kombiniert („A_M“, „MM“, A_MM“, „Mix“).

In einem letzten Schritt erfolgte die Unterteilung der Konstriktionskategorien hinsichtlich der in Kapitel 2.4.4 erläuterten Graduierung (siehe Zeile „Graduierung [uv/v]“ in Abbildung 11). Wurden vollständige und unvollständige Konstriktionsphänomene innerhalb eines Lautes kombiniert, erfolgte die Einordnung der Vokalisation in die Konstriktionskategorie „(A)Mix“.

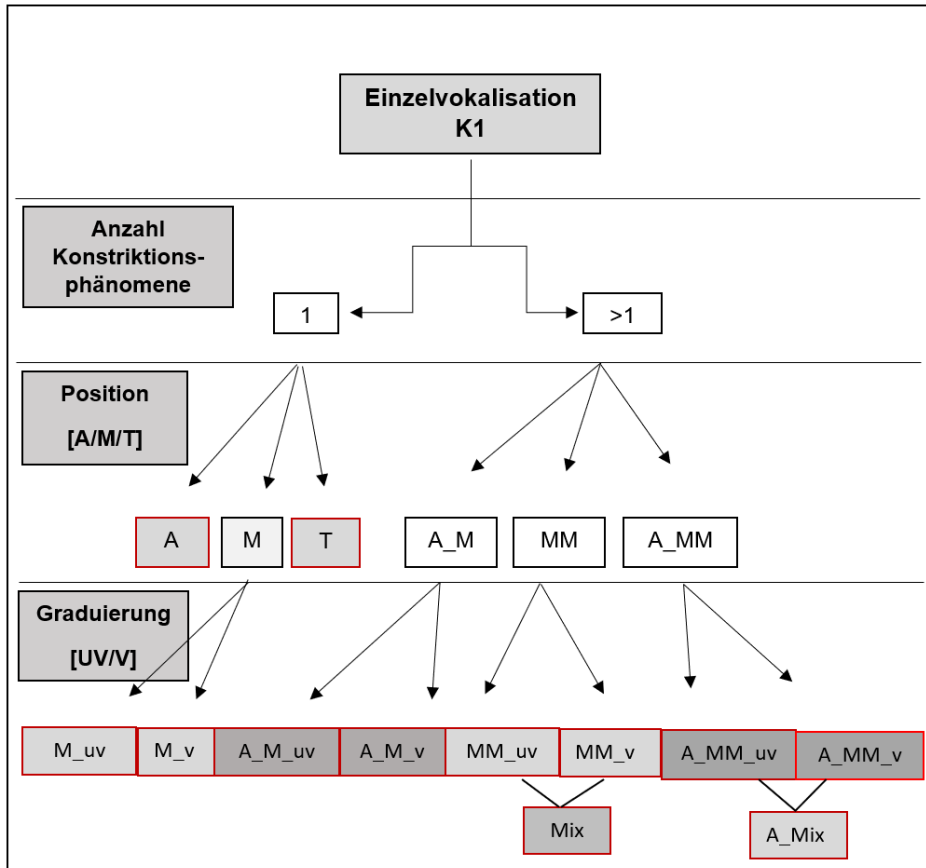


Abbildung 11: Schematische Einordnung von K1 in die Konstriktionskategorien

Legende: **[A]** Konstriktionsphänomen am Lautanfang; **[A_M]** Konstriktionsphänomen am Lautanfang und zusätzlich in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation; **[A_Mix]** Konstriktionsphänomen am Lautanfang und eine zusätzliche Kombination aus einem unvollständigen und vollständigen Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende der Einzelvokalisation **[A_MM]** Konstriktionsphänomen am Lautanfang und zusätzlich mehr als ein Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation; **[M]** ein einzelnes Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende der Einzelvokalisation; **[MM]** mehr als ein Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende der Einzelvokalisation; **[Mix]** Kombination aus einem unvollständigen und vollständigen Konstriktionsphänomen innerhalb einer Einzelvokalisation; **[T]** Kategorie „Totale Konstriktion“; **[_UV]** die Kategorie besteht ausschließlich aus unvollständigen Konstriktionsphänomenen; **[_V]** die Kategorie besteht ausschließlich aus vollständigen Konstriktionsphänomenen; **[Rote Konturierung]** kennzeichnet die zwölf Konstriktionskategorien

Die in Abbildung 11 dargestellten Konstriktionskategorien sind in den nächsten Absätzen detailliert erläutert und in Kapitel 2.4.6 mit Beispielvokalisationen veranschaulicht.

Kategorien mit einem singulären Konstriktionsphänomen:

Konstriktionskategorie Anfang [A]

Einzelvokalisationen, die ausschließlich am Lautanfang ein laryngeales Konstriktionsphänomen mit einer Minstdauer von 50ms bis maximal 1/3 der Gesamtzeit der Vokalisation aufwiesen, wurden der Kategorie „Anfang/Anpressen“ (siehe Kategorie [A] in Abbildung 11) zugeordnet. Hier wurde keine Unterscheidung zwischen vollständigen und unvollständigen Konstriktionen getroffen.

Konstriktionskategorie Totale Konstriktion [T]

Vokalisationen, die ein singuläres, unvollständiges oder vollständiges Konstriktionsphänomen von mindestens 1/3 der Gesamtdauer der Einzelvokalisation aufwiesen, wurden der Kategorie „Totale Konstriktion“ zugewiesen (in Abbildung 11 als „Totale Konstriktion [T]“ bezeichnet).

Bei allen weiteren Kategorien erfolgte eine Differenzierung zwischen unvollständigen [UV] und vollständigen [V] Konstriktionen:

Konstriktionskategorie M_uv und M_v

Kam das Konstriktionsphänomen ausschließlich einmalig in der Lautmitte oder am Lautende der Einzelvokalisation vor, wurde die Einzelvokalisation der Kategorie „M_uv“ oder „M_v“ zugeteilt (siehe Zeile „Position“ der Abbildung 11).

Das „M“ steht in diesem Fall für ein einzelnes Konstriktionsphänomen in der Mitte oder am Ende der Einzelvokalisation. Die Bezeichnung „uv/v“ am Ende der Kategorie bezeichnet die Graduierung (siehe Kapitel 2.4.4).

Kategorien mit mehreren laryngealen Konstriktionsphänomenen:

Konstriktionskategorie A_M_uv und A_M_v

Beinhaltete die Einzelvokalisation sowohl ein Konstriktionsphänomen am Lautanfang als auch in der Lautmitte/Lautende, ergab sich abhängig von der Graduierung die Kategorie „A_M_uv“ oder „A_M_v“ (siehe Zeile „Position“ der Abbildung 11).

Konstriktionskategorie MM_uv und MM_v

Kam es in der Lautmitte/Lautende innerhalb einer Einzelvokalisation zu mehreren Konstriktionsphänomenen, erfolgte gemäß der Graduierung die Einordnung in die Kategorie „MM_uv“ oder „MM_v“. Für eine Zuordnung in diese Kategorien mussten die Konstriktionsphänomene ausschließlich unvollständig oder vollständig graduiert sein. Eine Kombination von unvollständigen mit vollständigen Konstriktionsphänomenen führte zu einer Einordnung in die nachfolgende Kategorie „Mix“.

Konstriktionskategorie Mix und A_Mix

Eine Kombination aus mindestens einer unvollständig graduierten Konstriktion mit einem vollständig graduierten Konstriktionsphänomen innerhalb einer Einzelvokalisation wurde als Kategorie „Mix“ bezeichnet. Bei zusätzlichem Konstriktionsphänomen am Lautanfang ergab sich die Kategorie „A_Mix“.

Konstriktionskategorie A_MM_uv und A_MM_v

Eine Einzelvokalisation mit einem Konstriktionsphänomen zu Beginn des Lautes und mehr als einem unvollständig graduierten Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende, wurde entsprechend der oben beschriebenen Terminologie der Kategorie A_MM_uv zugewiesen. Ein Komfortlaut mit mehr als einem vollständigen Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende und einer zusätzlichen Konstriktion am Lautanfang wurde in die Kategorie A_MM_v eingeordnet.

2.4.6 Beispielvokalisationen der Konstriktionskategorien

Zur Verdeutlichung der im Kapitel 2.4.5 theoretisch beschriebenen Konstriktionskategorien (siehe Abbildung 11) werden in diesem Unterkapitel entsprechende schematische Abbildungen und Beispielvokalisationen in PRAAT ergänzend dargestellt. Zu diesem Zweck werden Beispielvokalisationen für die verschiedenen Grundpositionen laryngealer Konstriktionsphänomene (Anfang, Mitte/Ende, Total) und eine mögliche Kombination dieser (Mix) abgebildet. Alle in Abbildung 11 aufgezeigten möglichen Konstriktionskategorien ergeben sich aus diesen Grundpositionen. Alle nachfolgenden Beispielvokalisationen in PRAAT waren Teil der analysierten Einzelvokalisationen der vorliegenden Arbeit.

2.4.6.1 Konstriktionskategorie Anfang [A]

Wie im vorherigen Kapitel 2.4.5 beschrieben, wurde die Kategorie Anpressen [A] durch Einzelvokalisationen mit einem einzigen Konstriktionsphänomen am Lautanfang gebildet. Die schematische Abbildung 12 visualisiert eine Beispielvokalisation der Konstriktionskategorie A.

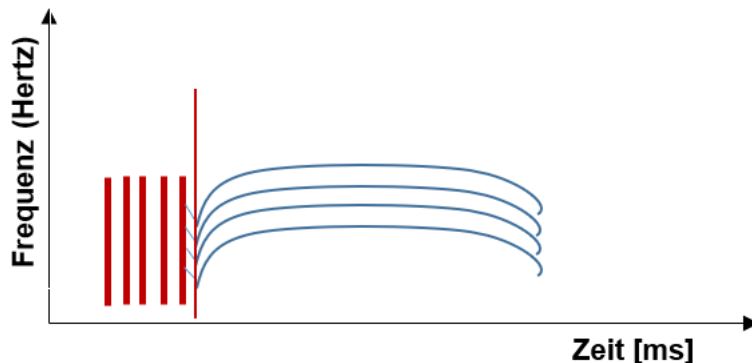


Abbildung 12: Konstriktionskategorie A [eigene Darstellung]

Legende: [ms] Millisekunden

Das Konstriktionsphänomen selbst besteht aus einzelnen glottalen Pulsen (kürzere, rote vertikale Linien) und geht in eine melodische Lautpassage (blaue Rundbögen) über. Der Übergang des Konstriktionsphänomens wird durch eine lange, rote vertikale Linie gekennzeichnet. Innerhalb des Komfortlautes kommt es zu keinem weiteren laryngealen Konstriktionsphänomen.

Die Abbildung 13 visualisiert die schematische Darstellung der Kategorie A in einem PRAAT Ausgabefenster.

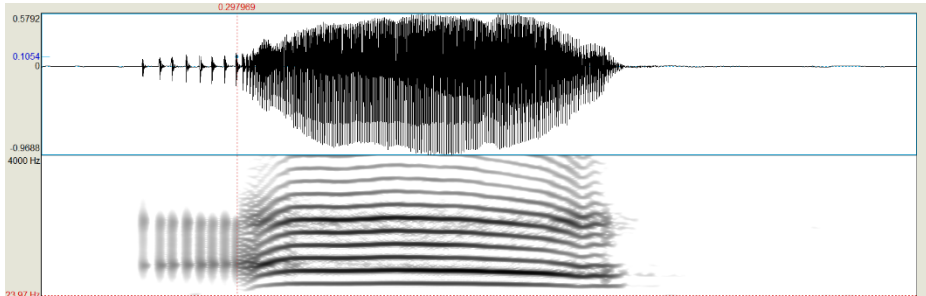


Abbildung 13: Kategorie A in PRAAT

Das obere Fenster der Abbildung 13 ist das Zeitausgabefenster in PRAAT. Darunter ist das Schmalbandspektrum mit dem zeitlichen Verlauf der Grundfrequenz und den Harmonischen der Einzelvokalisation wiedergegeben. Die Beispielvokalisation beginnt mit glottalen Pulsen (schwarze vertikale Linien), welche weniger als 1/3 der Gesamtzeit der Einzelvokalisation ausmachen. Der Übergang in den harmonischen Lautbereich ist mit einer dünnen, roten vertikalen Linie gekennzeichnet.

2.4.6.2 Konstruktionskategorie Totale Konstriktion [T]

Abbildung 14 stellt schematisch einen Komfortlaut der Konstruktionskategorie T dar.

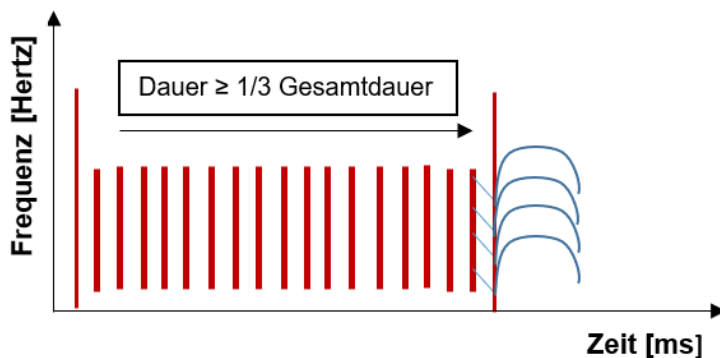


Abbildung 14: Konstruktionskategorie T [eigene Darstellung]

Legende: [ms] Millisekunden

Das Konstruktionsphänomen in der Einzelvokalisation wird durch zwei lange, rote vertikale Linien begrenzt. Das Konstruktionsphänomen selbst besteht aus glottalen Pulsen (kürzere, rote vertikale Linien) und nimmt in der Zeitspanne mehr als 1/3 der Gesamtdauer der Einzelvokalisation ein.

In Abbildung 15 wird die schematische Einzelvokalisation der Abbildung 14 in ein PRAAT Ausgabefenster überführt.

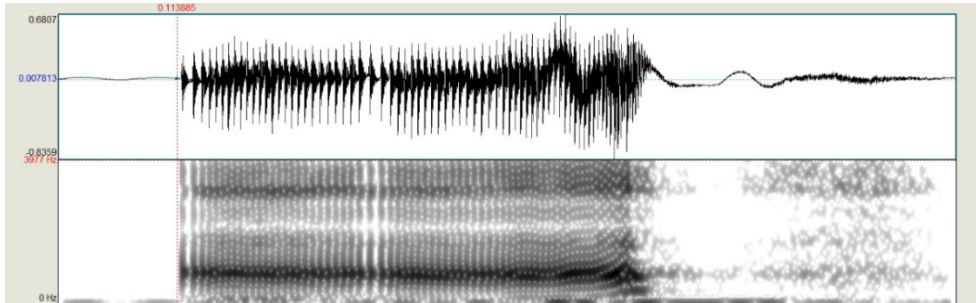


Abbildung 15: Kategorie T in PRAAT

Das obere Fenster der Abbildung 15 zeigt die Zeitbereichsdarstellung in PRAAT. Darunter ist das Schmalbandspektrogramm mit der Grundfrequenz der Einzelvokalisation im zeitlichen Verlauf wiedergegeben. Die Beispielvokalisation besteht im Spektrogramm ausschließlich aus einzelnen glottalen Pulsen (schwarze vertikale Linien) und aus Pressen. Am Lautende kommt es nur andeutungsweise zu einem Übergang in einen harmonischen Bereich.

2.4.6.3 Konstriktionskategorie Lautmitte/Lautende [M_uv/M_v]

Die schematische Abbildung 16 zeigt eine Beispielvokalisation, bei der das Konstriktionsphänomen in der Mitte der Einzelvokalisation verläuft. Da das Konstriktionsphänomen unvollständig ist (keine Oszillationspause) und aus glottalen Pulsen besteht, wurde die Einzelvokalisation der Kategorie M_uv zugeteilt.

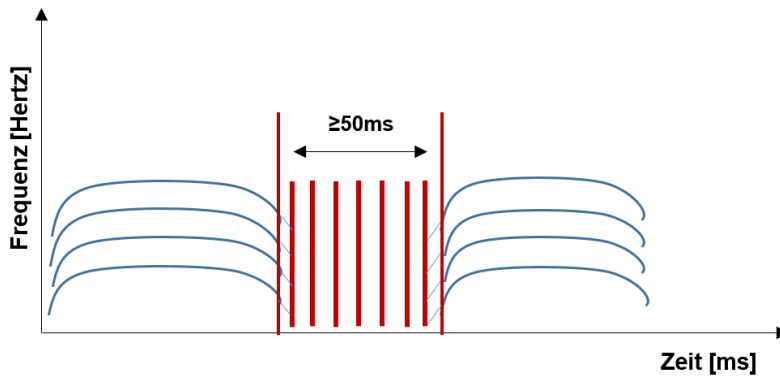


Abbildung 16: Konstriktionskategorie M_uv [eigene Darstellung]

Legende: [ms] Millisekunden

Die Abbildung 16 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf der Grundfrequenz und drei weiterer Harmonischer (blaue Bögen). Die Beispielvokalisation beginnt mit einer harmonischen Lautpassage und geht in ein Konstriktionsphänomen in der Mitte der Einzelvokalisation über. Dieses besteht aus einzelnen glottalen Pulsen (kürzere, rote vertikale Linien). Anschließend erfolgt ein erneuter Übergang in einen harmonischen Bereich. Wie zuvor beschrieben, treten die Konstriktionsphänomene der Kategorie „M“ in der Mitte oder am Ende der Einzelvokalisation auf und haben eine Dauer von mindestens 50 Millisekunden.

Dieses vereinfachte Schema wird nun auf die Beispielvokalisation in Abbildung 17 übertragen. Diese zeigt eine Beispielvokalisation in PRAAT.

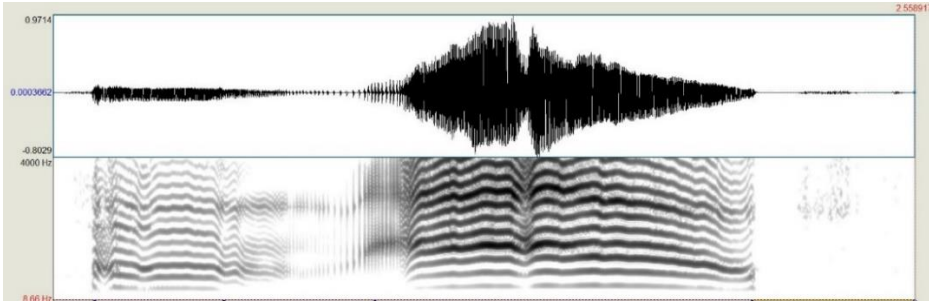


Abbildung 17: Kategorie M_uv in PRAAT

Das obere Fenster der Abbildung 17 zeigt das Zeitausgabefenster in PRAAT. Darunter verläuft das Schmalbandspektrogramm mit der Grundfrequenz und den Harmonischen der Einzelvokalisation im zeitlichen Verlauf. Das Konstriktionsphänomen in der Mitte der Vokalisation ist durch einzelne glottale Pulse im Schmalbandspektrogramm gekennzeichnet.

Ein weiteres Beispiel für eine Beispielvokalisation mit einem Konstriktionsphänomen in der Mitte der Einzelvokalisation ist die Kategorie M_v.

Abbildung 18 gibt schematisch die Funktionsweise der Konstriktionskategorie M_v in einer Expirationsphase wieder.

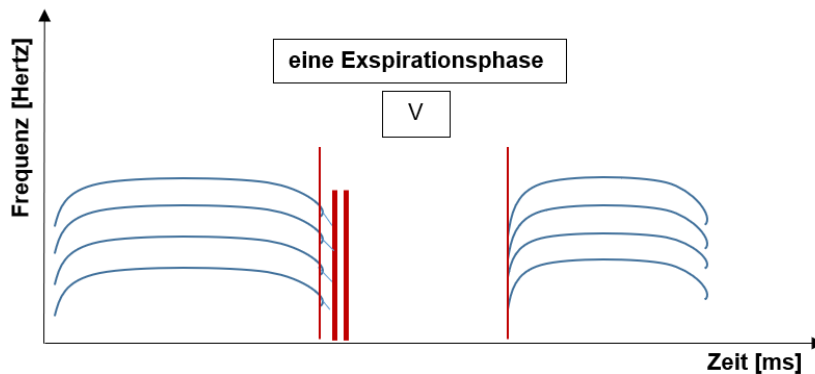


Abbildung 18: Konstriktionskategorie M_v [eigene Darstellung]

Legende: [ms] Millisekunden; [V] vollständiges Konstriktionsphänomen

Die schematische Abbildung 18 zeigt den Frequenzverlauf einer Beispielvokalisation gegen die Zeit. Das laryngeale Konstriktionsphänomen „V“ (begrenzt durch zwei lange, vertikale rote Linien) geht in einzelne glottale Pulse über (kürzere, vertikale rote Linien) und mündet in einem glottalen Stopp (weiße „frequenzfreie“ Fläche). Während der gesamten Einzelvokalisation erfolgt keine Inspiration.

Die Beispielvokalisation in der Abbildung 19 zeigt das entsprechende Korrelat der Kategorie M_v in PRAAT.

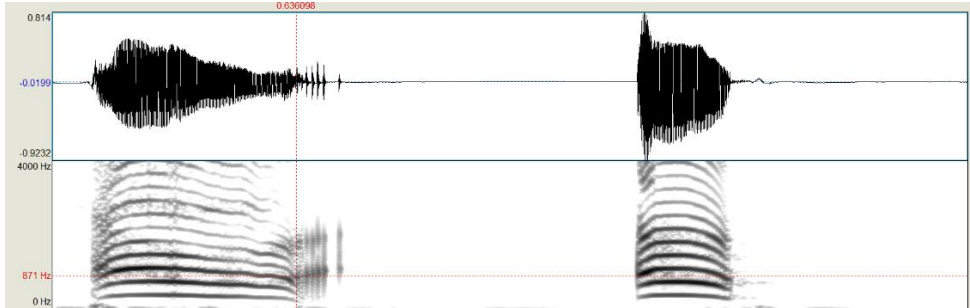


Abbildung 19: Kategorie M_v in PRAAT

Sowohl in dem Zeitausgabefenster in PRAAT (oberes Fenster), als auch im Schmalbandspektrogramm (unteres Fenster) ist der Übergang der harmonischen Lautpassage (schwarze Bögen) in glottale Pulse (schwarze vertikale Linien) und anschließend in eine totale Oszillationspause (weiße „frequenzfreie“ Fläche) zu erkennen. Anschließend geht die Einzelvokalisation in derselben Expirationsphase erneut in eine harmonische Lautpassage über. Die dünne, rote vertikale Linie markiert den Übergang in das Konstriktionsphänomen.

2.4.6.4 Konstriktionskategorie Mix

Die Konstriktionskategorie „Mix“ ist eine Kombination von mindestens einem unvollständigen und mindestens einem vollständigen Konstriktionsphänomen innerhalb von K1 (siehe Abbildung 11). Die Abbildung 20 zeigt schematisch eine mögliche Kombination dieser zwei Konstriktionsphänomene.

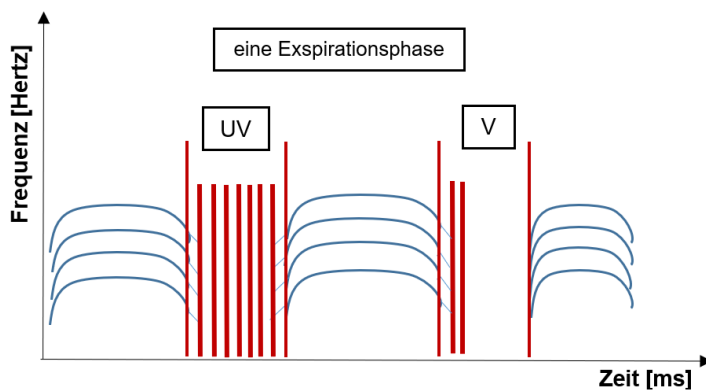


Abbildung 20: Konstriktionskategorie Mix [eigene Darstellung]

Legende: [ms] Millisekunden; [UV] unvollständiges Konstriktionsphänomen; [V] vollständiges Konstriktionsphänomen

Die schematische Abbildung 20 zeigt den Frequenzverlauf einer Beispielvokalisation gegen die Zeit. Das erste Konstriktionsphänomen besteht aus einem unvollständigen Konstriktionsphänomen „UV“. Nach dem Übergang in einen harmonischen Bereich (blaue Bögen) kommt es während derselben Expirationsphase zusätzlich zu einem vollständigen laryngealen Konstriktionsphänomen „V“. Dieses wird durch einzelne glottale Pulse (rote vertikale Linien) und eine totale Oszillationspause gebildet (weiße „frequenzfreie“ Fläche).

Die Abbildung 21 gibt eine Beispielvokalisation der Kategorie Mix in PRAAT wieder.

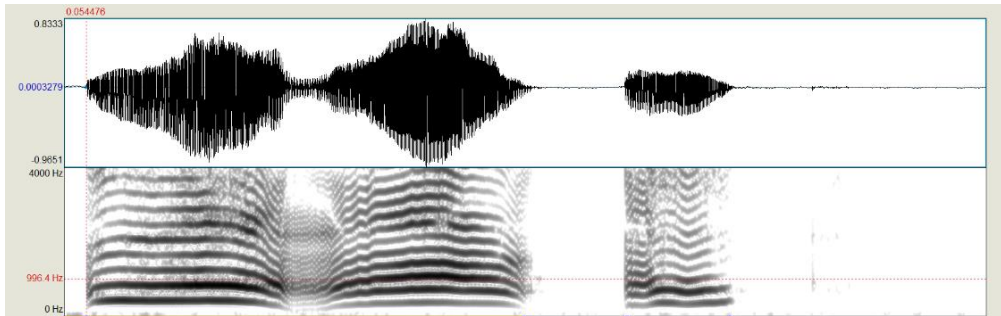


Abbildung 21: Kategorie Mix in PRAAT

Die Abbildung 21 zeigt den zeitlichen Verlauf der Grundfrequenz und ihrer Harmonischen in PRAAT. Die Beispielvokalisation beginnt mit einem harmonischen Bereich und geht in ein Konstriktionsphänomen in der Mitte der Einzelvokalisation über. In derselben Expirationsphase kommt es innerhalb der Vokalisation zu einem glottalen Stopp (weiße „frequenzfreie“ Fläche). Der Laut endet in einem harmonischen Bereich.

2.4.7 Vermessung temporaler Eigenschaften

Der letzte Schritt in der Analyse laryngealer Konstriktionsphänomene war die Vermessung temporaler Eigenschaften der Einzelvokalisationen. Die Definition der temporalen Messgrößen (Tabelle 5) und die verwendete Messmethode (Abbildung 22) wurde in Zusammenarbeit mit den bereits in Kapitel 2.4.2 erwähnten Doktorandinnen erarbeitet. Wie in der Einleitung beschrieben, erfolgte die explorative Analyse der temporalen Eigenschaften laryngealer Konstriktionen an einer Teilmenge der vorliegenden Signale (Basis K1_T). Für diese Teilmenge wurden N=450 Signale von zwei normalhörenden Probanden (VB, VF) ausgewählt. Da bei den hörbeeinträchtigten Probanden insgesamt weniger Signale vorlagen, wurden für eine vergleichbare statistische Analyse auf Signallevel alle Probanden der Gruppe HI in die Analysen temporaler Eigenschaften miteinbezogen (N=372 Signale).

Die Tabelle 5 gibt die Definitionen der temporalen Messgrößen wieder.

Tabelle 5: Temporale Messgrößen

Messgrößen	Definition
Gesamtvokalisationslänge Lges [s]	Umfasst die zeitliche Dauer der gesamten Einzelvokalisation K1.
Konstriktionslänge Lkons [s]	Umfasst die zeitliche Dauer der Konstriktionsphänomene innerhalb einer Einzelvokalisation K1. Jedes Konstriktionsphänomen innerhalb einer Einzelvokalisation wurde separat vermessen.
Anteil_K [%]	Quotient aus der Konstriktionslänge [Lkons] und der Gesamtvokalisationslänge [Lges] multipliziert mit 100. Konstriktionsphänomene innerhalb einer Einzelvokalisation wurden in ihrer zeitlichen Länge summiert.

Die Abbildung 22 gibt einen schematischen Überblick über die Analyseschritte zur Vermessung der temporalen Eigenschaften von Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen [K1]. Die einzelnen Analyseschritte werden anschließend im Detail in ihrer Funktionsweise erläutert.

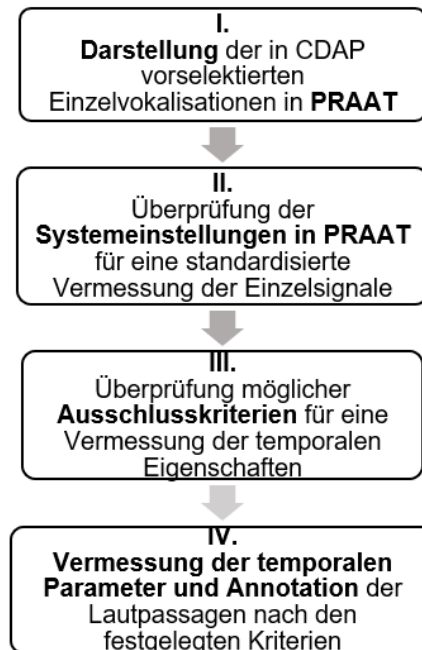


Abbildung 22: Ablauf der Analyse temporaler Eigenschaften von Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen

Die im Albenmodus des Programms CDAP visuell und auditiv vorselektierten Einzelvokalisationen (siehe Kapitel 2.4.2) wurden für die Analyse temporaler Eigenschaften einzeln in das Programm PRAAT geladen (siehe Analyseschritt I in

Abbildung 22). Um alle Einzelvokalisationen nach gleichen Kriterien zu vermessen, wurden die folgenden Standardeinstellungen für die Berechnung und Darstellung der Frequenzspektrogramme in PRAAT ausgewählt und während der gesamten weiteren Datenanalyse nicht verändert:

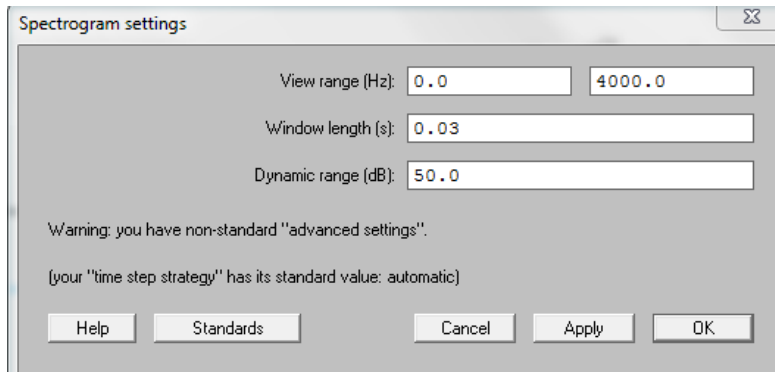


Abbildung 23: Standardisierte Systemeinstellungen für die Berechnung und Darstellung der Frequenzspektrogramme in PRAAT

„View range“ gibt den dargestellten Frequenzbereich an (0 Hz bis 4000 Hz). Durch „Window length“ wird die Bandbreite der spektralen Analyse gesteuert. Für eine optimale Analyse von Schmalbandspektrogrammen wird in dem Handbuch für phonetische Analysen in PRAAT eine Bandbreite von 0.03 Sekunden empfohlen (Meyer, 2017, S. 38). „Dynamic range“ variiert die Farbintensität des Spektrogramms: Höhere Werte lassen das Spektrogramm schwärzer in der Intensität erscheinen, niedrigere Werte ergeben eine hellere Intensität.

Vor dem Beginn der Vermessung der Vokalisationen wurden zunächst die nachfolgenden Ausschlusskriterien für jede Einzelvokalisation mit einem laryngealen Konstriktionsphänomen [K1] überprüft (siehe Analyseschritt III in Abbildung 22). Einzelvokalisationen, die eines der nachfolgenden Ausschlusskriterien aufwiesen, wurden in die Analyse der Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen miteingeschlossen, jedoch nicht für die Analyse der temporalen Eigenschaften in PRAAT vermessen:

- Abgeschnittene Audiodatei der Einzelvokalisation
- Rauschanteile oder Hintergrundgeräusche während der Einzelvokalisation.

War das exakte Lautende oder der Lautanfang im Spektrogramm der Einzelvokalisation nicht erkenntlich, wurde die Vokalisation für eine Vermessung in PRAAT ausgeschlossen. Rauschanteile des Audiosignals erschwerten die visuelle und auditive

Identifikation von Übergängen in laryngeale Konstriktionsphänomene, sodass auch diese Einzelvokalisationen von der Vermessung ausgeschlossen wurden. Für die standardisierten Vermessungen der Einzelvokalisationen in PRAAT (siehe Analyseschritt IV in Abbildung 22) wurde in Zusammenarbeit mit Michael Eisenmann eines seiner selbst geschriebenen und im ZVES-System implementierten Textskripte modifiziert (MichaelsAnnotationHelper5_classifier.praat). Das Textskript ermöglichte nicht nur eine manuelle Annotation der in Tabelle 5 definierten temporalen Messgrößen, sondern verfügte auch über eine Kommentarfunktion für die Einordnung von K1 in einen Vokalisationstyp (siehe Kapitel 2.4.3) und in eine Konstriktionskategorie (siehe Kapitel 2.4.5). Nach einer vollständigen Vermessung und Annotation der Einzelvokalisationen von K1 wurden die annotierten Zeitenmessungen und erfassten qualitativen Eigenschaften der Einzelvokalisationen verlustfrei extrahiert und in Exceltabellen überführt.

Die Tabelle 6 gibt einen Überblick über die einheitliche Annotation der Einzelvokalisationen in PRAAT.

Tabelle 6: Annotation der Einzelvokalisationen in PRAAT

Annotation der Einzelvokalisationen in PRAAT	Definition	Funktion für die Vermessung von K1
nv	"Nicht zu vermessen" Kennzeichnet Lautpassagen der Einzelvokalisation, die für die Vermessung nicht relevant sind (Rauschanteile, Störgeräusche, Lautpassagen vor dem ersten oder nach dem letzten Amplitudenausschlag der Einzelvokalisation)	Für die Vermessung nicht relevant
e	"Egressive Phonation" Kennzeichnet nur Lautpassagen der Einzelvokalisation, die harmonische Bereiche enthalten Startpunkt der Vermessung: Erster Amplitudenausschlag in der Zeitbereichsdarstellung des Einzelsignals Endpunkt der Vermessung: Letzter Amplitudenausschlag im Zeitbereichsdarstellung des Einzelsignals	Teil der Gesamtvokalisationslänge [Lges] (Lges= e+p(A/B/C/D/E))
p (A/B/C/D/E)	"Pause" Kennzeichnet alle Lautpassagen der Einzelvokalisation, die Konstriktionsphänomene enthalten. Entsprechend der Graduierung des Konstriktionsphänomens wurde zusätzlich der Buchstabe A-E annotiert Startpunkt der Vermessung: 1. Regelzacke beim Übergang in eine laryngeale Konstriktion Endpunkt der Vermessung: 2. Regelzacke beim Übergang aus einer laryngealen Konstriktion	Konstriktionslänge [Lkons] innerhalb der Einzelvokalisation Teil der Gesamtvokalisationslänge [Lges]

In den nachfolgenden Absätzen wird auf die Anwendung der in Tabelle 6 dargestellten Annotation mit entsprechenden Beispielvokalisationen eingegangen:

Abbildung 24 zeigt die manuelle Kennzeichnung des Lautanfangs und die entsprechende Annotation einer Beispielvokalisation in PRAAT. Da in dem Schmalbandspektrogramm ein präziser Anfangspunkt der Einzelvokalisation schwierig abzugrenzen ist, erfolgte die möglichst exakte Bestimmung des Lautanfangs und Lautendes durch die Amplitudenausschläge im Zeitausgabefenster. Für eine hohe Auflösung im Zeitausgabefenster wurde das dargestellte Zeitintervall der Einzelvokalisation stark verkleinert.

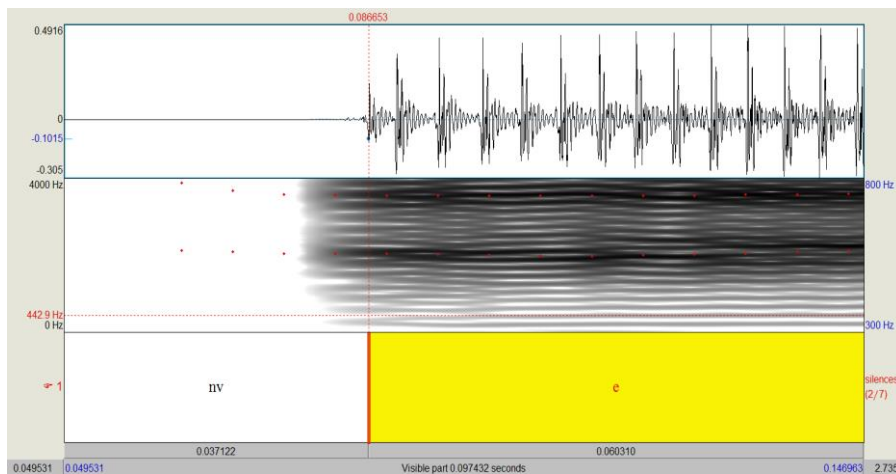


Abbildung 24: Darstellung des PRAAT Ausgabefensters zur Cursorsetzung (rot) zur Markierung des Startpunkts der Einzelvokalisation

In dem oberen Fenster der Abbildung 24 wird die Zeitbereichsdarstellung mit dem Amplitudenverlauf der Vokalisation dargestellt. Das zweite Fenster gibt das Schmalbandspektrogramm der Einzelvokalisation wieder. Das unterste große Fenster, das hier farblich hervorgehoben ist, enthält das Eingabefeld für die Annotation der Lautpassagen.

Der Beginn des ersten Amplitudenschlages im Zeitausgabefenster wurde manuell im Eingabefeld markiert und ist in der Abbildung 24 mit einer dünnen, roten vertikalen Linie hervorgehoben. Der harmonische Bereich des Lautes wurde gemäß der Tabelle 6 im Eingabefeld mit "e" annotiert (siehe gelber Bereich der Abbildung 24). Der Bereich vor dem Beginn der Einzelvokalisation ist für die Vermessung der Konstruktionsvokalisation nicht relevant („nv“: nicht zu vermessen).

Die Abbildung 25 zeigt die Vermessung des Konstruktionsphänomens innerhalb derselben Beispielvokalisation. Zur besseren Darstellung der Vermessung wurde der Zeitausschnitt der Einzelvokalisation in PRAAT vergrößert.

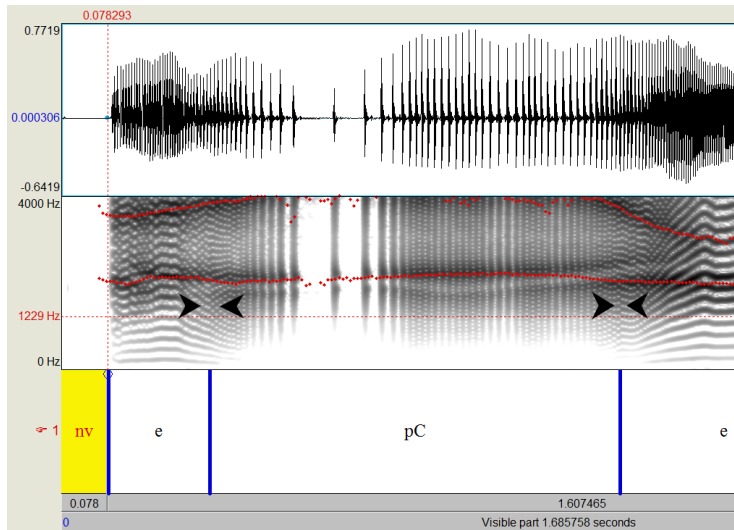


Abbildung 25: Darstellung des PRAAT Ausgabefensters bei der Vermessung der Konstriktionslänge [Lkons]

In dem oberen Fenster der Abbildung 25 wird das Zeitausgabefenster mit dem Amplitudenverlauf der Vokalisation dargestellt. Das mittlere Fenster gibt das Schmalbandspektrogramm der Einzelvokalisation im zeitlichen Verlauf wieder. Das unterste Fenster, das hier farblich hervorgehoben ist, enthält das Eingabefeld für die Annotation der Lautpassagen. Die horizontalen, punktförmigen, roten Linien im Schmalbandspektrogramm zeigen die ersten beiden Formanten der Vokalisation, welche für die Messmethode der vorliegenden Arbeit nicht relevant waren.

Beim Übergang des harmonischen Lautbereiches in das Konstriktionsphänomen und wieder zurück entstehen im Spektrogramm zwei Regelzacken, die in der hier durchgeführten Messmethode den zeitlichen Anfangs- und Endpunkt des Konstriktionsphänomens innerhalb der Einzelvokalisation markierten. Zur besseren Darstellung wurden der Anfangs- und Endpunkt des laryngealen Konstriktionsphänomens innerhalb der Einzelvokalisation von der Autorin der vorliegenden Arbeit durch zusätzliche schwarze Pfeile im Spektrogramm kenntlich gemacht. Gemäß der standardisierten Annotation (siehe Tabelle 6) wurde das Konstriktionsphänomen mit „p“ gekennzeichnet und entsprechend der Graduierung (A/B/C/D/E) im Eingabefeld benannt. Da das Konstriktionsphänomen in der Abbildung 25 aus glottalen Pulsen besteht, wurde dieses mit "pC" annotiert. Die harmonischen Bereiche der Einzelvokalisation wurden, analog zu der vorherigen Abbildung 24, mit „e“ gekennzeichnet.

In der Abbildung 26 wird die vollständig vermessene und annotierte Einzelvokalisation in PRAAT dargestellt.

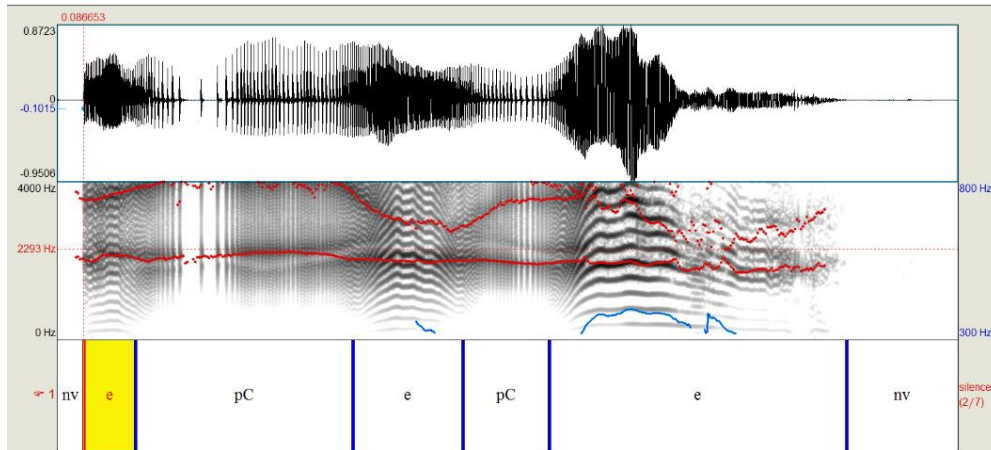


Abbildung 26: Darstellung des PRAAT Ausgabefensters der vollständigen Vermessung der Einzelvokalisation

In dem oberen Fenster wird die Zeitbereichsdarstellung mit dem Amplitudenverlauf der gesamten Vokalisation wiedergegeben. Das mittlere Fenster zeigt das Schmalbandspektrogramm der Einzelvokalisation im zeitlichen Verlauf. Das unterste Fenster, das hier farblich hervorgehoben ist, enthält das Eingabefenster mit den finalen Annotationen der Lautpassagen. Dabei setzt sich die Gesamtvokalisationslänge aus allen mit „e“ und „pC“ annotierten Lautbereichen zusammen. Die Dauer der zwei Konstriktionsphänomene innerhalb der Einzelvokalisation wird ausschließlich durch die mit „pC“ annotierten Passagen gebildet. Die horizontalen, roten Linien im Schmalbandspektrogramm kennzeichnen die Formanten der Einzelvokalisation und waren für die Messmethode der vorliegenden Arbeit nicht relevant.

Die in PRAAT vermessenen temporalen Messgrößen und annotierten Lautpassagen wurden anschließend in eine Exceltabelle extrahiert und standen für statistische Analysen zur Verfügung (siehe Kapitel 2.5).

2.5 Statistische Analyse

Die in PRAAT aufbereiteten Einzelvokalisationen wurden zunächst in Tabellen des Programmes Microsoft Excel (Version 2111) erfasst. Für eine statistische Analyse wurden diese anschließend in das Programm SPSS Statistics (IBM, Ehningen, Deutschland, Version 27.0 für Windows) überführt. Die Analyse der Auftrittshäufigkeiten der Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen erfolgte sowohl auf Kindlevel, als auch auf Signallevel. Die Analyse der qualitativen und quantitativen Eigenschaften laryngealer Konstriktionsphänomene erfolgte ausschließlich auf Signallevel.

Für die deskriptive Statistik wurden Histogramme, Fehlerbalken und Boxplot Diagramme erstellt. Die Box selbst beinhaltet die mittleren 50% des Datensatzes. Die obere Boxplotbegrenzung wird durch die 75% Perzentile und die untere Begrenzung durch die 25% Perzentile dargestellt. Die horizontale, mittlere Linie innerhalb des Boxplots symbolisiert den Median. Zusätzlich enthalten die Boxplots äußere Markierungen (Whiskers). Die Whiskers markieren das Minimum und Maximum des Datensatzes und sind maximal 1,5 mal so lang wie der Interquartilbereich. Eine große Spannweite der Whiskers stellt demnach eine große Streuung der Werte dar, eine geringe Spannweite eine kleine Streuung. Werte, die außerhalb der Whiskers liegen, werden Ausreißer genannt. Liegen diese zwischen 1,5 und 3 Boxlängen vom Interquartilbereich entfernt, werden diese mittels kleiner Kreise dargestellt.

Mit dem Ziel, die hierarchischen Datenstrukturen der vorliegenden Arbeit in den statistischen Analysen zu berücksichtigen, wurden die statistischen Analysen auf Signallevel mittels gemischter Modelle durchgeführt. Für die Berücksichtigung aller Voraussetzungen der gemischten Modelle, der richtigen Durchführung in SPSS und der Interpretation der Ergebnisse, war die Autorin der vorliegenden Arbeit Mitglied in einer Statistikakademie. Dabei wurden alle deskriptiven Statistiken und gemischten Modelle von der Autorin der vorliegenden Arbeit selbstständig erstellt. Als Signifikanzniveau wurde für alle Testverfahren $p=0,05$ festgelegt.

3 Ergebnisse

3.1 Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionsphänomene im gesamten Beobachtungszeitraum

In Tabelle 7 werden die absoluten und relativen Auftrittshäufigkeiten von Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen [K1] an allen geäußerten Vokalisationen [K1 + K0] für jeden einzelnen Probanden dargestellt.

Tabelle 7: Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen für alle Probanden der Gruppe NH und HI im gesamten Beobachtungszeitraum

Gruppe	Säugling	N [K0+ K1]	N [K0]	N [K1]	% [K1]
Gruppe NH	VB	749	593	156	20,83
	VD	557	397	160	28,73
	VE	436	287	149	34,17
	VF	1761	1288	473	26,86
	VH	365	275	90	24,66
	VI	622	502	120	19,29
	VL	406	303	103	25,37
Σ NH		4896	3645	1251	25,37
Gruppe HI	AF	73	52	21	28,77
	AH	1102	895	207	18,78
	AV	299	211	88	29,43
	AJ	125	108	17	13,60
	BE	44	44	0	0,00
	CQ	150	121	29	19,33
	DA	169	156	13	7,69
	DQ	48	36	12	25,00
	ER	122	87	35	28,69
	FF	22	18	4	18,18
	FI	61	45	16	26,23
Σ HI		2215	1773	442	19,33

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge; N [K1+ K0] absolute Anzahl der Gesamtvokalisationen; N [K1] absolute Anzahl von Vokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen; N [K0] absolute Anzahl von Vokalisationen ohne laryngeale Konstriktionsphänomene; [NH] normalhörende Säuglinge; % [K1] relative Anzahl von Vokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen

Betrachtet man deskriptiv den gesamten Beobachtungszeitraum, äußert die Probandengruppe NH im kindgemittelten Median mehr Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen (25,37%) als die Probandengruppe HI (19,33%).

Abbildung 27 gibt mittels Boxplots die prozentualen Auftrittshäufigkeiten von K1 für den gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich wieder. Grundlage sind die in Tabelle 7 auf Kindebene dargestellten Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionsphänomene an allen geäußerten Komfortvokalisationen des vollständigen Probandenkollektivs (N=18), die für die Darstellung in Abbildung 27 zu Probandengruppenwerten gemittelt wurden.

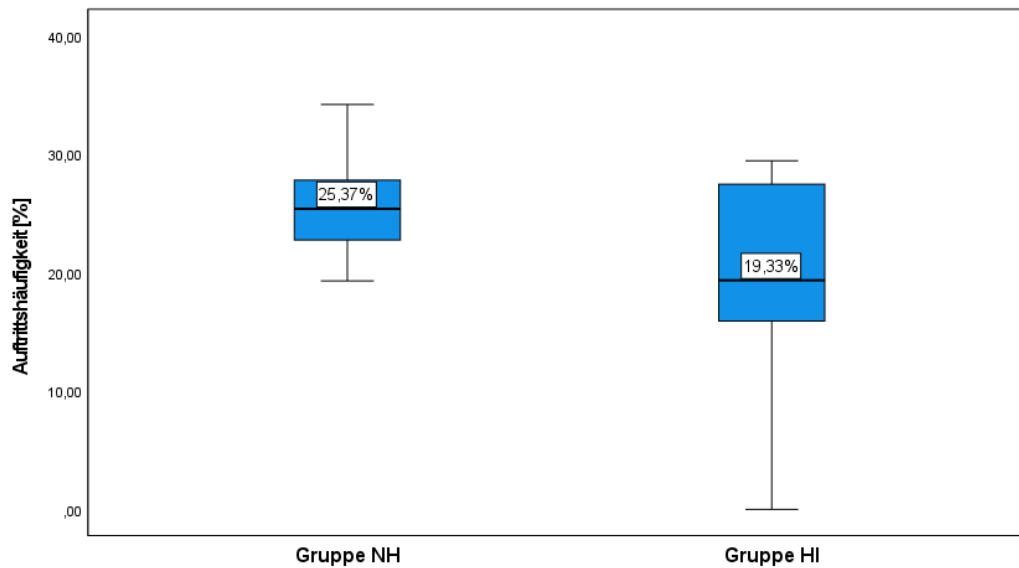


Abbildung 27: Boxplot Diagramm der Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionsphänomene im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich

Nach Shapiro Wilk kann für die Auftrittshäufigkeiten von K1 sowohl in der Gruppe NH ($p=0,878$), als auch in der Gruppe HI ($p=0,181$) eine Normalverteilung angenommen werden.

Ein T-Test für unabhängige Stufen zeigt keinen signifikanten Unterschied ($p=0,139$) in den Auftrittshäufigkeiten von K1 im Probandengruppenvergleich. Varianzgleichheit nach Levene kann angenommen werden ($p=0,136$).

3.2 Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionsphänomene im Altersverlauf

Für die deskriptive Analyse eines möglichen Alterseffektes in den Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen [K1] wurden die an den einzelnen Aufnahmetagen erfassten Einzelvokalisationen der Säuglinge monatlich getrennt analysiert. Somit wurden in dem 3. Lebensmonat alle Einzelvokalisationen untersucht, die im Zeitraum des 61.-90. Lebenstages der Säuglinge geäußert wurden. Der 4. Lebensmonat enthielt alle Einzelvokalisationen zwischen dem 91.-120. Lebenstag der Säuglinge und der 5. Lebensmonat schloss alle geäußerten Vokalisationen zwischen dem 121.-150. Lebenstag ein.

Tabelle 8 gibt die monatliche Anzahl der Gesamtvokalisationen [N], die absolute [N_C] und relative Anzahl [%] der Vokalisationen mit enthaltenen laryngealen Konstriktionsphänomenen [K1] auf Kindebene wieder.

Tabelle 8: Anzahl der Gesamtvokalisationen [K1 + K0], absolute N [K1] und relative % [K1] Anzahl laryngealer Konstriktionen im Altersverlauf im Probandengruppenvergleich

Gruppe	Monat	3. Monat			4. Monat			5. Monat		
		Säugling	N [K1 + K0]	N [K1]	% [K1]	N [K1 + K0]	N [K1]	% [K1]	N [K1 + K0]	N [K1]
Gruppe NH	VB	229	44	19,21%	259	58	22,39%	261	54	20,69%
	VD	62	17	27,42%	203	37	18,23%	292	106	36,00%
	VE	98	33	33,67%	109	52	47,71%	229	64	27,95%
	VF	268	67	25,00%	957	255	26,65%	536	151	28,17%
	VH	37	6	16,22%	187	32	17,11%	141	52	36,88%
	VI	217	30	13,82%	238	75	31,51%	167	15	8,98%
	VL	47	14	29,79%	82	13	15,85%	277	76	27,44%
Gruppe HI	AF				73	21	28,77%			
	AH	104	25	24,04%	296	70	23,65%	702	112	15,95%
	AV	70	16	22,86%	167	56	33,53%	62	16	25,81%
	AJ	73	11	15,07%				52	6	11,54%
	BE	44	0	0,00%						
	CQ				150	29	19,33%			
	DA	169	13	7,69%						
	DQ				48	12	25,00%			
	ER				27	12	44,44%	95	23	24,21%
	FF				22	4	18,18%			
FI				61	16	26,23%				

Legende: [NH] normalhörende Säuglinge; [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge; N [K1+ K0] absolute Anzahl der Gesamtvokalisationen; N [K1] absolute Anzahl von Vokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen; % [K1]: relative Anzahl von Vokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen

Abbildung 28 zeigt mittels eines Boxplotdiagramms die in Tabelle 8 dargestellten deskriptiven Auftrittshäufigkeiten von K1 im Probandengruppenvergleich, die zu monatlichen Probandengruppenwerten gemittelt wurden.

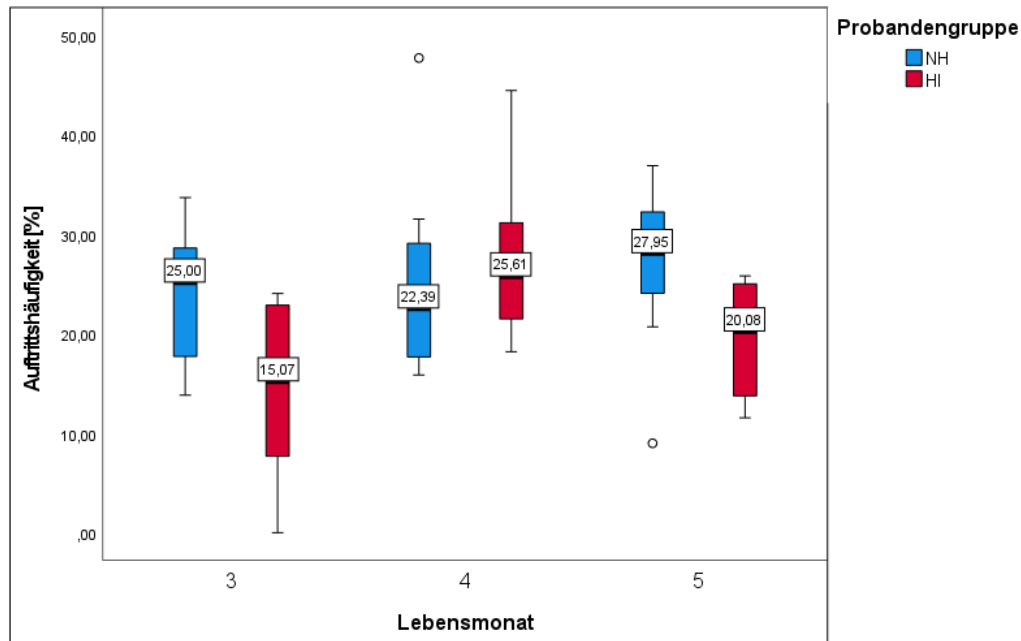


Abbildung 28: Boxplot Diagramm der kindgemittelten monatlichen prozentualen Auftrittshäufigkeit laryngealer Konstriktionsphänomene im Probandengruppenvergleich

Die Datenbeschriftungen in den weißen Kästen innerhalb der Boxen geben den Median der monatlichen Auftrittshäufigkeiten von K1 wieder.

Vergleicht man die in der Abbildung 28 dargestellten Entwicklungsverläufe von K1 zwischen den beiden Probandengruppen, zeigt sich bei der Gruppe NH ein annähernd konstanter monatlicher Verlauf von K1 (blaue Boxplots).

Die Gruppe HI hingegen zeigt einen glockenartigen Verlauf in den monatlichen Auftrittshäufigkeiten von K1 (rote Box plots). Diese erreichen im 4. Monat einen gruppengemittelten Maximalwert (25,61%) und fallen im 5. Monat erneut ab.

Um einen möglichen Alterseffekt zwischen den Probandengruppen zu analysieren, wurde ein gemischtes verallgemeinertes lineares Modell auf Signalebene der Einzelvokalisationen erstellt. Die Tabelle 9 gibt die statistischen Ergebnisse des finalen verallgemeinerten linearen gemischten Modells für die Auftrittshäufigkeiten von K1 und K0 wieder. Als Modellgütekriterium für das gemischte Modell wurde der Akaike Wert [AIC] herangezogen.

Tabelle 9: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für die Auftrittshäufigkeiten von K1

Modellterm	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Unterer	Oberer
Konstanter Term	0,794	0,1107	7,176	<0,001	0,577	1,011
Gruppe=1 [Gruppe 2=NH]	-0,066	0,1611	-0,409	0,683	-0,382	0,250
Monat	0,094	0,0500	1,878	0,060	-0,004	0,192
Monat*[Gruppe=1] [Gruppe 2=NH]	-0,149	0,0570	-2,622	0,009	-0,261	-0,038

Anmerkung: Modellgüte [AIC]: 24875; Zufälliger konstanter Term: Schätzer=0,084, p=0,051

Die Ergebnisse in Tabelle 9 zeigen, dass es einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen dem Alter und der Probandengruppe gibt (p=0,009). Dies spiegelt sich auch in den deskriptiven Ergebnissen auf Kindebene in Abbildung 28 wider. Da durch die signifikante Interaktion die Haupteffekte nicht interpretiert werden können, wurden separat für jeden Lebensmonat (Tabelle 10) und getrennt für jede Probandengruppe (Tabelle 11) verallgemeinerte lineare gemischte Modelle erstellt.

Tabelle 10: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für die Auftrittshäufigkeit von K1, monatlich getrennt

Monat	Modellterm	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall		Akaike [AIC]	Zufälliger Konstanter Term	
						Unterer	Oberer		Schätzer	Signifikanz
3	Konstanter Term	1,132	0,1961	5,770	<0,001	0,719	1,544	5119	0,099	0,114
	Gruppe=1 [Gruppe 2=NH]	-0,393	0,2145	-1,832	0,101	-0,880	0,094			
4	Konstanter Term	0,619	0,0707	8,758	0,003	0,398	0,841	9972	0,058	0,055
	Gruppe=1 [Gruppe 2=NH]	0,057	0,1306	0,436	0,674	-0,243	0,357			
5	Konstanter Term	0,879	0,1014	8,668	0,023	0,333	1,424	9883	0,078	0,079
	Gruppe=1 [Gruppe 2=NH]	-0,231	0,1512	-1,525	0,216	-0,686	0,225			

Die Ergebnisse der Tabelle 10 zeigen, dass es für die Auftrittshäufigkeiten von K1 in allen drei Monaten keinen signifikanten Probandengruppenunterschied gibt.

Im dritten Lebensmonat ist die Signifikanz zwischen den Probandengruppen jedoch am geringsten ($p=0,101$), was sich auch in der Abbildung 28 durch den größten Probandengruppenunterschied in den kindgemittelten Auftrittshäufigkeiten von K1 widerspiegelt.

In Tabelle 11 wird ein möglicher Alterseffekt (Monat) für die Auftrittshäufigkeiten von K1 probandengruppenspezifisch betrachtet.

Tabelle 11: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für die Auftrittshäufigkeiten von K1, Probandengruppen getrennt

Gruppe	Modellterm	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall		Akaïke [AIC]	Zufälliger Konstanter Term	
						Unterer	Oberer		Schätzer	Signifikanz
NH	Konstanter Term	0,732	0,0762	9,604	<0,001	0,573	0,890	16934	0,018	0,147
	Monat	-0,058	0,0415	-1,403	0,161	-0,139	0,023			
HI	Konstanter Term	0,797	0,1509	5,283	<0,001	0,461	1,133	7950	0,185	0,094
	Monat	0,113	0,0581	1,950	0,051	-0,001	0,227			

Legende: **[HI]** hörbeeinträchtigte Säuglinge; **[NH]** normalhörende Säuglinge

In der Gruppe NH zeigt sich kein signifikanter Alterseffekt in den Auftrittshäufigkeiten von K1 ($p=0,161$). In der Gruppe HI gibt es einen Alterseffekt, der grenzwertig signifikant ist ($p=0,051$).

3.3 Analyse qualitativer Ausprägungsformen auf Signalebene

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Analyseergebnisse der qualitativen Ausprägungsformen der Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen [K1] auf Signalebene wiedergegeben. Hierbei werden die Auftrittshäufigkeiten der qualitativen Ausprägungsformen (Vokalisationstyp, Graduierung, Kategorisierung) sowohl deskriptiv, als auch statistisch mittels gemischter Modelle probandengruppen- und altersspezifisch analysiert.

3.3.1 Analyse des Vokalisationstyps im Probandengruppenvergleich

Dem Kapitel 2.4.3 kann entnommen werden, dass Vokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen [K1] in zwei verschiedene Vokalisationstypen [U und B] eingeteilt wurden. Insgesamt konnten alle Einzelvokalisationen des gesamten Probandenkollektivs mit enthaltenen laryngealen Konstriktionen ($N [K1] = 1693$) eindeutig einem in einen der beiden Vokalisationstypen eingeordnet werden.

Die Tabelle 12 gibt für den gesamten Beobachtungszeitraum die Zuordnung von K1 in die beiden Vokalisationstypen im Probandengruppenvergleich wieder.

Tabelle 12: Absolute Häufigkeit der Vokalisationstypen [U und B] für den gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich

Gruppe	Vokalisationstyp	Häufigkeit [N]
NH	Vokalisationstyp U	1027
	Vokalisationstyp B	224
Σ NH		1251
HI	Vokalisationstyp U	309
	Vokalisationstyp B	133
Σ HI		442

Legende: **[HI]** hörbeeinträchtigte Säuglinge; **[N]** absolute Häufigkeit **[NH]** normalhörende Säuglinge

Die Abbildung 29 visualisiert die prozentualen Auftrittshäufigkeiten der beiden Vokalisationstypen für den gesamten Beobachtungszeitraum mittels eines Kreisdiagramms.

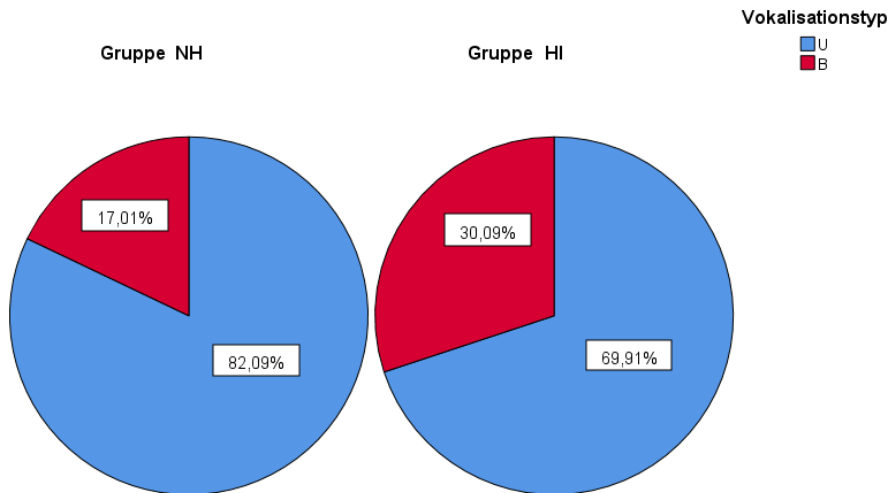


Abbildung 29: Kreisdiagramm der prozentualen Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen [U und B] im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich

Die Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen [U und B] werden für die Gruppe NH im linken Kreissymbol und für die Gruppe HI im rechten Kreissymbol abgebildet. Die weißen Kästen innerhalb der Kreisausschnitte wurden von der Autorin der vorliegenden Arbeit manuell ergänzt. Diese spiegeln den prozentualen Anteil der Vokalisationstypen innerhalb der jeweiligen Probandengruppe wider.

Verglichen mit der Gruppe NH äußert die Gruppe HI im gesamten Beobachtungszeitraum prozentual häufiger Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen, die zusätzlich Konsonanten enthalten (siehe Vokalisationstyp B Gruppe HI: 30,09%).

3.3.2 Analyse des Vokalisationstyps im Altersverlauf

Die absoluten monatlichen Häufigkeiten der Vokalisationstypen U und B werden in Tabelle 13 im Probandengruppenvergleich dargestellt.

Tabelle 13: Absolute Auftretshäufigkeiten der Vokalisationstypen [U und B] im monatlichen Altersverlauf im Probandengruppenvergleich

Gruppe	Monat	Vokalisationstyp	Häufigkeit [N]
NH	3	U	176
		B	35
		Gesamt	211
	4	U	414
		B	108
		Gesamt	522
	5	U	437
		B	81
		Gesamt	518
HI	3	U	52
		B	13
		Gesamt	65
	4	U	163
		B	57
		Gesamt	220
	5	U	94
		B	63
		Gesamt	157

Legende: **[HI]** hörbeeinträchtigte Säuglinge **[N]** Häufigkeit; **[NH]** normalhörende Säuglinge

In der Abbildung 30 werden zur besseren Darstellung des monatlichen Altersverlauf der beiden Vokalisationstypen die deskriptiven Ergebnisse der Tabelle 13 in Form von Säulendiagrammen abgebildet.

Vergleicht man die monatlichen Entwicklungsverläufe der beiden Probandengruppen in der Abbildung 30 miteinander, zeigt sich bei der Gruppe NH eine monatlich annähernd gleichbleibende Verteilung zwischen den Vokalisationstypen U und B. Dahingegen zeigt sich in der Gruppe HI ein kontinuierlicher prozentualer Anstieg des Vokalisationstypen B und dementsprechend eine fortlaufend monatliche Abnahme des Vokalisationstypen U.

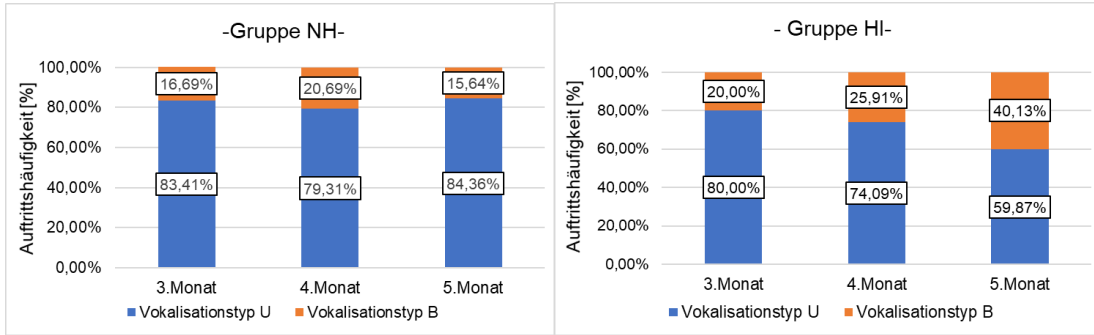


Abbildung 30: Säulendiagramme der prozentualen Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen im monatlichen Altersverlauf im Probandengruppenvergleich

Die Säulendiagramme der Abbildung 30 stellen probandengruppenspezifisch und für jeden Lebensmonat getrennt die Auftrittshäufigkeiten der beiden Vokalisationstypen dar. Der blaue Anteil des Säulendiagramms symbolisiert den Vokalisationstyp U, der rote Anteil den Vokalisationstyp B (siehe Legende). Zusammen ergeben beide Vokalisationstypen 100% von K1. Die weißen Kästen spiegeln die monatlichen prozentualen Auftrittshäufigkeiten für jeden Vokalisationstyp wider.

In einem verallgemeinerten linearen gemischten Modell wurde analysiert, ob signifikante Probandengruppenunterschiede oder Alterseffekte in den Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen U und B bestehen. Die Ergebnisse des finalen verallgemeinerten linearen gemischten Modells werden in Tabelle 14 wiedergegeben. Als Modellgütekriterium wurde der Akaike Wert [AIC] herangezogen.

Tabelle 14: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für den Vokalisationstyp

Modellterm	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Unterer	Oberer
Konstanter Term	1,124	0,2418	4,649	<0,001	0,627	1,621
Gruppe=1 [Gruppe 2=NH]	-0,047	0,3038	-0,155	0,879	-0,713	0,618
Monat	-0,562	0,1158	-4,847	<0,001	-0,789	-0,334
Monat*[Gruppe=1] [Gruppe 2=NH]	0,631	0,1288	4,902	<0,001	0,379	0,884

Anmerkung: Modellgüte [AIC]: 6209; Zufälliger konstanter Term: Schätzer=0,328, p=0,036

Die statistischen Ergebnisse des gemischten Modells zeigen, dass eine signifikante Interaktion zwischen dem Alter und den Probandengruppen besteht ($p < 0,001$). Der Haupteffekt der Gruppe wird dadurch jedoch nicht beeinflusst und lässt sich somit aus den Ergebnissen der Tabelle 14 interpretieren ($p = 0,879$).

Der Haupteffekt des Alters wird durch die signifikante Interaktion gestört, sodass für beide Probandengruppen getrennt zwei gemischte Modelle erstellt wurden (Tabelle 15).

Tabelle 15: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für den Vokalisationstyp, getrennt nach Probandengruppen

Gruppe	Modellterm	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall		Akaike [AIC]	Zufälliger Konstanter Term	
						Unterer	Oberer		Schätzer	Signifikanz
NH	Konstanter Term	1,068	0,187	5,723	<0,001	0,664	1,473	4637	0,147	0,127
	Monat	0,067	0,058	1,146	0,252	-0,047	0,181			
HI	Konstanter Term	1,153	0,251	4,600	0,002	0,567	1,738	1555	0,541	0,089
	Monat	-0,590	0,116	-5,088	<0,001	-0,818	-0,362			

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge; [NH] normalhörende Säuglinge

Für die Gruppe NH besteht kein signifikanter Alterseffekt ($p=0,252$). Für die Gruppe HI liegt jedoch ein signifikanter Alterseffekt für die Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen vor ($p<0,001$).

3.3.3 Analyse der Graduierung im Probandengruppenvergleich

Wie in Kapitel 2.4.4 beschrieben, erfolgte eine Einordnung laryngealer Konstriktionsphänomene in unvollständige Konstriktionsphänomene [UV] und vollständige Konstriktionsphänomene [V]. Da die Graduierung der Konstriktionsphänomene im Zuge der temporalen Vermessungen in PRAAT erfasst wurde (siehe Kapitel 2.4.7), entspricht die Basis der graduierten Konstriktionen der Anzahl der vermessenen Konstriktionsphänomene ($N=1079$).

Tabelle 16 gibt die absoluten Häufigkeiten der unvollständigen und vollständigen Konstriktionsphänomene für den gesamten Beobachtungszeitraum beider Probandengruppen wieder.

Tabelle 16: Absolute Auftrittshäufigkeit der vollständigen [V] und unvollständigen [UV] Konstriktionsphänomene im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich

Gruppe	Graduierung	Häufigkeit [N]
NH	UV	229
	V	377
	Gesamt	606
HI	UV	207
	V	266
	Gesamt	473

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge [N] Häufigkeit; [NH] normalhörende Säuglinge; [UV] unvollständiges Konstriktionsphänomen; [V] vollständiges Konstriktionsphänomen

Abbildung 31 veranschaulicht mittels zwei gruppenspezifischen Kreisdiagrammen die prozentualen Auftrittshäufigkeiten der graduierten Konstriktionsphänomene.

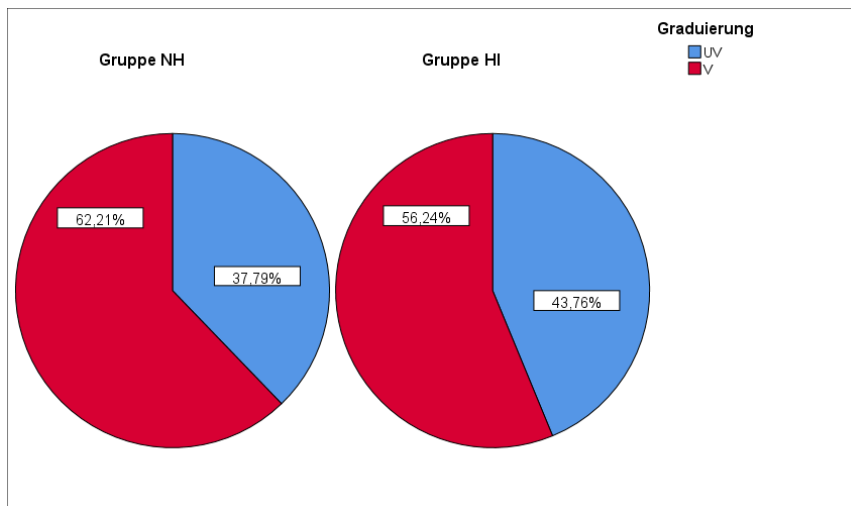


Abbildung 31: Kreisdiagramm der prozentualen Auftrittshäufigkeiten unvollständiger [UV] und vollständiger [V] laryngealer Konstriktionsphänomene im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich

Der Legende kann entnommen werden, dass unvollständige Konstriktionen [UV] den blauen Anteil der Kreisdiagramme, und vollständige Konstriktionen [V] den roten Anteil innerhalb der Diagramme darstellen. Die weißen Kästen innerhalb der Kreisausschnitte wurden von der Autorin der vorliegenden Arbeit manuell ergänzt. Diese spiegeln den prozentualen Anteil der Graduierung innerhalb der Probandengruppen wider.

Das Kreisdiagramm in der Abbildung 31 zeigt, dass die Gruppe NH deskriptiv mehr vollständige Konstriktionsphänomene [V] äußert (62,21%) als die Gruppe HI (56,24%).

3.3.4 Analyse der Graduierung im Altersverlauf

In der Tabelle 17 wird für beide Probandengruppen die absolute Häufigkeit der graduierten laryngealen Konstriktionsphänomene im monatlichen Altersverlauf dargestellt.

Tabelle 17: Absolute Auftretshäufigkeiten der Graduierung [UV und V] im monatlichen Altersverlauf im Probandengruppenvergleich

Gruppe	Monat	Graduierung	Häufigkeit [N]
NH	3	UV	34
		V	66
	Gesamt		100
	4	UV	111
		V	203
	Gesamt		314
	5	UV	84
		V	108
	Gesamt		192
H	3	UV	28
		V	36
	Gesamt		64
	4	UV	96
		V	143
	Gesamt		239
	5	UV	83
		V	87
	Gesamt		170

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge [N] Häufigkeit; [NH] normalhörende Säuglinge; [UV] unvollständiges Konstriktionsphänomen; [V] vollständiges Konstriktionsphänomen

Für eine bessere Darstellung des monatlichen Entwicklungsverlaufs der unvollständigen [UV] und vollständigen [V] Konstriktionsphänomene werden die prozentualen Auftretshäufigkeiten der beiden Graduierungen in der Abbildung 32 für jede Probandengruppe getrennt dargestellt.

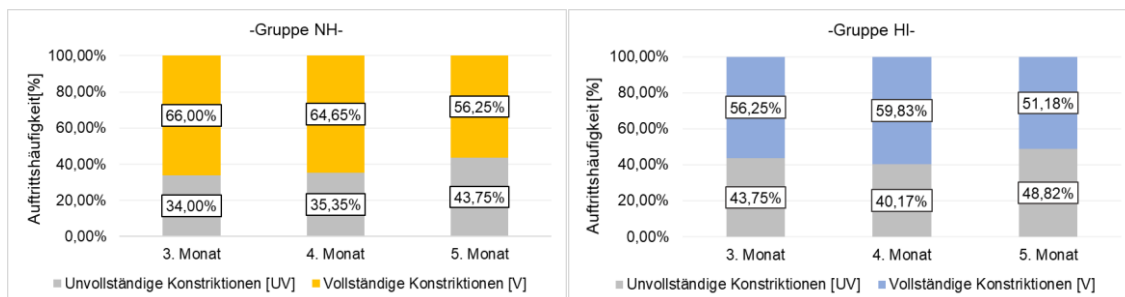


Abbildung 32: Säulendiagramm der Graduierung laryngealer Konstriktionsphänomene im Probandengruppenvergleich

Die in den weißen Kästen angegebenen Prozentwerte innerhalb der Säulen entsprechen dem prozentualen Anteil der unvollständigen und vollständigen Konstriktionsphänomene im jeweiligen Lebensmonat.

Für die statistische Analyse der Graduierung laryngealer Konstriktionsphänomene auf Signalebene wurde ein verallgemeinertes lineares gemischtes Modell erstellt. Als Gütekriterium für das Modell wurde der Akaike Wert [AIC] herangezogen. Die Tabelle 18 gibt die statistischen Ergebnisse des verallgemeinerten gemischten Modells wieder.

Tabelle 18: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für die Graduierung von K1

Modellterm	Koeffizient	Standardfehler	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
					Unterer	Oberer
Konstanter Term	-0,188	0,2819	-0,667	0,506	-0,748	0,372
Gruppe=1 [Gruppe 2=NH]	-0,141	0,3942	-0,358	0,727	-1,014	0,731
Monat	-0,098	0,2064	-0,476	0,634	-0,503	0,307
Monat*[Gruppe=1] [Gruppe 2=NH]	0,265	0,2064	1,283	0,200	-0,140	0,670

Anmerkung: Modellgüte [AIC]: 3544; Zufälliger konstanter Term: Schätzer=0,176, p=0,117

Den Ergebnissen der Tabelle 18 können entnommen werden, dass es weder einen signifikanten Gruppenunterschied ($p=0,727$) noch einen signifikanten Alterseffekt ($p=0,634$) in der Graduierung von K1 gibt.

3.3.5 Analyse der Konstriktionskategorien im Probandengruppenvergleich

Die Daten der Tabelle 19 spiegeln die prozentualen und absoluten Auftretshäufigkeiten der 12 Konstriktionskategorien (siehe Kapitel 2.4.5) für den gesamten Beobachtungszeitraum beider Probandengruppen wider. Dabei wurden die Kategorien von links nach rechts in absteigender Häufigkeit angeordnet.

Tabelle 19: Prozentuale und absolute Häufigkeiten der Konstriktionskategorien im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich

Gruppe	Kategorien	M_v	M_uv	MM_v	T	Mix	A	A_M_v	MM_uv	A_M_uv	A_MM_v	A_Mix	A_MM_uv
NH	Häufigkeit [%]	46,84	14,87	11,83	9,11	5,60	4,64	2,32	2,08	1,76	0,56	0,32	0,08
	Häufigkeit [N]	586	186	148	114	70	58	29	26	22	7	4	1
HI	Kategorie	M_v	M_uv	MM_v	A	T	Mix	MM_uv	A_M_v	A_M_uv	A_MM_uv	A_Mix	A_MM_v
	Häufigkeit [%]	45,48	18,55	9,50	8,14	6,33	5,88	2,04	1,58	1,13	0,68	0,45	0,23
	Häufigkeit [N]	201	82	42	36	28	26	9	7	5	3	2	1

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge [N] Häufigkeit; [NH] normalhörende Säuglinge; [A] Konstriktionsphänomen am Lautanfang; [A_M] Konstriktionsphänomen am Lautanfang und zusätzlich in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation; [A_Mix] Konstriktion am Lautanfang und eine zusätzliche Kombination aus einem unvollständigen und vollständigen Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation [A_MM] Konstriktionsphänomen am Lautanfang und zusätzlich mehr als ein Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation; [M] ein einzelnes Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende der Einzelvokalisation; [MM] mehr als ein Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation; [Mix] Kombination aus einer unvollständigen und vollständigen Konstriktion innerhalb einer Einzelvokalisation; [T] Kategorie „Totale Konstriktion“; [UV] die Kategorie besteht ausschließlich aus unvollständigen Konstriktionsphänomenen; [V] die Kategorie besteht ausschließlich aus vollständigen Konstriktionsphänomenen

Die Ergebnisse der Tabelle 19 zeigen, dass die Einzelvokalisationen mit Konstriktionsphänomenen in der Lautmitte/Lautende [M_v, M_uv und MM_v] bei beiden Probandengruppen die am häufigsten geäußerten Konstriktionskategorien darstellen.

Abbildung 33 visualisiert die prozentualen Auftretshäufigkeiten der 12 Konstriktionskategorien mittels eines Säulendiagramms für den gesamten Beobachtungszeitraum der Gruppe NH.

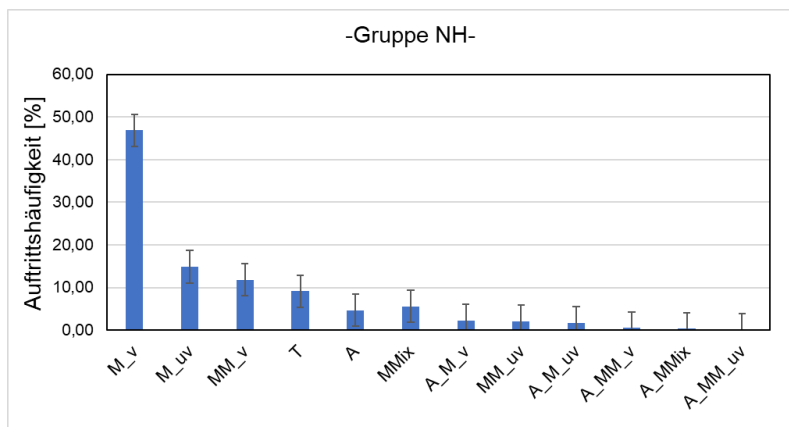


Abbildung 33: Säulendiagramm der prozentualen Auftrittshäufigkeit der Konstriktionskategorien für den gesamten Beobachtungszeitraum der Gruppe NH

Für die Abkürzungen der einzelnen Kategorien gilt die Legende unter der Tabelle 19. Die Säulen der Konstriktionskategorien sind in absteigender Auftrittshäufigkeit von links nach rechts angeordnet. Zusätzlich markieren Whiskers an jeder Säule den Standardfehler der prozentualen Auftrittshäufigkeit der Konstriktionskategorie.

Abbildung 34 gibt mittels eines Säulendiagrammes die prozentualen Auftrittshäufigkeiten der Konstriktionskategorien der Gruppe HI wieder.

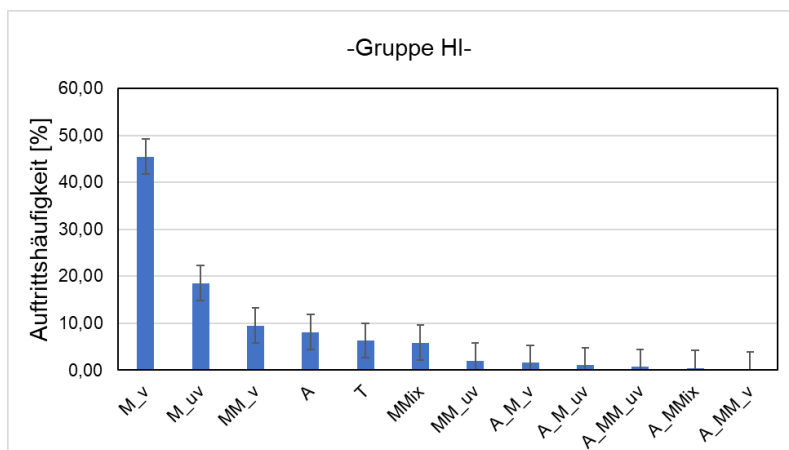


Abbildung 34: Säulendiagramm der prozentuale Auftrittshäufigkeit der Konstriktionskategorien für den gesamten Beobachtungszeitraum der Gruppe HI

Für die Abkürzungen der einzelnen Kategorien gilt die Legende unter der Tabelle 19. Die Säulen der Konstriktionskategorien sind in absteigender Auftrittshäufigkeit von links nach rechts für die Gruppe HI angeordnet. Zusätzlich markieren Whiskers an jeder Säule den Standardfehler der prozentualen Auftrittshäufigkeit der Konstriktionskategorie.

3.3.6 Analyse der Konstriktionskategorien im Altersverlauf

Zur besseren Darstellung wird im Folgenden ausschließlich der Altersverlauf der drei häufigsten Konstriktionskategorien beider Probandengruppen dargestellt. In der Tabelle 20 wird der Entwicklungsverlauf der drei Konstriktionskategorien von links nach rechts mit abnehmenden prozentualen Aufttrittshäufigkeiten für die Gruppe NH dargestellt.

Tabelle 20: Monatlicher Entwicklungsverlauf der drei häufigsten Konstriktionskategorien der Gruppe NH

Gruppe NH	M_v [%]	M_uv [%]	MM_v [%]
3. Monat	52,08 (N=112)	12,08 (N=27)	9,95 (N=21)
4. Monat	46,36 (N=242)	13,60 (N=71)	13,98 (N=73)
5. Monat	44,79 (N=232)	16,99 (N=88)	10,42 (N=54)

Legende: [MM_v] mehr als ein vollständiges Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation; [M_uv] ein einzelnes unvollständiges Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende der Einzelvokalisation [M_v] ein einzelnes vollständiges Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende der Einzelvokalisation; [N] Anzahl; [NH] normalhörende Säuglinge

In Tabelle 21 werden die monatlichen Aufttrittshäufigkeiten der drei häufigsten Konstriktionskategorien der Gruppe HI dargestellt.

Tabelle 21: Monatlicher Entwicklungsverlauf der drei häufigsten Konstriktionskategorien der Gruppe HI

Gruppe HI	M_v [%]	M_uv [%]	MM_v [%]
3. Monat	40,00 (N=26)	27,69 (N=18)	9,23 (N=6)
4. Monat	49,55 (N=109)	13,64 (N=30)	9,55 (N=21)
5. Monat	42,04 (N=66)	21,66 (N=43)	9,55 (N=15)

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge; [MM_v] mehr als ein vollständiges Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation; [M_uv] ein einzelnes unvollständiges Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende der Einzelvokalisation [M_v] ein einzelnes vollständiges Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende der Einzelvokalisation; [N] Anzahl

Mit zunehmendem Lebensmonat äußert die Gruppe NH prozentual weniger Einzelvokalisationen der Kategorie M_v (siehe Tabelle 20). Gleichzeitig werden im monatlichen Altersverlauf prozentual mehr unvollständige Konstriktionsphänomene in der Lautmitte/Lautende geäußert (siehe Kategorie M_uv in Tabelle 20). Deskriptiv lässt sich bei den drei am meisten geäußerten Konstriktionskategorien der Gruppe HI kein eindeutiger Entwicklungsverlauf erkennen (siehe Tabelle 21).

3.4 Analyse temporaler Eigenschaften auf Signalebene

Im vorliegenden Kapitel werden die temporalen Eigenschaften der Komfortvokalisationen mit enthaltenen laryngealen Konstriktionsphänomenen analysiert.

Die Definition der temporalen Messgrößen können im Detail der Tabelle 5 (Kapitel 2.4.7) entnommen werden. Grundlage der Auswertung war die Basis K1_T (siehe Kapitel 2.4.7), welche insgesamt N=822 Komfortvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen, verteilt auf die zwei Probanden der Gruppe NH (N Signale=450) und elf Probanden der Gruppe HI (N Signale=372), umfasste.

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird die Gesamtvokalisationslänge [Lges], die zeitliche Länge der laryngealen Konstriktionsphänomene innerhalb einer Einzelvokalisation [LKons] und der daraus errechnete prozentuale Anteil der Konstriktionslänge an der Gesamtvokalisationslänge [Anteil_K] analysiert.

3.4.1 Gesamtvokalisationslänge

In diesem Unterkapitel wird die Gesamtvokalisationslänge probandengruppen- und altersspezifisch analysiert.

Tabelle 22 gibt die deskriptive Statistik der Gesamtvokalisationslänge für alle N=822 analysierten Einzelvokalisationen unabhängig von der Probandengruppe wieder.

Tabelle 22: Deskriptive Statistik der Gesamtvokalisationslänge [s]

	Mittelwert [s] (SD)	Median [s]	Minimum [s]	Maximum [s]
Gesamtvokalisationslänge (N=822)	1,456 (0,772)	1,288	0,325	6,027

Legende: [N] Anzahl; [s] Sekunde; [SD] Standardabweichung

Zur Veranschaulichung der Verteilung wurde ein Histogramm erstellt (Abbildung 35), welches die Häufigkeit [N] der Einzelvokalisationen in Abhängigkeit von der logarithmierten Gesamtlänge der Einzelvokalisationen in Sekunden angibt.

Da keine Verteilung nach Shapiro-Wilk vorliegt ($p < 0,001$), wurde eine Transformation der Werte durch Logarithmieren vorgenommen. Dadurch konnte eine hinreichende log-Normalverteilung nach Shapiro-Wilk angenommen werden ($p = 0,332$).

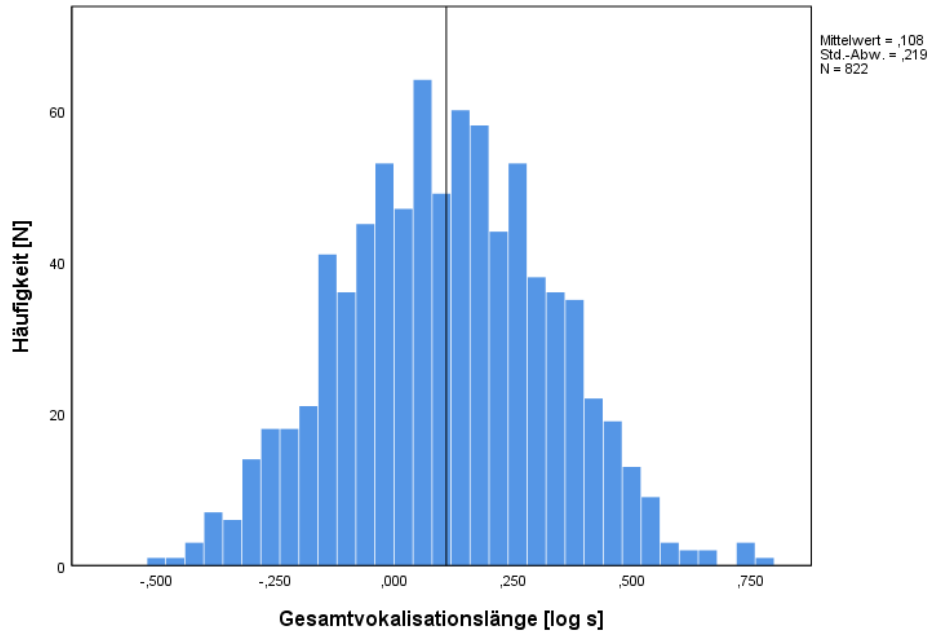


Abbildung 35: Histogramm der Verteilung der logarithmierten Werte der Gesamtvokalisationslänge

Im Histogramm wurde von der Autorin der vorliegenden Arbeit der Median der Gesamtvokalisationslänge [log s] zusätzlich als vertikale Linie zur X-Achse abgebildet.

In Tabelle 23 wird die deskriptive Statistik der Gesamtvokalisationslänge in Abhängigkeit der beiden Probandengruppen dargestellt.

Tabelle 23: Deskriptive Statistik der Gesamtvokalisationslänge [s] differenziert nach Probandengruppe

	Mittelwert [s] (SD)	Median [s]	Minimum [s]	Maximum [s]
NH (N=450)	1,362 (0,656)	1,195	0,325	3,695
HI (N=372)	1,569 (0,879)	1,369	0,358	6,027

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge; [N] Anzahl; [NH] normalhörende Säuglinge; [s] Sekunde; [SD] Standardabweichung

Die Abbildung 36 stellt die deskriptiven Ergebnisse der Tabelle 23 in einem gruppendifferenzierten, symmetrischen Punktdiagramm dar.

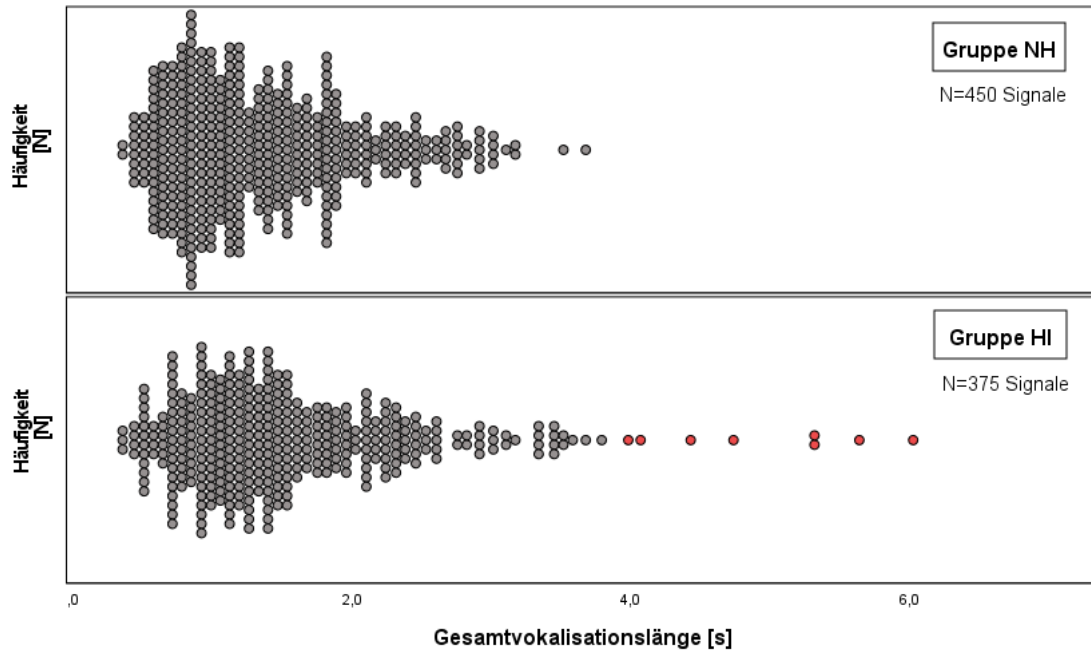


Abbildung 36: Symmetrisches Punktdiagramm für die Häufigkeitsverteilung [N] der Gesamtvokalisationslänge [s] differenziert nach Probandengruppe

In dem Punktdiagramm wird jede vermessene Einzelvokalisation (N gesamt=822) in Form eines Punktes gemäß der Häufigkeit [N] an der Y-Achse dargestellt und entsprechend der Gesamtvokalisationslänge in Sekunden linear entlang der X-Achse abgebildet. In dem Punktdiagramm der Gruppe NH (oberes Fenster) werden demnach N=450 Einzelvokalisationen mittels grauer Punkte dargestellt. Entsprechend werden in dem Punktdiagramm der Gruppe HI (unteres Fenster) N=375 Einzelvokalisationen abgebildet. In der Gruppe HI kommen mehrere Einzelvokalisationen mit einer größeren Gesamtvokalisationslänge als in der Gruppe NH vor. Zur besseren Darstellung wurden diese Laute von der Autorin der vorliegenden Arbeit durch eine rote Markierung farblich hervorgehoben.

In den Tabellen 24 und 25 werden die deskriptiven Statistiken der monatlichen Gesamtvokalisationslänge für die beiden Probandengruppen getrennt dargestellt.

Tabelle 24: Deskriptive Statistik der monatlichen Gesamtvokalisationslänge der Gruppe NH

Gruppe NH	Mittelwert [s] (SD)	Median [s]	Minimum [s]	Maximum [s]
3. Monat (N=83)	1,348 (0,649)	1,174	0,405	3,079
4. Monat (N=233)	1,363 (0,648)	1,219	0,325	3,696
5. Monat (N=134)	1,368 (0,679)	1,205	0,384	3,167

Legende: [N] Anzahl; [NH] normalhörende Säuglinge; [s] Sekunde; [SD] Standardabweichung

Tabelle 25: Deskriptive Statistik der monatlichen Gesamtvokalisationslänge der Gruppe HI

Gruppe HI	Mittelwert [s] (SD)	Median [s]	Minimum [s]	Maximum [s]
3. Monat (N= 56)	1,414 (0,901)	1,216	0,358	5,349
4. Monat (N=181)	1,539 (0,802)	1,333	0,448	6,027
5. Monat (N=135)	1,673 (0,679)	1,440	0,369	5,64

Legende: **[HI]** hörbeeinträchtigte Säuglinge; **[N]** Anzahl; **[s]** Sekunde; **[SD]** Standardabweichung

Die Tabellen 24 und 25 veranschaulichen, dass die Gesamtvokalisationslänge der Gruppe NH im monatlichen Entwicklungsverlauf nur geringfügig in ihrer zeitlichen Dauer steigt. Die Gesamtvokalisationslänge der Gruppe HI nimmt dagegen kontinuierlich zu.

In Abbildung 37 wird mittels eines Fehlerbalkendiagramms der monatliche Altersverlauf der Gesamtvokalisationslänge im Probandengruppenvergleich dargestellt.

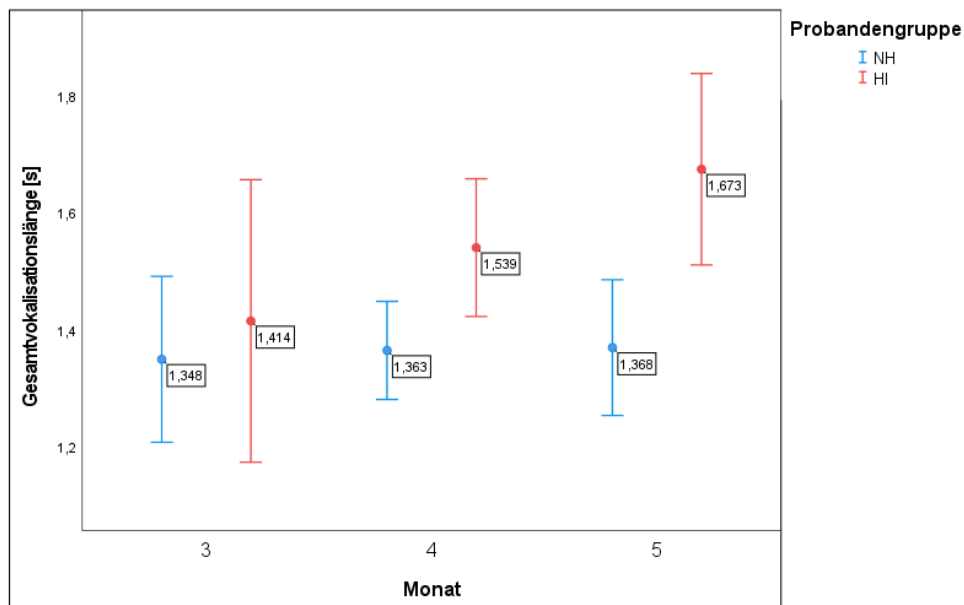


Abbildung 37: Fehlerbalkendiagramm des 95% Konfidenzintervalls der Gesamtvokalisationslänge [s] im monatlichen Altersverlauf differenziert nach der Probandengruppe

Der monatliche Mittelwert der vermessenen Gesamtvokalisationslänge [s] wird in Form eines Kreissymbols und einer Datenbeschriftung für beide Probandengruppen gekennzeichnet. Zusätzlich bilden Whiskers (Fehlerbalken) das 95% Konfidenzintervall der monatlich gemittelten Gesamtvokalisationslänge für beide Probandengruppen ab.

In einem gemischten linearen Modell wurde analysiert, ob es signifikante Probandengruppenunterschiede oder ein Alterseffekt in der Gesamtvokalisationslänge der Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen gibt. Um die Voraussetzung nach einer Normalverteilung der Residuen im gemischten Modell zu erfüllen, wurde die Gesamtvokalisationslänge logarithmiert [log s]. Dadurch konnte eine hinreichende Normalverteilung im QQ Diagramm der Residuen erreicht werden (siehe Abbildung 38). Homoskedastizität liegt vor.

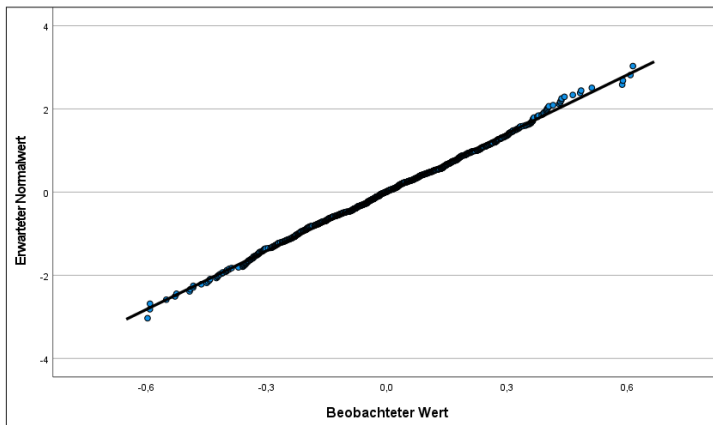


Abbildung 38: QQ-Diagramm der Residuen der logarithmierten Gesamtvokalisationslänge [log s]

Die Ergebnisse des finalen linearen gemischten Modells werden in Tabelle 26 wiedergegeben. Als Modellgütekriterium wurde der Akaike Wert [AIC] herangezogen.

Tabelle 26: Statistische Ergebnisse des linearen gemischten Modells für die logarithmierte Gesamtvokalisationslänge [log s]

Parameter	Schätzer	Standardfehler	Freiheitsgrade	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	0,103	0,029	21,091	3,569	0,002	0,043	0,164
Gruppe=1 [Gruppe 2= NH]	-0,033	0,047	6,113	-0,693	0,514	-0,148	0,082
Monat	0,027	0,022	8,096	1,217	0,258	-0,024	0,077
Monat*[Gruppe=1] [Gruppe 2=NH]	-0,032	0,031	4,221	-1,034	0,357	-0,115	0,052

Anmerkung: Modellgüte [AIC]: -158; Zufälliger konstanter Term: Schätzer < 0,001, Standardfehler = 0,002

Die Ergebnisse der Tabelle 26 zeigen, dass es für die logarithmierte Gesamtvokalisationslänge [log s] weder einen signifikanten Probandengruppenunterschied ($p=0,514$), noch einen signifikanten Alterseffekt ($p=0,258$), noch eine signifikante Interaktion zwischen dem Alter und der Probandengruppe gibt ($p=0,357$).

3.4.2 Konstriktionslänge

In diesem Unterkapitel wird die Konstriktionslänge probandengruppen- und altersspezifisch analysiert. Für die Analyse der zeitlichen Dauer der Konstriktionslänge wurden bei mehrfachem Vorkommen von Konstriktionsphänomenen innerhalb einer Einzelvokalisation, unter Berücksichtigung der in Kapitel 2.4.7 genannten Kriterien, jedes Konstriktionsphänomen gesondert vermessen (siehe Tabelle 5). Da für die Vermessung der Konstriktionslänge jedes Konstriktionsphänomen separat vermessen wurde, unterscheidet sich die Grundanzahl der vermessenen Konstriktionslängen von der in Kapitel 3.4.1 analysierten Anzahl der vermessenen Gesamtvokalisationslängen (N=822). Insgesamt konnten N=1079 Konstriktionsphänomene innerhalb der N=822 Einzelvokalisationen mit enthaltenen laryngealen Konstriktionsphänomenen vermessen werden.

Tabelle 27 gibt die deskriptive Statistik der Konstriktionslänge für beide Probandengruppen gemeinsam wieder.

Tabelle 27: Deskriptive Statistik der Konstriktionslänge [s]

	Mittelwert [s] (SD)	Median [s]	Minimum [s]	Maximum [s]
Konstriktionslänge (N=1079)	0,385 (0,398)	0,296	0,050	6,027

Legende: [N] Anzahl; [s] Sekunde; [SD] Standardabweichung

Da keine Verteilung nach Shapiro-Wilk vorlag ($p < 0,001$), wurde eine Transformation der Werte durch Logarithmieren vorgenommen. Dadurch konnte im QQ-Diagramm eine hinreichende Normalverteilung der Konstriktionslänge erreicht werden.

Zur Veranschaulichung der Verteilung der Konstriktionslänge wurde ein Histogramm erstellt (Abbildung 39), welches die Häufigkeit [N] der Einzelvokalisationen in Abhängigkeit der logarithmierten Konstriktionslänge darstellt.

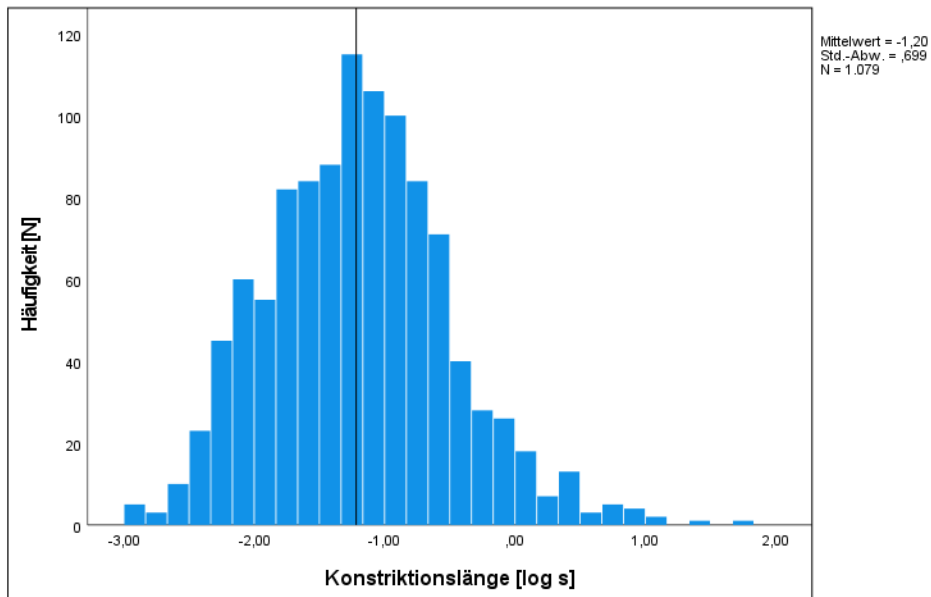


Abbildung 39: Histogramm der Häufigkeitsverteilung der Konstriktionslänge [log s]

Die Häufigkeit (Y-Achse) der logarithmierten Konstriktionslänge [log s] wird an der X-Achse in Sekunden aufgetragen. Zusätzlich wurde von der Autorin der vorliegenden Arbeit der Median (-1,217 [log s]) als vertikale Linie zur X-Achse hinzugefügt.

Differenziert nach den beiden Probandengruppen teilten sich von den N=1079 vermessenen Konstriktionsphänomenen N=606 Konstriktionsphänomene auf die Gruppe NH und N=473 Konstriktionsphänomene auf die Gruppe HI auf (siehe Tabelle 28).

Tabelle 28: Deskriptive Statistik der Konstriktionslänge differenziert nach der Probandengruppe

	Mittelwert [s] (SD)	Median [s]	Minimum [s]	Maximum [s]
NH (N=606)	0,383 (0,353)	0,291	0,052	3,079
HI (N=473)	0,411 (0,448)	0,304	0,050	6,027

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge; [N] Anzahl; [NH] normalhörende Säuglinge [s] Sekunde; [SD] Standardabweichung

Die deskriptive Statistik der Tabelle 28 zeigt, dass die Gruppe der hörbeeinträchtigten Säuglinge im Median zeitlich längere Konstriktionsphänomene als die normalhörenden Säuglinge äußern.

Für die Analyse eines möglichen Alterseffektes geben die Tabellen 29 und 30, für beide Probandengruppen getrennt, einen Überblick über die deskriptive Statistik der monatlichen Konstriktionslängen.

Tabelle 29: Deskriptive Statistik der monatlichen Konstriktionslänge der Gruppe NH

Gruppe NH	Mittelwert [s] (SD)	Median [s]	Minimum [s]	Maximum [s]
3. Monat (N=100)	0,606 (0,530)	0,432	0,070	3,079
4. Monat (N=314)	0,357 (0,304)	0,285	0,052	2,392
5. Monat (N=192)	0,308 (0,256)	0,255	0,070	2,541

Legende: [N] Anzahl; [NH] normalhörende Säuglinge [s] Sekunde; [SD] Standardabweichung

Tabelle 30: Deskriptive Statistik der monatlichen Konstriktionslänge der Gruppe HI

Gruppe HI	Mittelwert [s] (SD)	Median [s]	Minimum [s]	Maximum [s]
3. Monat (N=64)	0,426 (0,282)	0,337	0,071	1,465
4. Monat (N=239)	0,408 (0,493)	0,294	0,074	6,027
5. Monat (N=170)	0,411 (0,434)	0,321	0,050	3,982

Legende: [N] Anzahl; [NH] hörbeeinträchtigte Säuglinge [s] Sekunde; [SD] Standardabweichung

Deskriptiv zeigen sich im monatlichen Entwicklungsverlauf der Konstriktionslänge deutliche Unterschiede in den Probandengruppen. Während die Konstriktionslänge in der Gruppe NH monatlich abnimmt, bleibt die Konstriktionslänge über den monatlichen Beobachtungszeitraum in der Gruppe HI annähernd konstant.

Abbildung 40 veranschaulicht die deskriptive Statistik der monatlichen Konstriktionslängen [s] beider Probandengruppen mittels eines Fehlerbalkendiagramms.

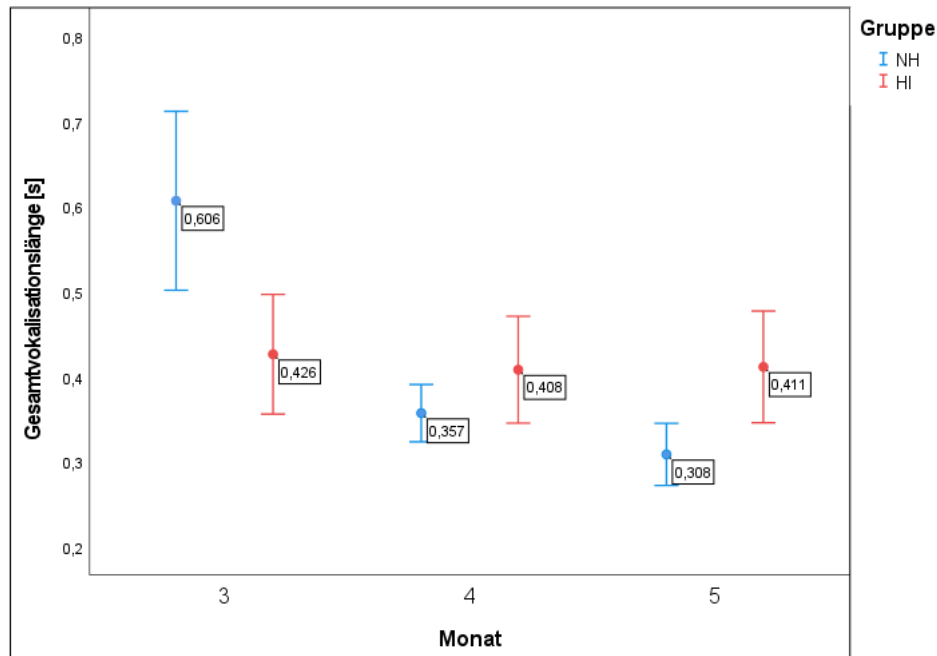


Abbildung 40: Fehlerbalkendiagramm der Konstriktionslänge [s] im monatlichen Altersverlauf beider Probandengruppen

Die farblich markierten Kreissymbole stellen die zu Monatswerten gemittelten Konstriktionslängen in Sekunden dar. Zusätzlich wird ausgehend von den monatlichen Mittelwerten das 95% Konfidenzintervall der vermessenen Konstriktionslängen mittels Whiskers (Fehlerbalken) abgebildet.

In einem linearen gemischten Modell wurde statistisch untersucht, ob es für die Konstriktionslänge einen signifikanten Probandengruppenunterschied oder einen Alterseffekt in der Konstriktionslänge gibt. Um die Voraussetzungen einer Normalverteilung der Residuen im gemischten Modell zu erfüllen, wurde die Konstriktionslänge logarithmiert [$\log s$]. Dadurch konnte eine hinreichende Normalverteilung der Residuen im QQ Diagramm erreicht werden (siehe Abbildung 41). Homoskedastizität liegt vor.

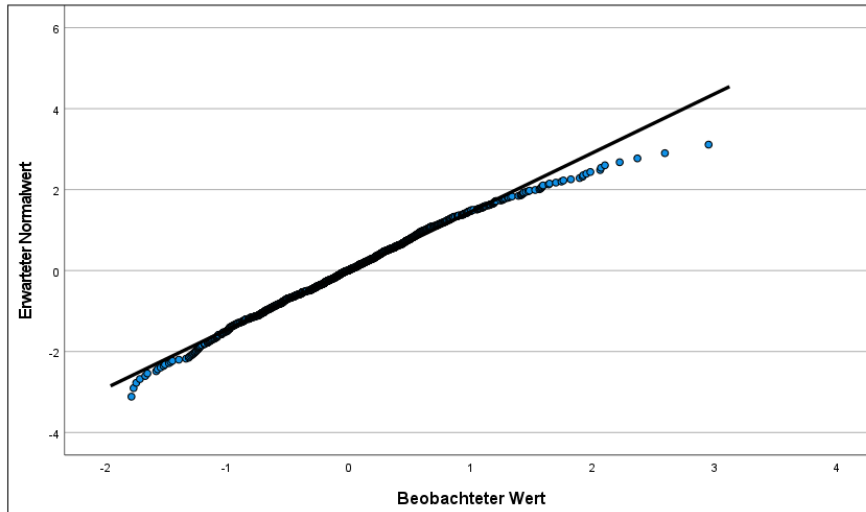


Abbildung 41: QQ-Diagramm der Residuen der logarithmierten Konstriktionslänge [log s]

Die Tabelle 31 zeigt die Ergebnisse des finalen linearen gemischten Modells. Als Modellgütekriterium wurde der Akaike Wert [AIC] herangezogen.

Tabelle 31: Statistische Ergebnisse des linearen gemischten Modells für die logarithmierte Konstriktionslänge [log s]

Parameter	Schätzer	Standardfehler	Freiheitsgrade	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	-1,100	0,066	1079	-16,656	<0,001	-1,229043	-0,969990
Gruppe=1 [Gruppe 2=NH]	0,156	0,086	1079	1,812	0,070	-0,012924	0,324333
Monat	-0,056	0,047	1079	-1,176	0,240	-0,148607	0,037242
[Gruppe=1] * Monat [Gruppe 2=NH]	-0,190	0,063	1079	-3,023	0,003	-0,312878	-0,066588

Anmerkung: **Modellgüte [AIC]: 2262; Zufälliger Konstanter Term: Schätzer= <0,001, Standardfehler= <0,001**

Der Tabelle 31 kann entnommen werden, dass eine signifikante Interaktion zwischen der Probandengruppe und dem Alter vorliegt ($p=0,003$). Um den Haupteffekt der Probandengruppe interpretieren zu können, wurde für jeden Lebensmonat getrennt ein gemischtes Modell für beide Probandengruppen erstellt (Tabelle 32).

Tabelle 32: Statistische Ergebnisse der linearen gemischten Modelle für die logarithmierte Konstriktionslänge, monatlich getrennt

Monat	Parameter	Schätzer	Standardfehler	Freiheitsgrade	Signifikanz	95% Konfidenzintervall		Akaike [AIC]	Zufälliger Konstanter Term	
						Unterer	Oberer		Schätzer	Standardfehler
3	Konstanter Term	-1,057	0,095	164	<0,001	-1,244	-0,870	383	<0,001	<0,001
	Gruppe=1 [Gruppe NH=2]	0,234	0,122	164	0,056	-0,006	0,474			
4	Konstanter Term	-1,184	0,057	11	<0,001	-1,309	-1,059	1125	0,008	0,009
	Gruppe=1 [Gruppe NH=2]	-0,121	0,094	5	0,261	-0,371	0,129			
5	Konstanter Term	-1,195	0,052	362	<0,001	-1,297	-1,093	750	<0,001	<0,001
	Gruppe=1 [Gruppe NH=2]	-0,177	0,071	362	0,013	-0,317	-0,037			

Anmerkung: **AIC (Monat 3): 383; Zufälliger Konstanter Term (Monat 3):** Schätzer <0,001; Standardfehler <0,001; **AIC (Monat 4): 1125; Zufälliger Konstanter Term (Monat 4):** Schätzer 0,008; Standardfehler 0,009; **AIC (Monat 5): 750; Zufälliger Konstanter Term (Monat 5):** Schätzer <0,001, Standardfehler <0,001

Die Ergebnisse der gemischten Modelle zeigen, dass es im 3. Monat einen grenzwertig signifikanten Effekt der Gruppe auf die logarithmierte Konstriktionslänge gibt ($p=0,056$). Während es keinen signifikanten Gruppenunterschied im 4. Lebensmonat gibt, unterscheiden sich die Gruppen im 5. Monat signifikant in der logarithmierten Konstriktionslänge ($p=0,013$). Um den Haupteffekt des Alters interpretieren zu können, wurden für jede Probandengruppe getrennt lineare gemischte Modelle erstellt (siehe Tabelle 33). Als Modellgütekriterium wurde der Akaike Wert [AIC] herangezogen.

Tabelle 33: Statistische Ergebnisse des linearen gemischten Modells der logarithmierten Konstriktionslänge, nach Probandengruppe getrennt

Gruppe	Parameter	Schätzer	Standardfehler	Freiheitsgrade	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall		Akaike [AIC]	Zufälliger Konstanter Term	
							Untergrenze	Obergrenze		Schätzer	Signifikanz
NH	Konstanter Term	-0,944	0,054	606	-17,527	<0,001	-1,050	-0,838	1246	<0,001	<0,001
	Monat	-0,245	0,040	606	-6,090	<0,001	-0,325	-0,166			
HI	Konstanter Term	-1,100	0,068	473	-16,222	<0,001	-1,233	-0,966	1020	<0,001	<0,001
	Monat	-0,056	0,049	473	-1,145	0,253	-0,151	0,040			

Anmerkung: **AIC (Gruppe NH): 1246; Zufälliger Konstanter Term (Gruppe NH):** Schätzer <0,001, Signifikanz <0,001; **AIC (Gruppe HI): 1020; Zufälliger Konstanter Term (Gruppe HI):** Schätzer <0,001, Signifikanz <0,001

Im gemischten linearen Modell zeigt sich für die logarithmierte Konstriktionslänge ein signifikanter Alterseffekt in der Gruppe NH ($p<0,001$). Dagegen gibt es keinen Alterseffekt der logarithmierten Konstriktionslänge in der Gruppe HI ($p=0,253$).

3.4.3 Anteil_K

In diesem Unterkapitel wird der Anteil der Konstriktionsphänomene an der Einzelvokalisation [Anteil_K] probandengruppen- und altersspezifisch analysiert.

Für die Berechnung der Variable Anteil_K wurden alle Konstriktionsphänomene innerhalb derselben Einzelvokalisation zu einer Konstriktionslänge aufsummiert und durch die Gesamtlänge der entsprechenden Einzelvokalisation dividiert (siehe Tabelle 5 in Kapitel 2.4.7). Somit standen für die folgende Signalanalyse N=822 Einzelvokalisationen zur Verfügung. Tabelle 34 gibt die deskriptive Statistik der Variable Anteil_K wieder.

Tabelle 34: Deskriptive Statistik der Variable Anteil_K

	Mittelwert [%] (SD)	Median [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
Anteil_K (N=822)	35,96 (20,60)	31,64	3,12	100,00

Legende: **[N]** Anzahl; **[SD]** Standardabweichung

In der Tabelle 35 wird die deskriptive Statistik der Variable Anteil_K in Abhängigkeit der Probandengruppen dargestellt.

Tabelle 35: Deskriptive Statistik der Variable Anteil_K differenziert nach Probandengruppe

	Mittelwert [%] (SD)	Median [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
NH (N=450)	37,90 (21,22)	34,27	5,56	100,00
HI (N=372)	33,61 (19,60)	29,51	3,12	100,00

Legende: **[HI]** hörbeeinträchtigte Säuglinge; **[N]** Anzahl; **[NH]** normalhörende Säuglinge; **[SD]** Standardabweichung

Deskriptiv weisen die Einzelvokalisationen der Gruppe NH im Median einen höheren Anteil_K auf (Median 34,27%), als die Einzelvokalisationen der Gruppe HI (Median 29,51%).

Die Abbildung 42 veranschaulicht die deskriptiven Daten der Tabelle 35 in einem gruppendifferenzierten Boxplotdiagramm.

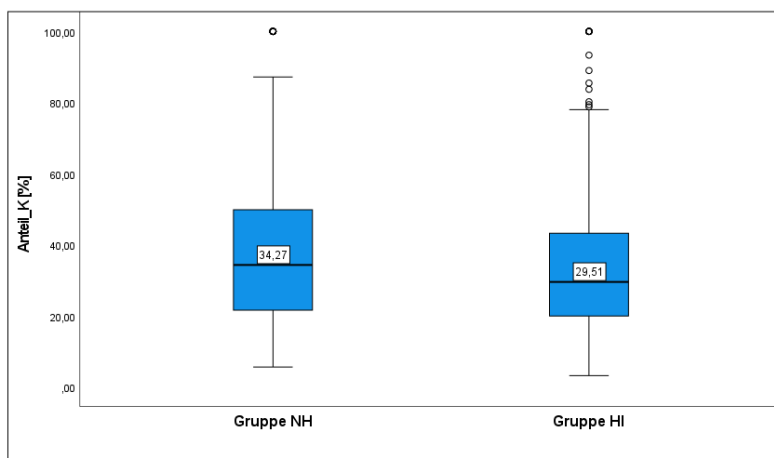


Abbildung 42: Boxplotdiagramm des Anteils_K [%] im Probandengruppenvergleich

Für die Analyse eines möglichen Alterseffekts wird in den nachfolgenden Tabellen 36 und 37 für beide Probandengruppen getrennt die deskriptive Statistik des monatlichen Anteils_K dargestellt.

Tabelle 36: Deskriptive Statistik des monatlichen Anteils_K der Gruppe NH

Gruppe NH	Mittelwert [%] (SD)	Median [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
3. Monat (N=83)	52,11 (25,87)	54,62	6,62	100,00
4. Monat (N=233)	35,65 (19,04)	32,22	5,56	100,00
5. Monat (N=134)	33,04 (17,78)	29,43	6,26	100,00

Legende: [N] Anzahl; [NH] normalhörende Säuglinge; [SD] Standardabweichung

Tabelle 37: Deskriptive Statistik des monatlichen Anteils_K der Gruppe HI

Gruppe HI	Mittelwert [%] (SD)	Median [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
3. Monat (N=56)	37,42 (19,22)	32,94	6,33	93,32
4. Monat (N=181)	34,37 (20,09)	30,94	5,72	100,00
5. Monat (N=135)	31,02 (18,90)	26,92	3,12	100,00

Legende: [HI] hörbeeinträchtigte Säuglinge; [N]: Anzahl; [SD] Standardabweichung

Die Abbildung 43 visualisiert den monatlichen Entwicklungsverlauf des Anteils_K für beide Probandengruppen in einem Fehlerbalkendiagramm.

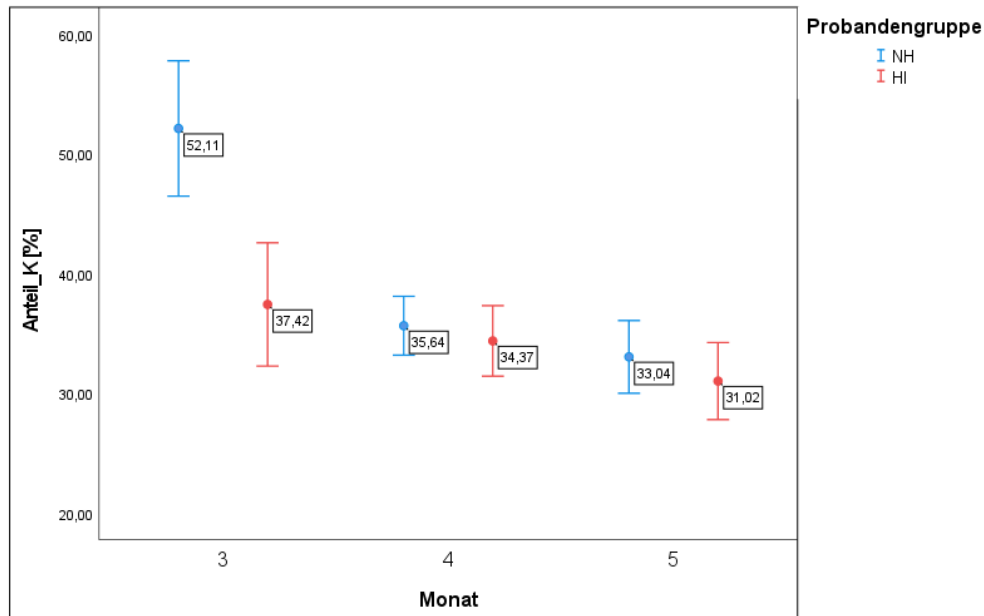


Abbildung 43: Fehlerbalkendiagramm der Variable Anteil_K im monatlichen Altersverlauf differenziert nach der Probandengruppe

Die zu Monatswerten gemittelten Anteile_K werden in Form eines Kreissymbols dargestellt. Zusätzlich werden ausgehend von den monatlichen Mittelwerten das 95% Konfidenzintervall des Anteils_K mittels Whiskers (Fehlerbalken) abgebildet.

In einem linearen gemischten Modell wurde statistisch untersucht, ob es für den Anteil_K einen signifikanten Probandengruppenunterschied oder einen signifikanten Alterseffekt gibt. Um die Voraussetzung nach normalverteilten Residuen im gemischten Modell zu erfüllen, wurde der Anteil_K logarithmiert [log %]. Dadurch konnte eine hinreichende Normalverteilung im QQ Diagramm der Residuen erreicht werden (siehe Abbildung 44). Homoskedastizität liegt vor.

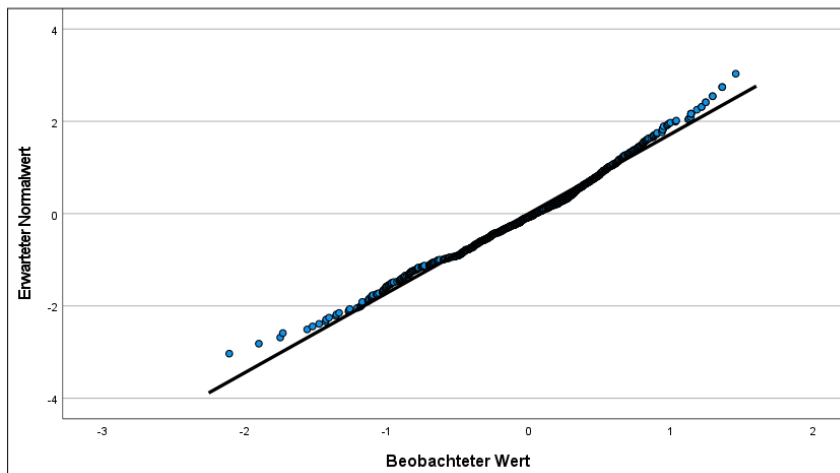


Abbildung 44: QQ-Diagramm der Residuen des logarithmierten Anteils_K [log %]

In der Tabelle 38 werden die Ergebnisse des linearen gemischten Modells dargestellt. Als Modellgütekriterium wurde der Akaike Wert [AIC] herangezogen.

Tabelle 38: Statistische Ergebnisse des linearen gemischten Modells für den logarithmierten Anteil_K

Parameter	Schätzer	Standardfehler	Freiheitsgrade	Teststatistik T	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	3,792	0,201	379,915	18,879	0,000	3,397	4,187
Gruppe=1 [Gruppe 2=NH]	0,532	0,276	145,534	1,928	0,056	-0,013	1,077
Monat	-0,116	0,047	534,538	-2,437	0,015	-0,209	-0,022
Monat *[Gruppe=1] [Gruppe 2=NH]	-0,084	0,062	720,459	-1,358	0,175	-0,206	0,038

Anmerkung: Modellgüte [AIC]: 1466; **Zufälliger konstanter Term:** Schätzer= 0,016; Standardfehler= 0,017

Die Ergebnisse der Tabelle 38 zeigen, dass die Probandengruppe einen Effekt auf den logarithmierten Anteil_K hat, der jedoch nur grenzwertig signifikant ist ($p=0,056$). Des Weiteren liegt ein signifikanter Alterseffekt vor ($p=0,015$), welcher sich auch in der Abbildung 43 widerspiegelt. Es gibt keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen dem Alter und der Probandengruppe ($p=0,175$).

4 Diskussion

Während bisher nur wenige systematische Untersuchungen laryngealer Konstriktionsphänomene normalhörender Säuglinge erfolgt sind (Benner, 2009; Benner & Grenon, 2011; Esling, 2005, 2012, 2019; Robb et al., 2020; Yavarzadeh, 2020) wurden in der Fachliteratur bislang keine systematischen Voruntersuchungen laryngealer Konstriktionsphänomene hörbeeinträchtigter Säuglinge publiziert. Die Tendenz hörbeeinträchtigter Säuglinge vermehrt propriorezeptive Vokalisationen zu äußern (Gräfin von Spiegel zum Diesenberg-Hanxleden, 2009), wurde ebenfalls durch keine weiteren systematischen Nachanalysen überprüft.

Mit dem Ziel, der bisher nicht vollständig geklärten Funktion laryngealer Konstriktionen in der vorsprachlichen Entwicklung normalhörender und hörbeeinträchtigter Säuglinge nachzugehen und den Einfluss einer Hörbeeinträchtigung auf die Phonationskontrolle zu prüfen, wurde eine systematische Analyse laryngealer Konstriktionsphänomene in beiden Probandengruppen vergleichend durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten mit dem Fokus auf die quantitativen und qualitativen Eigenschaften laryngealer Konstriktionsphänomene, welche probandengruppen- und altersspezifisch untersucht wurden. Bei der nachfolgenden Interpretation der qualitativen und quantitativen Eigenschaften laryngealer Konstriktionen muss berücksichtigt werden, dass die vorliegenden Ergebnisse ausschließlich auf der hier untersuchten Stichprobe basieren und keine Verallgemeinerung der gefundenen Ergebnisse vorgenommen werden kann, da die Gruppenzusammensetzung in der vorliegenden Arbeit sehr spezifisch war. Dabei ist nicht auszuschließen, dass bei größeren Stichproben und unter Einbeziehung differenzierter Hörfähigkeiten tendenzielle Unterschiede in den temporalen Eigenschaften laryngealer Konstriktionen gefunden werden können, anders als sie hier dargestellt wurden. Damit haben die Ergebnisse Hypothesencharakter und müssen im Verlauf der weiteren Kohortenauswertung evaluiert und überprüft werden.

4.1 Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auftrittshäufigkeiten von Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen [K1] bei normalhörenden und hörbeeinträchtigten Säuglingen probandengruppen- und altersspezifisch untersucht. Die Analysen erfolgten sowohl deskriptiv, als auch statistisch mittels verallgemeinerter gemischter Modelle.

Unabhängig von den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit wurden in einer vergangenen Studie bereits laryngeale Konstriktionsphänomene bei denselben Probanden der Gruppe NH untersucht (Robb et al., 2020; Yavarzadeh, 2020). Hier konnten in allen untersuchten Vokalisationstypen (Weinlaute, Übergangslaute, Babbellaute) regelhaft vorkommende Konstriktionsphänomene nachgewiesen werden. Allerdings zeigten sich insgesamt niedrigere Auftrittshäufigkeiten von K1 als bei den Komfortvokalisationen der vorliegenden Arbeit. Diese Unterschiede lassen sich durch die methodische Analyse erklären, da Yavarzadeh nicht alle Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionen (vornehmlich Pulsregister) berücksichtigte. Eine unabhängig durchgeführte Nachanalyse laryngealer Konstriktionen bei demselben Probandenkollektiv bestätigt die Daten der vorliegenden Arbeit (Publikation in Vorbereitung).

Aus den Beobachtungen in der Fachliteratur wurde von der Autorin der vorliegenden Arbeit zunächst erwartet, dass hörbeeinträchtigte Säuglinge häufiger laryngeale Konstriktionen äußern als normalhörende Säuglinge. Grundlage für diese Annahme ist der taktil-kinästhetische Charakter laryngealer Konstriktionsphänomene. Durch die laryngeale Konstriktion kommt es zu starken oszillatorischen Schwingungen im Vokaltrakt und zu einer spürbaren glottalen Vibration. Dieses Phänomen könnte den hörbeeinträchtigten Säuglingen eine Art propriozeptive Rückkopplung geben, wodurch die Säuglinge auch ohne auditiven Input zur Lautproduktion angeregt werden. Vergleichbare Ergebnisse wurden bereits in einer Studie gefunden, in welcher die Vokalisationen hochgradig hörbeeinträchtigter Säuglinge spektrographisch untersucht wurden (Gräfin von Spiegel zum Diesenberg-Hanxleden, 2009). In dieser Studie zeigte sich, dass alle Säuglinge vor der Anpassung der Cochlea-Implantate vermehrt Vokalisationen mit einer stark erhöhten Intensität der Grundfrequenz im Vergleich zu den anderen Harmonischen äußerten, was den Säuglingen eine propriozeptive Rückkopplung liefern könnte. Nach der Anpassung der Cochlea-Implantate war dieses Phänomen nicht mehr erkennbar.

In der vorliegenden Arbeit zeigten die deskriptiven und interferenzstatistischen Analyseverfahren keine signifikanten Probandengruppenunterschiede in den Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen zwischen normalhörenden und hörbeeinträchtigten Säuglingen. Damit stützen sich beide statistischen Ergebnisse und es kann vermutet werden, dass die reine Betrachtung der Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen in der hier untersuchten Studienpopulation kein Kriterium zu sein scheint, was sich für die Differenzierung normalhörender und hörbeeinträchtigter Säuglinge eignet.

Danach ist die am Anfang der Arbeit gestellte Fragestellung nach einer möglichen Beeinflussung der Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen durch eine hochgradige Hörbeeinträchtigung, basierend auf den hier durchgeführten Untersuchungen, mit „nein“ zu beantworten. Diese Erkenntnisse sind unter Vorsicht vor Verallgemeinerung der hier gefundenen Ergebnisse zu interpretieren und basieren ausschließlich auf der hier untersuchten Stichprobe. Dabei ist nicht auszuschließen, dass bei größeren Stichproben und unter Einbeziehung differenzierter Hörfähigkeiten tendenziell relevante Unterschiede gefunden werden könnten.

Limitiert werden diese beschriebenen Ergebnisse zum einen in dem Studiendesign der vorliegenden Arbeit. Während die Lautproduktion der Gruppe NH im Längsschnitt an vielen Aufnahmetagen aufgenommen wurde, wurde die Gruppe HI zum Großteil durch Säuglinge gebildet, deren Lautproduktion nur durch ein bis zwei kurze Aufnahmesequenzen erfasst wurde. Damit wurde durch die Lautaufnahmen der hörbeeinträchtigten Säuglinge nur ein kleines Fenster der tatsächlichen Lautproduktion der Probanden erfasst, sodass nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Säuglinge in anderen Umgebungssituationen oder zu anderen Tageszeiten häufiger laryngeale Konstriktionen geäußert hätten. Zum anderen zeigt das große Konfidenzintervall der kindgemittelten Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen in der Gruppe HI (siehe Abbildung 27), dass es hohe interindividuelle Gruppenunterschiede in den Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen gibt, die das Ergebnis beeinflussen.

Es konnte beobachtet werden, dass ein Teil der Probanden (ER, DA) vornehmlich einfache Vokanten äußerten. Der Begriff „Vokant“ lehnt sich an die von Martin (1981) definierten „vocants“ an, welche die einfachste Form vorsprachlicher Vokalisationen darstellen, die schon früh in der Lautentwicklung der Säuglinge vorkommen. Vokanten entstehen durch eine neutrale Vokaltraktposition ohne artikulatorische Elemente, wobei der Anstieg und Abstieg der Grundfrequenz häufig mit dem Luftstrom verbunden ist (einfache Expression). Im Gegensatz zu den Vokanten setzt der Einbau laryngealer Konstriktionen eine deutlich verbesserte Regelleistung voraus. In der Gruppe HI gab es damit einige Säuglinge, die bezüglich der Phonationsregulation unreifer waren, was bei Annahme einer interindividuellen Reifungsgeschwindigkeit zu erwarten war. Ob die Beobachtung des Unterschieds in der Vokantenauftrittshäufigkeit zwischen den Probandengruppen auch statistisch belegt werden kann, wird gegenwärtig im Rahmen der Kohortenstudie untersucht (Clad, 2022).

Eine mögliche Erklärung für die statistisch nicht signifikanten Unterschiede in den Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionen in beiden Probandengruppen liefert das von Schultz-Coulon (1976) beschriebene Kontrollsystem für die Steuerung des Phonationsvorganges. Denn Schultz-Coulon beschreibt darin, dass die zwei wichtigsten Lauterzeugungsmechanismen aus der auditiven Rückkopplung und der kinästhetischen Phonationskontrolle bestehen. Dies bedeutet, dass den hörbeeinträchtigten Säuglingen für eine Kontrolle der Lautproduktion zwar die auditive Rückkopplung fehlt, aber durch die kinästhetische Rückkopplung zumindest ein Teil der Kontrolle aufrechterhalten werden kann. Dies könnte begründen, warum sich keine signifikanten Unterschiede in den reinen Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionsphänomene zwischen den Probandengruppen fand. Harlan Lane und seine Kollegen beschäftigen sich ebenfalls mit den Mechanismen der auditorischen Rückkopplung und vermuten, dass diese eine variable Rolle für die Lautproduktion spielt, da es Sprachelemente gibt, die für die Lautproduktion weniger auditorisches Feedback benötigen als andere Elemente (Lane & Tranel, 1971; Lane & Webster, 1991). Übertragen auf die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lässt sich vermuten, dass das Erzeugen laryngealer Konstriktionen in Vokalisationen zunächst weniger auditorischer Rückkopplung bedarf als andere Vokalisationsarten und sich deswegen im hier analysierten Untersuchungszeitraum keine signifikanten Unterschiede in den Auftrittshäufigkeiten von K1 in den Probandengruppen zeigten.

Im Altersverlauf der Auftrittshäufigkeiten von Komfortvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen zeigte sich in der Studie von Robb et al. bei den normalhörenden Säuglingen ein bogenförmiger Verlauf der Phänomene, der im 5. Lebensmonat einen Maximalwert von 18% erreichte (Robb et al., 2020). In der vorliegenden Arbeit gibt es im beobachteten Zeitraum des 3.-5. Lebensmonats auf Signalebene der Gruppe NH keinen signifikanten Alterseffekt; was wie bereits weiter oben beschrieben, methodische Gründe hat. Jedoch kommt es analog zu den Ergebnissen von Robb et al. im 5. Lebensmonat deskriptiv zu den meisten kindgemittelten laryngealen Konstriktionen in der Gruppe NH (Mittelwert 27,95%, siehe Abbildung 28). Dieser Altersverlauf in der Gruppe NH unterstützt die These von John Esling (2005), dass laryngeale Konstriktionen kein Ausdruck pulmonaler Unreife sind, sondern den Rhythmisierungsprozess für die spätere Silbenbildung unterstützen. Des Weiteren ermöglichen laryngeale Konstriktionen durch die Oszillationspausen eine

Variation in der Rhythmik der Melodie, wie es bereits bei Schreilauten festgestellt wurde (Wermke & Mende, 2009, 2016).

Im Gegensatz zur Gruppe NH gibt es in der Gruppe HI auf Signalebene einen grenzwertigen signifikanten Effekt des Alters auf die Auftrittshäufigkeiten von K1 ($p=0,051$). Während die Gruppe NH scheinbar monatlich konstant laryngeale Konstriktionsphänomene äußert, verlaufen die kindgemittelten monatlichen Auftrittshäufigkeiten von K1 in der Gruppe HI bogenförmig. Diese erreichen im 4. Lebensmonat ihr Maximum (25,61%) und sinken im 5. Lebensmonat wieder stark ab (20,08%). Eine mögliche Interpretation für diesen Altersverlauf der Auftrittshäufigkeiten von K1 in der Gruppe HI ist, dass die hörbeeinträchtigten Säuglinge die laryngealen Konstriktionen zunächst aufgrund des propriozeptiven Charakters vermehrt äußern, sie die eigentliche Funktion dieser (Rhythmisierung und Silbenbildung) aufgrund der fehlenden auditiven Rückkopplung jedoch nicht nutzen können. Kommt es dann zum Fortgang der natürlichen Reifung supralaryngealer Mechanismen, substituieren die Säuglinge laryngeale Konstriktionen durch stärker fühlbare propriozeptive Laute (z.B. Raspberries). Um diese These zu überprüfen, muss jedoch das gesamte Lautrepertoire in beiden Probandengruppen überprüft werden. Zu dieser Thematik wird aktuell eine weitere Arbeit im ZVES durchgeführt.

4.2 Qualitative Eigenschaften laryngealer Konstriktionen

In der vorliegenden Arbeit wurden auch qualitative Eigenschaften von Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionen [K1] nach verschiedenen Kriterien (Vokalisationstyp, Graduierung, Kategorisierung) analysiert. Ziel war es, die verschiedenen Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionsphänomene näher zu analysieren und probandengruppen- und altersspezifisch zu vergleichen. Die Analysen wurden sowohl deskriptiv als auch statistisch auf Signallevele mittels verallgemeinerter gemischter Modelle ausgewertet. Die Ergebnisse dieser kategorialen Analysen werden in diesem Unterkapitel ausführlich diskutiert.

Ziel der Zuordnung von Lauten mit Konstriktionsphänomenen in die Vokalisationstypen war es, die Auftrittshäufigkeiten von rein vokalischen Lautäußerungen (Vokalisationstyp U) mit solchen zu vergleichen, die zusätzlich supralaryngeal erzeugte Konstriktionen (Konsonanten und Konsonantenvorstufen, ÷ Vokalisationstyp B) enthalten.

In der Fachliteratur wird beschrieben, dass bei normalhörenden Säuglingen mit zunehmendem Alter die Anzahl und Vielfalt produzierter Konsonantentypen zunimmt, wohingegen die relative Anzahl an Vokalen abnimmt. Verglichen dazu zeigt sich bei

hörbeeinträchtigten Säuglingen eine geringere Anzahl an Konsonant-Vokal-Kombinationen (Stoel-Gammon & Otomo, 1986) und ein vermindertes Repertoire an verschiedenen Konsonantentypen, die ohne adäquate Versorgung mit Hörhilfen zusätzlich mit steigendem Alter abnehmen (Moeller et al., 2007; Stoel-Gammon, 1988; Stoel-Gammon & Otomo, 1986).

Demnach hat die Autorin der vorliegenden Arbeit erwartet, dass die Gruppe NH auch bereits mehr supralaryngeal erzeugte Konsonantenvorstufen in K1 äußert (Vokalisationstyp B) als die Gruppe HI. Im Altersverlauf wurde eine konstante Zunahme der supralaryngealen Konsonantenvorstufen in der Gruppe NH erwartet, wohingegen die supralaryngealen Konsonantenvorstufen in der Gruppe HI auf einem gleichen niedrigen Niveau bleiben würden.

Die beschriebenen Analysen haben jedoch gezeigt, dass es auf Signalebene keinen signifikanten Probandengruppenunterschied in den Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen U und B gibt. Des Weiteren ergaben die Untersuchungen, dass die Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen U und B in der Gruppe NH im hier analysierten Untersuchungszeitraum annähernd gleichblieben. Dagegen zeigte sich in der Gruppe HI im Altersverlauf eine signifikante Zunahme der supralaryngealen Konsonantenvorstufen, also des Vokalisationstyps B. Diese Ergebnisse scheinen auf den ersten Blick der Fachliteratur zu widersprechen. Jedoch muss für die Interpretation der Ergebnisse beachtet werden, dass in der vorliegenden Arbeit weder das Repertoire der verschiedenen Konsonantentypen erfasst wurde (z.B. labiale, glottale, orale Konsonanten), noch die Anzahl der Vokalisationstypen, die in den Einzelvokalisationen ohne laryngeale Konstriktionsphänomene vorkommen [K0].

Die Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen in der Gruppe NH führen einem das bereits erwähnte Entwicklungsmodell von John Esling (2005) erneut vor Augen, in welchem laryngeale Konstriktionen eine Art Hilfsfunktion für die Silbenbildungen inne haben. Das Grundlevel dieser Hilfsfunktion bleibt im Altersverlauf der Gruppe NH annähernd konstant, es ist jedoch anzunehmen, dass die Gruppe NH bereits erste Formen von Konsonant-Vokal-Kombinationen äußert, ohne die Hilfsfunktion laryngealer Konstriktionen zu gebrauchen. Denn im 3.-5. Lebensmonat befinden sich die normalhörenden Säuglinge bereits in der „Expansionsphase“ der vorsprachlichen Entwicklung, in welcher marginales Babbeln und die ersten primitiven Vokal/Silben-Kombinationen beobachtet werden (Nathani et al., 2006). Marginales Babbeln wird von Oller (1980, 2000) als Kombination von vokalähnlichen und konsonantenartigen Elementen definiert, der zeitliche Übergang zwischen den beiden Elementen erfolgt

jedoch langsamer als bei reifen Silben. Demnach postuliert die Autorin der vorliegenden Arbeit, dass es keine signifikanten Gruppenunterschiede in den Konsonantenvorstufen in K1 gibt, jedoch normalhörende Säuglinge mehr reife Konsonant-Vokal-Kombinationen in K0 äußern als hörbeeinträchtigte Säuglinge.

Des Weiteren drängt sich aus der deskriptiven Erfahrung der Autorin der vorliegenden Arbeit die Vermutung auf, dass sich nicht die relative Anzahl der Konsonantenvorstufen in K1 in den Probandengruppen unterscheidet, die Gruppe HI jedoch einen bestimmten Konsonantentyp (Raspberries) häufiger verwendet, der den Säuglingen im Altersverlauf eine zusätzliche kinästhetische Rückkopplung liefert und daher exzessiv produziert wird. Diese Hypothese könnte die signifikante Zunahme der Konsonantenvorstufen in K1 in der Gruppe HI erklären. Um diese Hypothesen zu überprüfen, muss die Thematik durch ergänzende phonetische Analysen erneut aufgegriffen werden, indem z. B. die Auftretshäufigkeiten der Vokal-Konsonanten-Kombinationen in beiden Probandengruppen in allen geäußerten Komfortvokalisationen (mit und ohne laryngealen Konstriktionsphänomenen) untersucht werden. Diese Analysen werden am ZVES bereits anhand einer größeren Stichprobe durchgeführt, um in einer nachfolgenden Publikation in Zusammenschau mit den Ergebnissen der Sprachwissenschaftlerin Verena Frank (Frank, 2022) eine bessere Interpretation der vorliegenden Ergebnisse liefern zu können.

In den Analysen von Yavarzadeh erfolgte abhängig von der auditorischen und spektrographischen Intensität der Konstriktion innerhalb der Einzelvokalisation eine Einteilung dieser in verschiedene Kategorien. Mit dem Ziel, weitere Informationen über die Anzahl und Position laryngealer Konstriktionen in den Einzelvokalisationen zu erlangen, wurde in der vorliegenden Arbeit als Pilotprojekt eine eigenständige Graduierung (siehe Kapitel 2.4.4) und Kategorisierung (siehe Kapitel 2.4.5) laryngealer Konstriktionen entwickelt.

In der Graduierung zeigten sich deskriptiv in beiden Gruppen geringfügig mehr vollständige Konstriktionsphänomene mit glottalen Stopps, als unvollständige Phänomene mit glottalen Pulsen (siehe Abbildung 31). Die Probandengruppen nutzen beide Formen der Präsilbenrhythmisierung gleichermaßen, denn es zeigten sich keine signifikanten Gruppenunterschiede oder signifikante Alterseffekte in den Auftretshäufigkeiten der graduierten Konstriktionen. Beide Probandengruppen scheinen mit beiden Ausprägungsformen zu experimentieren, wobei die Graduierung der

laryngealen Konstriktionen eher ein Ausdruck des spielerischen Ausprobierens der Säuglinge zu sein scheint, als intentionales Verhalten.

Die Häufigkeiten der Konstriktionskategorien zeigten deutlich, dass in beiden Probandengruppen am meisten einzelne laryngeale Konstriktionsphänomene geäußert werden, die in der Mitte oder am Ende der Einzelvokalisation vorkommen. Diese Beobachtung war im gesamten Altersverlauf konstant. Dieses Ergebnis weicht von der phonetischen Beobachtung ab, dass alle deutschen Wörter, die mit einem Vokal anfangen, auch mit einem kurzen Glottisverschlusslaut im Anlaut einhergehen (Wagner, 2004). Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit lässt sich einerseits durch die Methodik der vorliegenden Arbeit erklären, bei der laryngeale Konstriktionen nur als diese identifiziert wurden, wenn sie eine Dauer über 50ms umfassten. Andererseits handelt es sich in der vorliegenden Arbeit nicht um vergleichbare, „deutschsprachige“ Lautäußerungen, sondern um vorsprachliche, spielerische Vokalisationen. Es erscheint einfacher, laryngeale Konstriktionen in der Mitte oder am Ende eines Lautes zu erzeugen, als einen Laut damit zu beginnen. Es könnte sich hier demnach auch um einen Unreifemechanismus handeln, der sich noch weiterentwickelt.

Ebenso wie die Graduierung folgte auch die Position und Anzahl laryngealer Konstriktionen in dem hier relativ kurzen Beobachtungszeitraum keinem bestimmten Entwicklungsmuster und scheint eher Ausdruck des spielerischen Verhaltens der beiden Probandengruppen zu sein als intentionales Verhalten. Aus diesem Grund würde die Autorin der vorliegenden Arbeit empfehlen, für weitere Analysen laryngealer Konstriktionsphänomene im ersten Lebenshalbjahr den Fokus nicht mehr auf die Kategorisierung und Graduierung dieser zu legen.

Dieses spielerische Verhalten der Säuglinge spiegelt die vorsprachliche Entwicklungsphase wider, in der sich beide Säuglingsgruppen im beobachteten Alterszeitraum des 3.-5. Lebensmonats befinden. Aufgrund dieses spielerischen Charakters der Entwicklungsphase wird diese neben der bereits beschriebenen „Expansionsphase“ auch „vocal play“ genannt. Deutliche Unterschiede in der Entwicklungsphase normalhörender und hörbeeinträchtigter Säuglinge würde man, sofern die Säuglinge nicht mit adäquaten Hörhilfen versorgt wurden, in der nachfolgenden Phase des kanonischen Babbels erwarten. Kanonisches Babbeln beginnt bei normalhörenden Säuglingen durchschnittlich im 6.-7. Lebensmonat, welches auch von ungeübten Beobachtern auditorisch wahrgenommen werden kann (Nathani et al., 2006), da die Silben aus reifen Vokal-Konsonant-Kombinationen mit schnellen Vokal-Konsonant-Übergängen bestehen [*mamama*].

Dagegen haben Studien gezeigt, dass der Gebrauch repetitiver kanonischer Silben bei unversorgten hörbeeinträchtigten Kindern erst später einsetzt (Lynch et al., 1989; Moeller et al., 2007; Oller et al., 1985; Oller & Eilers, 1988; Stoel-Gammon, 1988; Stoel-Gammon & Otomo, 1986).

4.3 Temporale Eigenschaften laryngealer Konstriktionen

In der vorliegenden Arbeit wurden erstmalig temporale Eigenschaften laryngealer Konstriktionen explorativ erfasst und analysiert. Neben der Gesamtvokalisationslänge der Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen [K1] wurde auch die zeitliche Dauer der Konstriktionsphänomene innerhalb der Einzelvokalisation und der daraus errechnete prozentuale Anteil der Konstriktionslängen an der Gesamtvokalisationslänge untersucht. Diese temporalen Eigenschaften wurden anschließend deskriptiv und statistisch auf Signallevel mittels gemischter Modelle im Probandengruppen- und Altersvergleich analysiert. Bei der Auswertung dieser Eigenschaften ist zu berücksichtigen, dass die Analysen an einer Teilmenge der Probanden durchgeführt wurden. Die Stichprobengröße der normalhörenden Säuglinge umfasste N=2 Probanden, und die der hörbeeinträchtigten Säuglinge N=11 Probanden (siehe Kapitel 2.4.7). Allerdings lagen für die Gruppe NH N=450 Signale und für die Gruppe HI N=372 Signale vor (siehe Tabelle 23). Damit war auf Signallevel die Anzahl der Signale in beiden Gruppen vergleichbar, sodass die statistische Analyse auf Signallevel durchgeführt wurde. Jedoch muss diese Datenstruktur für die nachfolgende Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Da bisher in der Fachliteratur keine Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen vermessen wurden, gibt es keine Referenzwerte für die Gesamtvokalisationslänge von K1, mit welchen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit verglichen werden könnten. Es gibt jedoch Vorarbeiten in der Fachliteratur, welche die zeitliche Dauer von Sätzen, Wörtern und Phrasen (Robb & Pang-Ching, 1992), oder verschiedener Vokalisationsarten (Binos, Thodi, Vogazianos, Psillas, & Constantinidis, 2020; Clement, 2004; Clement, Koopmans-van Beinum, & Pols, 1996; van den Dikkenberg-Pot, Beinum, & Clement, 1998) normalhörender und hörbeeinträchtigter Probanden vergleichend untersucht haben. Dabei muss beachtet werden, dass es in diesen Arbeiten stellenweise unterschiedliche methodische Herangehensweisen gab. Zum Teil handelt es sich bei den eingeschlossenen Probanden um ältere Kinder als in der vorliegenden Arbeit, es wurden nicht nur hochgradig hörbeeinträchtigte Säuglinge in

die Studien eingeschlossen, die Patienten waren bereits mit Cochlea-Implantaten versorgt oder die statistischen Analysen wurden rein deskriptiv durchgeführt. Aber wenn man die Ergebnisse dieser Studien zusammenfasst, scheint sich die Hörbeeinträchtigung zumindest auf deskriptiver Ebene auf die Vokalisationslänge in verschiedenen Skalenbereichen (Satz, Phrase, Wort) auszuwirken; in der Regel werden Längenzunahmen bei hörbeeinträchtigten Probanden berichtet (Binós et al., 2020; Clement et al., 1996; Clement, 2004; Robb & Pang-Ching, 1992; van den Dikkenberg-Pot et al., 1998).

In der vorliegenden Arbeit wurden ausschließlich Vokalisationen mit einem laryngealen Konstriktionsphänomen vermessen [K1]. Dennoch bestätigen auch die deskriptiven Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die Beobachtungen aus der Fachliteratur, dass die Gesamtvokalisationslänge bei hörbeeinträchtigten Säuglingen länger ist: Gruppe HI zeigte im Median größere Gesamtvokalisationslängen als Gruppe NH (siehe Tabelle 23). Statistisch konnte dieses deskriptive Ergebnis in den gemischten Modellen jedoch nicht bestätigt werden. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die hohe Variabilität der Gesamtvokalisationslänge in beiden Probandengruppen, welche sich auch in dem Histogramm der Häufigkeitsverteilung der Gesamtvokalisationslänge (siehe Abbildung 35) und in der hohen Standardabweichung der Gesamtvokalisationslängen von K1 (siehe Tabelle 23) widerspiegelt. Beide deskriptiven Statistiken zeigen, wie variabel die Gesamtvokalisationslängen von K1 in beiden Probandengruppen eingesetzt werden.

Über den gesamten Altersverlauf kam es im Mittel zu keiner signifikanten Entwicklung der Gesamtvokalisationslänge; die Säuglinge beider Probandengruppen variieren im gesamten Beobachtungszeitraum die Längen der Einzelvokalisationen ohne erkennbares Entwicklungsmuster. Dieser spielerische Charakter verdeutlicht erneut die von Oller (2000) beschriebene Phase des „vocal play“.

Dass die hörbeeinträchtigten Säuglinge ohne auditorischen Input gleichermaßen mit der Gesamtvokalisationslänge spielen können, wie die Gruppe NH, lässt die Interpretation zu, dass es in der Gesamtvokalisationslänge für K1 scheinbar keine systematische Beeinträchtigung der hörbeeinträchtigten Säuglinge durch die fehlende auditive Rückkopplung gibt. Das verdeutlicht zum einen, wie leistungsfähig die kinästhetische Rückkopplung ist, die den Ausfall der auditorischen Rückkopplung offenbar gut kompensieren kann. Zum anderen weisen diese Ergebnisse darauf hin, dass die Gesamtvokalisationslänge in diesem Alter noch kein intentional erzeugtes

„Sprachelement“ zu sein scheint, sondern eher Ausdruck der physiologischen Reife des respiratorisch-laryngealen Systems.

Dass die kinästhetische Rückkopplung alleine nicht immer ausreicht, um in der vorsprachlichen Entwicklung auf die nächste Stufe des Lerneffekts zu kommen, zeigten die Ergebnisse der analysierten Konstriktionslängen innerhalb der Einzelvokalisationen. Für die Konstriktionslängen in K1 zeigen sich deskriptiv erkennbare Gruppenunterschiede im 3.- und 5. Lebensmonat der Säuglinge (siehe Tabelle 28). Statistisch erweisen sich diese Gruppenunterschiede im 3. Monat als grenzwertig signifikant und im 5. Monat als signifikant. Diese Differenzen begründen sich im unterschiedlichen Altersverlauf der Probandengruppen. Die Gruppe NH beginnt im 3. Lebensmonat mit sehr langen Konstriktionsphänomenen und reduziert diese anschließend monatlich in ihrer zeitlichen Dauer. Dieser statistisch signifikante Alterseffekt in der Gruppe NH erweckt den Eindruck eines Trainingseffektes und Reifungsprozesses, welchen die Säuglinge erfolgreich durchlaufen. Zu Beginn fühlen und trainieren die normalhörenden Säuglinge die Konstriktionsphänomene, erlangen schnell die Kontrolle über diese und reduzieren anschließend die Dauer der Konstriktionen. Verglichen dazu weisen die Konstriktionslängen der Gruppe HI sowohl deskriptiv, als auch interferenzstatistisch einen annähernd konstanten Altersverlauf auf. Dadurch lassen sich auch die Gruppenunterschiede zu Beginn und am Ende des Beobachtungszeitraumes erklären. In der Gruppe HI zeigt sich kein Entwicklungseffekt der Konstriktionslänge, wie in der Gruppe NH. Auch die hörbeeinträchtigten Säuglinge scheinen ihre Artikulation zu trainieren, es stellt sich jedoch kein Trainingseffekt ein, da für diesen offensichtlich die auditive Rückkopplung gebraucht wird. Die kinästhetische Rückkopplung liefert demnach eine wichtige Grundvoraussetzung für den Entwicklungsprozess der Phonationskontrolle, kann die auditive Rückkopplung jedoch nicht vollständig ersetzen.

Der errechnete Anteil der Konstriktionslänge an der Gesamtvokalisationslänge [Anteil_K] bestätigt den Entwicklungsverlauf der eben beschriebenen Konstriktionslängen. Hier zeigt sich unabhängig vom Alter ein grenzwertig signifikanter Probandengruppenunterschied für den Anteil_K, der deskriptiv vor allem durch die großen Probandengruppenunterschiede im 3. Lebensmonat zu erkennen ist (siehe Abbildung 43). Es gibt einen statistisch signifikanten Alterseffekt für beide Gruppen, der sich jedoch deskriptiv in der Intensität in beiden Gruppen unterscheidet. Die normalhörenden Säuglinge beginnen mit einem sehr hohen Anteil laryngealer Konstriktionen, der Lerneffekt setzt schnell ein, denn die Säuglinge verkleinern den

Anteil der laryngealen Konstriktionen im Altersverlauf effektiv. Der Trend, dass sich der Anteil der laryngealen Konstriktion im Altersverlauf verkleinert, ist auch in der Gruppe HI vorhanden, jedoch ist dieser nicht so ausgeprägt. Diese bleiben trotz des leichten Abwärtstrends relativ konstant mit ihrem Anteil der laryngealen Konstriktionen in K1. Daran lässt sich erkennen, dass der Lerneffekt ohne die auditive Rückkopplung geringer zu sein scheint, als mit beiden Rückkoppelungsmechanismen zusammen.

Da laryngeale Konstriktionen als Vorläufer des silbischen Sprachvermögens gesehen werden (Buder et al., 2013; Esling, 2005; Kent & Murray, 1982; Stark, 1980), scheint es interessant, die in der vorliegenden Arbeit erfassten Konstriktionslängen mit den Silbenlängen aus der Fachliteratur zu vergleichen. Dabei muss zum einen betont werden, dass in der Fachliteratur bisher keine temporalen Eigenschaften laryngealer Konstriktionsphänomene erfasst wurden und es demnach keine Studien gibt, die laryngeale Konstriktionslängen mit Silbenlängen vergleichend analysiert haben. Zum anderen gibt es nur wenige systematische Untersuchungen, in welchen überhaupt temporale Eigenschaften der Silben in den ersten Lebensmonaten der vorsprachlichen Entwicklung bei normalhörenden und hörbeeinträchtigten Säuglingen systematisch erfasst wurden.

Laut Oller (2000) gibt es eine Obergrenze für kanonische Babbelsilben, die bei 500ms liegt. Dabei differenziert Oller marginale und kanonische Babbelsilben in Abhängigkeit der Übergangszeit der Vokal-Konsonant- oder Konsonant-Vokal-Kombination innerhalb der Silben. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die Konstriktionslängen unabhängig vom Beobachtungszeitraum in der Gruppe NH durchschnittlich 383ms und in der Gruppe HI 411ms betragen. Demnach wurde die Obergrenze für kanonische Babbelsilben in beiden Probandengruppen in dem Mittelwert der Konstriktionslängen nicht überschritten. Allerdings ist der Variationsbereich hochgradig variabel und unterstreicht abermals den spielerischen Charakter der Entwicklungsphase der Säuglinge. Zum Vergleich: Die Silbenlängen von Erwachsenen werden mit einer Range von 100-500ms angegeben (Pickett, 2001).

Lynch et al. (1995) untersuchte die Silbenlänge von acht gesunden Säuglingen und Säuglingen mit Down-Syndrom im 2.-12. Lebensmonat. Hier wiesen die gesunden Säuglinge im gesamten Beobachtungszeitraum auch eine durchschnittliche Silbenlänge von 300-400ms auf (Lynch, Oller, Steffens, & Buder, 1995, S. 15). In einer Pilotuntersuchung zur Charakterisierung artikulatorischer Mechanismen in kanonischen Babbellauten wurden die Silbenlängen von vier hochgradig hörbeeinträchtigten

Säuglingen untersucht (Keck, 2017). Hierbei zeigte sich für die hörbeeinträchtigten Säuglinge ein Gruppenmittelwert der kanonischen Babbelsilben von 284ms (Keck, 2017, S. 72). Demnach liegen auch die kanonischen Babbellaute in einer ähnlichen Zeitspanne wie die Konstriktionslängen in der vorliegenden Arbeit. Deskriptiv fallen die exakten Babbelsilben in der Studie von Keck jedoch etwas kürzer aus als die Konstriktionslängen der normalhörenden und hörbeeinträchtigten Säuglinge in der vorliegenden Arbeit. Allerdings muss beachtet werden, dass die vier hörbeeinträchtigten Säuglinge in der Studie von Keck bei der Erfassung der Lautproduktion zwischen 210- 563 Tage alt und bereits mit Cochlea-Implantaten versorgt waren. Das reifere Alter könnte erklären, wieso die Silbenlaute deskriptiv kürzer und sprachähnlicher ausfallen, als die Konstriktionslängen der Säuglinge in der vorliegenden Arbeit (Untersuchungszeitraum 51.-150. Lebenstag).

In einer weiteren Studie, welche die temporalen Eigenschaften von Silben bei normalhörenden und hörbeeinträchtigten Säuglingen vergleichend untersuchte, zeigte sich analog zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, dass eine Hörbeeinträchtigung auch die temporalen Eigenschaften der Silben beeinflusst (Nathani, Oller, & Cobo-Lewis, 2003). In der Studie von Nathani et al. (2003) wurden die Silbenlängen in drei Entwicklungsphasen (präkanonisch, kanonisch und postkanonisch) bei acht hochgradig hörbeeinträchtigten und acht normalhörenden Säuglingen vergleichend untersucht. Dabei wurde zusätzlich die Position der Silbenlänge beachtet, die sich entweder final am Ende einer Phrase (FSL) oder „non final“ befinden konnte. Die deskriptiven Ergebnisse zeigten, dass sowohl die finalen als auch die non finalen Silbenlängen bei den hörbeeinträchtigten Säuglingen im Mittel länger waren als bei den normalhörenden Säuglingen (unabhängig von der Entwicklungsphase). Als statistisch signifikant bestätigten sich diese deskriptiven Ergebnisse nur für die Dauer der FSL. Wird die Position der Silben vernachlässigt, betrug die mittlere Silbendauer bei den hörbeeinträchtigten Säuglingen 428ms und bei den normalhörenden Säuglingen 368ms (Nathani et al., 2003, S. 17). Verglichen dazu waren auch in der vorliegenden Arbeit die Konstriktionslängen der hörbeeinträchtigten Säuglinge im 5. Lebensmonat durchschnittlich höher (Mittelwert: 411ms) als die Konstriktionslängen der normalhörenden Säuglinge (Mittelwert: 308ms), was sich auch durch die gemischten Modelle als statistisch signifikant bestätigte.

Demnach zeigten sich sowohl in der vorliegenden Arbeit, als auch in der Studie von Nathani et al. erste Tendenzen, dass zum einen die Konstriktionslängen als auch die Silbenlängen hörbeeinträchtigter Säuglinge durch die fehlende auditive Rückkopplung

verlängert werden. Dabei umfassen die Konstriktionsphänomene im Mittelwert eine ähnliche Zeitspanne, wie die von Nathani et al. untersuchten Silben (300-400ms). Für die Interpretation dieser Ergebnisse muss jedoch berücksichtigt werden, dass die hörbeeinträchtigten Säuglinge in der Studie von Nathani et al. zum Teil deutlich älter waren (Alter 8 Monate bis 4 Jahre) als die Säuglinge in der vorliegenden Arbeit. Leider liegen in der Fachliteratur keine geeigneteren Studien zu Vergleichszwecken mit der vorliegenden Arbeit vor.

Zusammengefasst geben die Vergleiche laryngealer Konstriktionslängen aus der vorliegenden Arbeit mit den Silbenlängen aus der Fachliteratur auch aus dieser Perspektive einen Hinweis darauf, dass laryngeale Konstriktionen ein Vorreiter der späteren Silbenbildung sein könnten. Denn zum einen entspricht die gemittelte Dauer laryngealer Konstriktionen (Mittelwert: 300-400ms) ungefähr der Dauer späterer Silbenformen, zum anderen zeigt sich, dass sich eine Hörbeeinträchtigung sowohl auf die Dauer der Konstriktionslängen in der vorliegenden Arbeit als auch auf die Silbenlängen in der Studie von Nathani et al. in Form einer Längenzunahme auswirkt.

4.4 Limitationen

4.4.1 Datenerhebung und Studiendesign

Eine wichtige Limitation der vorliegenden Arbeit betrifft die Datenerhebung der bereits erwähnten Kohortenstudie, in welcher die Komfortlaute (Babbling) bei Säuglingen zum Zeitpunkt des Neugeborenen-Hörscreenings-2 untersucht wurden. In den meisten Fällen wurden die Lautaufnahmen der Säuglinge direkt am Anschluss an die BERA-Untersuchung durchgeführt. Da die Säuglinge während der BERA-Untersuchung schlafen müssen, wurden sie anschließend für die Studienteilnahme von den Eltern geweckt. Dies hatte zur Folge, dass viele Säuglinge eher Weinlaute äußerten, als die gewünschten Komfortvokalisationen. Während der höchstens 10- bis 15-minütigen Aufnahmedauer wurden die Säuglinge durch Spielzeugattrappen, die durch visuelle Fixierung zur Lautstimulation führten, zur Lautproduktion angeregt. Dabei versuchten die Doktorandinnen möglichst viele Stressoren für den Säugling auszuschalten, was jedoch durch die ungewohnte Umgebung in der Klinik und die Aufregung der Eltern über die ausstehenden Testergebnisse der BERA-Untersuchung nicht immer möglich war. Des Weiteren wurden die Lautaufnahmen in einem schallgedämpften Raum (BERA-Raum) im Universitätsklinikum Würzburg durchgeführt, um mögliche Störgeräusche zu minimieren. Durch eine hohe Anzahl an Patienten, die im CHC betreut werden, konnte

eine Aufnahme im BERA-Raum nicht immer gewährleistet werden. In diesen Fällen wurden die Lautaufnahmen in ruhigen, aber ungedämpften Untersuchungsräumen durchgeführt, was sich jedoch deutlich in der Aufnahmequalität der Lautproduktionen widerspiegelte. Dadurch reduzierte sich die auswertbare Anzahl der Vokalisationen stark.

Eine weitere wichtige Limitation in der vorliegenden Arbeit war die kombinierte Analyse von Querschnitt- und Längsschnittdaten. Dies ergab sich daraus, dass die Kohortenstudie zum Zeitpunkt der Anfertigung der vorliegenden Arbeit noch am Anfang war und daher ein geeignetes Probandenkollektiv für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit noch nicht vorlag. Der Autorin ist bewusst, dass die Zusammensetzung der Stichprobe nicht optimal war, allerdings jedoch eine ausreichende Anzahl homogener Teilnehmer in den Vergleichsgruppen lieferte. Ein weiterer Vorteil des gewählten Designs war die Tatsache, dass sich die Längsschnittdaten ideal für die Analysen eines Alterseffektes eigneten. Auch die Anwendung gemischter Modelle als statistisches Testverfahren in der vorliegenden Arbeit hat die Besonderheiten der Stichprobenzusammensetzung berücksichtigt. Dennoch ist sich die Autorin bewusst, dass die Ergebnisse durch geeignete, größere Stichproben evaluiert werden müssen. Zusätzlich waren die hörbeeinträchtigten Probanden, deren Lautaufnahmen im Längsschnitt erfasst worden waren (AV, AF, AH) bei der Erfassung der Lautproduktion bereits mit Hörhilfen versorgt (siehe Tabelle 1). Die Lautproduktionen der restlichen Probanden der Gruppe HI wurde ohne das Tragen einer Hörhilfe erfasst. Dieser Aspekt ist insofern von relativ geringer Relevanz, da nicht zu erwarten ist, dass die Hörgeräte im Falle dieser hochgradigen Hörstörung überhaupt von relevantem Nutzen sind.

4.4.2 Analyse laryngealer Konstriktionsphänomene

Da in der Fachliteratur laryngeale Konstriktionsphänomene uneinheitlich definiert werden, beinhalten die bisherigen Voranalysen über laryngeale Konstriktionen unterschiedliche Ausprägungsformen dieser Phänomene. Die Auswahl der Ausprägungsformen laryngealer Konstriktionsphänomene in der vorliegenden Arbeit wurde basierend auf dem Modell von John Esling (2005) und anhand eindeutig identifizierbarer auditiver und spektrographischer Merkmale getroffen (siehe Kapitel 2.4.2). Damit sind die in der Arbeit berichteten Ergebnisse vor dem Hintergrund der neu definierten Konstriktionsphänomene zu interpretieren.

Nach der geplanten Publikation der wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, könnte die hier entwickelte Definition laryngealer Konstriktionsphänomene als Anregung für weitere Untersuchungen dienen.

Da die Analyse der qualitativen Parameter (Graduierung, Vokalisationstyp, Kategorisierung) ein exploratives Pilotprojekt der vorliegenden Arbeit war, ergaben sich erst während der Untersuchung der Vokalisationen neue Erkenntnisse über weitere sinnvolle Analyseparameter laryngealer Konstriktionen. So wäre unter anderem die Interpretation des Vokalisationstyps sinnvoller, wenn das gesamte Lautrepertoire untersucht worden wäre, und nicht nur die Vokalisationstypen innerhalb der Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen. Auch die Konstriktionskategorien waren mit der Einteilung in die zwölf Kategorien zu kompliziert, so dass die Autorin der vorliegenden Arbeit für weitere Nachanalysen eine vereinfachte Kategorisierung empfehlen würde. Für die Graduierung laryngealer Konstriktionen würde die Autorin der vorliegenden Arbeit empfehlen, nicht mehr zwischen den Konstriktionsphänomenen Pressen und glottalen Stopps zu unterscheiden, da sich beide Phänomene auditorisch stark ähneln und spektrographisch durch verschiedene Systemeinstellungen in PRAAT (siehe Abbildung 23) ineinander über gehen können, sodass eine eindeutige Zuteilung in beide Phänomene schwierig durchzuführen war. Für die Analyse der temporalen Eigenschaften wurden Einzelvokalisationen mit Konstriktionsphänomenen [K1] in PRAAT vermessen. Für eine bessere Vergleichbarkeit von Silbenlängen und Konstriktionslängen wäre es in nachfolgenden Arbeiten sinnvoll, in allen geäußerten Einzelvokalisationen (K0 und K1) Konstriktionslängen zu vermessen, sodass diese direkt miteinander verglichen werden können.

5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, erstmalig die Auftrittshäufigkeiten, qualitative und quantitative Eigenschaften von Komfortvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen bei normalhörenden und hörbeeinträchtigten Säuglingen im 3.-5. Lebensmonat vergleichend zu analysieren.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigten, dass die reine Auftrittshäufigkeit laryngealer Konstriktionen zu keiner Differenzierung zwischen den hier untersuchten Probandengruppen beitrug. Auch die qualitativen Eigenschaften laryngealer Konstriktionen wurden von beiden Probandengruppen gleichermaßen spielerisch und damit sehr variabel genutzt und folgten keinem erkennbaren intentionalen Verhalten. Ausgehend von dem Modell von Schultz-Coulon (1976) wird dieser Befund dahingehend interpretiert, dass im Rahmen des komplexen Regelsystems der Phonation die auditive Rückkopplung zur Erzeugung laryngealer Konstriktionsphänomene sekundär ist. Die propriozeptive Komponente spielt hierbei die entscheidende Rolle und könnte die Ähnlichkeit zwischen den Probandengruppen bezüglich der Auftrittshäufigkeiten und der qualitativen Eigenschaften laryngealer Konstriktionen erklären.

Das eindrucksvollste Ergebnis der vorliegenden Arbeit zeigte sich in der Analyse der temporalen Eigenschaften laryngealer Konstriktionen, die durch die Hörbeeinträchtigung maßgeblich beeinflusst werden. Für die zeitliche Organisation der Lautproduktion ist hier offensichtlich nicht allein die kinästhetische Rückkopplung entscheidend, sondern alle an der Regelung beteiligten Rückkoppelungsmechanismen, inklusive der auditiven Rückkopplung. In der Gruppe der normalhörenden Säuglinge lassen sich im beobachteten Alterszeitraum Reifungsphänomene bezüglich der zeitlichen Organisation erkennen, wohingegen diese bei den hörbeeinträchtigten Säuglingen zu fehlen scheinen. Des Weiteren konnten erste Vergleiche temporaler Eigenschaften zwischen laryngealen Konstriktionen und späteren Silbenformen die These bestätigen, dass es sich bei den laryngealen Konstriktionen um Vorformen der späteren Silbenbildung handeln könnte. Für eine Verallgemeinerung dieser Befunde ist zu berücksichtigen, dass es sich um eine zwar homogene, aber kleine Stichprobe handelte.

Die Arbeit liefert einen weiteren wichtigen Schritt für ein verbessertes Verständnis laryngealer Konstriktionen und ihrer Rolle in der vorsprachlichen Entwicklung normalhörender und hörbeeinträchtigter Säuglinge. Vor allem der Fokus auf die zeitliche Organisation in der Produktion laryngealer Konstriktionsphänomene könnte relevant für weiterführenden Untersuchungen sein.

6 Literaturverzeichnis

- Benner, A. (2009). *Production and Perception of Laryngeal Constriction in the Early Vocalizations of Bai and English Infants* (Dissertation). University of Victoria, Victoria, Canada.
- Benner, A., & Grenon, I. (2011). The Relationship between Laryngeal Constriction and Vowel Quality in Infants Learning English and Bai. *17th International Congress of Phonetic Sciences*, 308–311.
- Binos, P., Thodi, C., Vogazianos, P., Psillas, G., & Constantinidis, J. (2020). An acoustic and auditory analysis of vocants in infants with cochlear implants. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 46(1), 28–34. <https://doi.org/10.1080/14015439.2020.1724325>
- Blum, D. M. (2020). *Vergleichende Analyse melodischer Eigenschaften von frühen Komfortlauten bei gesunden und hochgradig hörgeschädigten Säuglingen* (Dissertation). Universität Würzburg, Würzburg. <https://doi.org/10.25972/OPUS-21139>
- Boersma, P., & Weenink, D. *Praat: doing Phonetics by Computer*. Abgerufen am 02.05.2020. Retrieved from <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- Buder, E. H., Chorna, L. B., Oller, D. K., & Robinson, R. B. (2008). Vibratory regime classification of infant phonation. *Journal of Voice*, 22(5), 553–564.
- Buder, E. H., Warlaumont, & Oller, D. K. (2013). An acoustic phonetic catalog of prespeech vocalisations from a developmental perspective. In A. A. N. MacLeod & B. Peter (Eds.), *Languages and linguistics. Comprehensive perspectives on speech sound development and disorders: Pathways from linguistic theory to clinical practice* (pp. 103–134). New York: Nova Publishers.
- Cebulla, M., & Shehata-Dieler, W. (2012). Abr-based newborn hearing screening with MB11 BERaPhone® using an optimized chirp for acoustical stimulation. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 76(4), 536–543. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2012.01.012>
- Chesters, J., Baghai-Ravary, L., & Möttönen, R. (2015). The effects of delayed auditory and visual feedback on speech production. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(2), 873–883. <https://doi.org/10.1121/1.4906266>
- Clad, F. *Melodisch-prosodische Eigenschaften von Vokanten bei normalhörenden und sensorineuralgestörten Säuglingen im Alter von 3-6 Monaten* (Dissertation in Vorbereitung). Universität Würzburg, Würzburg.
- Clement, C. J., Koopmans-van Beinum, F. J., & Pols, L.C.W. (1996). Acoustical characteristics of sound production of deaf and normally hearing infants. In

Proceeding of Fourth International Conference on Spoken Language Processing. ICSLP '96 (pp. 1549–1552). <https://doi.org/10.1109/ICSLP.1996.607914>

Clement, C. J. (2004). *Development of vocalizations in deaf and normally hearing infants*. Zugleich: Dissertation (2004), Universität von Amsterdam, Amsterdam. *LOT: Vol. 100*. Utrecht: LOT.

Complete Vocal Institute (2019). *Description and sound of Growl*. Abgerufen am 15.02.2022. Retrieved from <https://cvtresearch.com/description-and-sound-of-growl/>

Eilers, R. E., & Oller, D.K. (1994). Infant vocalizations and the early diagnosis of severe hearing impairment. *The Journal of Pediatrics*, 124(2), 199–203. [https://doi.org/10.1016/S0022-3476\(94\)70303-5](https://doi.org/10.1016/S0022-3476(94)70303-5)

Eisenmann, M. S. (2021). *Entwicklung, Testung und Anwendung von PRAAT Skripten zur semi-automatischen Vokalisationsanalyse im Rahmen der Vorsprachlichen Diagnostik am ZVES* (Dissertation). Universität Würzburg, Würzburg. <https://doi.org/10.25972/OPUS-22285>

Erber, N. P. (1978). Vibratory perception by deaf children. *International Journal of Rehabilitation Research*, 1(1), 27–37. <https://doi.org/10.1097/00004356-197801000-00004>

Esling, J. H. (2005). There Are No Back Vowels: The Larygeal Articulator Model. *Canadian Journal of Linguistics*, 50(1-4), 13–44. <https://doi.org/10.1017/S0008413100003650>

Esling, J. H. (2012). The Articulatory Funktion of the Larynx and the Origins of Speech. *Proceedings of the Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society*. (38), 121–149.

Esling, J. H. (2019). Voice and Voice Quality. In J. H. Esling, S. R. Moisik, A. Benner, & L. Crevier-Buchman (Eds.), *Voice Quality: The Laryngeal Articulator Model* (pp. 1–36). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108696555.001>

Finkenzeller, P. (1996), Finkenzeller, P; Kammermeier-Blessing, Claudia. Patent Nummer DE000019636478C1. Deutschland.

Frank, V. (2022). *Analyse melodischer und artikulatorischer Eigenschaften in Komfortvokalisationen von Säuglingen mit deutscher Muttersprache im Alter von 3-7 Monaten* (Dissertation). Würzburg, Universität Würzburg.

Goberman, A. M., & Robb, M. P. (2005). Acoustic characteristics of crying in infantile laryngomalacia. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 30(2), 79–84.

Gordon, M., & Ladefoged, P. (2001). Phonation types: a cross-linguistic overview. *Journal of Phonetics*, 29(4), 383–406. <https://doi.org/10.1006/jpho.2001.0147>

- Gräfin von Spiegel zum Diesenberg-Hanxleden, M.-A. (2009). *Spektrographische Analyse der Vokalisierungen hochgradig hörgeschädigter Kinder im Zeitraum vor, während und nach Cochlea-Implantation* (Dissertation). Universität Würzburg, Würzburg.
- Gregory, A., Tabain, M., & Robb, M. (2018). Duration and Voice Quality of Early Infant Vocalizations. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 61(7), 1591–1602. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-17-0316
- Hammerstädt, P. *Quantitative Analyse laryngealer Konstriktionsphänomene in vorsprachlichen Vokalisationen der Lebensmonate 4-6 von Säuglingen mit orofazialen Spalten* (Dissertation in Vorbereitung). Universität Würzburg, Würzburg.
- Keck, J. (2017). *Pilotuntersuchung zur Anwendbarkeit einer Phonations-Artikulations-Interaktionsanalysemethode zur Charakterisierung artikulatorischer Mechanismen in kanonischen Babbellauten von Säuglingen mit hochgradiger sensorineuraler Hörminderung* (Dissertation). Universität Würzburg, Würzburg.
- Kent, R. D., & Murray, A. D. (1982). Acoustic features of infant vocalic utterances at 3, 6, and 9 months. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 72(2), 353–365. <https://doi.org/10.1121/1.388089>
- Kral, A., Hartmann, R., Tillein, J., Heid, S., & Klinke, R. (2000). Congenital Auditory Deprivation Reduces Synaptic Activity within the Auditory Cortex in a Layer-specific Manner. *Cerebral Cortex*, 10(7), 714–726. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.7.714>
- Ladefoged, P. (1981). *Preliminaries to linguistic phonetics. Midway reprint*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lane, H., & Webster, J. W. (1991). Speech deterioration in postlingually deafened adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 89(2), 859–866. <https://doi.org/10.1121/1.1894647>
- Lane, H., & Tranel, B. (1971). The Lombard Sign and the Role of Hearing in Speech. *Journal of Speech and Hearing Research*, 14(4), 677–709. <https://doi.org/10.1044/jshr.1404.677>
- Lynch, M. P., Oller, D. K., Steffens, M. L., & Buder, E. H. (1995). Phrasing in prelinguistic vocalizations. *Developmental Psychobiology*, 28(1), 3–25. <https://doi.org/10.1002/dev.420280103>
- Lynch, M. P., Oller, D. K., & Steffens, M. (1989). Development of speech-like vocalizations in a child with congenital absence of cochleas: The case of total deafness. *Applied Psycholinguistics*, 10(3), 315–333. <https://doi.org/10.1017/S0142716400008651>

Mack, J. *Quantitative Analyse laryngealer Konstriktionsphänomene in vorsprachlichen Vokalisationen der Lebensmonate 1-3 von Säuglingen mit orofazialen Spalten* (Dissertation in Vorbereitung). Universität Würzburg, Würzburg.

Martin, J. A. M. (1981). *Voice, Speech, and Language in the Child: Development and disorder. Disorders of human communication: Vol. 4.* Wien: Springer Wien.

Meyer, J. (2017). *Phonetische Analysen mit Praat: Ein Handbuch für Ein- und Umsteiger.* lingphon.net.

Moeller, M. P., Hoover, B., Putman, C., Arbataitis, K., Bohnenkamp, G., Peterson, B., . . . Stelmachowicz, P. (2007). Vocalizations of infants with hearing loss compared with infants with normal hearing: Part I--phonetic development. *Ear and Hearing, 28*(5), 605–627. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31812564ab>

Möller, S., & Schönweiler, R. (1999). Analysis of infant cries for the early detection of hearing impairment. *Speech Communication, 28*(3), 175–193. [https://doi.org/10.1016/S0167-6393\(99\)00016-3](https://doi.org/10.1016/S0167-6393(99)00016-3)

Nathani, S., Ertmer, D. J., & Stark, R. E. (2006). Assessing vocal development in infants and toddlers. *Clinical Linguistics & Phonetics, 20*(5), 351–369. <https://doi.org/10.1080/02699200500211451>

Nathani, S., Oller, D. K., & Cobo-Lewis, A. B. (2003). Final Syllable Lengthening (FSL) in infant vocalizations. *Journal of Child Language, 30*(1), 3–25. <https://doi.org/10.1017/S0305000902005433>

Oller, D. K., & Eilers, R. E. (1988). The Role of Audition in Infant Babbling. *Child Development, 59*(2), 441. <https://doi.org/10.2307/1130323>

Oller, D. K., Eilers, R. E., Bull, D. H., & Carney, A. E. (1985). Prespeech vocalizations of a deaf infant: A comparison with normal metaphonological development. *Journal of Speech and Hearing Research, 28*(1), 47–63. <https://doi.org/10.1044/jshr.2801.47>

Oller, D. K. (2000). *The emergence of the speech capacity.* Mahwah, New Jersey: Erlbaum.

Pickett, J. M. (2001). *The acoustics of speech communication: Fundamentals, speech perception theory, and technology* (3rd ed.). Boston: Allyn and Bacon.

Robb, M. P., & Pang-Ching, G. K. (1992). Relative timing characteristics of hearing-impaired speakers. *The Journal of the Acoustical Society of America, 91*(5), 2954–2960. <https://doi.org/10.1121/1.402931>

Robb, M. P., Yavarzadeh, F., Schluter, P. J., Voit, V., Shehata-Dieler, W., & Wermke, K. (2020). Laryngeal Constriction Phenomena in Infant Vocalizations. *Journal of*

Speech, Language, and Hearing Research, 63(1), 49–58.
https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-S-19-0205

- Schultz-Coulon, H.-J. (1976). Zur Bedeutung der kinästhetisch-reflektorischen Phonationskontrolle für die Genauigkeit der Stimme. *Folia Phoniatrica Et Logopaedica*, 28(6), 335–348. <https://doi.org/10.1159/000264057>
- Shehata-Dieler, W. E., Dieler, R., Keim, R., Finkenzeller, P., Dietl, J., & Helms, J. (2000). Universelle Hörscreening-Untersuchungen bei Neugeborenen mit dem BERAphon. *Laryngo- rhino- otologie*, 79(2), 69–76. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8792>
- Shehata-Dieler, W. E., Dieler, R., Wenzel, G., Keim, R., Singer, D., & Deuster, C. von (2002). Das Würzburger Hörscreening-Programm bei Neugeborenen. Erfahrungen bei mehr als 4000 Säuglingen - Einfluss nichtpathologischer Faktoren auf die Messergebnisse. *Laryngo- rhino- otologie*, 81(3), 204–210. <https://doi.org/10.1055/s-2002-25040>
- Shehata-Dieler, W., Ehrmann-Mueller, D., Wermke, P., Voit, V., Cebulla, M., & Wermke, K. (2013). Pre-speech diagnosis in hearing-impaired infants: How auditory experience affects early vocal development. *Speech, Language and Hearing*, 16(2), 99–106. <https://doi.org/10.1179/2050571X13Z.00000000011>
- Stark, R. E. (1980). Stages of speech development in the first year of life. In G. H. Yeni-Komshian, J. F. Kavanagh, & C. A. Ferguson (Eds.), *Perspectives in neurolinguistics, neuropsychology, and psycholinguistics: Vol. 7. Child phonology*. New York: Academic Press.
- Stoel-Gammon, C. (1988). Prelinguistic vocalizations of hearing-impaired and normally hearing subjects: A comparison of consonantal inventories. *The Journal of Speech and Hearing Disorders*, 53(3), 302–315. <https://doi.org/10.1044/jshd.5303.302>
- Stoel-Gammon, C., & Otomo, K. (1986). Babbling development of hearing-impaired and normally hearing subjects. *The Journal of Speech and Hearing Disorders*, 51(1), 33–41. <https://doi.org/10.1044/jshd.5101.33>
- Van den Dikkenberg-Pot, I., Beinum, F. J., & Clement, C. J. (1998). Influence of lack of auditory speech perception on sound productions of deaf infants. *Institute of Phonetic Sciences: University of Amsterdam Proceedings*, 22, 47–60.
- Wagner, K. H. (2004, 05. Februar). *Einführung in die Phonetik und Phonologie: Der Phonationsprozess*. [Vortrag]. Phonetik und Phonologie, Universität Bremen. Abgerufen am 02.03.2022. Retrieved from <http://www.fb10.uni-bremen.de/khwagner/phonetik/pdf/Phonation-h.pdf>
- Wermke, K., & Mende, W. (2009). Musical elements in human infants' cries: In the beginning is the melody. *Musicae Scientiae*, 13(2), 151–175. <https://doi.org/10.1177/1029864909013002081>

Wermke, K., & Mende, W. (2016). From melodious cries to articulated sounds: Melody at the root of language acquisition. In M. C. Fonseca-Mora & M. Gant (Eds.), *Melodies, Rhythm and Cognition in Foreign Language Learning* (pp. 24–47). Newcastle-upon-Tyne: Cambridge Scholars Publishing.

World Health Organization (1991). *Report of the Informal Working Group on Prevention of Deafness and Hearing Impairment Programme Planning, Geneva, 18-21 June 1991*.

World Health Organization (2021). *World report on hearing: Executive summary*. Geneva.

Yavarzadeh, F. (2020). *Auftreten laryngealer Konstriktionsphänomene in verschiedenen Vokalisationstypen der ersten 7 Lebensmonate bei Säuglingen ohne Lippen-Kiefer-Gaumen-Segelspalten* (Dissertation). Universität Würzburg, Würzburg. <https://doi.org/10.25972/OPUS-21023>

Yoshinaga-Itano, C., Sedey, A.L., Coulter, D. K., & Mehl, A. L. (1998). Language of Early- and Later-identified Children With Hearing Loss. *Pediatrics*, *102*(5), 1161–1171. <https://doi.org/10.1542/peds.102.5.11>

Appendix

I Abkürzungsverzeichnis

A	Konstriktionsphänomen am Lautanfang (Anpressen)
A_MM_uv/v	Konstriktionsphänomen am Lautanfang und zusätzlich mehr als ein Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation (unvollständig/vollständig)
A_M_uv/v	Konstriktionsphänomen am Lautanfang und zusätzlich ein Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation (unvollständig/vollständig)
A_Mix	Konstriktionsphänomen am Lautanfang und eine zusätzliche Kombination aus einem unvollständigen- und vollständigen Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation
B	Vokalisationstyp B
BERA	Brainstem electric response audiometry
CHC	Comprehensive hearing center
CDAP	Cry-Data-Analysis-Program
CI	Cochlea-Implantat
d	Alter in Tagen
dB	Dezibel
FAEP	Frühe akustisch evozierte Potentiale
FLS	Final syllable lenghtening
F0	Grundfrequenz
HG	Hörgerät
Hz	Hertz
HI	Hörbeeinträchtigte Säuglinge (hear impaired)
KK	Kontrollkollektiv
K0	Einzelvokalisationen ohne laryngeale Konstriktionsphänomene
K1	Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen

Abkürzungsverzeichnis

Mix	Kombination aus einem unvollständigen und vollständigen Konstriktionsphänomen innerhalb einer Einzelvokalisation
MM_uv/v	Mehr als ein Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende derselben Einzelvokalisation (unvollständig/vollständig)
ms	Millisekunde
M_uv/v	Einzelnes Konstriktionsphänomen in der Lautmitte/Lautende der Einzelvokalisation (unvollständig/vollständig)
NH	Normalhörende Säuglinge
NHS (1 und 2)	Neugeborenen Hörscreening (1 und 2)
N	Anzahl der Fälle
PK	Patientenkollektiv
PRAAT	Open Source-Programm zur phonetischen Analyse von Sprachdaten, entwickelt von Paul Boersma und David Weenink
s	Sekunde
SES	Schallempfindungsstörung
T	Konstriktionskategorie Total
U	Vokalisationstyp U
UV	Unvollständiges Konstriktionsphänomen
V	Vollständiges Konstriktionsphänomen
WHO	World Health Organisation
ZVES	Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über das allgemeine Studiendesign der Kohortenstudie	8
Abbildung 2: Probandenkollektiv der vorliegenden Arbeit	10
Abbildung 3: Einzelvokalisation in einem PRAAT-Ausgabefenster.....	16
Abbildung 4: Analyseelemente von K1.....	18
Abbildung 5: Beispielvokalisation mit laryngealem Konstriktionsphänomen [K1].....	20
Abbildung 6: Vokalisationstyp U.....	22
Abbildung 7: Vokalisationstyp B.....	23
Abbildung 8: Differenzierung der Konstriktionsphänomene von Strohass bis vollständiger Glottisverschluss und finale Einteilung in unvollständige und vollständige Konstriktionsphänomene, angelehnt an Ladefoged (1981)	24
Abbildung 9: Einzelvokalisation mit einem unvollständigen Konstriktionsphänomen [eigene Darstellung]	25
Abbildung 10: Einzelvokalisation mit einem vollständigen Konstriktionsphänomen [eigene Darstellung]	26
Abbildung 11: Schematische Einordnung von K1 in die Konstriktionskategorien.....	28
Abbildung 12: Konstriktionskategorie A [eigene Darstellung]	31
Abbildung 13: Kategorie A in PRAAT	32
Abbildung 14: Konstriktionskategorie T [eigene Darstellung].....	32
Abbildung 15: Kategorie T in PRAAT	33
Abbildung 16: Konstriktionskategorie M_uv [eigene Darstellung]	34
Abbildung 17: Kategorie M_uv in PRAAT.....	35
Abbildung 18: Konstriktionskategorie M_v [eigene Darstellung]	35
Abbildung 19: Kategorie M_v in PRAAT.....	36
Abbildung 20: Konstriktionskategorie Mix [eigene Darstellung]	36
Abbildung 21: Kategorie Mix in PRAAT.....	37
Abbildung 22: Ablauf der Analyse temporaler Eigenschaften von Einzelvokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen	38
Abbildung 23: Standardisierte Systemeinstellungen für die Berechnung und Darstellung der Frequenzspektrogramme in PRAAT.....	39

Abbildung 24: Darstellung des PRAAT Ausgabefensters zur Cursersetzung (rot) zur Markierung des Startpunkts der Einzelvokalisation	41
Abbildung 25: Darstellung des PRAAT Ausgabefensters bei der Vermessung der Konstriktionslänge [Lkons]	42
Abbildung 26: Darstellung des PRAAT Ausgabefensters der vollständigen Vermessung der Einzelvokalisation	43
Abbildung 27: Boxplot Diagramm der Auftrittshäufigkeiten laryngealer Konstriktionsphänomene im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich	46
Abbildung 28: Boxplot Diagramm der kindgemittelten monatlichen prozentualen Auftrittshäufigkeit laryngealer Konstriktionsphänomene im Probandengruppenvergleich	48
Abbildung 29: Kreisdiagramm der prozentualen Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen [U und B] im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich	52
Abbildung 30: Säulendiagramme der prozentualen Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen im monatlichen Altersverlauf im Probandengruppenvergleich	54
Abbildung 31: Kreisdiagramm der prozentualen Auftrittshäufigkeiten unvollständiger [UV] und vollständiger [V] laryngealer Konstriktionsphänomene im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich	56
Abbildung 32: Säulendiagramm der Graduierung laryngealer Konstriktionsphänomene im Probandengruppenvergleich.....	58
Abbildung 33: Säulendiagramm der prozentualen Auftrittshäufigkeit der Konstriktionskategorien für den gesamten Beobachtungszeitraum der Gruppe NH.....	60
Abbildung 34: Säulendiagramm der prozentuale Auftrittshäufigkeit der Konstriktionskategorien für den gesamten Beobachtungszeitraum der Gruppe HI	60
Abbildung 35: Histogramm der Verteilung der logarithmierten Werte der Gesamtvokalisationslänge	63
Abbildung 36: Symmetrisches Punktdiagramm für die Häufigkeitsverteilung [N] der Gesamtvokalisationslänge [s] differenziert nach Probandengruppe	64
Abbildung 37: Fehlerbalkendiagramm des 95% Konfidenzintervalls der Gesamtvokalisationslänge [s] im monatlichen Altersverlauf differenziert nach der Probandengruppe.....	65
Abbildung 38: QQ-Diagramm der Residuen der logarithmierten Gesamtvokalisationslänge [log s]	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 39: Histogramm der Häufigkeitsverteilung der Konstriktionslänge [log s]....	68
Abbildung 40: Fehlerbalkendiagramm der Konstriktionslänge [s] im monatlichen Altersverlauf beider Probandengruppen	70
Abbildung 41: QQ-Diagramm der Residuen der logarithmierten Konstriktionslänge [log s]	71
Abbildung 42: Boxplotdiagramm des Anteils_K [%] im Probandengruppenvergleich...	74
Abbildung 43: Fehlerbalkendiagramm der Variable Anteil_K im monatlichen Altersverlauf differenziert nach der Probandengruppe.....	75
Abbildung 44: QQ-Diagramm der Residuen des logarithmierten Anteils_K [log %]	76

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klinische Daten zur Hörleistung und Versorgung der Probanden der Gruppe HI	12
Tabelle 2: Gesamtanzahl aller Laute und Aufnahmetermine aller Probanden	13
Tabelle 3: Übersicht der gesamten Einzelvokalisationen differenziert nach Anzahl der Aufnahmetermine und Alter in Wochen/Tagen der Gruppe NH	14
Tabelle 4: Übersicht der gesamten Einzelvokalisationen differenziert nach Anzahl der Aufnahmetermine und Alter in Wochen/Tagen der Gruppe HI.....	14
Tabelle 5: Temporale Messgrößen	38
Tabelle 6: Annotation der Einzelvokalisationen in PRAAT	40
Tabelle 7: Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationen mit laryngealen Konstriktionsphänomenen für alle Probanden der Gruppe NH und HI im gesamten Beobachtungszeitraum	45
Tabelle 8: Anzahl der Gesamtvokalisationen [K1 + K0], absolute N [K1] und relative % [K1] Anzahl laryngealer Konstriktionen im Altersverlauf im Probandengruppenvergleich	47
Tabelle 9: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für die Auftrittshäufigkeiten von K1	49
Tabelle 10: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für die Auftrittshäufigkeit von K1, monatlich getrennt.....	49
Tabelle 11: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für die Auftrittshäufigkeiten von K1, Probandengruppen getrennt	50
Tabelle 12: Absolute Häufigkeit der Vokalisationstypen [U und B] für den gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich	51
Tabelle 13: Absolute Auftrittshäufigkeiten der Vokalisationstypen [U und B] im monatlichen Altersverlauf im Probandengruppenvergleich.....	53
Tabelle 14: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für den Vokalisationstyp.....	54
Tabelle 15: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für den Vokalisationstyp, getrennt nach Probandengruppen	55
Tabelle 16: Absolute Auftrittshäufigkeit der vollständigen [V] und unvollständigen [UV] Konstriktionsphänomene im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich	56
Tabelle 17: Absolute Auftrittshäufigkeiten der Graduierung [UV und V] im monatlichen Altersverlauf im Probandengruppenvergleich.....	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 18: Statistische Ergebnisse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells für die Graduierung von K1	58
Tabelle 19: Prozentuale und absolute Häufigkeiten der Konstriktionskategorien im gesamten Beobachtungszeitraum im Probandengruppenvergleich.....	59
Tabelle 20: Monatlicher Entwicklungsverlauf der drei häufigsten Konstriktionskategorien der Gruppe NH	61
Tabelle 21: Monatlicher Entwicklungsverlauf der drei häufigsten Konstriktionskategorien der Gruppe HI.....	61
Tabelle 22: Deskriptive Statistik der Gesamtvokalisationslänge [s]	62
Tabelle 23: Deskriptive Statistik der Gesamtvokalisationslänge [s] differenziert nach Probandengruppe	63
Tabelle 24: Deskriptive Statistik der monatlichen Gesamtvokalisationslänge der Gruppe NH.....	64
Tabelle 25: Deskriptive Statistik der monatlichen Gesamtvokalisationslänge der Gruppe HI	65
Tabelle 26: Statistische Ergebnisse des linearen gemischten Modells für die logarithmierte Gesamtvokalisationslänge [log s].....	66
Tabelle 27: Deskriptive Statistik der Konstriktionslänge [s].....	67
Tabelle 28: Deskriptive Statistik der Konstriktionslänge differenziert nach der Probandengruppe	68
Tabelle 29: Deskriptive Statistik der monatlichen Konstriktionslänge der Gruppe NH .	69
Tabelle 30: Deskriptive Statistik der monatlichen Konstriktionslänge der Gruppe HI ...	69
Tabelle 31: Statistische Ergebnisse des linearen gemischten Modells für die logarithmierte Konstriktionslänge [log s]	71
Tabelle 32: Statistische Ergebnisse der linearen gemischten Modelle für die logarithmierte Konstriktionslänge, monatlich getrennt.....	72
Tabelle 33: Statistische Ergebnisse des linearen gemischten Modells der logarithmierten Konstriktionslänge, nach Probandengruppe getrennt.....	72
Tabelle 34: Deskriptive Statistik der Variable Anteil_K.....	73
Tabelle 35: Deskriptive Statistik der Variable Anteil_K differenziert nach Probandengruppe	73
Tabelle 36: Deskriptive Statistik des monatlichen Anteils_K der Gruppe NH.....	74
Tabelle 37: Deskriptive Statistik des monatlichen Anteils_K der Gruppe HI	74

Tabelle 38: Statistische Ergebnisse des linearen gemischten Modells für den logarithmierten Anteil_K	76
---	----

IV Danksagung

Mein herzlicher Dank geht zunächst an Frau Professorin Dr. Kathleen Wermke, die Leiterin des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES). Ohne Ihr großes zeitliches Engagement, hervorragende Betreuung und vor allem wissenschaftliche Leidenschaft wäre dieses Promotionsvorhaben nicht denkbar gewesen. Ich bin Professorin Dr. Kathleen Wermke sehr dankbar für die vielen fachlichen, aber auch persönlichen Gespräche, die mich in der Promotionszeit bestärkt und vorangebracht haben.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Professorin Dr. Wafaa Shehata-Dieler, Leitende Ärztin der Audiologie, Pädaudiologie, Elektrophysiologie und Phoniatrie der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten des Universitätsklinikums Würzburg für die Übernahme des Zweitgutachtens. Durch Ihre hohe fachliche Kompetenz und die enge Kooperation mit dem ZVES wurde das Promotionsprojekt überhaupt erst ermöglicht.

Mein weiterer Dank gilt Peter Wermke, dem ich nicht nur für seine angebotenen Kurse zur Anwendung von Excel und Mikrosoft und die kompetente Unterstützung bei der Datenaufbereitung dankbar bin, sondern auch für die Ruhe und Zuversicht, die er vermittelt.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir durch ihre Großzügigkeit und bedingungslose Unterstützung diesen Weg überhaupt erst ermöglicht hat. Ich danke besonders meiner Mama, die immer an mich glaubt und mir in allen Lebenslagen Rückhalt gibt. Ein großes Dankeschön auch an meine Tante, Edith und Egon für die große Hilfe und Unterstützung bei der Korrektur dieser Arbeit.

Ein abschließender Dank gehört meinem Freund Max, der mit mir durch alle Höhen und Tiefen geht, mir immer liebevoll und tatkräftig zur Seite steht und auf den ich mich jederzeit bedingungslos verlassen kann.

V Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Jennifer Schenk
Geburtsdatum: 01.09.1996
Geburtsort: Mannheim

Schulbildung

2007– 2014 **Moll Gymnasium, Mannheim**
- Allgemeine Hochschulreife, Note „sehr gut“ (1,5)

2002 – 2006 **Grundschule Almenhof, Mannheim**

Hochschulausbildung

01/2022 – heute **Julius-Maximilians-Universität, Würzburg**
- Promotionsstudium

04/2015 – 11/2021 **Julius-Maximilians-Universität, Würzburg**
- Studium der Humanmedizin
- Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, Note „gut“ (2,0)
- Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, Note „gut“ (2,0)
- Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, Note „gut“ (2,0)

Praktisches Jahr

06/2021 – 10/2021 **Dermatologie**, Klinik für Dermatologie, Venerologie und Allergologie, Universitätsklinikum Würzburg

03/2021 – 06/2021 **Chirurgie**, ANregioemed Klinikum Ansbach

11/2020 – 03/2021 **Innere Medizin**, GRN-Klinik Weinheim, Lehrkrankenhaus der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg