

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit

der Universität Würzburg

Poliklinik für Kieferorthopädie

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

**Vergleichende Analyse akustischer Eigenschaften
spontaner Lautäußerungen von Neugeborenen mit auffälligem
bzw. unauffälligem Hörscreeningbefund**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Vivien Salinger

aus Dormagen

Würzburg, April 2022

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

Koreferent: Prof. Dr. med. Johannes Wirbelauer

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 20.04.2023

Die Promovendin ist Ärztin.

Meiner Familie in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Material und Methoden	8
2.1	Ethikvotum und Einbettung der Arbeit.....	8
2.2	Einschlusskriterien.....	8
2.3	Probandenkollektiv.....	10
2.4	Datenerhebung: Digitale Aufzeichnung der Neugeborenenlaute.....	13
2.5	Auswertung der digital aufgezeichneten Lautaufnahmen	16
2.5.1	Voranalyse: Frequenzspektrogramme.....	16
2.5.2	Bestimmung der Grundfrequenzkontur (Melodie) und der Melodielänge.....	17
2.6	Statistische Auswertung.....	19
3	Ergebnisse.....	21
3.1	Ergebnisse auf Signalebene (Einzellautebene).....	21
3.1.1	Ergebnis der Auswertung der Melodielänge	21
3.1.2	Ergebnis der Auswertung der mittleren Grundfrequenz	25
3.1.3	Ergebnis der Auswertung der Standardabweichung der Grundfrequenz	28
3.1.4	Ergebnis der Auswertung des absoluten Grundfrequenzhubs	32
3.1.5	Ergebnis der Auswertung der maximalen Grundfrequenzwerte pro Einzellaut.....	34
3.1.6	Ergebnis der Auswertung der minimalen Grundfrequenzwerte pro Einzellaut.....	37
3.2	Ergebnisse der statistischen Analysen auf Kindebene	40
3.2.1	Melodielänge (Kindlevel)	40
3.2.2	Mittlere Grundfrequenz (Kindlevel)	43
3.2.3	Ergebnis der Auswertung der Standardabweichung der Grundfrequenz als Maß für die Kurzzeitvariabilität (Kindlevel).....	46
3.2.4	Ergebnis der Auswertung des relativen Frequenzhubs.....	48
3.2.5	Maximale Grundfrequenz (Kindlevel).....	50
3.2.6	Minimale Grundfrequenz (Fmin) auf Kindlevel.....	53
3.3	Prüfung auf geschlechtsspezifische Unterschiede	56
3.3.1	Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in der Melodielänge?	56
3.3.2	Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in der mittleren Grundfrequenz?	59
3.3.3	Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede im relativen Frequenzhub?	62

4	Diskussion	66
4.1	Vergleich der eigenen Messwerte mit Angaben in der Fachliteratur.....	66
4.1.1	Mittlere Grundfrequenz, ihre Extremwerte und Variabilität	66
4.1.2	Melodielänge im Vergleich	67
4.1.3	Grundfrequenz-Modulations-Amplitude (Hub) – geschlechtsspezifische Analyse	68
4.2	Fanden sich hier Unterschiede in den Messgrößen zwischen Neugeborenen mit bzw. ohne auffälligen NHS-Befund?	68
4.3	Limitationen	73
5	Zusammenfassung	74
6	Literaturverzeichnis.....	76

Appendix

I	Abkürzungsverzeichnis
II	Abbildungsverzeichnis
III	Tabellenverzeichnis
IV	Danksagung
V	Lebenslauf
VI	Eigene Veröffentlichungen und Kongressteilnahme

1 Einleitung

Die Früherkennung von Hörstörungen ist eine Voraussetzung für den möglichst ungestörten Spracherwerb betroffener Neugeborener¹. Ohne die Möglichkeit Sprache zu lernen, kann es zu Entwicklungsstörungen bzw. -verzögerungen in vielen Bereichen der Kommunikation, der Kognition und in des sozial-emotionalen Verhaltens eines Kindes kommen (Joint Committee on Infant Hearing, 2007). Ursächlich unterscheidet man zwischen angeborenen und erworbenen Hörstörungen. Die Prävalenz angeborener Hörstörungen liegt laut dem Deutschen Zentralregister für kindliche Hörstörungen (DZH) bei ca. 1,2:1000 (Gross, Finck-Krämer, & Spormann-Lagodzinski, 2000). Für andere Länder werden zum Teil noch höhere Zahlen berichtet; für die USA werden zum Beispiel Prävalenzen von 1,7-3:1000 Neugeborenen angegeben (Vohr, 2003).

Bei den angeborenen Hörstörungen wird zwischen genetischen oder intrauterin/perinatal verursachten Störungen unterschieden. Zu den genetischen Ursachen gehören nicht-syndromale und syndromale Hörstörungen. Beispiele für syndromale Hörstörungen sind das Usher Syndrom Typ 1, das Jervell und Lang-Nielsen Syndrom, das Alport Syndrom und das Waardenburg Syndrom (Korver et al., 2017). Zu intrauterin/perinatal verursachten Störungen gehören z.B. Infektionen mit *Toxoplasma gondii* oder mit Viren, wie dem Rubella-Virus, dem Zytomegalievirus oder Herpes simplex (Korver et al., 2017). Alle angeborenen Hörstörungen sind Sinnesbehinderungen, die unbehandelt sowohl bereits intrauterin als auch postnatal das Hörvermögen beeinflussen.

Studien konnten belegen, dass nicht rechtzeitig diagnostizierte und behandelte Hörstörungen mit einem Mangel an akademischen Leistungen und Verhaltensauffälligkeiten, insbesondere in sozialen Bereichen, assoziiert sein können (Andrews & Mason, 1991). In der Schule konnten Anpassungsschwierigkeiten und die Tendenz zur Isolation beobachtet werden (Davis, Eifenbein, Schum, & Bentler, 1986). Im Erwachsenenalter wurde ein niedrigeres Bildungs- und Beschäftigungsniveau nachgewiesen (Holden-Pitt & Albertorio, 1998). Deshalb ist eine frühe Diagnostik von großer Bedeutung für die Entwicklung des Kindes (Clement & Koopsman-van Beinum, 1995). Es konnte gezeigt werden, dass eine frühe Identifikation einer Hörstörung und eine entsprechende Intervention, z.B.

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit vor dem Hintergrund, dass es sich bei den Proband*innen der Arbeit um Neugeborene handelt, wurde auf genderdifferenzierende Sprache verzichtet. Die verwendete Form versteht sich, soweit im vorliegenden Kontext überhaupt sinnvoll anwendbar, explizit als geschlechtsneutral.

mittels Hörgerät oder Cochleaimplantat, zu vergleichbarer Sprachkompetenz wie bei Kindern mit normaler Hörentwicklung führt (Moeller, 2000; Yoshinaga-Itano, Coulter, & Thomson, 2001; Yoshinaga-Itano, Sedey, Coulter, & Mehl, 1998). In Deutschland wurde 2009 eine bundesweite Einführung des Neugeborenen-Hörscreening (NHS) beschlossen. Das Screening wird entweder durch eine automatisierte Hirnstammaudiometrie (Cebulla & Shehata-Dieler, 2012) oder mittels transitorisch evozierter otoakustischer Emission (TEOAE) an beiden Ohren durchgeführt. Laut dem Beschluss des Gemeinsamen Bundesausschusses wird empfohlen, das Hörvermögen bei allen Neugeborenen bis zum 3. Lebenstag zu untersuchen. Spätestens im Rahmen der Vorsorgeuntersuchung U2 sollte ein Screening erfolgt sein. Bei Frühgeburten sollte das Screening bis zum errechneten Geburtstermin durchgeführt worden sein. Bei auffälligem Neugeborenen-Hörscreening sollte spätestens bis Ende der 12. Lebenswoche eine umfassende audiologische Untersuchung stattgefunden haben. Bei weiterbestehendem Hörverlust sollte spätestens in einem Alter von 6 Monaten eine angemessene Intervention erfolgen. (Bundesministerium für Gesundheit, 2008; Pickett & Ahlstrom, 1999)

Das Neugeborenen-Hörscreening wird derzeit in vielen Kliniken durch die BERA-Untersuchung (Brainstem evoked response audiometry) durchgeführt. In der Neonatologie des Universitätsklinikums Würzburg erfolgt standardisiert die Verwendung eines BERA-phones (Cebulla, Lurz, & Shehata-Dieler, 2014). Hierbei werden akustisch evozierte Potentiale (AEP) mittels Elektroden zwischen Vertex und Mastoid abgeleitet. Es handelt sich um eine elektrophysiologische Untersuchung, die neuronale Aktivitäten in Cochlea, Hörnerv und Hirnstamm auf akustische Reize nachweist. Der Test spiegelt den Funktionsstatus des peripheren Gehörs, des Hörnervs und der zugrundeliegenden Hirnstammprozesse wider, nicht aber denjenigen der höher gelegenen auditiven Verarbeitungszentren. Die Methode ist nicht-invasiv.

Motivation für die vorliegende Arbeit war die Tatsache, dass ein auffälliges Testergebnis in der BERA-Untersuchung im Neugeborenen-Hörscreening nicht automatisch gleichbedeutend mit dem Nachweis einer sensorineuralen Hörstörung ist. Häufig führen vorübergehende Beeinträchtigungen wie Cerumen, Fruchtwasserreste, Mittelohrflüssigkeit, Tubenventilationsstörung, Mittelohrentzündung und Reifungsverzögerung der Hörbahn zu einem zunächst auffälligem Testresultat (falsch-positive Fälle). In einer Studie in Kalifornien an 200 Neugeborenen wurde die Erfolgsrate der BERA-Hirnstammaudiometrie und die der otoakustischen Emissionsrate bei Cerumen ermittelt. Die Prävalenz für

okkludierenden Cerumen lag bei 13%, für nicht okkludierenden bei 32 %. In 54,5% der Fälle war kein Cerumen nachweisbar. In der BERA-Hirnstammaudiometrie lag die Rate von unauffälligen Testergebnissen bei okkludierendem Cerumen bei 66% und war signifikant niedriger als bei Probanden mit nicht okkludierendem Cerumen oder ohne Cerumen (92%) (Doyle, Burggraaff, Fujikawa, Kim, & MacArthur, 1997).

Bei auffälligen Ergebnissen im ersten Neugeborenen-Hörscreening (NHS-1) muss der Test wiederholt werden, um eine echte Hörstörung von beispielsweise einer nur temporär vorhandenen Schallleitungsstörung abzugrenzen. Dazu werden am Universitätsklinikum Würzburg alle im NHS-1 BERA-auffälligen Neugeborenen wenige Wochen später noch einmal in der HNO-Klinik nachuntersucht. Die Mehrzahl der Säuglinge zeigt dabei einen unauffälligen Befund (Shehata-Dieler et al., 2000). Bei Säuglingen, deren auffälliger NHS-1 Test auf eine tatsächlich bestehende sensorineurale Hörstörung zurückzuführen ist, geht inzwischen wertvolle Entwicklungszeit durch die verspätete Diagnose verloren. Die Frühdiagnostik auf diesem Gebiet zu verbessern hat darüber hinaus auch klinische Relevanz. Daher hat eine interdisziplinäre Forschungskooperation zwischen dem Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES), der Frauenklinik, der Kinderklinik und dem Comprehensive Hearing Center (CHC) der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen des Universitätsklinikums Würzburg das Ziel, die potenzielle Eignung der Lautproduktion der Neugeborenen und junger Säuglinge als zusätzliches Screeningwerkzeug zu testen. Die theoretische Begründung sowie eine Reihe empirischer Befunde dazu liegen bereits vor (Moeller, 2000; Shehata-Dieler et al., 2013; Wermke et al., 2021). Ein wesentlicher erster Schritt dahin ist der Nachweis, dass Neugeborene mit auffälligen Befunden aufgrund einer Schallleitungsstörung sich in ihren Phonationseigenschaften nicht von denen mit unauffälligen Befunden unterscheiden (Wermke et al., 2021). Erst wenn das nachgewiesen ist, kann man in einem nächsten Schritt retrospektiv Phonationseigenschaften von Neugeborenen untersuchen, bei denen im nachfolgenden Screening eine sensorineurale Hörstörung sicher diagnostiziert wurde. Auf diese Weise wird sich zeigen, ob und wenn ja, ab welchem Alter Lauteigenschaften relevante Zusatzhinweise im Rahmen der bisher verwendeten Diagnostik zum Ausschluss einer sensorineuralen Hörstörung liefern könnten.

Mit der in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Untersuchung wird, in Weiterführung des Ansatzes von Ross (2021), ein weiterer Beitrag auf dem Weg zu einer potenziellen

Vorsprachlichen Diagnostik in der pädiatrischen Audiologie geleistet: Es wurden retrospektiv Eigenschaften spontaner Lautäußerungen normalhörender Neugeborener mit auffälliger und unauffälliger BERA-Testung nach der Geburt (NHS) quantitativ verglichen. Der Ausschluss einer Hörstörung bei den BERA-auffälligen Neugeborenen im NHS wurde durch eine Kontrolluntersuchung mittels erneuter BERA-Testung in der HNO-Klinik des Universitätsklinikums Würzburg im Alter von ca. 2 Monaten gesichert. Die Autorin hat die Neugeborenlaute gemeinsam mit einer weiteren, inzwischen promovierten, ehemaligen Kommilitonin aufgezeichnet (Kapitel 2.1).

Hintergrund des Forschungsansatzes ist die enge Funktions- bzw. physiologische Leistungskopplung zwischen auditorischem und vokalem System (Wermke, 2002; Wermke & Mende, 2011; Wermke, Mende, Manfredi, & Brusciaglioni, 2002). Es bietet sich daher an, durch geeignete „Diagnostik“, basierend auf dem nicht-invasiv zu untersuchenden, vokalen System, indirekt auf den Funktionszustand des auditorischen Systems zu schließen (Shehata-Dieler et al., 2013). Der Klang der Stimme wird sowohl zum Zuhörer gesendet als auch an das eigene Ohr des Senders zurückgeleitet. Diese Rückkopplung an das auditorische System dient neben der proriorezeptiven Rückkopplung zur Kontrolle der Lautproduktion auch der Erkennung von Fehlern in der intendierten Laut- und Sprachproduktion (Levelt, 1983). Für den Spracherwerb ist diese Funktionskopplung unverzichtbar.

In einer der ersten systematischen Studien zur Reflexion von Hörleistungen in Stimm- und Lauteigenschaften haben Möller und Schönweiler (1999) Schreieigenschaften von normalhörenden und schwerhörigen Neugeborenen und Säuglingen im ersten Lebensjahr verglichen. In der auditiven Wahrnehmung von Schreien der schwerhörigen Säuglinge durch erwachsene Testpersonen zeigten sich Unterschiede bezüglich Rhythmus, Schreimelodie und Klang. In der objektiven Schreianalyse mittels Frequenzspektrogrammen wurden bei schwerhörigen Säuglingen stärkere Grundfrequenzvariationen, niedrigere mittlere Grundfrequenzen und im Durchschnitt längere Schreie nachgewiesen (Möller & Schönweiler, 1999). Möller und Schönweiler konnten damit erstmalig Unterschiede in Schreieigenschaften zwischen hochgradig schwerhörigen Säuglingen und normal hörenden Säuglingen postulieren, die sie auf die fehlende auditive Rückkopplung bei den schwerhörigen zurückführten. In der zitierten Publikation wurden an einer Teilmenge der Schreie auch Unterschiede zwischen beiden Säuglingsgruppen mithilfe maschineller Lernalgorithmen gefunden. Für Neugeborene liegen bisher keine vergleichbaren Studien

vor. Auch die vorliegende Arbeit hatte nicht das Ziel, Lauteigenschaften normalhörender Neugeborener mit denen von hochgradig hörgestörten zu vergleichen. Sie dient aber der Weiterführung des frühen Ansatzes von Möller und Schönweiler, um mögliche Unterschiede beider Gruppen durch maschinelles Lernen zu objektivieren. Dazu ist die vorliegende Arbeit eine der unverzichtbaren Vorarbeiten – die Kooperation mit Sebastian Möller (TU Berlin) ist bereits am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung & Entwicklungsstörungen (ZVES) am Universitätsklinikum, Poliklinik für Kieferorthopädie, initiiert. Ein explorativer Vergleich von Lauteigenschaften normalhörender Neugeborener mit denen von hochgradig hörgestörten ist bisher nur retrospektiv möglich, indem man zunächst die Neugeborenenlaute aufzeichnet und später, nachdem bei einzelnen Säuglingen eine Hörstörung nach ca. 3-6 Monaten sicher diagnostiziert wurde, geeignete Vergleichsgruppen aus den Probanden bildet. Ein auffälliger BERA-Befund im NHS-1 erlaubt es bisher nicht, zwischen einer transitorischen Hörauffälligkeit (Schallleitungsstörung) und einer angeborenen Hörstörung zu unterscheiden. Bevor dies gelingt, sind weitere Forschungen erforderlich, in die sich die vorliegende Untersuchung eingliedert.

Mit der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob sich nicht sensorineural hörgestörte Neugeborene, also jene, die im Alter von 3-6 Monaten als normalhörend diagnostiziert wurden, trotz unterschiedlichem Outcome im NHS-1 (auffällig vs. nicht auffällig) in ausgewählten Lauteigenschaften ihres spontanen Weinens unterscheiden. Es wurden also Neugeborene mit einem unauffälligen bzw. auffälligen NHS-1 BERA-Befund verglichen, die im nachfolgenden NHS-2 unauffällig waren. Diese Untersuchung hat insofern eine klinische Konsequenz, als dass alle normalhörenden Neugeborene mit negativem Befund zunächst als „auffällig“ bzw. „risikobehaftet“ diagnostiziert werden. Eine zur BERA zeitgleich durchgeführte Lautanalyse könnte daher für die Diagnostik wertvolle Zusatzinformationen im Neugeborenenalter liefern. Für die Arbeit war es notwendig, nicht nur homogene Gruppen von Neugeborenen zu untersuchen, sondern gleichzeitig sicherzustellen, dass es keinen Gruppenunterschied zwischen den BERA-auffälligen/unauffälligen Probanden bezüglich ihrer respiratorisch-laryngealen Regelleistungen gibt. Nur so kann man den Effekt der auditiven Rückkopplung untersuchen. Diese Voruntersuchung der respiratorisch-laryngealen Regelleistungen an den hier untersuchten Probanden bzw. ihrer Vokalisationen wurde bereits geleistet (Sereschk 2019) und relevante Ergebnisse daraus auch publiziert; die Verfasserin ist Ko-Autorin (Wermke et al., 2019). Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der vokalen Kontrolle zwischen den

Probandengruppen, die auch hier untersucht wurden. Damit war eine wesentliche Voraussetzung für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit gegeben.

Für die vorliegende Arbeit stellte sich zunächst die Frage danach, was relevante Eigenschaften spontaner Lautäußerungen aus der Perspektive der Zielsetzung sein könnten. Basierend auf zahlreichen Befunden aus der Fachliteratur (Bosma, Truby, & Lind, 1965; Wermke, 2002) wurden hier verschiedene Messgrößen der Grundfrequenz sowie die Phonationsdauer der einzelnen Vokalisationen gewählt. Diese Größen sind nach Befunden aus der „klassischen Schreiforschung“ aussagekräftig bezüglich des Einflusses der auditiven Rückkopplung auf neurophysiologischer Regelfunktionen am Larynx und können Dysfunktionen widerspiegeln (Lester, 1987; Lester et al., 2002; Lester & Dreher, 1989; Michelsson, Kaskinen, Aulanko, & Rinne, 1984; Michelsson & Sirvio, 1976; Michelsson, Sirviö, & Wasz-Höckert, 1977).

In älteren Arbeiten wurde sehr häufig vor allem eine zu hohe mittlere Grundfrequenz der Säuglingsvokalisationen als Hinweis auf eine Funktionsstörung in der vokalen Regelung postuliert (LaGasse, Neal, & Lester, 2005; Lester, 1987; Lester & Dreher, 1989; Wasz-Höckert, Lind, Vuorenkoski, Partanen, & Valanne, 1968). Inzwischen weiß man, dass die mittlere Grundfrequenz nicht in allen Fällen eine relevante Messgröße in diesem Zusammenhang darstellt. Viel mehr sind es die Variabilität der Grundfrequenz, Frequenzsprünge und phonatorisches Rauschen sowie die Melodielänge, die in engem Zusammenhang mit der Regelleistung bei der Phonation stehen (Wermke, 2015). Da einige Publikationen auf geschlechtsspezifische Hörleistungen ab der Geburt verweisen, sollen diese auch in der vorliegenden Arbeit in der Analyse der Lautäußerungen berücksichtigt werden (Kaveh, Mirjalali, Shariat, & Zarkesh, 2021; Nolan, 2020).

Vor diesem Hintergrund ergaben sich für die vorliegende Arbeit folgende Fragestellungen:

1. Gibt es Unterschiede in der Melodielänge (Zeitfunktion der Grundfrequenz als Messgröße für die Dauer einzelner Schreie) zwischen spontanen Lautäußerungen von Neugeborenen mit bzw. ohne auffälligen NHS-Befund?
2. Zeigen sich Abweichungen in der mittleren Grundfrequenz und ihrer Minima und Maxima, im absolutem bzw. relativem Frequenzhub der Melodie sowie der Grundfrequenzvariabilität (Standardabweichung) zwischen Neugeborenen mit bzw. ohne auffälligen NHS-Befund?
3. Sind geschlechtsspezifische Unterschiede in der Melodielänge sowie in der mittleren Grundfrequenz und dem relativen Frequenzhub vorhanden?

2 Material und Methoden

2.1 Ethikvotum und Einbettung der Arbeit

Das Studiendesign wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg geprüft und ein positives Votum ausgestellt (Ethikvotumnummer: 145/12): Die im Rahmen dieser Dissertation erhobenen und analysierten digitalen Tonaufnahmen von Neugeborenen (nicht-invasive Aufzeichnung) wurden von der Autorin und einer weiteren Doktorandin (V. Ross) in der Frauenklinik der Universität Würzburg erstellt. Der Rekrutierungszeitraum betrug 15 Monate (Juni 2014 bis September 2015) bis die im Studienprotokoll geforderte Stichprobengröße unter Berücksichtigung der Einschlusskriterien erhoben werden konnte. Die Vorverarbeitung der Originalaufnahmen erfolgte ebenfalls gemeinsam durch die Untersucher im Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES). Die spezifischen Analysen, die Inhalt der vorliegenden Arbeit sind, wurden durch die Autorin, nach einer intensiven Einarbeitungsphase im Labor des ZVES, eigenständig durchgeführt. Die Ergebnisse der BERA-Testung im Rahmen des routinemäßig durchgeführten Neugeborenen-Hörscreenings wurden vom Comprehensive Hearing Center (CHC) der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen des Universitätsklinikums Würzburg zur Verfügung gestellt. Zusätzlich erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit der Universitäts-Kinderklinik, insbesondere durch die Betreuung von Herrn Prof. Dr. J. Wirbelauer. Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen eines interdisziplinären Projektes zwischen den genannten Einrichtungen erstellt worden. In dem Projekt wurden Lauteigenschaften von Neugeborenen mit bzw. ohne auffälligem Testergebnis in der BERA-Untersuchung (NHS) verglichen.

2.2 Einschlusskriterien

Die Einschlusskriterien für Neugeborene zur Teilnahme an der Studie wurden in Zusammenarbeit mit dem Betreuer aus der Kinderklinik des Universitätsklinikums Würzburg, Prof. Dr. J. Wirbelauer, festgelegt:

Tabelle 1: Einschlusskriterien zur Teilnahme an der Studie

Einschlusskriterien

reife Neugeborene 37+0 bis 41+6 SSW

kontrollierte Schwangerschaft mit unauffälligem Verlauf

Mehrlingsgeburten möglich

10.- 90. Perzentile des Geburtsgewichtes (AGA: adequate-for-gestational age)

APGAR-Wert 5' \geq 8, Umbilikalarterie pH > 7,20

unauffällige U1 (und U2)

keine symptomatische Hypoglykämie

keine behandlungspflichtige Hyperbilirubinämie

keine diagnostizierten genetischen Abnormalitäten (keine Syndrome)

keine vital bedrohliche Erkrankung

Die Aufnahmen wurden von der Autorin sowie einer weiteren Doktorandin (Veronique Ross) abwechselnd, zeitlich eng abgestimmt durchgeführt, um möglichst viele Vokalisationen der Neugeborenen, die die Einschlusskriterien erfüllten, in den ersten Lebensstagen aufzeichnen zu können. Vor der Tonaufzeichnung der Neugeborenenlaute wurden die Eltern in einem ausführlichen Gespräch über die Studie aufgeklärt. Sie stimmten schriftlich der Lautaufnahme und der nachfolgenden wissenschaftlichen Datenanalyse in anonymisierter Form zu.

2.3 Probandenkollektiv

Die Gesamtgruppe umfasste 82 Neugeborene. Anhand der Ergebnisse des Neugeborenen-Hörscreenings (NHS) wurden zwei Gruppen unterschieden (Tabelle 2):

im Neugeborenen-Hörscreening-Test unauffällige Probanden (NHS_TU-Gruppe) und

im Neugeborenen-Hörscreening-Test auffällige Probanden (NHS_TA-Gruppe).

Tabelle 2: Übersicht über das Probandenkollektiv

Gruppe	Gesamtzahl der Probanden	Männliche Probanden	Weibliche Probanden
NHS_TU	41	16	25
NHS_TA	41	25	16

Das hier untersuchte Probandenkollektiv reduzierte sich final auf 75 Neugeborene (Tabelle 3 und Tabelle 4), da im Rahmen der akustischen Voranalysen von sieben keine auswertbaren Aufzeichnungen vorlagen. Die NHS_TU Gruppe bestand aus 37 Probanden (15 Jungen und 22 Mädchen) und die NHS_TA Gruppe aus 38 Probanden (23 Jungen und 15 Mädchen).

Tabelle 3: BERA-unauffällige Probanden (NHS-TU)

PC	Sex	SSW	GBGW (g)	GBL (cm)	KU (cm)	GM	pH-Wert	Rauchen in der SS
AA	m	37+4	2450	48	33	1	7,12	0
AB	m	41+2	3840	53	38	1	7,26	0
AC	w	38+1	2530	47	33	1	7,42	0
AD	m	39+2	3815	52	35,5	1	7,22	3
AE	w	40+2	3170	50	33,5	1	7,18	0
AF	w	38+2	3350	49	35	2	7,34	0
AG	w	39+1	3260	54,5	34	1	7,3	0
AH	w	39+3	3300	50	34,5	2	7,24	0
AJ	m	40+5	4080	56	36,5	1	7,29	0
AK	m	39+0	3715	54	35	1	7,28	0
AN	w	37+1	3360	51	35,5	1	7,35	0
AO	w	39+3	3140	48	34,5	1	7,26	0
AP	m	41+4	3020	52	35,5	3	7,32	0
AQ	w	40+1	3690	51	36	3	7,34	0
AR	m	40+3	3660	52	37	1	7,25	0
AS	m	38+1	3235	48	36	1	7,25	0
AT	w	38+3	3140	48	35	1	7,26	0
AU	m	39+2	3320	51	35	1	7,14	0
AV	m	39+4	3405	51	34	1	7,22	0
AW	w	39+1	2990	50	31,5	1	7,26	0
AX	w	38+5	3940	49	35	2	7,27	0
AY	w	41+3	3110	53	33,5	1	7,28	0
AZ	m	38+2	3670	50	36	1	7,25	0
BA	w	41+3	3140	47	33	1	7,15	1
BB	w	39+0	3735	52	35	2	7,31	0
BC	w	37+3	3015	48	35	3	7,3	3
BD	m	40+2	3770	52	36	1	7,21	0
BE	w	40+0	3970	53	37	1	7,26	0
BF	w	40+3	2880	48	33	1	7,29	0
BG	w	39+6	3440	51	34	1	7,43	0
BH	w	40+0	3590	51	35	1	7,3	0
BI	w	41+0	3750	54	34,5	1	7,27	0
BJ	m	40+6	3520	51	38	1	7,26	0
BK	m	38+2	3180	50	37	1	7,37	0
BM	m	39+0	3550	48	38	2	7,34	1
BN	w	39+5	3145	48	34	1	7,39	0
BO	w	40+0	3280	49	35	1	7,26	0

PC = Probandencode, SEX = biologisches Geschlecht (w-weiblich, m- männlich), SSW = Schwangerschaftswoche, GBGW = Geburtsgewicht, GBL = Geburtslänge, KU = Kopfumfang, Geburtsmodus: 1= spontan, 2 = primäre Sectio caesarea, 3 = sekundäre Sectio caesarea, Umbilikalarterie pH-Wert, Rauchen in der Schwangerschaft: 0 = kein Elternteil, 1= Mutter, 2 = Vater, 3 = beide

Tabelle 4: BERA-auffällige Probanden (NHS-TA)

PC	Sex	SSW	GBGW(g)	GBL (cm)	KU (cm)	GM	pH-Wert	Rauchen in der SS
AA	m	39+2	3695	51	35	1	7,28	0
AB	m	39+1	2740	47	34	2	7,36	0
AC	w	40+0	3330	51	34	1	7,36	0
AD	m	38+0	3640	51	35	1	7,37	0
AE	w	38+0	2495	47	31	1	7,26	0
AF	m	38+5	3360	51	35	2	7,31	0
AG	w	39+0	4020	51	39	2	7,29	0
AH	m	41+2	3460	49	36	1	7,36	0
AK	m	40+6	4000	52	35,5	1	7,21	0
AL	m	40+3	4200	53	37,2	1	7,27	0
AM	w	39+1	2950	47	32	1	7,18	0
AN	m	41+4	3770	50	35	2	7,22	0
AO	m	41+0	4960	56	33	1	7,17	0
AP	m	38+0	3250	50	36	1	7,27	0
AQ	m	38+0	2520	45	33	3	7,35	0
AR	w	40+2	3360	50	34	1	7,33	0
AS	w	39+6	3180	49	34	1	7,25	0
AT	m	41+4	3510	52	35	1	7,27	0
AU	m	41+3	4100	55	33	3	7,13	0
AV	w	39+1	2690	45	36	1	7,26	0
AW	w	38+1	3170	50	33	1	7,37	0
AX	w	40+6	3265	50	35	3	7,31	0
AY	m	41+0	4065	56	39	3	7,23	0
AZ	w	41+0	3765	50	35,5	1	?	0
BA	w	38+3	3360	48	35	2	7,31	0
BB	m	38+5	2870	50	33	1	7,41	0
BC	m	37+6	3220	48	34	1	7,25	0
BD	w	41+5	3925	52	37,5	2	7,31	0
BE	w	40+2	2960	49	34	1	7,32	2
BF	w	39+0	3650	49	36	2	7,27	0
BG	m	40+0	3720	52	35,5	1	7,26	0
BH	w	39+4	2870	49	36	1	7,18	0
BI	m	39+6	3930	53	35,5	1	7,13	0
BJ	m	40+3	3440	49	34,5	1	7,31	0
BL	m	38+0	3260	49	34	1	7,25	0
BM	m	36+6	2390	46	32,5	?	7,38	0
BN	m	40+1	3640	49	34,5	3	7,28	0
BO	w	39+1	3260	53	34	1	7,28	0

PC = Probandencode, SEX = biologisches Geschlecht (w-weiblich, m- männlich), SSW = Schwangerschaftswoche, GBGW = Geburtsgewicht, GBL = Geburtslänge, KU = Kopfumfang, Geburtsmodus: 1= spontan, 2 = primäre Sectio caesarea, 3 = sekundäre Sectio caesarea, Umbilikalarterie pH-Wert, Rauchen in der Schwangerschaft: 0 = kein Elternteil, 1= Mutter, 2 = Vater, 3 = beide

Da nur bei einzelnen Neugeborenen ein Nikotinkonsum der Eltern in der Schwangerschaft dokumentiert (n=5) wurde, ist diese Einflussgröße auf die Schreieigenschaften in der Arbeit nicht weiter berücksichtigt worden.

2.4 Datenerhebung: Digitale Aufzeichnung der Neugeborenenlaute

Die Lautaufnahmen wurden vorzugsweise im Patientenzimmer, in Ausnahmefällen auch im Kinderzimmer oder Stillzimmer der Frauenklinik, in Anwesenheit der Mutter bzw. der Eltern, durchgeführt. Um externe Einflüsse zu minimieren und so nur spontane Lautäußerungen zu erhalten, befand sich das Neugeborene dabei nicht in streng festgelegten Aufnahmepositionen. Die Neugeborenen befanden sich vielmehr in individuellen Lagen, vorrangig auf dem Arm der Mutter oder in Rückenlage auf dem Wickeltisch. Die Aufnahmen erfolgten zwischen 24 und 72 Stunden nach der Geburt.

Die digitalen Tonaufnahmen wurden mit einem DAT-Rekorder der Firma TASCAM: DR-100 (44 kHz Abtastrate / 16 Bit Dynamikbreite) und einem externen Mikrofon vom Typ Earthworks (TC20) durchgeführt. Die Aufnahmezeit betrug in der Regel ca. 1-2 Minuten, die aufgezeichnete Lautsequenz war dabei deutlich kürzer (individuelle Pausen beim Lautieren). Es wurde ein Mikrofonabstand von ca. 15 cm (frontal) angestrebt. Pro individueller Aufnahme wurden ca. 40-50 Einzellaute erfasst. Einzellaute sind als Phonationen während einer einzelnen expiratorischen Phase definiert. Je nach Lautstärke der Schreie wurde eine individuelle Pegelstufe manuell eingestellt, um eine Übersteuerung zu vermeiden.

Zu jeder Aufnahme wurde ein Protokoll erstellt. Dieses enthielt neben dem Aufnahme-datum, den Ort und die Uhrzeit auch den Probandencode (Pseudonym), das biologische Geschlecht, klinische Begleitdaten (Schwangerschaftswoche, Geburtsmodus, Daten der U1 Untersuchung, Apgar-Werte und pH-Wert in der Umbilikalarterie) sowie somatische Daten zur Geburt (vgl. Tabellen 3 und 4). Auch die Lageposition des Neugeborenen während der Aufnahme und die Pegelstufe der manuellen Aussteuerung am Aufnahme-gerät wurden protokolliert. Die Aufnahmen wurden nach der Auswertung anonymisiert am ZVES archiviert.

Die Gesamtzahl der so aufgezeichneten Einzellaute (spontane Schreie) betrug 1295, davon 595 von Mädchen und 700 von Jungen. Bezogen auf die beiden Probandengruppen standen 715 Einzellaute aus der Gruppe NHS_TU (Tabelle 5) und 580 Einzellaute aus der Gruppe NHS_TA zur Verfügung (Tabelle 6).

Tabelle 5: Anzahl der pro Proband analysierten Einzellaute in der Gruppe NHS_TU

Probandencode	Biologisches Geschlecht	Anzahl der untersuchten Einzellaute
AA	m (männlich)	26
AB	m	19
AC	w	26
AD	m	13
AE	w	21
AF	w	83
AG	w	13
AH	w	6
AJ	m	22
AK	m	15
AN	w	14
AO	w	9
AP	m	26
AQ	w	11
AR	m	14
AS	m	21
AT	w	11
AU	m	18
AV	m	36
AW	w	20
AX	w	13
AY	w	19
AZ	m	34
BA	w	23
BB	w	20
BC	w	11
BD	m	31
BE	w	5
BF	w	9
BG	w	17
BH	w	28
BI	w	5
BJ	m	10
BK	m	7
BM	m	26
BN	w	13
BO	w	20

Tabelle 6: Anzahl der pro Proband analysierten Einzellaute in der Gruppe NHS_TA

Probandencode	Biologisches Geschlecht	Anzahl der analysierten Einzellaute
AA	m (männlich)	21
AB	m	13
AC	w	9
AD	m	7
AE	w	3
AF	m	14
AG	w	5
AH	m	7
AK	m	21
AL	m	11
AM	w	14
AN	m	14
AO	m	16
AP	m	10
AQ	m	10
AR	w	6
AS	w	10
AT	m	5
AU	m	16
AV	w	14
AW	w	7
AX	w	10
AY	m	4
AZ	w	35
BA	w	10
BB	m	42
BC	m	33
BD	w	34
BE	w	15
BF	w	11
BG	m	27
BH	m	14
BI	m	60
BJ	m	11
BL	m	6
BM	m	7
BN	m	18
BO	w	10

Die inter-individuelle Variation in der Anzahl der untersuchten Laute war Folge der Unterschiede in der phonatorischen Aktivität der Neugeborenen: Es gab temperamentvolle Neugeborene, die spontan länger anhaltend weinten und andere, die vergleichsweise ausgeglichen und ruhig waren und nur wenige Laute von sich gaben.

2.5 Auswertung der digital aufgezeichneten Lutaufnahmen

Die akustische Analyse der Lutaufnahmen wurde mittels eines standardisierten Signalanalyse-Systems des ZVES an der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg unter enger Betreuung durch die Leiterin, Frau Prof. Dr. K. Wermke, von der Autorin durchgeführt. Im Signalanalyselabor des ZVES wurden die einzelnen Arbeitsschritte zur Analyse der Lutaufnahmen nach einer standardisierten Routine durchgeführt. Zur Editierung und Vorverarbeitung der Originalaufnahmen (Rohdaten) wurde die Software Computer-Speech-Lab vom Typ CSL 4400; Firma Kay/Pentax (USA) verwendet. Zu Beginn wurden die Rohdaten einer Qualitätskontrolle unterzogen. Dabei wurden die Rohdaten über Kopfhörer angehört und anhand der Aufnahmequalität bewertet. Anschließend erfolgte unter Verwendung des CSL-Systems das Einlesen der digital aufgezeichneten Laute. Zunächst wurden zweiminütige Lautserien (Langserien) erstellt. Die Segmentierung erfolgte manuell mittels Cursors durch die Autorin. Die archivierten Audiofiles bestanden jeweils aus einer vorausgehenden Inspiration (teilweise mit ingressivem Laut), der phonierten Expiration (Einzelschrei) und einer nachfolgenden Inspiration (Sereschk, 2019). In der vorliegenden Arbeit wurden ausschließlich die expiratorischen Vokalisationen der segmentierten Audiofiles analysiert.

2.5.1 Voranalyse: Frequenzspektrogramme

Unter Verwendung des CSL-Systems (Kay Pentax /USA) wurde für jede Einzelvokalisation automatisch ein Schmalband-Frequenzspektrogramm erstellt (Abbildung 1). Diese Spektren dienen dazu, geeignete Vokalisationen für die nachfolgende Analyse der zu untersuchenden Messgrößen auszuwählen. Dabei wurden insbesondere Vokalisationen aussortiert, die komplett verrauscht waren und damit eine Analyse der Stimmparameter nicht möglich war. Außerdem wurden auch Vokalisationen mit einer Dauer von ≤ 300 ms aussortiert, da es sich dabei in der Regel um vegetative Begleitgeräusche handelt. Abbildung 1 zeigt zwei Beispiele für berechnete Schmalbandspektrogramme. Im oberen Teil der Grafik ist jeweils die Pegelamplitude des Einzellautes über die Zeit aufgetragen. Das darunter dargestellte Schmalbandspektrogramm zeigt eine grafische Darstellung der Frequenzkomponenten (linear bis 4 kHz) in ihrer Veränderung über die Zeit. Die unterste Bande entspricht der Grundfrequenz (F_0). Die darüberliegenden Banden repräsentieren die Harmonischen, die ein Vielfaches der Grundfrequenz sind. Banden zwischen den Harmonischen entsprechen Subharmonischen. Die Energiedichte der einzelnen Frequenzanteile wurde anhand von Graustufen dargestellt. Dabei steht die Farbe Schwarz für die höchste Energiestufe. Die Melodie ist die Änderung der Grundfrequenz im

zeitlichen Verlauf. Das Spektrogramm lässt Veränderungen im Klangspektrum wie Frequenzsprünge (Shifts), Rauschbanden oder Subharmonien erkennen. Die Melodie kann durch den Verlauf der oberen Harmonischen grob bestimmt werden; hier wurde sie allerdings durch separate Algorithmen mittels anderer Programme errechnet, wie weiter unten dargestellt. Anhand der Spektralanalyse wurde eine erste Vorauswahl von geeigneten Einzellaute durchgeführt. Laute mit auffallend vielen Rauschbanden, Frequenzsprüngen oder Subharmonischen, wie sie für Neugeborene oft typisch sind, wurden aussortiert (Abbildung 1b). Diese Eigenschaften verhindern die genaue Bestimmung einer Grundfrequenz in den betroffenen Bereichen und deren weitere Eigenschaften. Vom ursprünglichen Korpus aller aufgezeichneten Schreie wurden 1.295 Schreie final als geeignet ausgewählt (45%) und hier analysiert.

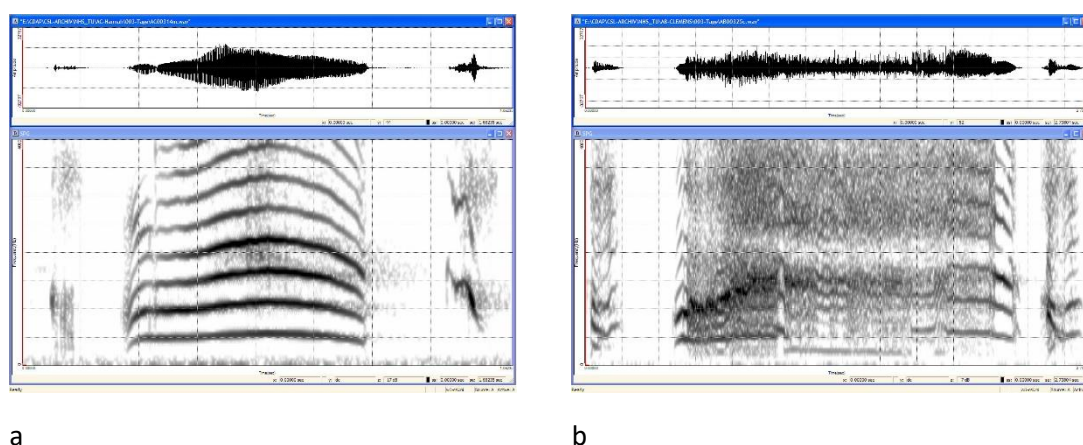


Abbildung 1: Zeitbereichsdarstellung und Frequenzspektrogramm von typischen Beispielen für eingeschlossene (a) bzw. aussortierte (b) Säuglingsschreie (KAY-CSL-Darstellung, eigene Analyse)

Das Beispiel a zeigt im oberen Fenster das Zeitsignal (Pegeldarstellung) und im unteren Fenster das instationäre Spektrogramm (bis 4 kHz) eines Inspirationssignals gefolgt von einem harmonischen Einzelschrei und der nachfolgenden Inspiration. In Beispiel b erkennt man dieselbe Signalfolge in gleicher Darstellung, allerdings ist der Schreilaut komplett verrauscht und eine Bestimmung der Grundfrequenzkontur (Melodie) damit nicht möglich. Solche Signale wurden hier von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

2.5.2 Bestimmung der Grundfrequenzkontur (Melodie) und der Melodie-länge

Zur genaueren Ermittlung von Intensitäts- und Grundfrequenz(F_0)verläufen (Melodie) wurde eine automatische Berechnung mithilfe der Open-Source-Software PRAAT

(Version 5.3.77, Boersma & Weenink 2014) unter Verwendung eines PRAAT-Skriptes (Anette Prochnow, 2013) durchgeführt. Mittels eines laborinternen Cry-DATA-Analysis-Programms (CDAP, Firma pw-project) wurden die ermittelten F0-/Intensitätswerte nachfolgend grafisch in einem Melodie-Intensitäts-Diagramm dargestellt (Abb. 2). Anschließend erfolgte eine Filterung der Laute durch einen im CDAP integrierten Tiefpassfilter (ca. 35 Hz). Durch die Filterung wurde der Grundfrequenzverlauf als geglättete Kurve dargestellt und lokale Artefakte dadurch beseitigt. Nachfolgend wurden Anfangs- und Endpunkte mittels Cursors zur Begrenzung der Einzellautlänge und zur Berechnung der Grundfrequenz und ihrer Variabilität manuell von der Autorin gesetzt. Die im CDAP-Programm pro Vokalisation im Cursorbereich automatisch bestimmten Messgrößen (Tabelle 7) wurden, ebenfalls automatisch, in einer Excel-Datei gespeichert.

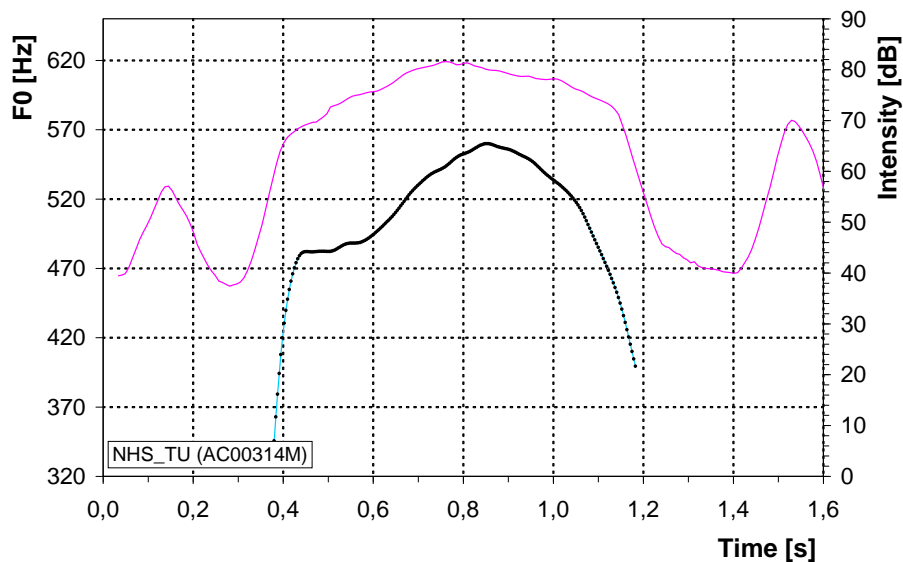


Abbildung 2: Melodie-/Intensitätsdiagramm eines Einzellautes (Schrei, 3d altes Neugeborenes)
 Dargestellt sind der F0-verlauf (Melodie) in schwarz und der Intensitätsverlauf (pink). Es handelt sich um die Melodie des in Abbildung 1a dargestellten Einzellautes (Zeitbereich 0,4 -1,2 s). Die Intensitätskontur zeigt vor und nach ihrem mittleren Hauptbogen kleinere Wellen, die zu den Inspirationsgeräuschen gehören, die man im Spektrum (Abb. 1a) sehr gut erkennt. (CDAP-Darstellung, eigene Analyse)

In Tabelle 7 sind die in der Arbeit ermittelten Messgrößen aufgeführt.

Tabelle 7: Beschreibung der in den Messgrößen

Messgröße	Erläuterung
F0 [Hz]	Grundfrequenz: Anzahl der Schwingungen der Stimmlippen pro Zeiteinheit
aMWF0 [Hz]	arithmetischer Mittelwert aller Grundfrequenzwerte eines Einzellautes bzw. einer Melodie
Fmin [Hz]	niedrigster gemessener Wert der Grundfrequenz pro Melodie
Fmax [Hz]	höchster gemessener Wert der Grundfrequenz pro Melodie
Relativer Hub	Modulationsamplitude der Grundfrequenz pro Einzellaut: Quotient aus Fmax und Fmin
Absoluter Hub [Hz]	Modulationsamplitude der Grundfrequenz pro Einzellaut: absolute Differenz Fmax -Fmin
SDF0 [Hz]	Standardabweichung zu aMWF0 – hier interpretiert als F0-Variabilitätsgröße
Melodie	Änderung der Grundfrequenz F0 im zeitlichen Verlauf
Länge [ms]	Länge (Dauer) der Melodie von Einzellauten

2.6 Statistische Auswertung

Am Ende der Messungen wurden die mit dem CDAP-System des ZVES ermittelten Messgrößen aller Einzellaute (spontane Schreie) in einer Excel-Tabelle zusammengefügt und mittels der kommerziell erhältlichen Software SPSS (Version 25) der Firma IBM (Somers, NY/USA) statistisch ausgewertet. Die Auswertung erfolgte aufgrund der Datenstruktur sowohl auf Signalebene (alle Vokalisationen) als auch auf Kindebene (Mittelung der Messgrößen pro Proband und dann Gruppenvergleich).

Auf Signalebene wurden alle Einzelsignale der Gruppe NHS_TU denen der Gruppe NHS_TA gegenübergestellt. Neben deskriptiven Statistiken erfolgte die Gegenüberstellung der Gruppen grafisch mittels Boxplots. Im Boxplot-Diagramm repräsentiert die Box den Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Der obere Rand der Box stellt die 75. Perzentile und der untere Rand die 25. Perzentile dar. Das Ausmaß der Box entspricht dem Interquartilabstand, der Median ist als horizontaler Strich in der Box visualisiert. Außerhalb der Box liegende Werte werden durch Antennen (Whiskers) dargestellt. Die Länge der Antenne ist auf maximal das 1,5-fache des Interquartilabstands begrenzt. Werte außerhalb der Antenne werden als Ausreißer in Form von Punkten abgebildet. Sind keine Werte außerhalb der Grenze des 1,5-fachen Interquartilabstands erkennbar, so wird die Länge der Antenne durch den maximalen oder minimalen Wert bestimmt. Ausreißer, die Werte über den 3-fachen Interquartilabstand haben, werden als

extreme Ausreißer bezeichnet. Im Diagramm werden sie als Sternchen dargestellt. Weiterhin erfolgte die grafische Darstellung von Verteilungseigenschaften der Messgrößen im gesamten Probandenkollektiv als Histogramm.

Analog zur Signalebene erfolgte die statistische Auswertung auf Kindebene mittels deskriptiver Statistik. Neben den oben genannten Gruppen (NHS_TU und NHS_TA) wurden geschlechtsspezifische Subgruppen gebildet und analysiert. Zusätzlich erfolgte der Vergleich der jeweiligen Mittelwerte zwischen den einzelnen Gruppen. Bei ausreichend großer Probandenanzahl wurde eine Normalverteilung der Werte angenommen, aber jeweils mithilfe der Q-Q-Diagramme noch einmal geprüft. Für die Parameter Melodielänge, mittlere Grundfrequenz, Standardabweichung wurde eine logarithmische Datentransformation vor dem Signifikanztest durchgeführt. Die Mittelwert-Vergleiche wurden mit dem t-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau ist mit $p \leq 0,05$ angegeben. Die Effektstärken wurde unter Verwendung folgender Website interpretiert: <https://www.psychometrica.de/effektstaerke.html> [November 2021].

3 Ergebnisse

Im Ergebnisteil wurde zuerst die statistische Datenauswertung auf Signalebene berichtet (Kapitel 3.1), d.h. es wurden alle eingeschlossenen Loutaufnahme von allen eingeschlossenen Probanden untersucht (vgl. Kapitel 2.6).

In einem zweiten Teil (Kapitel 3.2) wurden die Ergebnisse der Analyse auf Kindebene berichtet, d.h. für jedes einzelne Neugeborene wurde aus den Messgrößen seiner Loutaufnahmen ein arithmetisches Mittel gebildet und dieser dann im Gruppenvergleich verwendet.

3.1 Ergebnisse auf Signalebene (Einzellautebene)

3.1.1 Ergebnis der Auswertung der Melodielänge

In Abbildung 3 ist die Verteilung der Melodielänge in der gesamten Stichprobe auf Signalebene dargestellt. Die dazugehörige deskriptive Statistik zeigt Tabelle 8. Der Median der gemessenen Melodielängen beträgt ca. 800 ms, wobei allerdings berücksichtigt werden muss, dass methodenbedingt nur Einzellaute mit einer Dauer von mindestens 300 ms hier eingeschlossen wurden (Kap. 2.5.1). Bei 46 Einzellauten konnte aufgrund fehlender Werte bei der Berechnung keine exakte Melodielänge ermittelt werden. Die Anzahl der ausgewerteten Melodielängen weicht um diese Anzahl von der ursprünglichen Anzahl ausgewerteter Einzelsignale ab.

In Abbildung 3 ist die Verteilung aller 1.249 von der Autorin vermessenen Melodielängen in Form eines Histogramms gezeigt. Die zugehörige deskriptive Analyse ist in Tabelle 8 berichtet. Die Differenzierung der Verteilungen nach den beiden Gruppen ist im Boxplot (Abbildung 4) dargestellt. Man erkennt einen sehr großen Variationsbereich, aber auch eine Häufung im Bereich von ca. 0,5 – 1,3 s.

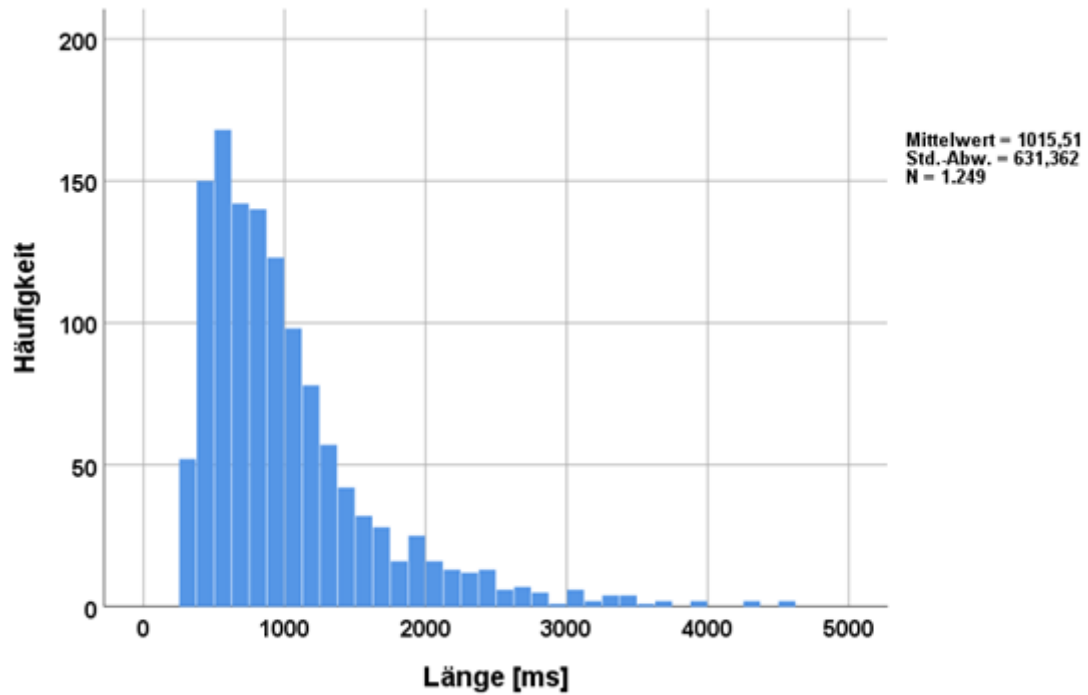


Abbildung 3: Histogramm: Verteilung der Melodielänge im Probandenkollektiv auf Signalebene

Tabelle 8: Deskriptive Statistik auf Signalebene für die Länge der Melodie ohne Gruppendifferenzierung

Deskriptive Statistik

		Statistik	Std.-Fehler
Länge	Mittelwert	1015,5	17,865
[ms]	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		
	Untergrenze	980,5	
	Obergrenze	1050,6	
	5% getrimmtes Mittel	945,5	
	Median	844,0	
	Varianz	398618,2	
	Std.-Abweichung	631,4	
	Minimum	300	
	Maximum	4586	
	Spannweite	4286	
	Interquartilbereich	647	
	Schiefe	1,95	,069
	Kurtosis	5,01	,138

Das Boxplot-Diagramm in Abbildung 4 zeigt die Verteilungseigenschaften der Melodie-länge auf Signallevel für die beiden Untersuchungsgruppen (NHS_TU und NHS_TA). In Tabelle 9 und Tabelle 10 wurden die jeweiligen deskriptiven Statistiken aufgelistet.

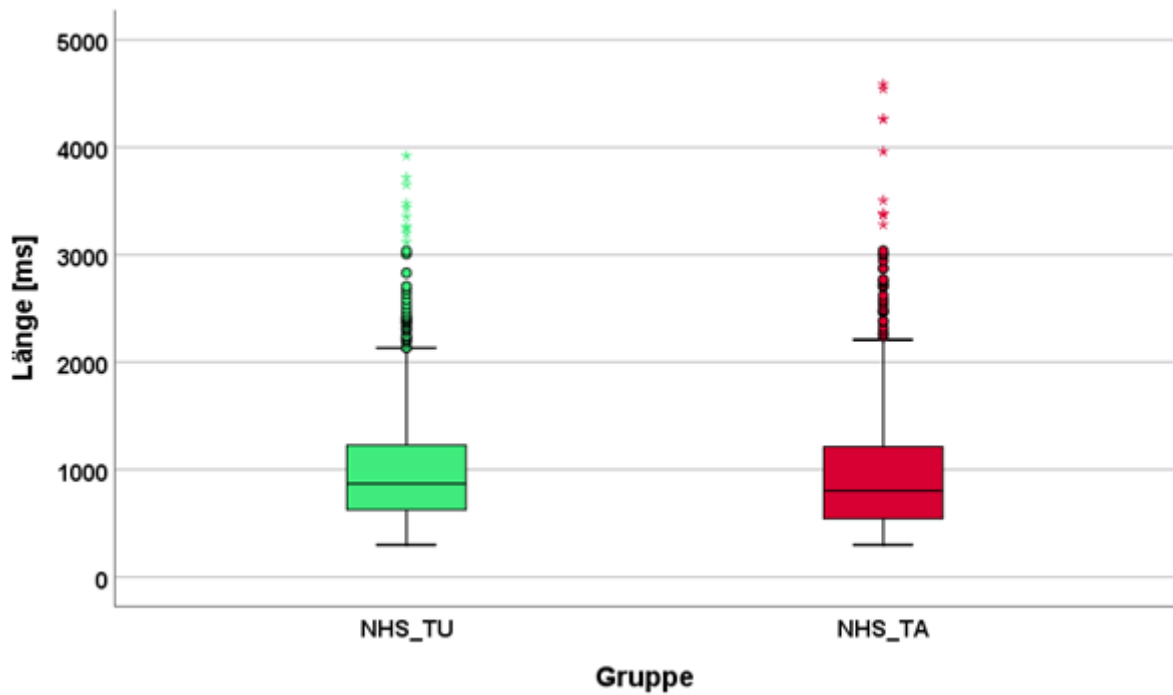


Abbildung 4: Boxplot: Verteilung der Werte für die Länge der Melodie in den Probandengruppen

Die Verteilungseigenschaften sind im Gruppenvergleich sehr ähnlich; der Medianwert der NHS_TA-Gruppe ist etwas niedriger.

Tabelle 9: Deskriptive Statistik der Werte für die Länge der Melodie in der Gruppe NHS_TU

Deskriptive Statistik^a

		Statistik	Std.-Fehler
Länge	Mittelwert	1028,0	22,590
[ms]	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		
	Untergrenze	983,6	
	Obergrenze	1072,3	
	5% getrimmtes Mittel	967,2	
	Median	870,0	
	Varianz	343948,8	
	Std.-Abweichung	586,5	
	Minimum	300	
	Maximum	3922	
	Spannweite	3622	
	Interquartilbereich	605	
	Schiefe	1,77	,094
	Kurtosis	3,89	,188

Tabelle 10: Deskriptive Statistik der Werte für die Länge der Melodie in der Gruppe NHS_TA

Deskriptive Statistik^a

		Statistik	Std.-Fehler
Länge	Mittelwert	1000,9	28,377
[ms]	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		
	Untergrenze	945,2	
	Obergrenze	1056,7	
	5% getrimmtes Mittel	920,0	
	Median	803,0	
	Varianz	463016,0	
	Std.-Abweichung	680,5	
	Minimum	300	
	Maximum	4586	
	Spannweite	4286	
	Interquartilbereich	671	
	Schiefe	2,08	,102
	Kurtosis	5,58	,203

3.1.2 Ergebnis der Auswertung der mittleren Grundfrequenz

In Abbildung 5 ist die Verteilung der mittleren Grundfrequenzwerte aller Einzellaute im Probandenkollektiv dargestellt. Die betreffende deskriptive Statistik ist in Tabelle 11 berichtet. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte aller Grundfrequenzwerte pro Melodie für alle 1.247 Einzellaute.

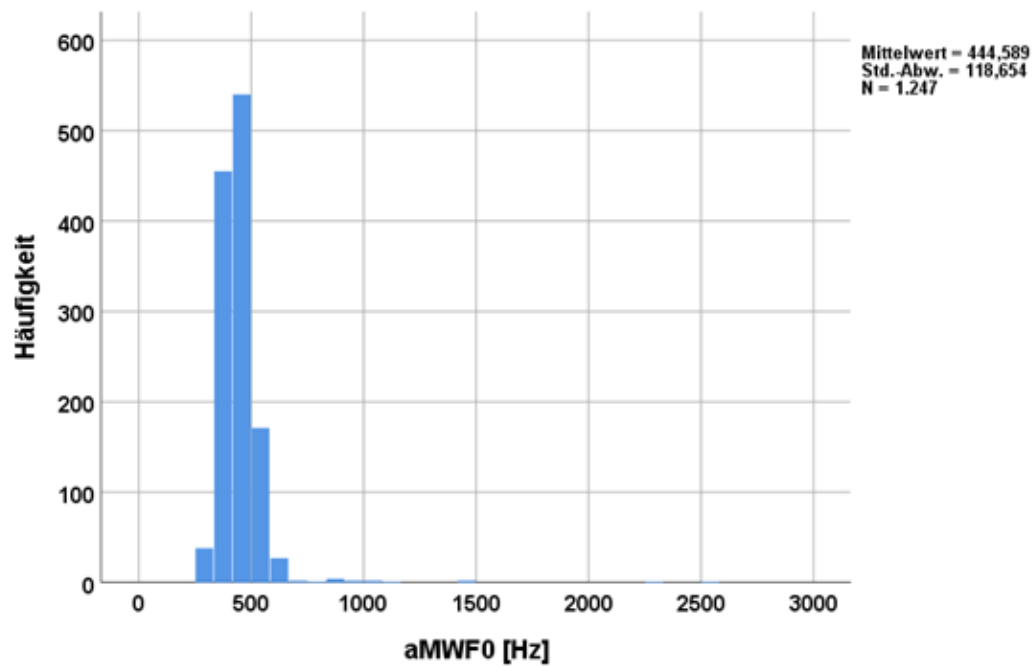


Abbildung 5: Histogramm: Verteilung der mittleren Grundfrequenz der Laute im Probandenkollektiv auf Signalebene

Man erkennt eine sehr enge Verteilung, d.h. eine vergleichsweise geringe Variation der Werte im Kernbereich. Es gibt einzelne Extremwerte, die alle geprüft und als korrekt befunden wurden.

Tabelle 11: Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz der Einzellaute

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler	
aMWF0 [Hz]	Mittelwert	444,6	3,4	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	438,0	
		Obergrenze	451,2	
	5% getrimmtes Mittel	434,9		
	Median	434,5		
	Varianz	14078,7		
	Standardabweichung	118,7		
	Minimum	298,7		
	Maximum	2567,9		
	Spannweite	2269,2		
	Interquartilbereich	92,9		
	Schiefte	9,2	,1	
	Kurtosis	135,6	,2	

Nachfolgend wurde die Verteilung der mittleren Grundfrequenz der Einzellaute innerhalb der Gruppen (NHS_TU und NHS_TA) verglichen. Sie wurde anhand eines Boxplot-Diagramms Abbildung 6 und der dazugehörigen deskriptiven Statistik Tabelle 12 und Tabelle 13 berichtet. Die Verteilungen sind sehr ähnlich. In der Gruppe NHS_TU gibt es zwei Extremwerte mit einer mittleren Grundfrequenz von mehr als 2 kHz, die tatsächlich gemessen wurde.

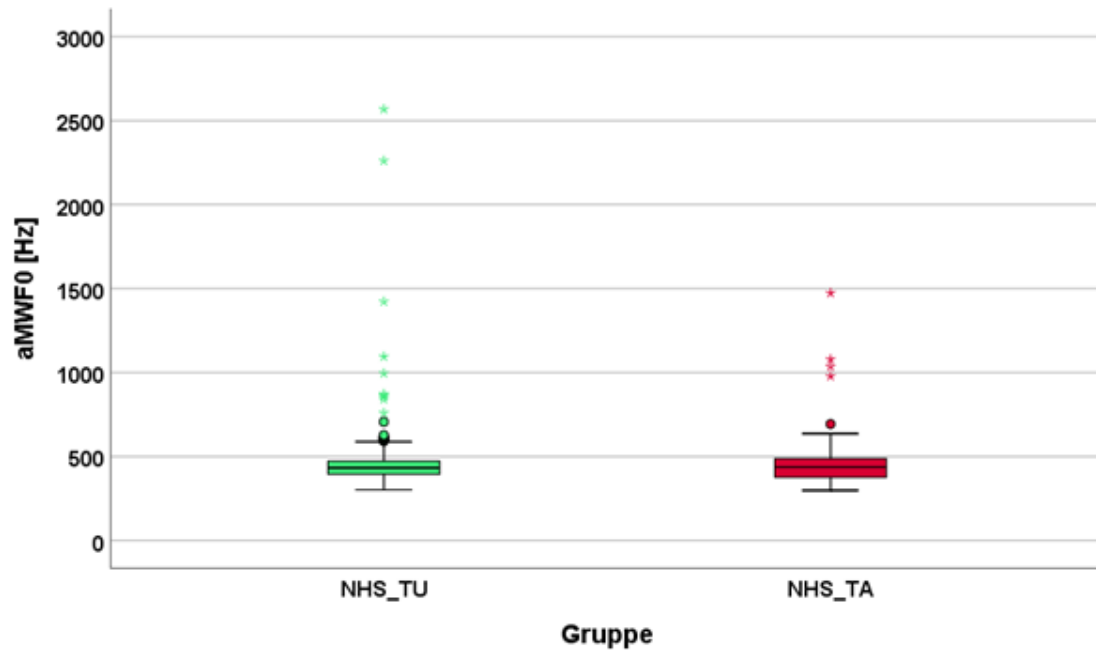


Abbildung 6: Boxplot: Verteilung der mittleren Grundfrequenz in den Probandengruppen

Tabelle 12: Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz der Einzellaute in der Gruppe NHS_TU

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler	
aMWF0 [Hz]	Mittelwert	448,0	5,3	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	437,7	
		Obergrenze	458,4	
	5% getrimmtes Mittel	435,2		
	Median	432,6		
	Varianz	18845,5		
	Standardabweichung	137,3		
	Minimum	301,1		
	Maximum	2567,90		
	Spannweite	2266,8		
	Interquartilbereich	78,5		
	Schiefe	9,9	,09	
	Kurtosis	133,8	,19	

Tabelle 13: Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz der Einzellaute in der Gruppe NHS_TA

Deskriptive Statistik		Statistik	Standardfehler
aMWF0 [Hz]	Mittelwert	440,5	3,8
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	433,0	
	Untergrenze	448,1	
	Obergrenze	434,5	
	5% getrimmtes Mittel	436,3	
	Median	8500,4	
	Varianz	92,2	
	Standardabweichung	298,7	
	Minimum	1473,6	
	Maximum	1175,0	
	Spannweite	111,3	
	Interquartilbereich	3,9	,10
	Schiefe	34,7	,20
	Kurtosis		

3.1.3 Ergebnis der Auswertung der Standardabweichung der Grundfrequenz

Eine weitere Messgröße war die Standardabweichung der Grundfrequenz, die hier als Maß für die Kurzzeitvariabilität der Melodie pro Einzellaute herangezogen wurde. Ihre Verteilungseigenschaften innerhalb des gesamten Probandenkollektivs wurden in Abbildung 7 dargestellt. Die dazugehörige deskriptive Statistik befindet sich in Tabelle 14.

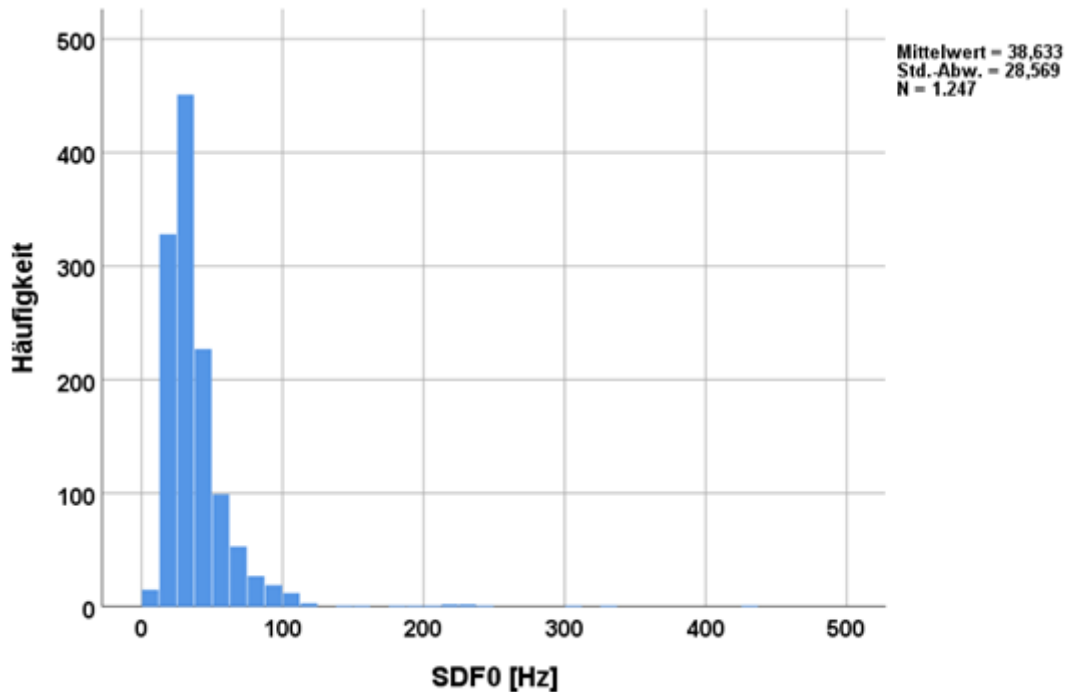


Abbildung 7: Histogramm: Verteilung der errechneten Werte für die Standardabweichung (SDF0) im Probandenkollektiv auf Signalebene

Auch diese Messgröße zeigt einen definierten Variationsbereich mit nur wenigen Extremwerten (alle geprüft und für korrekt befunden).

Tabelle 14: Deskriptive Statistik für die Standardabweichung von F0

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler	
SDF0 [Hz]	Mittelwert	38,6	,81	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	37,0	
		Obergrenze	40,2	
	5% getrimmtes Mittel	35,2		
	Median	32,5		
	Varianz	816,2		
	Standardabweichung	28,6		
	Minimum	5,1		
	Maximum	436,8		
	Spannweite	431,7		
	Interquartilbereich	19,4		
	Schiefe	5,7	,07	
	Kurtosis	54,1	,14	

Die Standardabweichung der F0 der Einzellaute wurde ebenfalls zwischen den Gruppen (NHS_TU und NHS_TA) verglichen. Die Ergebnisse wurden in einem Boxplot-Diagramm Abbildung 8 mit entsprechender deskriptiver Statistik (Tabelle 15 und Tabelle 16) dargestellt.

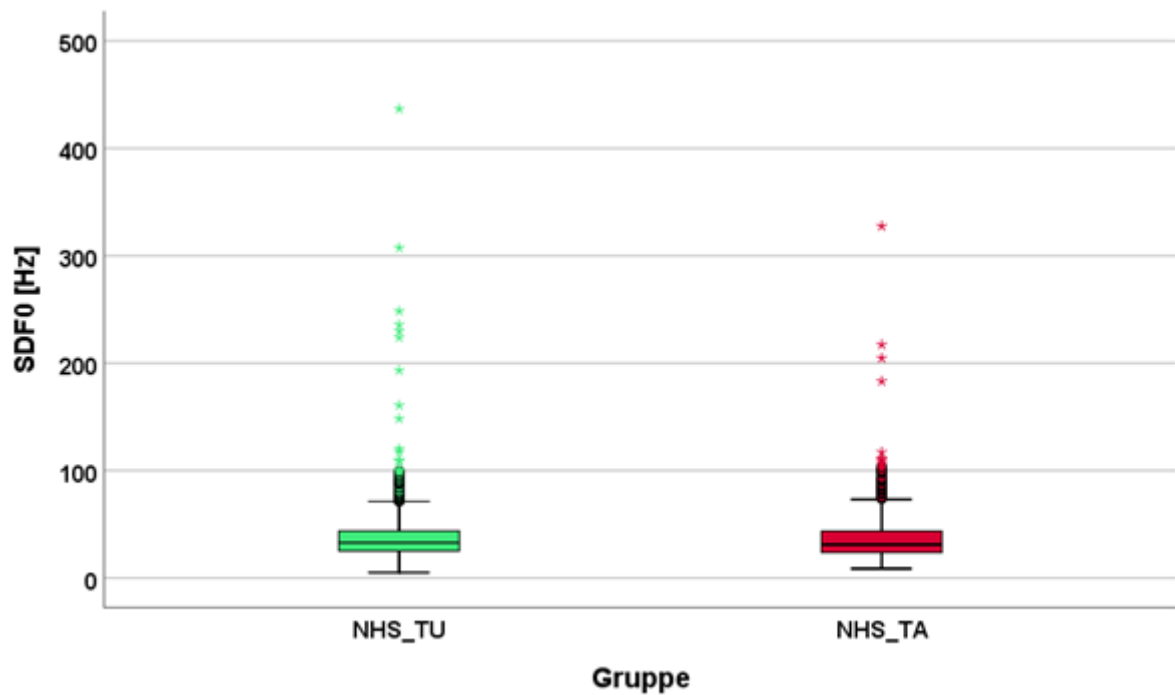


Abbildung 8: Boxplot: Verteilung der Standardabweichung der Grundfrequenz (SDF0) in den beiden Probandengruppen

Man erkennt auch hier eine sehr ähnliche Verteilung der Werte der Einzellaute beider Gruppen.

Tabelle 15: Deskriptive Statistik für die Standardabweichung von F0 in der Gruppe NHS_TU

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler	
SDF0 [Hz]	Mittelwert	39,5	1,2	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	37,1	
		Obergrenze	41,8	
	5% getrimmtes Mittel	35,6		
	Median	32,9		
	Varianz	959,5		
	Standardabweichung	31,0		
	Minimum	5,1		
	Maximum	436,8		
	Spannweite	431,7		
	Interquartilbereich	18,6		
	Schiefe	6,7	,094	
	Kurtosis	57,8	,188	

Tabelle 16: Deskriptive Statistik für die Standardabweichung von F0 in der Gruppe NHS_TA

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler	
SDF0 [Hz]	Mittelwert	37,7	1,1	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	35,6	
		Obergrenze	39,8	
	5% getrimmtes Mittel	34,8		
	Median	31,2		
	Varianz	648,3		
	Standardabweichung	25,5		
	Minimum	8,7		
	Maximum	327,5		
	Spannweite	318,8		
	Interquartilbereich	20,1		
	Schiefe	4,6	,10	
	Kurtosis	37,7	,20	

3.1.4 Ergebnis der Auswertung des absoluten Grundfrequenzhubs

Zunächst wurde die Verteilung der berechneten Werte des absoluten Grundfrequenzhubs innerhalb der gesamten Stichprobe in einem Histogramm abgebildet (Abbildung 9). In der Tabelle 17 befindet sich die zugehörige deskriptive Statistik. Der Frequenzhub hat einen Medianwert von etwa 150 Hz, das entspricht bei einem Median der mittleren Grundfrequenz von 435 Hz sechs musikalischen Halbtönen. Mit dem Maximum von 1,36 s werden sogar 52 Halbtöne, also über vier Oktaven erreicht.

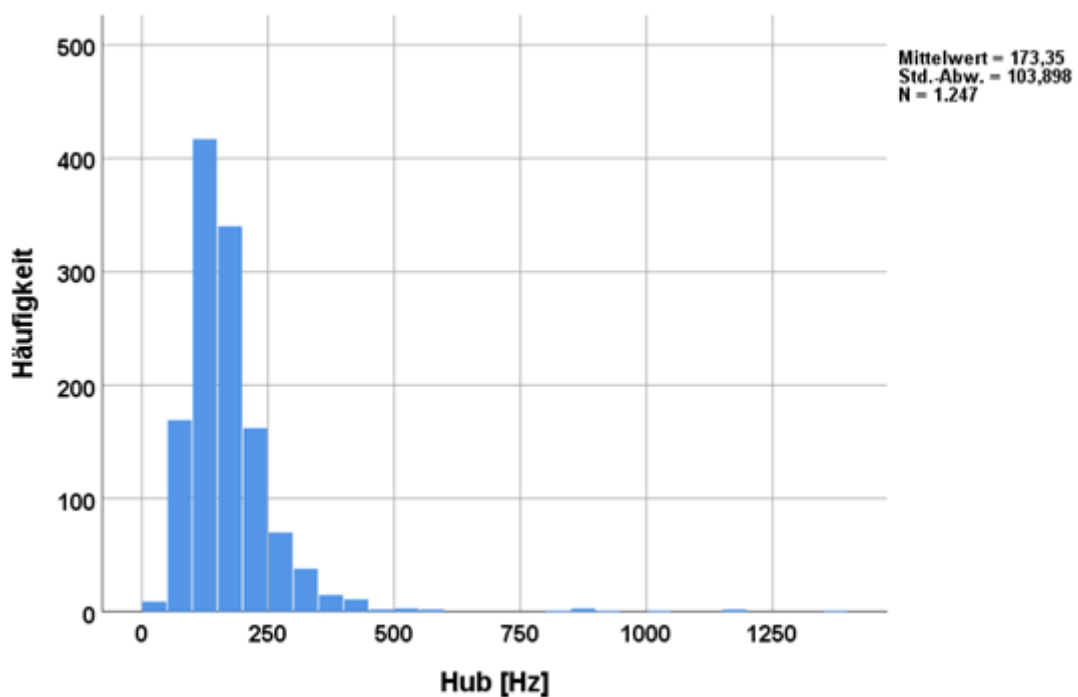


Abbildung 9: Histogramm vom Grundfrequenzhub im Probandenkollektiv auf Signalebene

Tabelle 17: Deskriptive Statistik für den absoluten Frequenzhub

		Statistik	Standardfehler	
Hub [Hz]	Mittelwert	173,3	2,9	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	167,6	
		Obergrenze	179,1	
	5% getrimmtes Mittel	162,4		
	Median	152,5		
	Varianz	10794,7		
	Standardabweichung	103,9		
	Minimum	23,6		
	Maximum	1363,3		
	Spannweite	1339,7		
	Interquartilbereich	81,6		
	Schiefe	4,8	,1	
	Kurtosis	39,3	,1	

Ein Vergleich der Verteilung vom Frequenzhub in den jeweiligen Probandengruppen (NHS_TU und NHS_TA) findet sich im Boxplot-Diagramm der Abbildung 10. Die entsprechende deskriptive Statistik ist in Tabelle 18 und Tabelle 19 berichtet.

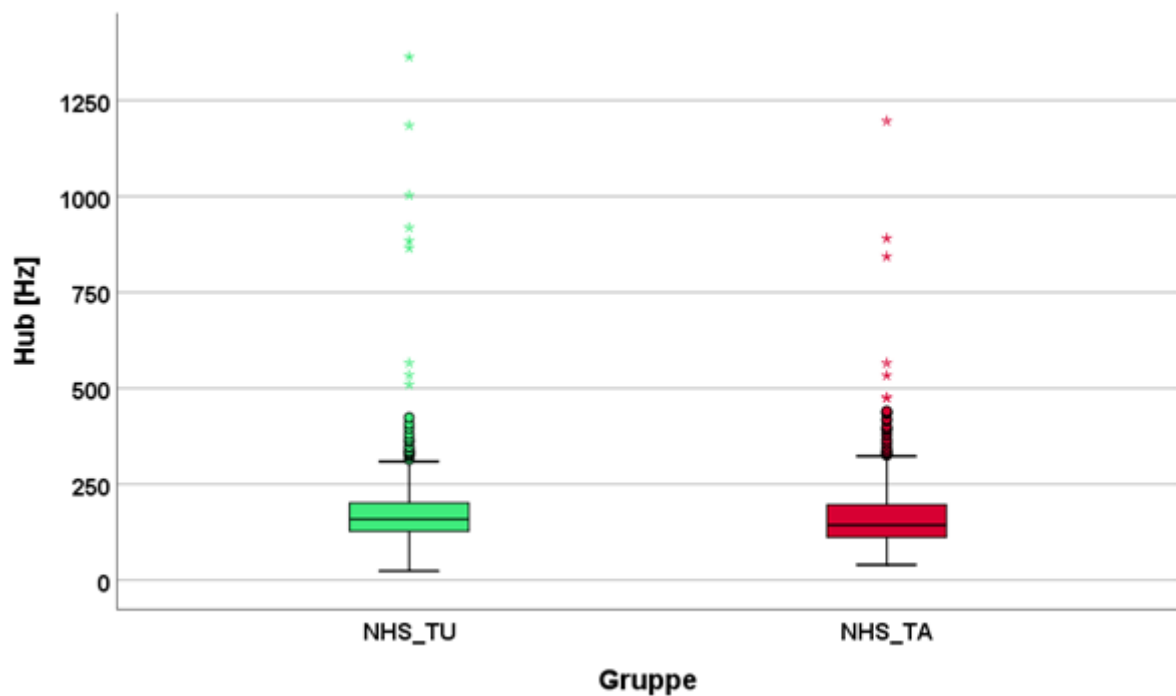


Abbildung 10: Boxplot: Verteilung der Werte für den Grundfrequenzhub in den beiden Probandengruppen

Tabelle 18: Deskriptive Statistik für den absoluten Grundfrequenzhub in der Gruppe NHS_TU

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler	
Hub [Hz]	Mittelwert	176,6	4,1	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	168,6	
		Obergrenze	184,7	
	5% getrimmtes Mittel	165,8		
	Median	158,7		
	Varianz	11340,2		
	Standardabweichung	106,5		
	Minimum	23,6		
	Maximum	1363,3		
	Spannweite	1339,7		
	Interquartilbereich	74,2		
	Schiefe	5,6	,1	
	Kurtosis	47,8	,2	

Tabelle 19: Deskriptive Statistik für den absoluten Grundfrequenzhub in der Gruppe NHS_TA

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler	
Hub [Hz]	Mittelwert	169,5	4,2	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	161,3	
		Obergrenze	177,8	
	5% getrimmtes Mittel	158,8		
	Median	143,4		
	Varianz	10148,6		
	Standardabweichung	100,7		
	Minimum	39,8		
	Maximum	1196,3		
	Spannweite	1156,5		
	Interquartilbereich	85,0		
	Schiefe	3,8	,1	
	Kurtosis	26,6	,2	

3.1.5 Ergebnis der Auswertung der maximalen Grundfrequenzwerte pro Einzellaut

Die Verteilung der Werte von Fmax aller Einzellaute wurde im Histogramm der Abbildung 11 dargestellt. Die entsprechende deskriptive Statistik befindet sich in der Tabelle 20.

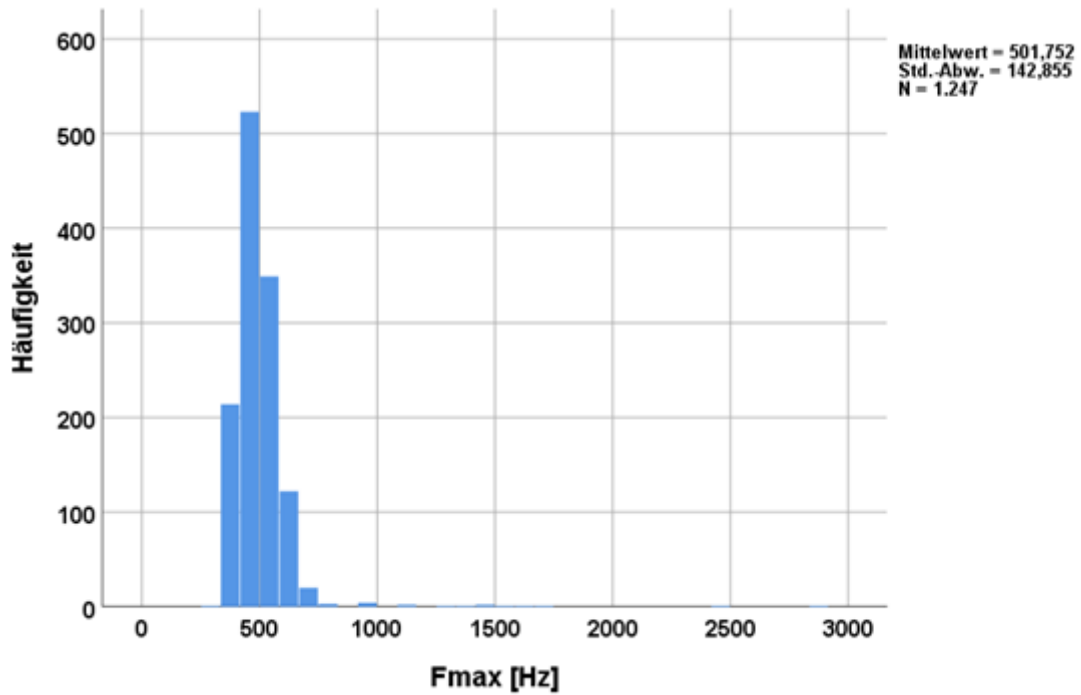


Abbildung 11: Histogramm: Verteilung von Fmax im Probandenkollektiv auf Signalebene

Tabelle 20: Deskriptive Statistik für die gemessene maximale Grundfrequenz (Fmax) pro Einzellaute

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler
Fmax	Mittelwert	501,8	4,0
[Hz]	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	493,8
		Obergrenze	509,7
	5% getrimmtes Mittel	489,1	
	Median	485,1	
	Varianz	20407,5	
	Standardabweichung	142,9	
	Minimum	325,9	
	Maximum	2882,4	
	Spannweite	2556,5	
	Interquartilbereich	101,4	
	Schiefe	8,1	,1
	Kurtosis	105,1	,1

Zur weiteren Analyse wurde die Verteilung der Fmax-Werte zwischen den beiden Probandengruppen verglichen und ebenfalls in einem Boxplot-Diagramm (Abbildung 12) dargestellt.

Tabelle 21 und Tabelle 22 berichten die entsprechende deskriptive Statistik.

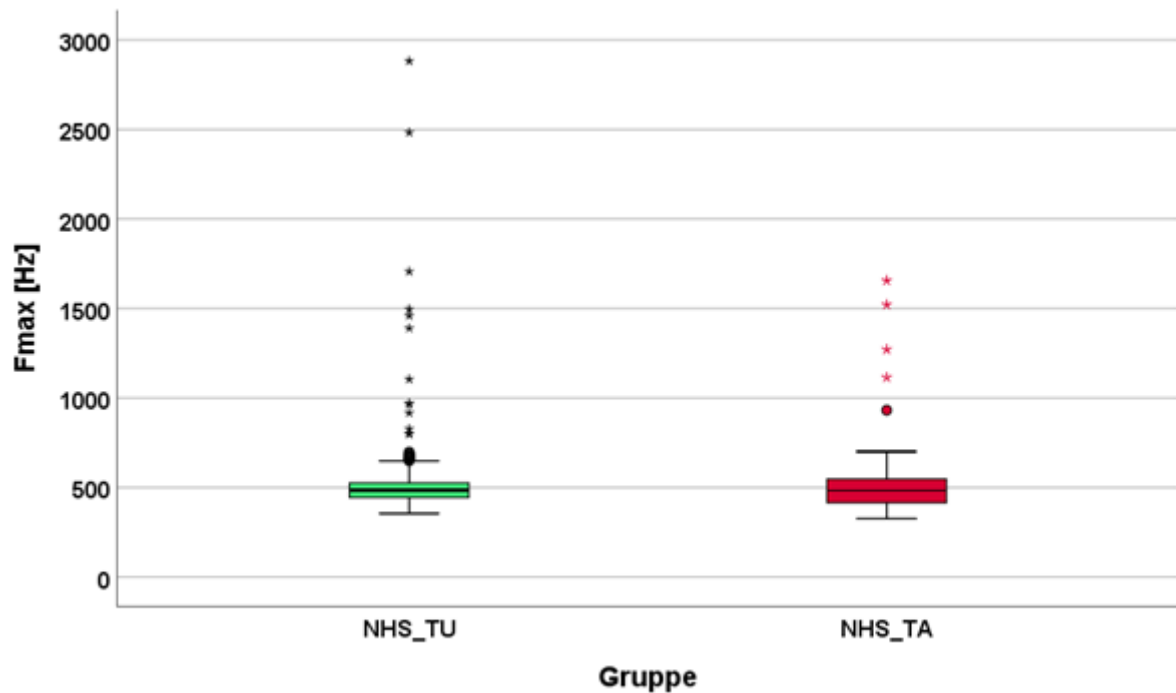


Abbildung 12: Verteilung der Werte der maximalen Grundfrequenz (Fmax) in den beiden Probandengruppen

Tabelle 21: Deskriptive Statistik für die maximale Grundfrequenz (Fmax) in der Gruppe NHS_TU

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler
Fmax	Mittelwert	507,3	6,3
[Hz]	95% Konfidenzintervall des	Untergrenze	495,0
	Mittelwerts	Obergrenze	519,7
	5% getrimmtes Mittel	490,1	
	Median	485,6	
	Varianz	26391,9	
	Standardabweichung	162,5	
	Minimum	354,5	
	Maximum	2882,4	
	Spannweite	2527,9	
	Interquartilbereich	81,8	
	Schiefe	9,0	,1
	Kurtosis	108,9	,2

Tabelle 22: Deskriptive Statistik für die maximale Grundfrequenz (Fmax) in der Gruppe NHS_TA

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler
Fmax	Mittelwert	495,2	4,8
[Hz]	95% Konfidenzintervall des		
	Untergrenze	485,7	
	Obergrenze	504,7	
	5% getrimmtes Mittel	487,2	
	Median	483,7	
	Varianz	13367,8	
	Standardabweichung	115,6	
	Minimum	325,9	
	Maximum	1656,0	
	Spannweite	1330,1	
	Interquartilbereich	131,9	
	Schiefe	3,9	,1
Kurtosis	31,8	,2	

3.1.6 Ergebnis der Auswertung der minimalen Grundfrequenzwerte pro Einzellaut

Abbildung 13 stellt die Verteilung des Analyseparameters Fmin in allen Einzellauten der Probanden mittels Histogramms dar. Die zugehörige deskriptive Statistik ist in Tabelle 23 berichtet. Auch diese gemessene Größe zeigt einen definierten Variationsbereich mit nur wenigen Extremwerten (alle geprüft und für korrekt befunden).

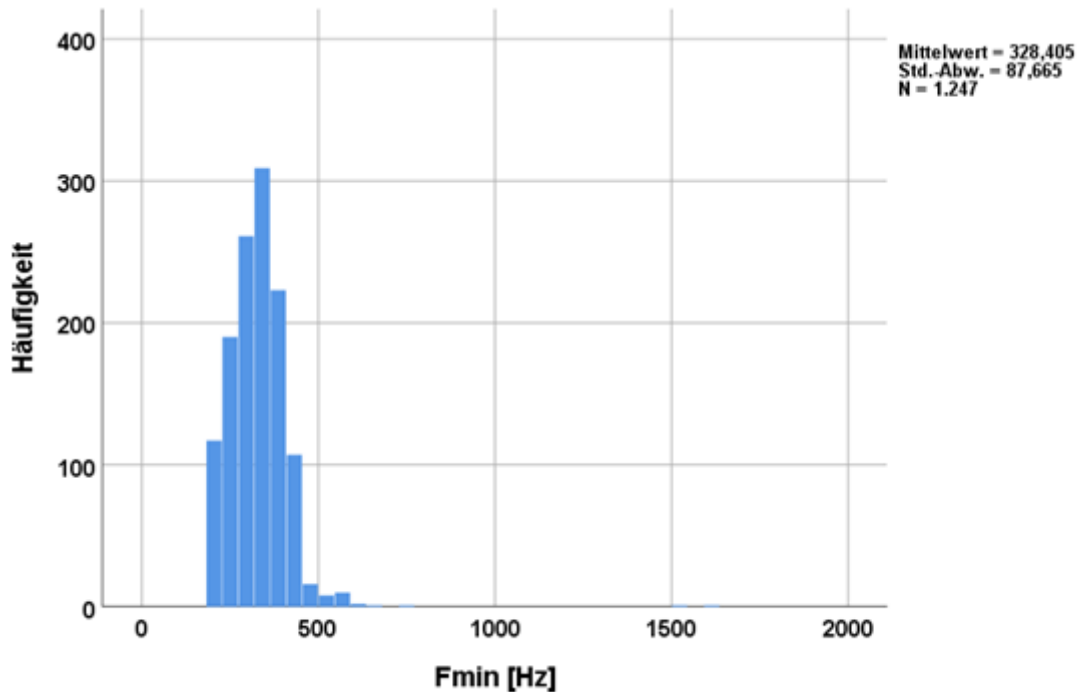


Abbildung 13: Histogramm: Verteilung der Werte der minimalen Grundfrequenz (Fmin) im Probandenkollektiv auf Signalebene

Tabelle 23: Deskriptive Statistik für die Werte der minimalen Grundfrequenz (Fmin)

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler
Fmin	Mittelwert	328,4	2,5
[Hz]	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		
	Untergrenze	323,5	
	Obergrenze	333,3	
	5% getrimmtes Mittel	323,8	
	Median	325,0	
	Varianz	7685,1	
	Standardabweichung	87,7	
	Minimum	183,1	
	Maximum	1599,1	
	Spannweite	1416,0	
	Interquartilbereich	99,3	
	Schiefe	4,8	,1
	Kurtosis	62,2	,1

Der Vergleich der Verteilung der Werte von Fmin zwischen den Probandengruppen wurde ebenfalls untersucht. Die Messwerte sind im Boxplot-Diagramm der Abbildung 14 visualisiert. Die Tabelle 24 und Tabelle 25 zeigen die dazugehörige deskriptive Statistik.

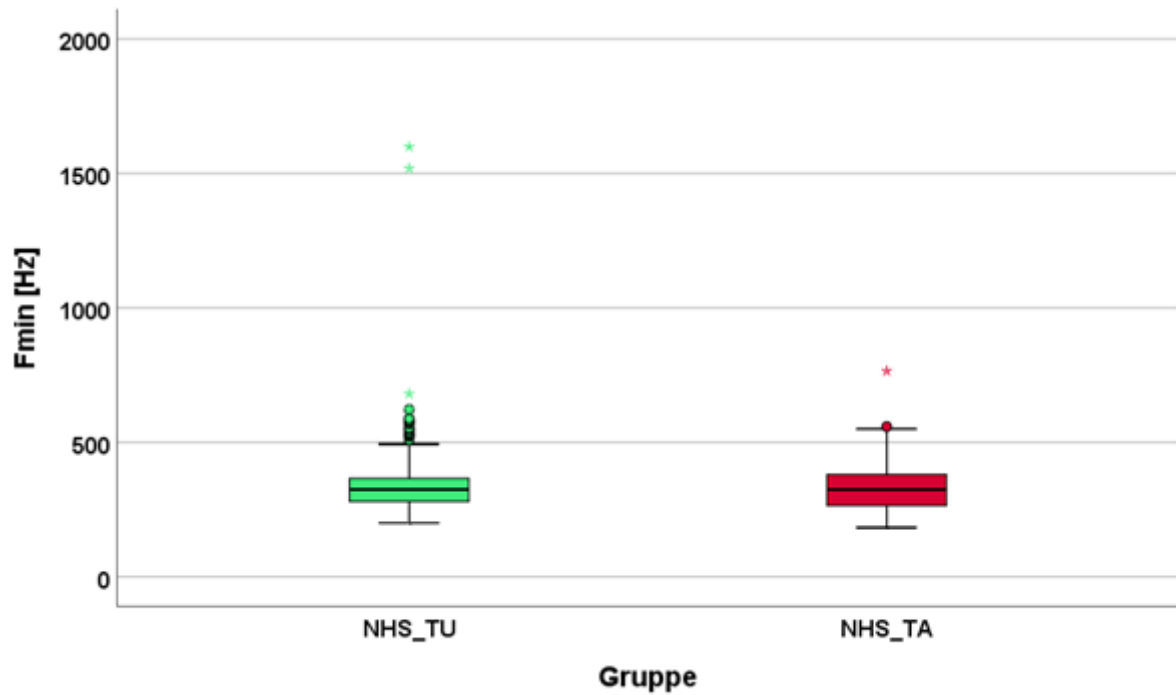


Abbildung 14: Boxplot: Verteilung der Werte der minimalen Grundfrequenz (Fmin) in den beiden Probandengruppen

Tabelle 24: Deskriptive Statistik für die minimale Grundfrequenz (Fmin) in der Gruppe NHS_TU

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler
Fmin	Mittelwert	330,7	3,8
[Hz]	95% Konfidenzintervall des		
	Untergrenze	323,3	
	Obergrenze	338,1	
	5% getrimmtes Mittel	323,5	
	Median	325,0	
	Varianz	9620,0	
	Standardabweichung	98,1	
	Minimum	200,1	
	Maximum	1599,1	
	Spannweite	13989,0	
	Interquartilbereich	85,6	
	Schiefe	6,2	,1
	Kurtosis	72,9	,2

Tabelle 25: Deskriptive Statistik für die minimale Grundfrequenz (Fmin) in der Gruppe NHS_TA

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler
Fmin	Mittelwert	325,7	3,1
[Hz]	95% Konfidenzintervall des		
	Untergrenze	319,7	
	Obergrenze	331,7	
	5% getrimmtes Mittel	324,1	
	Median	325,0	
	Varianz	5423,1	
	Standardabweichung	73,6	
	Minimum	183,1	
	Maximum	765,6	
	Spannweite	582,6	
	Interquartilbereich	115,9	
	Schiefe	,5	,1
	Kurtosis	1,3	,2

3.2 Ergebnisse der statistischen Analysen auf Kindebene

Im vorliegenden Kapitel wurden die Ergebnisse der Analyse aller Messgrößen auf Kindebene im Vergleich zwischen beiden Gruppen berichtet (Kap. 2.6).

3.2.1 Melodielänge (Kindlevel)

Abbildung 15 stellt die Verteilung der Längenmessungen der Melodie dar. Die meisten Neugeborenen zeigten mittlere Werte zwischen 600 und 1200ms. Der Gruppenvergleich ist nachfolgend in Abbildung 16 als Boxplot dargestellt;

Tabelle 26 und Tabelle 27 enthalten die dazugehörigen deskriptiven Statistiken. Im Vergleich ist der Median der mittleren Lautlänge in der Gruppe NHS_TU mit einem Wert von 928 ms deutlich kleiner als der Wert in der Gruppe NHS_TA mit 1108 ms. Vergleicht man die Maxima zwischen den Gruppen, zeigt die NHS_TA Gruppe einen höheren Maximalwert. Insgesamt ist die Spannweite in der NHS_TA Gruppe durch eine höhere Anzahl an Extremwerten (alle geprüft und für korrekt befunden) größer. Aufgrund der Verteilungseigenschaften wurde eine Datentransformation vorgenommen und dann erst der Gruppenvergleich anhand der logarithmierten Werte vorgenommen. Es bestand Varianzhomogenität. Der durchgeführte t-TEST ergab keinen statistisch signifikanten

Unterschied zwischen den Gruppen ($p = 0,386$, Effektstärke Cohen's $d = -0,201$, also ein kleiner Effekt).

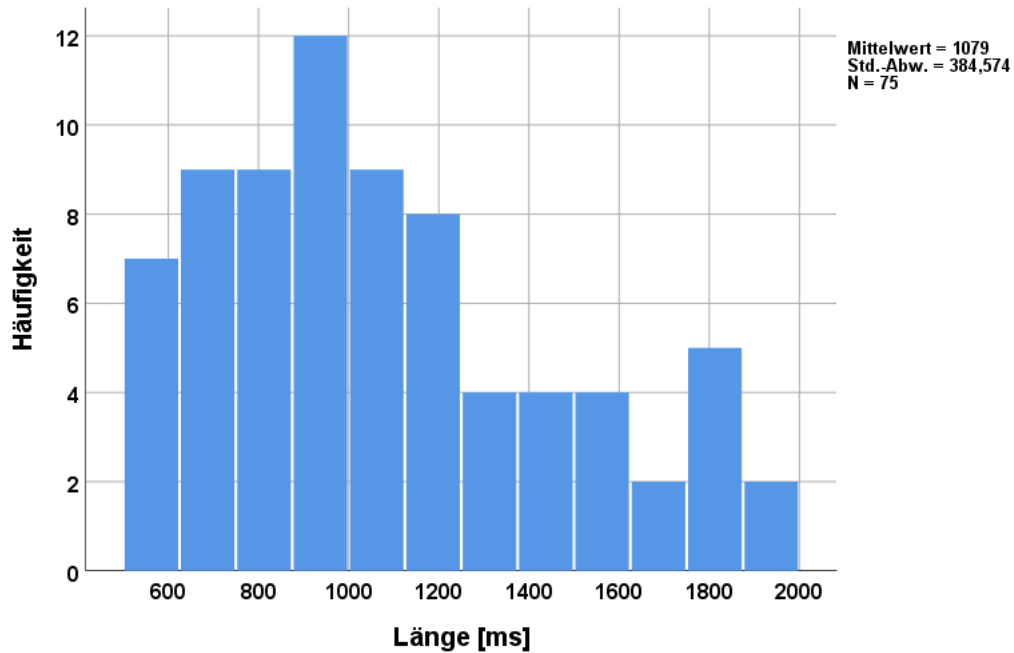


Abbildung 15: Histogramm: Verteilung der Melodielängenwerte auf Kindlevel

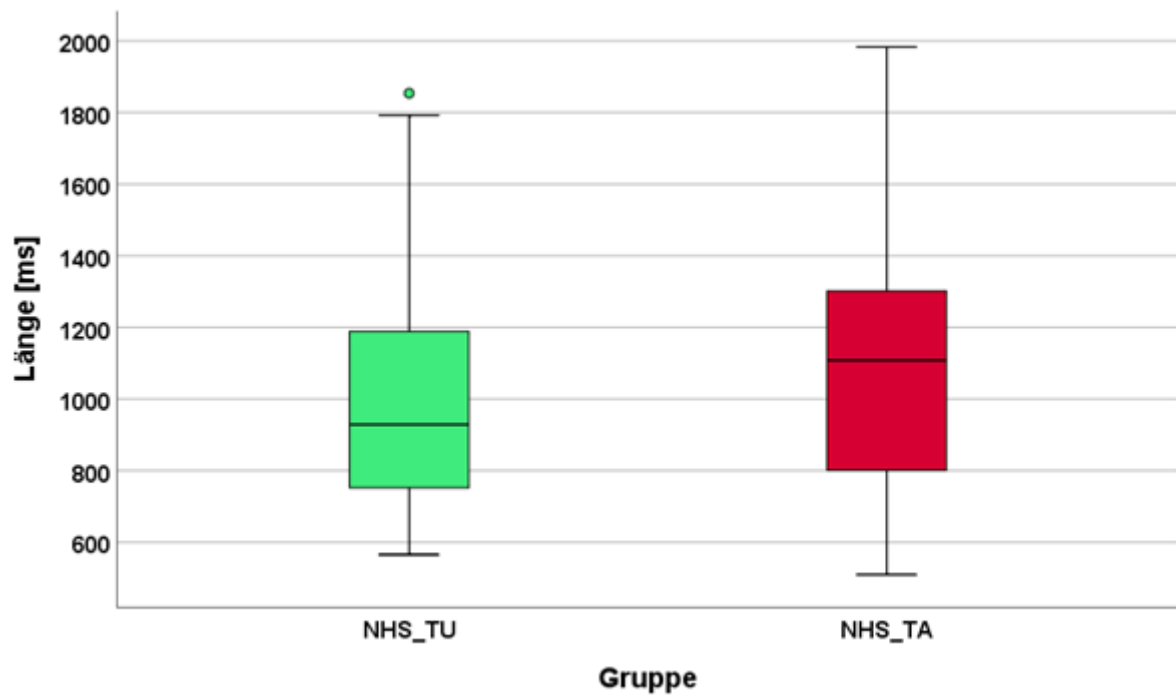


Abbildung 16: Boxplot: Vergleich der Verteilung der Melodielänge zwischen den beiden Probandengruppen

Tabelle 26: Deskriptive Statistik für die Melodielänge in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel)

Deskriptive Statistik^a

		Statistik	Std.-Fehler	
Länge der Me- lodie [ms]	Mittelwert	1037,1	61,2	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	913,0	
		Obergrenze	1161,2	
	5% getrimmtes Mittel	1018,6		
	Median	928,2		
	Varianz	138529,2		
	Std.-Abweichung	372,2		
	Minimum	565,0		
	Maximum	1854,0		
	Spannweite	1288,0		
	Interquartilbereich	564,0		
	Schiefe	,86	,39	
	Kurtosis	-,32	,76	

Tabelle 27: Deskriptive Statistik für die Melodielänge in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel)

Deskriptive Statistik^a

		Statistik	Std.-Fehler	
Länge der Me- lodie [ms]	Mittelwert	1119,8	64,4	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	989,3	
		Obergrenze	1250,3	
	5% getrimmtes Mittel	1107,9		
	Median	1108,3		
	Varianz	157544,4		
	Std.-Abweichung	396,9		
	Minimum	510,0		
	Maximum	1983,0		
	Spannweite	1474,0		
	Interquartilbereich	526,0		
	Schiefe	,46	,38	
	Kurtosis	-,45	,75	

3.2.2 Mittlere Grundfrequenz (Kindlevel)

Abbildung 17 zeigt die Verteilung der Werte für die mittlere Grundfrequenz der Neugeborenen schreie. In Abbildung 18 sind die Verteilungen innerhalb der Gruppen als Boxplot im Vergleich dargestellt. Die entsprechende deskriptive Statistik wurde in Tabelle 28 und Tabelle 29 berichtet. In der NHS_TU Gruppe lag der Median mit einem Wert von 439 Hz nur um 5 Hz niedriger als der Median in der NHS_TA Gruppe mit 444 Hz; er ist also faktisch identisch. Das gilt auch für den niedrigsten Wert, den Neugeborene in den Gruppen zeigten. Bei dem Maximum für die Messgröße war der Unterschied deutlicher. Nach dem t-Test (es bestand keine Varianzhomogenität) ergab sich kein signifikanter Gruppenunterschied bezüglich der mittleren Grundfrequenz ($p= 0,706$, Effektstärke Cohen's $d = 0,088$, also ein mittlerer Effekt).

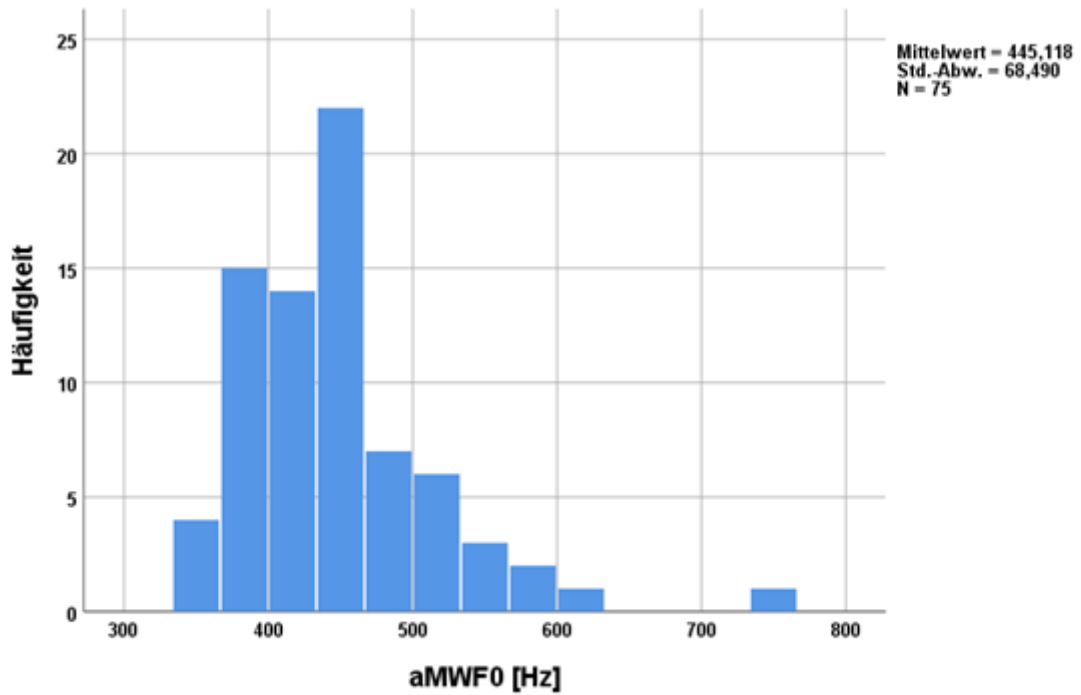


Abbildung 17: Histogramm: Verteilung der Werte für die mittlere Grundfrequenz auf Kindlevel

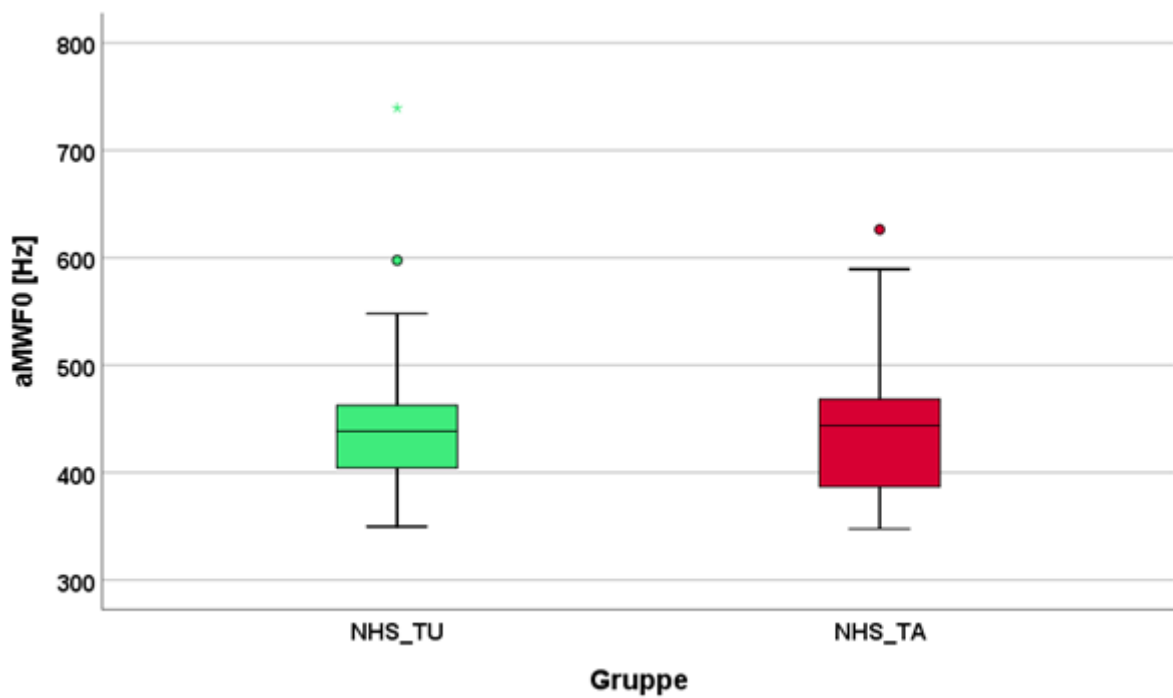


Abbildung 18: Boxplot: Verteilung der Werte der mittleren Grundfrequenz in den beiden Probandengruppen (Kindlevel)

Tabelle 28: Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz (aMWF0) in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel)

Deskriptive Statistik^a

		Statistik	Std.-Fehler	
aMWF0 [Hz]	Mittelwert	448,4	12,2	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	423,7	
		Obergrenze	473,2	
	5% getrimmtes Mittel	441,2		
	Median	438,5		
	Varianz	5508,1		
	Std.-Abweichung	74,2		
	Minimum	349,7		
	Maximum	739,4		
	Spannweite	389,7		
	Interquartilbereich	62,1		
	Schiefe	1,9	,39	
	Kurtosis	5,6	,76	

Tabelle 29: Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel)

Deskriptive Statistik^a

		Statistik	Std.-Fehler	
aMWF0 [Hz]	Mittelwert	441,9	10,3	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	421,1	
		Obergrenze	462,7	
	5% getrimmtes Mittel	437,7		
	Median	443,7		
	Varianz	4000,6		
	Std.-Abweichung	63,3		
	Minimum	347,6		
	Maximum	626,3		
	Spannweite	278,7		
	Interquartilbereich	86,5		
	Schiefe	,90	,38	
	Kurtosis	,96	,75	

3.2.3 Ergebnis der Auswertung der Standardabweichung der Grundfrequenz als Maß für die Kurzzeitvariabilität (Kindlevel)

Die Verteilung der ermittelten Werte für die Standardabweichung auf Kindebene findet sich in Abbildung 19. Man erkennt eine Häufung der Messwerte zwischen 25 - 45 Hz. In Abbildung 20 sind die kindgemittelten Standardabweichungen der Grundfrequenz für beide Gruppen als Boxplot abgebildet. Die entsprechenden deskriptiven Statistiken sind in Tabelle 30 und Tabelle 31 ersichtlich. Die Mediane in beiden Boxplot-Boxen zeigen, dass es keinen relevanten Unterschied in der Standardabweichung der Grundfrequenz zwischen den Gruppen gibt. Insgesamt zeigen sich zwischen den Gruppen ähnliche Verteilungseigenschaften. Der t-Test (Varianzhomogenität gegeben) ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p = 0,773$, Effektstärke Cohen's $d = 0,067$, also ein mittlerer Effekt).

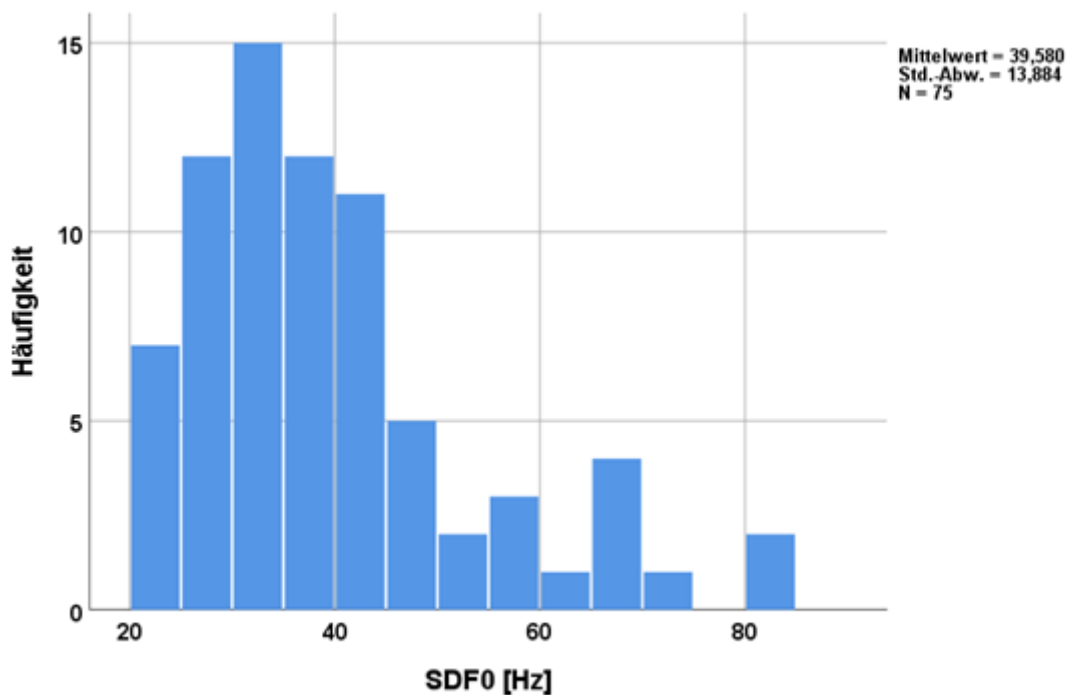


Abbildung 19: Histogramm: Verteilung der Werte für die Standardabweichung (SDF0) der Grundfrequenz auf Kindlevel

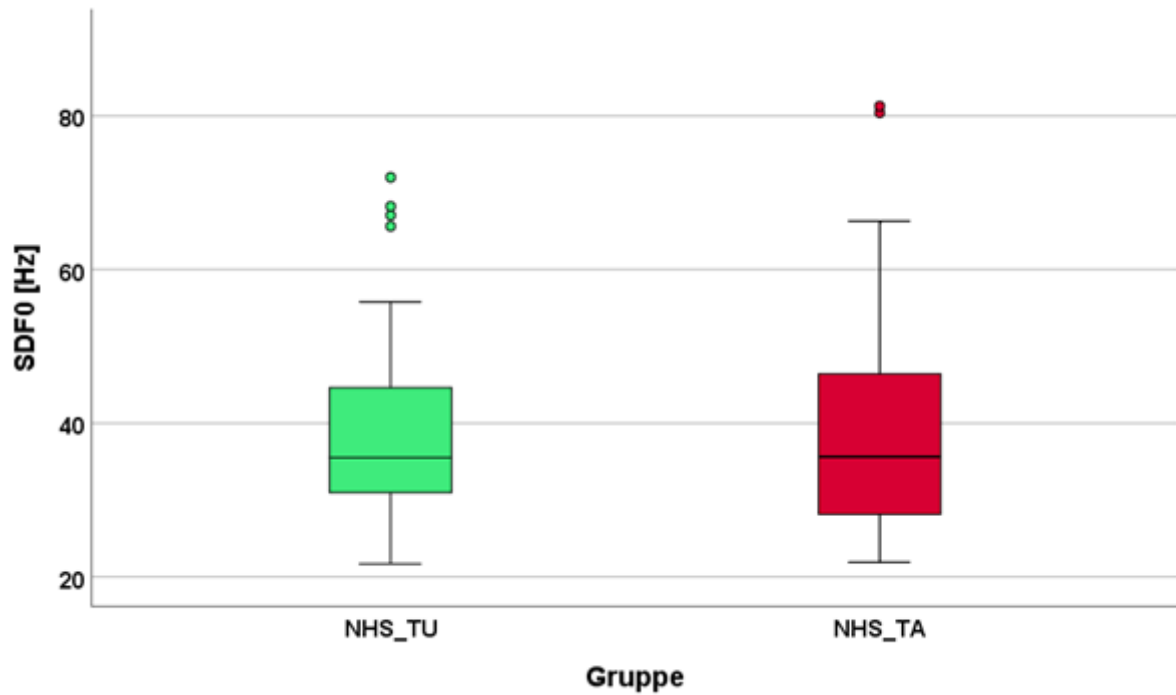


Abbildung 20: Boxplot: Verteilung der Werte für die Standardabweichung der Grundfrequenz in den Probandengruppen (Kindlevel)

Tabelle 30: Deskriptive Statistik für die Standardabweichung (SDF0) der Grundfrequenz in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel)

Deskriptive Statistik^a

		Statistik	Std.-Fehler	
SDF0 [Hz]	Mittelwert	39,6	2,1	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	35,4	
		Obergrenze	43,8	
	5% getrimmtes Mittel	38,8		
	Median	35,5		
	Varianz	160,1		
	Std.-Abweichung	12,7		
	Minimum	21,7		
	Maximum	72,0		
	Spannweite	50,3		
	Interquartilbereich	13,7		
	Schiefe	1,2	,39	
	Kurtosis	,820	,76	

Tabelle 31: Deskriptive Statistik für die Standardabweichung (SDF0) der Grundfrequenz in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel)

Deskriptive Statistik^a

		Statistik	Std.-Fehler	
SDF0 [Hz]	Mittelwert	39,5	2,5	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	34,5	
		Obergrenze	44,5	
	5% getrimmtes Mittel	38,2		
	Median	35,6		
	Varianz	229,7		
	Std.-Abweichung	15,2		
	Minimum	21,9		
	Maximum	81,3		
	Spannweite	59,4		
	Interquartilbereich	18,7		
	Schiefe	1,2	,38	
	Kurtosis	1,18	,75	

3.2.4 Ergebnis der Auswertung des relativen Frequenzhubs

Als nächster Parameter auf Kindlevel wurde der relative Frequenzhub untersucht. Die Verteilung ist in Abbildung 21 dargestellt. Das Verhalten der Verteilung des Frequenzhubs zwischen beiden Gruppen wird in Abbildung 22 gegenübergestellt. In Tabelle 32 und Tabelle 33 befindet sich die entsprechende deskriptive Statistik. Vergleicht man die Mediane der relativen Frequenzhübe zwischen den Gruppen, sind nur geringfügige Abweichungen nachweisbar. Die Box ist in der NHS_TA Gruppe größer, was eine größere inter-individuelle Variation aufzeigt. Das Maximum in der NHS_TU Gruppe ist deutlich niedriger als in der NHS_TA Gruppe (zwei Extremfälle). Anhand des durchgeführten t-Tests (Varianzhomogenität gegeben) konnte allerdings kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ($p= 0,497$; Effektstärke Cohen's $d = -0,158$, also ein großer Effekt).

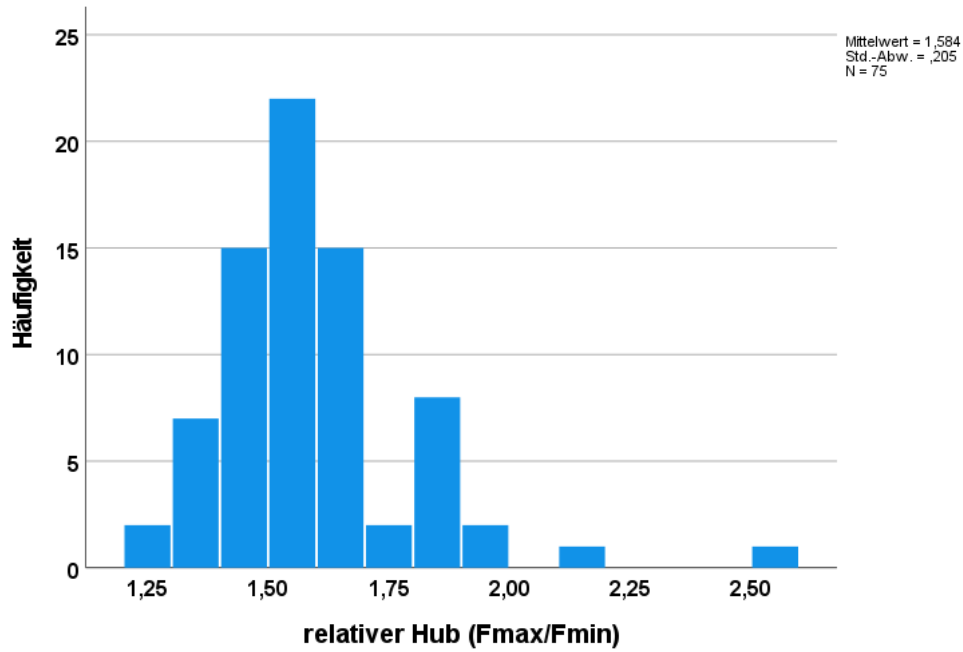


Abbildung 21: Histogramm: Verteilung des relativen Frequenzhubs auf Kindlevel

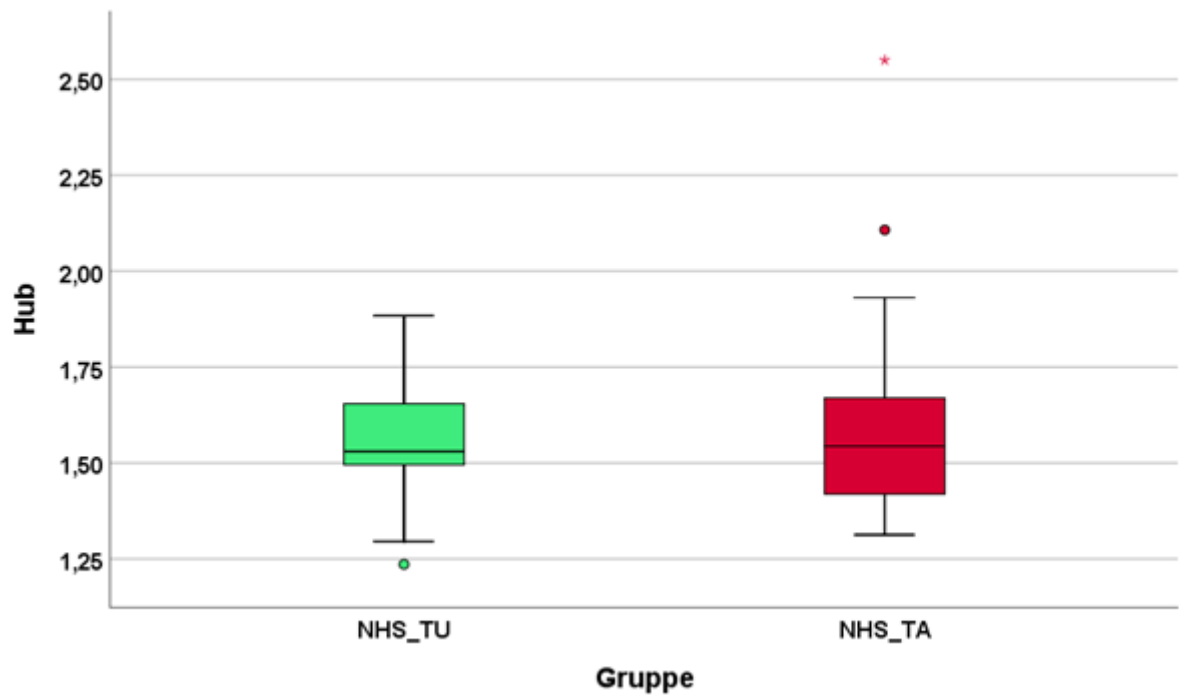


Abbildung 22: Boxplot: Verteilung des relativen Frequenzhubs in den Probandengruppen

Tabelle 32: Deskriptive Statistik für den relativen Frequenzhub in der Gruppe NHS_TU

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standardfehler	
Hub	Mittelwert	1,57	,02536	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,52	
		Obergrenze	1,62	
	5% getrimmtes Mittel	1,57		
	Median	1,53		
	Varianz	,024		
	Standard Abweichung	,15		
	Minimum	1,24		
	Maximum	1,88		
	Spannweite	,65		
	Interquartilbereich	,17		
	Schiefe	,40	,398	
	Kurtosis	,32	,76	

Tabelle 33: Deskriptive Statistik für den relativen Frequenzhub in der Gruppe NHS_TA

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standard Fehler	
Hub	Mittelwert	1,60	,04	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,52	
		Obergrenze	1,68	
	5% getrimmtes Mittel	1,57		
	Median	1,54		
	Varianz	,06		
	Standard Abweichung	,24		
	Minimum	1,31		
	Maximum	2,55		
	Spannweite	1,24		
	Interquartilbereich	,27		
	Schiefe	1,89	,38	
	Kurtosis	5,07	,75	

3.2.5 Maximale Grundfrequenz (Kindlevel)

Im Folgenden wird die gemessene maximale Grundfrequenz (Fmax) hinsichtlich der beiden Gruppen vergleichend untersucht. Die Verteilung aller gemittelten Fmax Werte ist in

der Abbildung 23 aufgezeigt. Im Boxplot Diagramm der Abbildung 24 sind die beiden Probandengruppen gegenübergestellt. Die zugehörige deskriptive Statistik ist in den Tabelle 34 und Tabelle 35 berichtet. Der Median von Fmax mit 490 Hz in der NHS_TU Gruppe ist ca. 15 Hz niedriger als der der NHS_TA Gruppe (505 Hz). Die Gruppe NHS_TU zeigt bezogen auf die Minima und Maxima dieser Messgröße jeweils höhere Werte als die NHS_TA Gruppe. Ein signifikanter Gruppenunterschied bezüglich Fmax konnte jedoch mittels t-Test (Varianzhomogenität gegeben) nicht nachgewiesen werden ($p = 0,614$; Effektstärke Cohen's $d = 0,117$, also ein mittlerer Effekt).

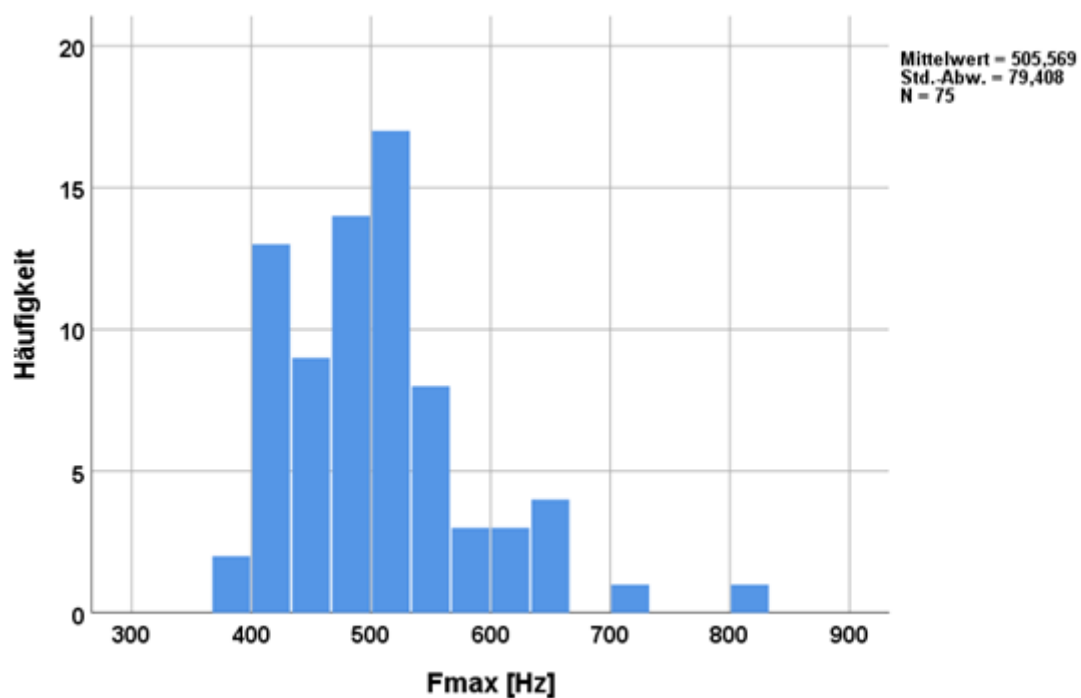


Abbildung 23: Histogramm: Verteilung der Werte der maximalen Grundfrequenz (Fmax) auf Kindlevel

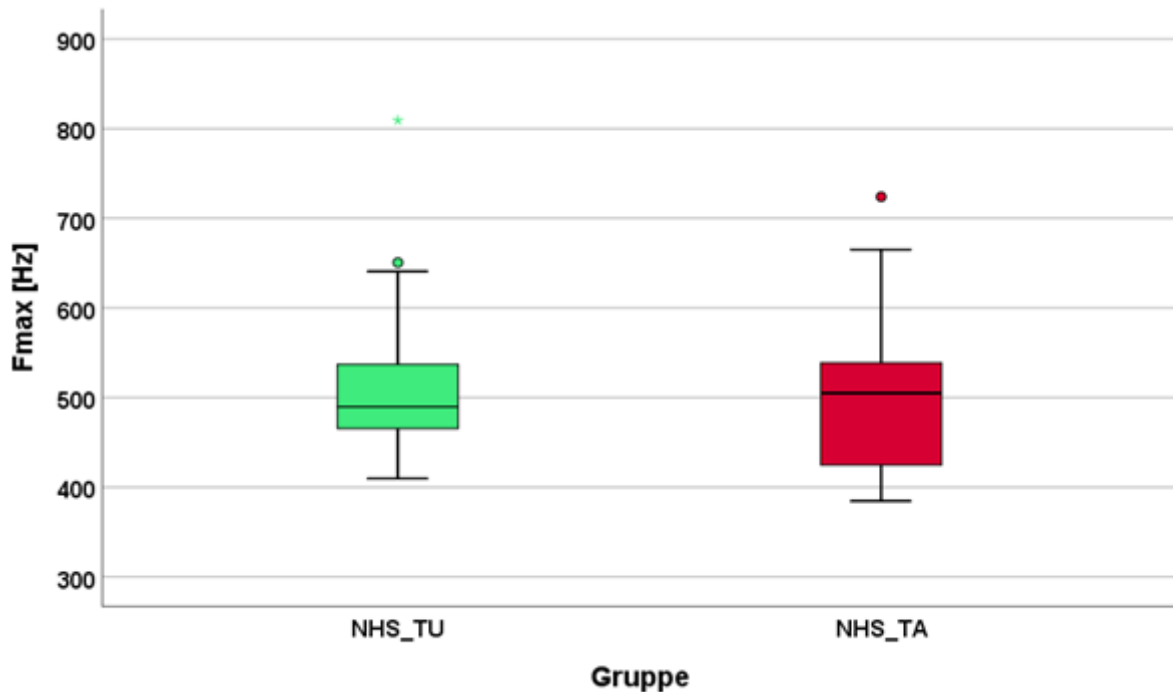


Abbildung 24: Boxplot: Verteilung der gemessenen Grundfrequenzmaxima in den Probandengruppen (Kindlevel)

Tabelle 34: Deskriptive Statistik für die Werte der maximalen Grundfrequenz (Fmax) in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel)

Deskriptive Statistik

Gruppe		Statistik	Standard Fehler		
Fmax [Hz]	NHS_TU	Mittelwert	510,3	13,1	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	483,8	
			Obergrenze	536,8	
		5% getrimmtes Mittel		503,1	
		Median		489,7	
		Varianz		6330,8	
		Standard Abweichung		79,6	
		Minimum		409,7	
		Maximum		809,2	
		Spannweite		399,5	
		Interquartilbereich		79,5	
		Schiefe		1,76	,39
		Kurtosis		4,42	,76

Tabelle 35: Deskriptive Statistik die Werte der maximalen Grundfrequenz (Fmax) in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel)

Deskriptive Statistik			Statistik	Standard Fehler	
Gruppe					
Fmax [Hz]	NHS_TA	Mittelwert	500,9	13,0	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	474,6	
			Obergrenze	527,3	
		5% getrimmtes Mittel	496,2		
		Median	505,0		
		Varianz	6407,3		
		Standard Abweichung	80,0		
		Minimum	384,5		
		Maximum	723,9		
		Spannweite	339,4		
		Interquartilbereich	114,4		
		Schiefte	,79	,38	
		Kurtosis	,44	,75	

3.2.6 Minimale Grundfrequenz (Fmin) auf Kindlevel

Ein weiterer Analyseparameter auf Kindlevel war die gemessene minimale Grundfrequenz (Fmin). In Abbildung 25 ist die Verteilung von Fmin grafisch dargestellt. Das Verhalten innerhalb der Gruppen zeigt Abbildung 26. Eine Übersicht über die zugehörige deskriptive Statistik befindet sich in der Tabelle 36 und der Tabelle 37. Im Vergleich ist der Median der NHS_TU Gruppe (327 Hz) minimal größer als in der NHS_TA Gruppe (320 Hz). Das Ausmaß der Box im Boxplot-Diagramm ist in der NHS_TU Gruppe größer. Für die Signifikanztestung wurde der t-Test (Varianzhomogenität gegeben) angewendet. Für Fmin auf Kindebene konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ($p = 0,444$; Effektstärke Cohen's $d = 0,178$, also ein großer Effekt).

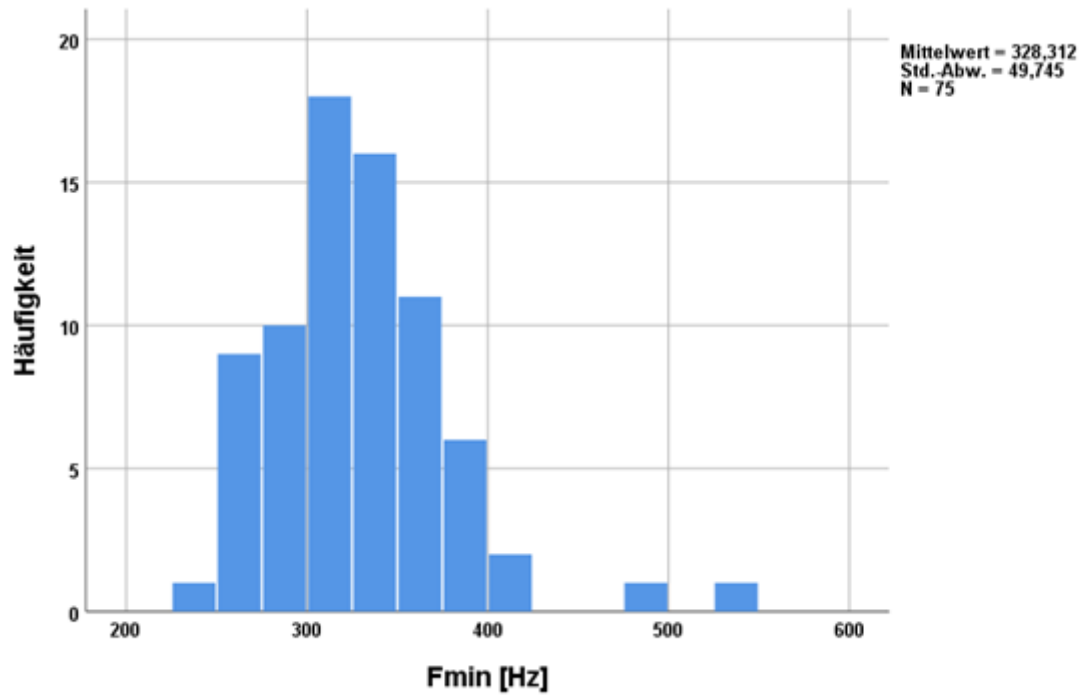


Abbildung 25: Histogramm: Verteilung der gemessenen Grundfrequenzminima auf Kindlevel

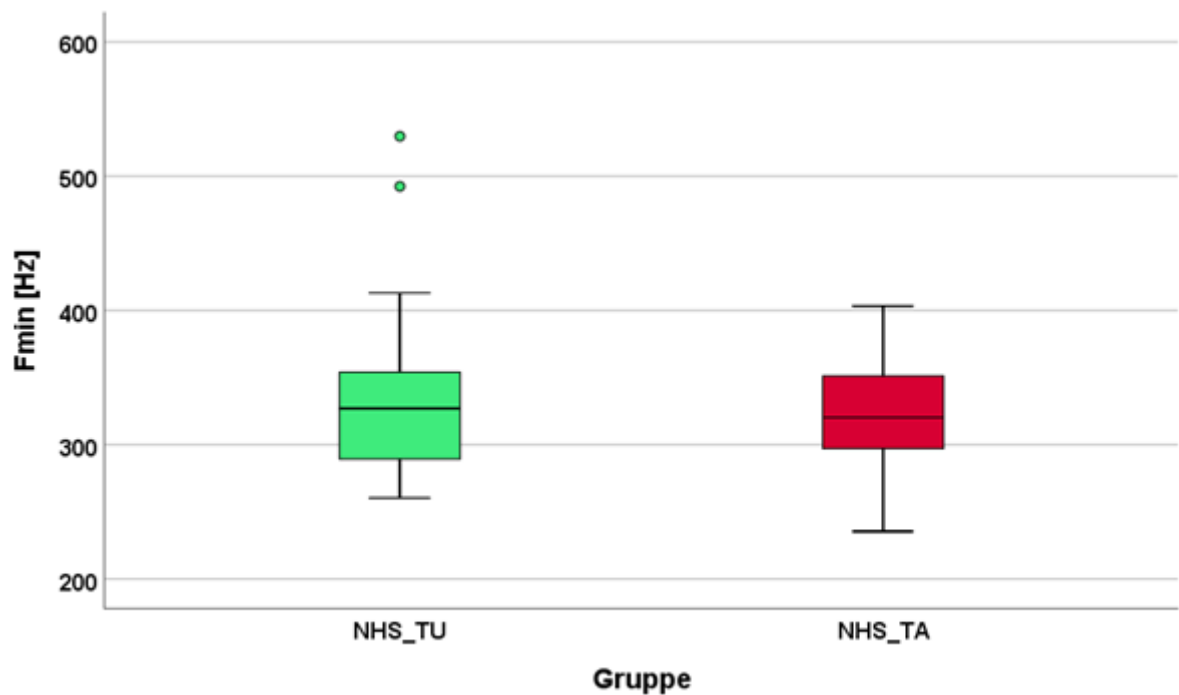


Abbildung 26: Boxplot: Verteilung der gemessenen Grundfrequenzminima in den Probandengruppen (Kindlevel)

Tabelle 36: Deskriptive Statistik der gemessenen Grundfrequenzminima (Fmin) in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel)

		Deskriptive Statistik			
Gruppe			Statistik	Standard Fehler	
Fmin	NHS_TU	Mittelwert	332,8	9,3	
[Hz]		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	313,9	
			Obergrenze	351,7	
		5% getrimmtes Mittel		326,8	
		Median		327,1	
		Varianz		3214,9	
		Standard Abweichung		56,7	
		Minimum		260,4	
		Maximum		529,7	
		Spannweite		269,3	
		Interquartilbereich		65,1	
		Schiefe		1,7	,39
		Kurtosis		4,2	,76

Tabelle 37: Deskriptive Statistik der gemessenen Grundfrequenzminima (Fmin) in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel)

		Deskriptive Statistik			
Gruppe			Statistik	Standard Fehler	
Fmin	NHS_TA	Mittelwert	323,9	6,8	
[Hz]		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	310,1	
			Obergrenze	337,8	
		5% getrimmtes Mittel		324,3	
		Median		320,3	
		Varianz		1781,4	
		Standard Abweichung		42,2	
		Minimum		235,5	
		Maximum		403,3	
		Spannweite		167,8	
		Interquartilbereich		54,4	
		Schiefe		,03	,38
		Kurtosis		-,64	,75

3.3 Prüfung auf geschlechtsspezifische Unterschiede

Ein weiterer Bestandteil der Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit war die Überprüfung von Geschlechterunterschieden zwischen und innerhalb der Probandengruppen. Hierfür wurden die Variablen Melodielänge, mittlere Grundfrequenz und der Frequenzhub analysiert.

3.3.1 Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in der Melodielänge?

Die Verteilung der Melodielänge zwischen und innerhalb der Probandengruppen nach Geschlecht wurde mittels Boxplot (Abbildung 27) dargestellt. Die entsprechende deskriptive Statistik befindet sich in den Tabelle 38 und Tabelle 39. Der Median in der NHS_TU Gruppe ist bei den Jungen höher als bei den Mädchen. In der NHS_TA Gruppe zeigt sich ein tendenziell entgegengesetztes Verhältnis. Hier ist der Median der Mädchen etwas höher als bei den Jungen. Vergleicht man die Minima der Messgröße innerhalb der Gruppen zwischen den Geschlechtern, so ergibt sich bei den Mädchen der NHS_TU Gruppe bzw. den Jungen der NHS_TA Gruppe jeweils die kürzeste Melodielänge. Das Maximum der Melodielänge in der NHS_TU Gruppe war bei den Mädchen höher als bei den Jungen. In der NHS_TA Gruppe war das Verhältnis entgegengesetzt. Der t-Test (NHS_TU = Varianzhomogenität nicht gegeben; NHS_TA = Varianzhomogenität gegeben) zwischen den Geschlechtern innerhalb einer Probandengruppe lieferte keinen signifikanten Geschlechterunterschied (NHS_TU: $p=0,068$ Effektstärke Cohen's $d=0,631$, also ein mittlerer Effekt), NHS_TA: $p=0,951$ Effektstärke Cohen's $d=0,021$, also ein kleiner Effekt). Zusätzlich führten wir jeweils einen t-Test für Mädchen und Jungen im Gruppenvergleich durch. Auch hier konnte kein statistisch signifikanter Geschlechterunterschied nachgewiesen werden (m: $p=0,669$ Effektstärke Cohen's $d=0,143$, also ein großer Effekt), w: $p=0,221$ Effektstärke Cohen's $d=-0,417$, also ein großer Effekt).

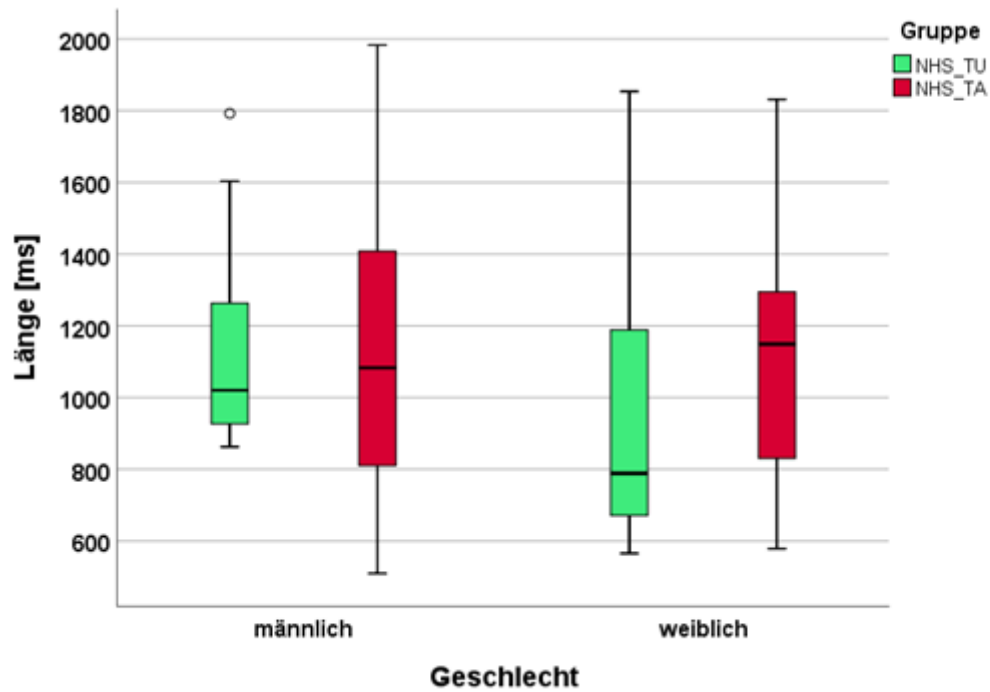


Abbildung 27: Boxplot: Verteilung der Melodielänge innerhalb der und zwischen den Probandengruppen nach Geschlecht

Tabelle 38: Deskriptive Statistik der Melodielänge in der Gruppe NHS_TU nach dem Geschlecht (weiblich = 2, männlich=1)

Deskriptive Statistik^a

		Geschlecht_m1_w2		Statistik	Std.-Fehler
Länge [ms]	1	Mittelwert		1136,8	74,2
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	977,5	
			Obergrenze	1296,0	
		5% getrimmtes Mittel		1115,6	
		Median		1020,3	
		Varianz		82661,9	
		Std.-Abweichung		287,5	
		Minimum		862	
		Maximum		1792	
		Spannweite		930	
	Interquartilbereich		484		
	Schiefe		1,21	,58	
	Kurtosis		,479	1,12	
	2	Mittelwert		969,2	88,0
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	786,1	
			Obergrenze	1152,2	
		5% getrimmtes Mittel		942,7	
		Median		788,4	
		Varianz		170439,4	
		Std.-Abweichung		412,8	
Minimum			565		
Maximum			1854		
Spannweite			1288		
Interquartilbereich		575			
Schiefe		1,14	,49		
Kurtosis		-,06	,95		

a. Gruppe = NHS_TU

Tabelle 39: Deskriptive Statistik der Melodielänge in der Gruppe NHS_TA nach dem Geschlecht (weiblich=2, männlich =1)

Deskriptive Statistik^a

Geschlecht_m1_w2		Statistik	Std.-Fehler			
Länge [ms]	1	Mittelwert	1133,9	90,9		
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	945,4		
			Obergrenze	1322,5		
		5% getrimmtes Mittel	1122,0			
		Median	1083,0			
		Varianz	190134,5			
		Std.-Abweichung	436,0			
		Minimum	510			
		Maximum	1983			
		Spannweite	1474			
		Interquartilbereich	782			
		Schiefe	,50	,48		
		Kurtosis	-,69	,94		
		2	2	Mittelwert	1098,1	88,2
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	908,9
Obergrenze	1287,4					
5% getrimmtes Mittel	1086,3					
Median	1148,9					
Varianz	116754,0					
Std.-Abweichung	341,7					
Minimum	579					
Maximum	1831					
Spannweite	1252					
Interquartilbereich	544					
Schiefe	,22			,58		
Kurtosis	,002			1,121		

a. Gruppe = NHS_TA

3.3.2 Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede in der mittleren Grundfrequenz?

Die geschlechtsspezifische Auswertung der Verteilungen der gemessenen mittleren Grundfrequenz innerhalb und zwischen den Probandengruppen ist in einem Boxplot-Diagramm (Abbildung 28) grafisch dargestellt. In den Tabelle 40 und Tabelle 41 sind die dazugehörige deskriptive Statistik berichtet. Innerhalb der Gruppen ist der Median für die kindgemittelte mittlere Grundfrequenz für die Jungen jeweils niedriger als für die

Mädchen. Vergleicht man zwischen den Gruppen, so ist der Median in der NHS_TA Gruppe sowohl für Mädchen als auch Jungen geringfügig größer. Eine vergrößerte Spannweite ist durch Extremwerte (alle geprüft und als korrekt befunden) bei den Mädchen in der NHS_TU Gruppe entstanden. Zur Signifikanztestung wurde der t-Test (NHS_TU = Varianzhomogenität gegeben; NHS_TA = Varianzhomogenität gegeben) angewendet. Innerhalb der Gruppen wurde kein statistisch signifikanter Geschlechterunterschied nachgewiesen (NHS_TU: $p = 0,246$, Effektstärke Cohen's $d = -0,395$, also ein großer Effekt), NHS_TA: $p = 0,792$ Effektstärke Cohen's $d = -0,088$, also ein mittlerer Effekt). Im zusätzlich durchgeführten Geschlechtervergleich zwischen den Gruppen konnte ebenfalls keine Signifikanz nachgewiesen werden (m: (Varianzhomogenität gegeben) $p = 0,672$, Effektstärke Cohen's $d = -0,142$, also ein großer Effekt), w: (Varianzhomogenität gegeben) $p = 0,566$; Effektstärke Cohen's $d = 0,194$ also ein großer Effekt).

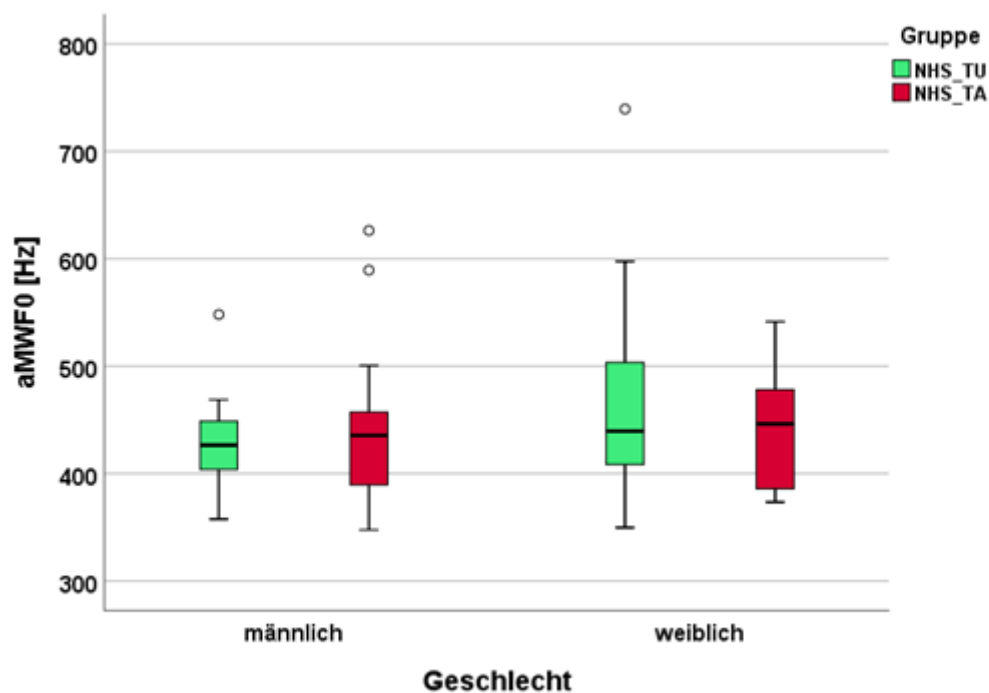


Abbildung 28: Boxplot: Verteilung der mittleren Grundfrequenz innerhalb der und zwischen den Probandengruppen nach Geschlecht

Tabelle 40: Deskriptive Statistik der mittleren Grundfrequenz (aMWF0) in der Gruppe NHS_TU nach dem Geschlecht

Deskriptive Statistik^a

Geschlecht_m1_w2		Statistik	Standardfehler		
aMWF0 [Hz]	1	Mittelwert	431,1	11,3	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	406,9	
			Obergrenze	455,3	
		5% getrimmtes Mittel	428,7		
		Median	426,4		
		Varianz	1906,8		
		Standardabweichung	43,7		
		Minimum	357,6		
		Maximum	548,1		
		Spannweite	190,4		
		Interquartilbereich	46,4		
		Schiefe	1,2	,580	
		Kurtosis	3,0	1,12	
			2	Mittelwert	460,3
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze			421,1	
	Obergrenze			499,4	
5% getrimmtes Mittel	451,5				
Median	439,5				
Varianz	7810,5				
Standard Abweichung	88,4				
Minimum	349,7				
Maximum	739,4				
Spannweite	389,7				
Interquartilbereich	106,9				
Schiefe	1,6			,49	
Kurtosis	3,7			,95	

Tabelle 41: Deskriptive Statistik der mittleren Grundfrequenz [Hz] in der Gruppe NHS_TA nach dem Geschlecht

Deskriptive Statistik^a						
Geschlecht_m1_w2			Statistik	Standardfehler		
aMWF0 [Hz]	1	Mittelwert	439,6	14,3		
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	409,9		
			Obergrenze	469,3		
		5% getrimmtes Mittel	434,6			
		Median	435,5			
		Varianz	4714,2			
		Standardabweichung	68,7			
		Minimum	347,6			
		Maximum	626,3			
		Spannweite	278,7			
		Interquartilbereich	72,5			
		Schiefe	1,2	,48		
		Kurtosis	1,8	,94		
		2	2	Mittelwert	445,3	14,48
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	414,2
Obergrenze	476,4					
5% getrimmtes Mittel	443,9					
Median	446,3					
Varianz	3144,2					
Standard Abweichung	56,1					
Minimum	373,5					
Maximum	541,4					
Spannweite	167,9					
Interquartilbereich	103,0					
Schiefe	,169			,58		
Kurtosis	-1,08			1,12		

3.3.3 Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede im relativen Frequenzhub?

Die grafische Darstellung der Verteilung des relativen Frequenzhubs zwischen den Probandengruppen nach Geschlecht ist in einem Boxplot-Diagramm (Abbildung 29) abgebildet. Die entsprechende deskriptive Statistik befindet sich in den Tabelle 42 und Tabelle 43. Die Medianwerte sind ähnlich, die inter-individuelle Variabilität in der NHS_TA Gruppe bei beiden Geschlechtern größer als in der NHS_TU Gruppe. Das Geschlecht hatte hier keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den relativen Frequenzhub,

allerdings waren die Effektstärken groß (NHS_TU: (Varianzhomogenität gegeben) $p=0,601$; Effektstärke Cohen's $d = 0,177$), NHS_TA: (Varianzhomogenität gegeben) $p=0,404$; Effektstärke Cohen's $d = -0,28$). Zwischen den Probandengruppen fanden sich auch keine signifikanten Geschlechtseinflüsse: Jungen - Varianzhomogenität gegeben; $p=0,884$; Effektstärke Cohen's $d = 0,049$; Mädchen - Varianzhomogenität gegeben; $p=0,168$; Effektstärke Cohen's $d = -0,471$.

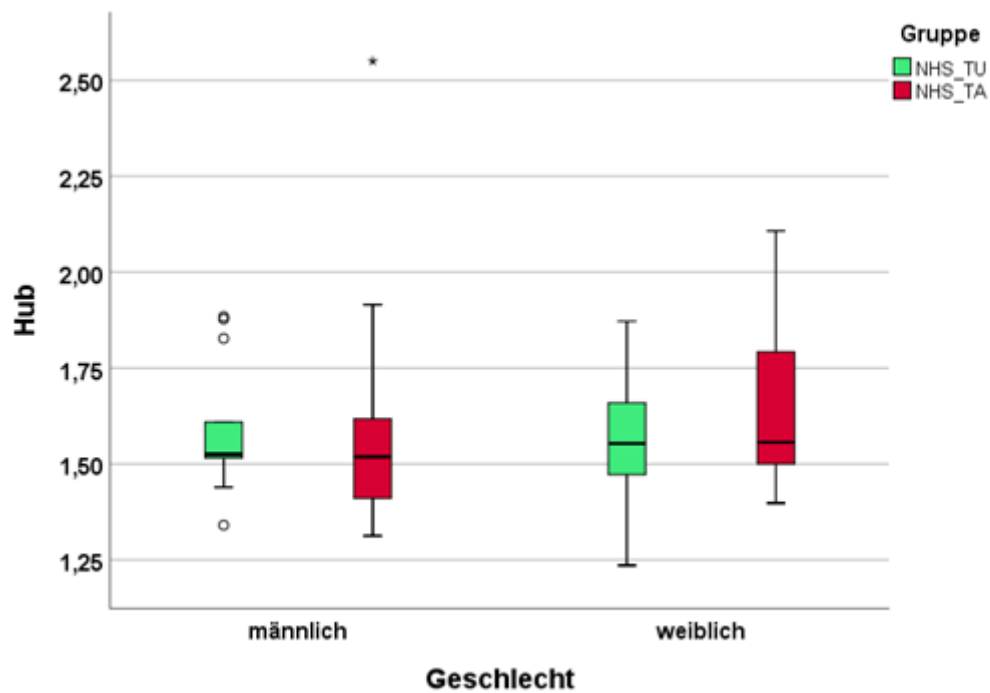


Abbildung 29: Boxplot: Verteilung des relativen Frequenzhubs innerhalb der und zwischen den Probandengruppen nach Geschlecht

Tabelle 42: Deskriptive Statistik des relativen Frequenzhubs in der NHS_TU Gruppe nach dem Geschlecht (weiblich= 2, männlich =1)

Deskriptive Statistik

Geschlecht_m1_w2		Statistik	Standard Fehler		
Hub	1	Mittelwert	1,58	,04	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,50	
			Obergrenze	1,67	
		5% getrimmtes Mittel		1,58	
		Median		1,52	
		Varianz		,03	
		Standard Abweichung		,16	
		Minimum		1,34	
		Maximum		1,88	
		Spannweite		,54	
		Interquartilbereich		,10	
		Schiefe		,99	,58
		Kurtosis		,33	1,12
		Hub	2	Mittelwert	1,56
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze			1,49	
	Obergrenze			1,63	
5% getrimmtes Mittel				1,56	
Median				1,55	
Varianz				,03	
Standard Abweichung				,15	
Minimum				1,24	
Maximum				1,87	
Spannweite				,64	
Interquartilbereich				,19	
Schiefe				,03	,49
Kurtosis				,40	,95

Tabelle 43: Deskriptive Statistik des relativen Frequenzhubs in der Gruppe NHS_TA nach dem Geschlecht (weiblich=2, männlich=1)

Deskriptive Statistik

Geschlecht_m1_w2		Statistik	Standard Fehler		
Hub	1	Mittelwert	1,57	,06	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,46	
			Obergrenze	1,69	
		5% getrimmtes Mittel		1,54	
		Median		1,52	
		Varianz		,07	
		Standard Abweichung		,26	
		Minimum		1,31	
		Maximum		2,55	
		Spannweite		1,24	
		Interquartilbereich		,22	
		Schiefe		2,50	,48
		Kurtosis		8,18	,94
			2	Mittelwert	1,64
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze			1,52	
	Obergrenze			1,76	
5% getrimmtes Mittel				1,63	
Median				1,56	
Varianz				,05	
Standard Abweichung				,21	
Minimum				1,40	
Maximum				2,11	
Spannweite				,71	
Interquartilbereich				,32	
Schiefe				,81	,58
Kurtosis				-,21	1,12

4 Diskussion

4.1 Vergleich der eigenen Messwerte mit Angaben in der Fachliteratur

Vergleicht man die hier gemessenen Werte mit denen aus Literaturangaben muss man berücksichtigen, dass frühere Arbeiten fast immer auf Analysen von Säuglingsschreien basierten, die durch leichte Schmerzreize extern ausgelöst wurden. Die mittlere Grundfrequenz und auch ihre Kurzzeitvariabilität sind in diesem Schreityp höher als im spontanen Weinen (Wermke & Mende, 2011). Auch die Melodielänge ist bei den ersten Schreien nach dem Reizstimulus deutlich länger und der Frequenzhub vergrößert (Michelsson, Eklund, Leppänen, & Lyytinen, 2002; Michelsson & Michelsson, 1999; Wasz-Höckert et al., 1968). Daher werden in der Diskussion nur publizierte Werte zum Vergleich herangezogen, die am spontanen Weinen gemessen wurden. Dies sind beträchtlich weniger.

4.1.1 Mittlere Grundfrequenz, ihre Extremwerte und Variabilität

Die mittlere Grundfrequenz und der Variabilitätsbereich der Grundfrequenzwerte pro Schrei spiegeln die Stimmkontrolle (Phonation) bei Neugeborenen wider. Für die Stimmbildung und die Stimmkontrolle ist eine bedeutende zerebrale Leistung erforderlich (Wermke, 2015). Das Schreien setzt das stabile und abgestimmte Funktionieren der Atem-, Kehlkopf- und Supralaryngealmuskulatur voraus. Das Zentralnervensystem (ZNS) steuert die Kapazität, Stabilität und Koordination der Aktivität dieser Muskeln. Anhand der Schreianalyse wollte daher die klassische Schreiforschung Informationen über die Funktion des ZNS gewinnen (LaGasse et al., 2005; Lester, 1987; Michelsson & Michelsson, 1999). Veränderungen in den Grundfrequenzeigenschaften (F_0), so fanden die genannten Autoren, waren oft mit ZNS-Erkrankungen und einer gestörten neurophysiologischen Entwicklung assoziiert. Bei diesen Funktionsstörungen konnte in vorangegangenen Studien sehr häufig eine zu hohe mittlere Grundfrequenz und eine vergrößerte F_0 -Variabilität nachgewiesen werden (LaGasse et al., 2005; Stevens et al., 2007). Die mittlere Grundfrequenz hat eine gewisse Bedeutung zur Beurteilung neurophysiologischer Funktionszustände sowie von Reifezuständen des Vokaltraktes (Kajtažović, 2015). In einer Untersuchung im Iran wurden die Lautaufnahmen von 17 hörgeschädigten Säuglingen mit 17 normal hörenden Säuglingen verglichen. Die Säuglinge waren zum Zeitpunkt der Aufnahme unter zwei Monate alt. Die akustische Analyse ergab für

die hörgeschädigten Säuglinge eine geringere Intensität und eine höhere Grundfrequenz (Mahmoudian, Aminrasouli, Ahmadi, Lenarz, & Farhadi, 2019).

Durch die strengen Auswahlkriterien in der vorliegenden Arbeit waren keine neurophysiologischen Funktionsstörungen bei den Neugeborenen zu vermuten. Es wurden ausschließlich reife gesunde Neugeborene mit einer unauffälligen U1 Untersuchung und Schwangerschaft aufgenommen. Neugeborene mit genetischen Abnormalitäten oder mit einer Frühgeburtlichkeit wurden ausgeschlossen. Somit sollten die berechneten Werte für F0 und deren Variabilität in Form der Standardabweichung den normalen Referenzbereich reflektieren. Der Bereich für die mittlere F0 wurde hier mit Werten zwischen 350-650 Hz (Kindlevel) beobachtet. Auf Signallevel war der Variationsbereich größer und variierte zwischen 300-2500 Hz. Dieser Referenzbereich für gesunde, reife Neugeborene steht der Behauptung der klassischen Schreiforschung gegenüber, dass die mittlere F0 ein geeigneter Risikoindikator für Dysfunktionen sein könnte. Die Werte hier stimmen nur teilweise mit Werten für deutsche Neugeborene anderer Studien überein. So berichten Wermke et al. (2016) von Werten zwischen 393-422 Hz. Allerdings ist dies nur die Standardabweichung zum Mittelwert, während der oben genannte Bereich sich auf die gesamte Verteilung bezieht. Für die Standardabweichung verzeichnet die genannte Arbeit einen Wert von 35 Hz (33-37 Hz), und das entspricht dem Befund der vorliegenden Arbeit. Auch der Mittelwert für den F0-Hub stimmt mit dem hier gemessenen überein. Eine gute Übereinstimmung der hier aufgezeigten mittleren Werte gibt es auch mit den bei Wermke et al. publizierten Zahlen (Wermke et al., 2016).

4.1.2 Melodielänge im Vergleich

Für die Melodielänge im spontanen Weinen werden Mittelwerte von 1,3 s im ersten Lebensmonat angegeben (Wasz-Höckert et al., 1968). Eine Vergleichsanalyse von spontanen Weinlauten schwedischer und deutscher Neugeborener in der Arbeit von Annette Prochnow (2013) lieferte einen Medianwert für die Melodielänge von 0,813 s, allerdings nur für einfache, einbögige Melodien. In der vorliegenden Arbeit sind alle Strukturen in die Messungen eingeschlossen, also auch komplexe, mehrbögige Melodien. Einen Mittelwert von 970 ms $\{\pm 341\text{ms}\}$ stellten Wermke et al. (2016) fest. Hier wurde ein Median von 928-1100 ms gemessen und der Variationsbereich in den Verteilungsdiagrammen war deutlich größer 300-4580 ms. Auch hier muss man also beachten, dass Mittelwerte allein keine gute Differenzierungsgröße darstellen, um individuelle Neugeborene zu vergleichen. Bei dieser enormen Variabilität im spontanen Weinen sind einfache Größen

allein wahrscheinlich überhaupt nicht geeignet, um pathologische Zustände anzuzeigen. Ein großer Wert der Arbeit liegt darin, dies deutlich aufgezeigt zu haben und für weitere Projekte zu überlegen, welche Parameterkonstellationen möglicherweise geeignete Risikomarker sein könnten.

4.1.3 Grundfrequenz-Modulations-Amplitude (Hub) – geschlechtsspezifische Analyse

Im Geschlechter-Vergleich zwischen den Gruppen NHS_TU und NHS_TA zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in den Messgrößen. Das Ergebnis ist aber aufgrund eines unterschiedlichen Geschlechterverhältnisses nur bedingt aussagekräftig. In der NHS_TA Gruppe waren 25 und in der NHS_TU Gruppe 16 männliche Probanden. Bei den weiblichen Probanden war das Verhältnis genau umgekehrt. Aktuell gibt es keine Daten und Hinweise zum Einfluss des Geschlechtes auf die Phonationseigenschaften von Neugeborenen. Um zu überprüfen, welche Auswirkung das Geschlecht auf die Schreiakustik von Neugeborenen hat, müsste man ein größeres Probandenkollektiv untersuchen.

Im Rahmen von Forschungen zum Einfluss von Sexualhormonkonzentrationen auf die Lautgebung fanden sich bei Säuglingen, die 4-8 Wochen alt waren, indirekt Hinweise auf Geschlechtsunterschiede (Borysiak et al., 2017). Borysiak et al. beschreiben eine negative Korrelation zwischen dem Frequenzhub und der Serumkonzentration von Estriol. Die hohen Hormonkonzentrationen während der Minipubertät könnten einen Einfluss auf die Schreieigenschaften haben; für das Neugeborenenalter sind keine Geschlechtsunterschiede in Schreieigenschaften bekannt.

4.2 Fanden sich hier Unterschiede in den Messgrößen zwischen Neugeborenen mit bzw. ohne auffälligen NHS-Befund?

In der vorliegenden Arbeit konnten keine signifikanten Unterschiede im spontanen Weinen der hier untersuchten Neugeborenen mit bzw. ohne auffälligen NHS-Befund gefunden werden. Dies gilt für alle analysierten Messgrößen. Damit konnten sowohl Frage 1 als auch Frage 2 (Kap. 1) der Arbeit, die potenzielle Gruppenunterschiede erfragten, mit "nein" beantwortet werden. Der Befund der Arbeit, dass sich beide Probandengruppen hier nicht unterschieden, kann damit erklärt werden, dass ausschließlich gesunde Neugeborene ohne sensorineurale Hörstörungen untersucht wurden. Die Neugeborenen, die sich in der NHS-Testung auffällig gezeigt hatten, waren in der Kontrolluntersuchung

mittels erneuter BERA-Testung einige Wochen später unauffällig. Es wurde also eine BERA-unauffällige Gruppe (NHS_TU) mit einer ebenfalls gesunden BERA-auffälligen Gruppe (NHS_TA) verglichen. Die „Auffälligkeit“ der NHS_TA-Gruppe bestand nur aufgrund falsch-positiver Befunde im NHS-1. Vergleicht man die Medianwerte der analysierten Messgrößen, so zeigten sich auf Signallevel fast identische Werte in beiden Probandengruppen für alle stimmphysiologischen Messgrößen. Auch die Minima und Maxima sowie die Verteilungen der Werte waren mit wenigen Ausnahmen sehr ähnlich. Gestützt wird dieser Befund auf Signallevel durch die Untersuchungen auf Kindlevel (Mittelung aller Werte pro Kind und dann Gruppenvergleich). Auch hier waren die Medianwerte aller Messgrößen sehr ähnlich. Die minimalen Unterschiede von wenigen Hz und ms liegen im Bereich der Messunsicherheiten. Bestätigt werden die Ähnlichkeiten beider Gruppen für die stimmphysiologischen Eigenschaften auch durch die mittleren bis großen Effektstärken.

Aufgrund der Tatsache, dass alle Neugeborenen in der Untersuchung medizinisch unauffällige, reif geborene eutrophe Neugeborene waren, lieferten die Verteilungen der Messgrößen physiologische Referenzwerte, inklusive intra- und interindividueller Variabilität. Die zu den falsch-positiven BERA-Befunden geführten Faktoren waren hier eher Unruhezustände des Neugeborenen bei der Messung oder Restflüssigkeiten im Gehörgang. Dieser Befund unterstützt die Argumentation von Ross (2021), die bei denselben Probandengruppen Melodiestrukturen untersucht hatte. Auch sie hatte keine robust signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen nachweisen können.

Auch die dritte Frage, die die Autorin vorliegender Arbeit untersucht hat, nämlich die Frage nach der Existenz möglicher Geschlechtsunterschiede in den stimmphysiologischen Parametern, kann aufgrund der Befunde mit „nein“ beantwortet werden. Diese Fragestellung erschien sinnvoll, da es Hinweise auf Unterschiede im Hören beider Geschlechter von Geburt an gibt (Kaveh et al., 2021; Nolan, 2020). Dies könnte vermuten lassen, dass es aufgrund der engen Kopplung des audio-vokalen Systems auch Geschlechtsunterschiede im Weinen der Säuglinge geben könnte. Dass sie hier nicht gefunden wurden, bedeutet nicht, dass sie nicht existieren; Geschlechtsunterschiede könnten in anderen, hier nicht untersuchten Messgrößen (z.B. spektralen Eigenschaften) existieren. Um diese Frage weiter zu untersuchen, müsste zunächst geklärt werden, worin die in der Fachliteratur postulierten Geschlechtsunterschiede in der Struktur bzw. Funktion des fötalen und neonatalen Hörsystems bestehen. Erst dann kann entschieden

werden, welche stimmlichen Größen der Phonation damit korrespondieren und ob bzw. wenn ja, warum sie zwischen den Geschlechtern differieren. Aus evolutionsbiologischer Sicht gibt es keinen Selektionsvorteil, das Geschlecht eines Neugeborenen anhand seiner Schreie zu differenzieren. Die körperlichen Geschlechtsunterschiede sind hier eindeutiger. Was evolutionsbiologisch allerdings eine Rolle spielen könnte, ist die „Fitness“, die Säuglingsschreie ausdrücken (Lester 1986). So ist verschiedentlich beschrieben, dass die Schreie von Säuglingen mit Erkrankungen des zentralnervösen, kardio-pulmonalen oder respiratorischen Systems besondere Klangeigenschaften aufweisen. Trotz der Befunde der vorliegenden Arbeit, dass sich die Gruppen in den analysierten Schreieigenschaften nicht unterscheiden und eine „Diagnose“ für sensorineurale Hörstörung damit prinzipiell denkbar wäre, bleibt eine Schwierigkeit: Kann man tatsächlich anhand von Schreieigenschaften spezifisch auf eine Hörstörung schließen? Bei medizinisch unauffälligen Neugeborenen möglicherweise ja, aber bei Neugeborenen mit Erkrankungen bzw. Dysfunktion des zentralnervösen, kardio-pulmonalen oder respiratorischen Systems kann es möglicherweise schwieriger werden; dazu müssten die verschiedenen Einflussfaktoren separiert werden. Prinzipiell ist dies denkbar, insbesondere bei Anwendung moderner Algorithmen wie sie in der künstlichen Intelligenzforschung verwendet werden. Dazu müssten dann Geburtskohorten, also größere Stichproben untersucht werden.

Insgesamt kann aber festgehalten werden, dass die hier durchgeführten Analysen aufgrund der gefundenen hohen Gruppenähnlichkeit eine wesentliche Voraussetzung dafür liefern, das Forschungskonzept einer „Hördiagnose aus dem Schrei“ weiter zu verfolgen. Könnte man zukünftig anhand ausgewählter Schreieigenschaften BERA-auffällige Neugeborene weiter differenzieren, würde dies für die klinische Praxis einige Vorteile mit sich bringen. So könnte man z.B. BERA-auffällige Neugeborene in eine Kategorie „Schrei normal“ und eine zweite „auch Schrei auffällig“ unterteilen. Letzte Gruppe sollte man dann schneller zu einer pädaudiologischen weiterführenden Diagnostik einbestellen. Vorliegende Arbeit hat einen Beitrag für dieses Fernziel geliefert.

Grundlage der hier analysierten stimmphysiologischen Größen sind koordinierte respiratorisch-laryngeale Aktionen. Sereschk (2019) hat bei dem gleichen Datenset temporale Analysen von Schreisequenzen durchgeführt. Er hat die Dauer einzelner expiratorischer Schreie vermessen und diese mit der Dauer inspiratorischer Phasen verglichen. Auch er hat keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede zwischen den BERA-

auffälligen und BERA-unauffälligen Neugeborenen gefunden. Er interpretiert seine Befunde als Ausdruck abgestimmter, erstaunlich reifer Kontrollleistungen der Neugeborenen. Dass das Phonationssystem Neugeborener sehr leistungsfähig ist, zeigen auch Arbeiten, die im spontanen Weinen weniger Tage alter Neugeborener Elemente muttersprachlicher Prosodie beschreiben (Mampe, Friederici, Christophe, & Wermke, 2009; Prochnow, Erlandsson, Hesse, & Wermke, 2017; Wermke et al., 2017). Auch dies ist ein Hinweis auf die enge und reife Kopplung des audiovokalen Systems.

Die frühe Reife des auditorischen Systems konnte auch durch andere Befunde schon im fetalen Alter nachgewiesen werden. Frühere Studien konnten eine hohe fetale Aufmerksamkeit und ein rudimentäres Gedächtnis sowie das Erlernen von Sprache und Sprachmustern bei Feten nachweisen. In einer Studie konnte beobachtet werden, dass Feten mit einer Erhöhung der Herzfrequenz auf die Stimme ihrer Mutter und einer Verringerung der Herzfrequenz auf die Stimme einer fremden Person, die dieselbe Passage vorlas, reagierten (Kisilevsky et al., 2003). Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass Feten bekannte und unbekannte melodische Konturen (Granier-Deferre, Bassereau, Ribeiro, Jacquet, & Decasper, 2011) sowie verschiedene Vokale ihrer Muttersprache (Moon, Lagercrantz, & Kuhl, 2013) unterscheiden können. Ein neuronales fetales Gedächtnis für einzelne Geräusche konnte anhand von elektrischer Aktivität des Gehirns bewiesen werden (Partanen et al., 2013). In weiteren Untersuchungen konnte für das dritte Schwangerschaftstrimester sowohl ein fetales Erinnerungsvermögen für Sprach- und Musikmelodien als auch eine fetale Reifung der Musikwahrnehmung nachgewiesen werden (Granier-Deferre et al., 2011; Kisilevsky, Hains, Jacquet, Granier-Deferre, & Lecanuet, 2004). Die frühen vorgeburtlichen Hörerfahrungen sind entscheidend für die spätere Phonation. Die Klangproduktion von Neugeborenen ist von der intrauterin wahrgenommenen Umgebungssprache geprägt. Dabei sind die prosodischen (rhythmisch-melodischen) Merkmale der Sprache über die Bauchbarriere hinweg gut erhalten, während segmentale Aspekte der Sprache gestört sind (Rosen & Iverson, 2007; Woodward & Guidozzi, 1992). Dies unterstützt die Annahme, dass ausgewählte Phonationseigenschaften tatsächlich Stimmrisikomarker für die Früherkennung einer eventuellen Hörstörung sein könnten. Zusammenfassend lässt sich die Hypothese von Ross (2021) bestätigen, dass durch die enge Kopplung des auditiv-vokalen Systems die Ergänzung des NHS-1 durch Aufnahmen der Neugeborenen schreie ein vielversprechender Forschungsansatz sein könnte.

Bei zukünftigen Untersuchungen im Zusammenhang mit diesem Forschungsprojekt wäre ein möglicher Ansatz auch die Kombination aus Schreidiagnostik und Messung der kortikalen auditorisch evozierten Potentiale (CAEPs). Bei der Hirnstammaudiometrie kann lediglich das Hörvermögen auf dem Weg vom Trommelfell bis zum Hirnstamm verfolgt werden. Um eine Überprüfung des gesamten auditorischen Systems vom Trommelfell bis zur Hörrinde zu gewährleisten, könnten die CAEPs gemessen werden. Eine Kombination aus BERA-Testung, CAEP-Messung und Schreianalyse könnte die Rate an falsch positiven Testergebnissen senken. Die BERA-Testung bzw. CAEP-Messung hat bereits eine hohe Sensitivität (100%) und Spezifität (bis zu 98%). In einer Studie von Cebulla und Shehata-Dieler (2012) wurde die Zuverlässigkeit der Verwendung eines BE-RAphones zur Messung der auditorischen Hirnstammreaktion mit einer Spezifität von 97,9% (Sensitivität 100%) dokumentiert. Auch bei einer sehr hohen Genauigkeit blieb ein Anteil an falsch-positiven Testergebnissen.

Die Auswirkungen eines falsch-positiven Testergebnisses können gravierend sein. Allein die Wartezeit bis zu einer erneuten Messung kann bis zu 12 Wochen betragen. Diese Zeit geht meist mit einer hohen emotionalen Belastung für die Eltern einher (Clemens, Davis, & Bailey, 2000). Oftmals entstehen Ängste vor einer bleibenden Hörstörung. Gelegentlich beobachtet man spezifische elterliche Verhaltensweisen, wie lauterer Sprechen der Eltern mit ihrem Kind oder Klatschen in die Hände, um das Gehör ihres Säuglings zu testen. Das unsichere Verhalten gegenüber dem Säugling und die Zeit bis zum endgültigen Ergebnis kann die Entwicklung der Eltern-Kind-Beziehung stören. Neben den Auswirkungen auf die betroffene Familie hat ein falsch-positives Testergebnis auch eine Bedeutung für das Gesundheitssystem. Durch eine wiederholte Testung entstehen zusätzliche Kosten und der Personalaufwand steigt. Vergleicht man die Kosten diagnostischer Verfahren in der Medizin, so ist die Lautaufnahme mit anschließender Signalanalyse ein kostengünstiges Verfahren. Des Weiteren ist die Aufnahme von Lauten ein nicht-invasives Verfahren, das problemlos in die tägliche Routine einer Wöchnerinnenstation integriert werden kann. Die Aufnahmen gehen schnell und können nach kurzer Schulung über das Aufnahmegerät durchgeführt werden. Die Autorin selbst konnte nach kurzer Schulung und ohne weitreichende Erfahrungen in der Audiometrie das Aufnahmegerät sicher anwenden. Aufgrund dieser Erkenntnisse scheint es lohnend, dass sich die weitere pädaudiologische Forschung gezielt um die Reduktion der Rate an falsch-positiven NHS-1 Testergebnissen bemüht. Durch die über Millionen von Jahren bestehende Koevolution, in der sich das auditorische und das vokale System aneinander angepasst

und gemeinsam entwickelt haben, erscheint eine kombinierte Testung im Rahmen des Hörscreenings auch theoretisch begründet (Wermke & Mende, 2009, 2016).

4.3 Limitationen

Limitationen für die Interpretation der Ergebnisse der Arbeit finden sich in der Tatsache, dass alle Neugeborenen, auch die, die initial das NHS nicht bestanden hatten, später keine sensorineurale Hörstörung entwickelten. Dieses Ergebnis erfordert eine Reproduktion der Studie, die neben einer größeren Probandenanzahl hörgeschädigte Neugeborene einbezieht. Der Nachweis, dass hörgeschädigte Neugeborene sich in ihren Schreieigenschaften von normal hörenden Neugeborenen unterscheiden, könnte als nicht-invasives Instrument, zusätzlich zum NHS-1, zur Früherkennung einer Hörstörung genutzt werden. Die Arbeit hat für diesen Ansatz einen Beitrag geliefert; der Beweis für seine Relevanz ist aber erst geliefert, wenn gezeigt werden kann, dass sensorineurale hörgeschädigte Neugeborene robust anhand der Messgrößen identifiziert werden können. Die Daten der vorliegenden Arbeit können aber gemeinsam mit den Arbeiten von Sereschk (2019) und Ross (2021) als eine erste Grundlage für die Entwicklung eines auf Vokalisation basierenden nicht-invasiven Screening-Tools zur Früherkennung einer Hörstörung angesehen werden. Bei zukünftigen Analysen wäre auch eine Einbeziehung Frühgeborener sinnvoll. Frühgeborene weisen häufiger neurologische Schädigungen auf, die sich durch eine Grundfrequenzerhöhung und -variabilität im Schreiverhalten widerspiegeln. Während der vorbereitenden Datenerfassung für die vorliegende Arbeit wurde durch die Autorin auch eine kleine Stichprobe an Aufnahmen bei Frühgeborenen erhoben, die noch ausgewertet werden kann. Spezifisch methodisch limitierend war die Vermessung der Melodielänge anhand der F0-Werte. Wie Eisenmann (2021) gezeigt hat, sind robuste temporale Vermessungen nur am Zeitsignal möglich. Das hatte keinen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse, da es sich in der Regel nur um wenige Millisekunden-Abweichungen handelt, sollte aber unbedingt in weiterführenden Untersuchungen berücksichtigt werden.

5 Zusammenfassung

Nach intensiver Recherche ist die vorliegende Arbeit die erste Studie über spontane Neugeborenenenschreie, die stimmphysiologische Messgrößen in Zusammenhang mit den Testergebnissen des Neugeborenen-Hörscreening (NHS-1) untersucht hat. Klinisch wichtig ist diese Forschung, da das NHS-1 mit einer Unsicherheit durch falsch-positive Fälle limitiert ist. Dadurch werden einige Neugeborene zunächst als "risikobehaftet für eine Hörstörung" diagnostiziert, obwohl sie eigentlich normalhörend sind. Eine verbesserte Erstdiagnostik durch die Einbeziehung von Lautanalysen könnte Kosten sparen und auch die Eltern der betroffenen Neugeborenen nicht unnötig verunsichern. Es konnte hier gezeigt werden, dass sich Schreieigenschaften von gesunden Neugeborenen, die im initialen Hörscreening auffällig waren (falsch positiv), nicht von denen unterscheiden, die bereits initial als unauffällig, also normalhörend, erkannt wurden. Die Ergebnisse und Daten der vorliegenden Arbeit fließen in Forschungen ein, die die sehr frühzeitige Identifizierung von Stimmrisikomarkern für eine Schwerhörigkeit zum Ziel haben.

Die vorliegende Dissertation erfolgte im Rahmen des Projekts „Klinische Längsschnittstudie zur vorsprachlichen Entwicklung im ersten Lebensjahr bei Säuglingen mit und ohne Hörstörung“. Für die Arbeit wurden von der Autorin, gemeinsam mit einer anderen Doktorandin (Veronique Ross) in der Neonatologie des Universitätsklinikums Würzburg digitale Tonaufnahmen von spontanem Weinen Neugeborener erstellt und pseudonymisiert gespeichert. Es wurden die Vokalisationen von 75 gesunden reifen Neugeborenen im Alter von 2-4 Tagen ausgewertet. Dazu wurden zwei Gruppen gebildet (NHS_TU, NHS_TA). Neugeborene, die im NHS-1 Test unauffällig waren, bildeten die NHS_TU-Gruppe. Die NHS_TA-Gruppe repräsentierte die hörgesunden Neugeborenen mit zunächst auffälligem NHS-Befund, also die sogenannten falsch-positiven Fälle. Im Labor des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) wurden die Lautaufnahmen unter Verwendung getesteter Routinemethoden der *Vorsprachlichen Diagnostik* ausgewertet. Die Auswertung erfolgte auf Einzelschreineiveau (Signallevel) sowie auf Kindlevel. Auf Signallevel wurden 1.295 Signale quantitativ von der Autorin ausgewertet. Messgrößen waren Grundfrequenzparameter und die Dauer der Einzelschreie. Diese Auswertung lieferte gleichzeitig auch Referenzbereiche für die Messgrößen bei gesunden Neugeborenen, die bisher nicht vorlagen. Eine Auswertung der Messgrößen auf Kindlevel (Mittelung aller Messungen pro Kind) bestätigte die

Ergebnisse auf Signalleve. Die statistische Auswertung lieferte mit mittleren und großen Effektstärken keinen Hinweis auf bestehende Unterschiede in den untersuchten Schreieigenschaften zwischen beiden Gruppen. Limitierend ist zu berücksichtigen, dass es sich um eine kleine Stichprobe mit medizinisch strengen Auswahlkriterien handelte. Mit der vorliegenden Arbeit konnte demonstriert werden, dass Neugeborene, die im ersten Hörscreening ein falsch positives Testergebnis haben, sich in Bezug auf ihre Schreieigenschaften von gesunden Neugeborenen nicht unterscheiden. Dies liefert die Voraussetzung für geplante weiterführende Untersuchungen, die nun auch sensorineural hörgestörte Neugeborene einschließen sollen.

6 Literaturverzeichnis

- Andrews, J. F., & Mason, J. M. (1991). Strategy usage among deaf and hearing readers. *Exceptional Children*, 57(6), 536–545.
<https://doi.org/10.1177/001440299105700607>
- Borysiak, A., Hesse, V., Wermke, P., Hain, J., Robb, M., & Wermke, K. (2017). Fundamental Frequency of Crying in Two-month-old Boys and Girls: Do Sex Hormones During Mini-puberty Mediate Differences? *Journal of Voice : Official Journal of the Voice Foundation*, 31(1), 128.e21-128.e28.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2015.12.006>
- Bosma, J. F., Truby, H. M., & Lind, J. (1965). Cry motions of the newborn infant. *Acta Paediatrica*, 54 (Suppl. 135), 60–92. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1965.tb09309.x>
- Bundesministerium für Gesundheit (2008). Bekanntmachung eines Beschlusses des Gemeinsamen Bundesausschusses über eine Änderung der Kinder-Richtlinien: Einführung eines Neugeborenen-Hörscreenings. Retrieved from https://www.g-ba.de/downloads/39-261-681/2008-06-19-Kinder-H%C3%B6rscreening_BAnz.pdf
- Cebulla, M., Lurz, H., & Shehata-Dieler, W. (2014). Evaluation of waveform, latency and amplitude values of chirp ABR in newborns. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 78(4), 631–636. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2014.01.020>
- 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>
- Clemens, C. J., Davis, S. A., & Bailey, A. R. (2000). The false-positive in universal newborn hearing screening. *Pediatrics*, 106(1), E7.
<https://doi.org/10.1542/peds.106.1.e7>
- Clement, C. J., & Koopsman-van Beinum, F. J. (1995). Influence of lack of auditory feedback: vocalizations of deaf and hearing infants compared. Institute of Phonetic Sciences, University of Amsterdam (Chair), *Proceedings of the International Congress of Phonetic Sciences, Stockholm 1995*, 25-37. <https://www.fon.hum.uva.nl/archive/1995/Proc19ClementBeinum.pdf>
- Davis, J. M., Elfenbein, J., Schum, R., & Bentler, R. A. (1986). Effects of mild and moderate hearing impairments on language, educational, and psychosocial behavior of children. *The Journal of Speech and Hearing Disorders*, 51(1), 53–62.
<https://doi.org/10.1044/jshd.5101.53>
- Doyle, K. J., Burggraaff, B., Fujikawa, S., Kim, J., & MacArthur, C. J. (1997). Neonatal hearing screening with otoscopy, auditory brain stem response, and otoacoustic emissions. *Otolaryngology—Head and Neck Surgery*, 116(6 Pt 1), 597–603.
<https://doi.org/10.1016/S0194-59989770234-1>
- Eisenmann, M. S. (2021). Entwicklung, Testung und Anwendung von PRAAT-Skripten zur semi-automatischen Vokalisationsanalyse im Rahmen der Vorsprachlichen Diagnostik am ZVES. *Dissertation*, Medizinische Fakultät, Universität Würzburg.
- Granier-Deferre, C. [Carolyn], Bassereau, S., Ribeiro, A., Jacquet, A.-Y., & Decasper, A. J. (2011). A melodic contour repeatedly experienced by human near-term

- fetuses elicits a profound cardiac reaction one month after birth. *PLoS One*, 6(2), e17304. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017304>
- Gross, M., Finckh-Krämer, U., & Spormann-Lagodzinski, M. (2000). Angeborene Erkrankungen des Hörvermögens bei Kindern - Teil 1: Erworbene Hörstörungen. *HNO*, 48(12), 879–886. <https://doi.org/10.1007/s001060050684>
- Holden-Pitt, L., & Albertorio, J. (1998). Thirty years of the Annual Survey of Deaf and Hard-of-Hearing Children & Youth: A glance over the decades. *American Annals of the Deaf*, 143(2), 72–76.
- Joint Committee on Infant Hearing (2007). Year 2007 Position Statement: Principles and Guidelines for Early Hearing Detection and Intervention Programs. *Pediatrics*, 120(4), 898–921. <https://doi.org/10.1542/peds.2007-2333>
- Kajtažović, J. (2015). *Ermittlung des Variabilitätsbereiches der mittleren Grundfrequenz in Vokalisationen von Säuglingen mit syndromaler und nicht-syndromaler Spaltbildung in den ersten 90 Lebenstagen*. Dissertation, Medizinische Fakultät, Universität Würzburg.
- Kaveh, M., Mirjalali, S. N., Shariat, M., & Zarkesh, M. R. (2021). Perinatal factors influencing the neonatal hearing screening results. *BMC Pediatrics*, 21(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s12887-020-02476-0>
- Kisilevsky, B. S., Hains, S. M. J. [S. M. J.], Jacquet, A. Y., Granier-Deferre, C. [C.], & Lecanuet, J. P. (2004). Maturation of fetal responses to music. *Developmental Science*, 7(5), 550–559.
- Kisilevsky, B. S., Hains, S. M. J., Lee, K., Xie, X., Huang, H., Ye, H. H., . . . Wang, Z. (2003). Effects of experience on fetal voice recognition. *Psychological Science*, 14(3), 220–224. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.02435>
- Korver, A. M. H., Smith, R. J. H., van Camp, G., Schleiss, M. R., Bitner-Glindzicz, M. A. K., Lustig, L. R., . . . Boudewyns, A. N. (2017). Congenital hearing loss. *Nature Reviews. Disease Primers*, 3, 16094. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.94>
- LaGasse, L. L., Neal, A. R., & Lester, B. M. (2005). Assessment of infant cry: Acoustic cry analysis and parental perception. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 11(1), 83–93. <https://doi.org/10.1002/mrdd.20050>
- Lester, B. M., & Dreher, M. (1989). Effects of marijuana use during pregnancy on newborn cry. *Child Development*, 60(4), 765–771.
- Lester, B. M. (1987). Developmental outcome prediction from acoustic cry analysis in term and preterm infants. *Pediatrics*, 80(4), 529–534.
- Lester, B. M., Tronick, E. Z., LaGasse, L., Seifer, R., Bauer, C. R., Shankaran, S., . . . Maza, P. L. (2002). The maternal lifestyle study: Effects of substance exposure during pregnancy on neurodevelopmental outcome in 1-month-old infants. *Pediatrics*, 110(6), 1182–1192. <https://doi.org/10.1542/peds.110.6.1182>
- Levelt, W. J. (1983). Monitoring and self-repair in speech. *Cognition*, 14(1), 41–104. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(83\)90026-4](https://doi.org/10.1016/0010-0277(83)90026-4)
- Mahmoudian, S., Aminrasouli, N., Ahmadi, Z. Z., Lenarz, T., & Farhadi, M. (2019). Acoustic Analysis of Crying Signal in Infants with Disabling Hearing Impairment. *Journal of Voice*, 33(6), 946.e7-946.e13. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.05.016>

- Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A., & Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current Biology*, 19(23), 1994–1997. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.09.064>
- Michelsson, K., Kaskinen, H., Aulanko, R., & Rinne, A. (1984). Sound spectrographic cry analysis of infants with hydrocephalus. *Acta Paediatrica Scandinavica*, 73(1), 65–68. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1984.tb09899.x>
- Michelsson, K., Sirviö, P., & Wasz-Höckert, O. (1977). Sound spectrographic cry analysis of infants with bacterial meningitis. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 19(3), 309–315. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1977.tb08366.x>
- Michelsson, K., Eklund, K., Leppänen, P., & Lyytinen, H. (2002). Cry characteristics of 172 healthy 1-to 7-day-old infants. *Folia Phoniatrica Et Logopaedica*, 54(4), 190–200. <https://doi.org/10.1159/000063190>
- Michelsson, K., & Michelsson, O. (1999). Phonation in the newborn, infant cry. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 49, S297-S301. [https://doi.org/10.1016/s0165-5876\(99\)00180-9](https://doi.org/10.1016/s0165-5876(99)00180-9)
- Michelsson, K., & Sirvio, P. (1976). Cry analysis in congenital hypothyroidism. *Folia Phoniatrica*, 28(1), 40–47.
- Moeller, M. P. (2000). Early intervention and language development in children who are deaf and hard of hearing. *Pediatrics*, 106(3), E43. <https://doi.org/10.1542/peds.106.3.e43>
- 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)
- Moon, C., Lagercrantz, H., & Kuhl, P. K. (2013). Language experienced in utero affects vowel perception after birth: A two-country study. *Acta Paediatrica*, 102(2), 156–160. <https://doi.org/10.1111/apa.12098>
- Nolan, L. S. (2020). Age-related hearing loss: Why we need to think about sex as a biological variable. *Journal of Neuroscience Research*, 98(9), 1705–1720. <https://doi.org/10.1002/jnr.24647>
- Partanen, E., Kujala, T., Näätänen, R., Liitola, A., Sambeth, A., & Huotilainen, M. (2013). Learning-induced neural plasticity of speech processing before birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(37), 15145–15150. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302159110>
- Pickett, B. P., & Ahlstrom, K. (1999). Clinical evaluation of the hearing-impaired infant. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 32(6), 1019–1035. [https://doi.org/10.1016/s0030-6665\(05\)70192-4](https://doi.org/10.1016/s0030-6665(05)70192-4)
- Prochnow, A. (2013). *Der Erwerb melodisch-rhythmischer Grundbausteine im Rahmen der vorsprachlichen Entwicklung – eine vergleichende Analyse der Schreie von schwedischen und deutschen Neugeborenen*. Dissertation, Universität Würzburg.
- Prochnow, A., Erlandsson, S., Hesse, V., & Wermke, K. (2017). Does a 'musical' mother tongue influence cry melodies? A comparative study of Swedish and German newborns. *Musicae Scientiae*, 1(4), 102986491773303. <https://doi.org/10.1177/1029864917733035>
- Rosen, S., & Iverson, P. (2007). Constructing adequate non-speech analogues: What is special about speech anyway? *Developmental Science*, 10(2), 165-8; discussion 169-71. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00550.x>

- Ross, V. (2021). Unterscheiden sich gesunde Neugeborene mit auffälligem bzw. unauffälligem Hörscreeningbefund in Eigenschaften der Grundfrequenzkontur ihrer spontanen Weinaute? *Dissertation*, Medizinische Fakultät, Universität Würzburg.
- Sereschk, N. (2019). Temporale Eigenschaften ingressiver und egressiver Phonationsleistungen gesunder Neugeborener. *Dissertation, Medizinische Fakultät, Universität Würzburg*. <https://doi.org/10.25972/OPUS-17926>
- Shehata-Dieler, W., Dieler, R., Keim, R., Finkenzeller, P., Dietl, J., & Helms, J. (2000). Universelle Hörscreening-Untersuchungen bei Neugeborenen mit dem BERaphon [Universal hearing screening of newborn infants with the BERA-phone]. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 79(2), 69–76. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8792>
- 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.0000000011>
- Stevens, B., McGrath, P., Gibbins, S., Beyene, J., Breau, L., Camfield, C., . . . Yamada, J. (2007). Determining behavioural and physiological responses to pain in infants at risk for neurological impairment. *Pain*, 127(1-2), 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2006.08.012>
- Vohr, B. (2003). Overview: Infants and children with hearing loss-part I. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 9(2), 62–64. <https://doi.org/10.1002/mrdd.10070>
- Wasz-Höckert, O., Lind, J., Vuotrenkoski, V., Partanen, T., & Valanne, E. (1968). *The Infant Cry: A Spectrographic and Auditory Analysis*. Spastics International Medical Publications. Retrieved from <https://books.google.de/books?id=yd4fAAAAIAAJ>
- Wermke, K. (2002). *Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten in den ersten 5 Lebensmonaten* (Habilitation). Humboldt-Universität, Berlin. <https://doi.org/10.18452/13810>
- Wermke, K. (2015). Neonatal Crying Behaviors. In *International encyclopedia of the social & behavioral sciences* (Vol. 46, pp. 475–480). Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.23106-1>
- Wermke, K., Cebulla, M., Salinger, V., Ross, V., Wirbelauer, J., & Shehata-Dieler, W. (2021). Cry features of healthy neonates who passed their newborn hearing screening vs. those who did not. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 144, 110689. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2021.110689>
- Wermke, K., & Mende, W. (2009). Musical elements in human infants' cries: In the beginning is the melody. *Musicae Scientiae, Special Issue on Music and Evolution*, 151–173.
- Wermke, K., & Mende, W. (2011). From emotion to notion: the importance of melody. In J. Decety & J. T. Cacioppo (Eds.), *Oxford library of psychology. The Oxford handbook of social neuroscience* (pp. 624–648). New York: Oxford University Press.
- 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, UK: Cambridge Scholars Publishing.

- Wermke, K., Mende, W., Manfredi, C., & Brusciaglioni, P. (2002). Developmental aspects of infant's cry melody and formants. *Medical Engineering & Physics*, 24(7-8), 501–514. [https://doi.org/10.1016/S1350-4533\(02\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S1350-4533(02)00061-9)
- Wermke, K., Ruan, Y., Feng, Y., Dobnig, D., Stephan, S., Wermke, P., . . . Shu, H. (2017). Fundamental Frequency Variation in Crying of Mandarin and German Neonates. *Journal of Voice*, 31(2), 255.e25-255.e30. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.06.009>
- Wermke, K., Sereschk, N., May, V., Salinger, V., Sanchez, M. R., Shehata-Dieler, W., & Wirbelauer, J. (2019). The Vocalist in the Crib: The Flexibility of Respiratory Behaviour During Crying in Healthy Neonates. *Journal of Voice*, 35 (1), S.94-103. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.07.004>
- Wermke, K., Teiser, J., Yovsi, E., Kohlenberg, P. J., Wermke, P., Robb, M., . . . Lamm, B. (2016). Fundamental frequency variation within neonatal crying: Does ambient language matter? *Speech, Language and Hearing*, 19(4), 211–217. <https://doi.org/10.1080/2050571X.2016.1187903>
- Woodward, S. C., & Guidozzi, F. (1992). Intrauterine rhythm and blues? *British Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 99(10), 787–789. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.1992.tb14406.x>
- Yoshinaga-Itano, C., Coulter, D., & Thomson, V. (2001). Developmental outcomes of children with hearing loss born in Colorado hospitals with and without universal newborn hearing screening programs. *Seminars in Neonatology : SN*, 6(6), 521–529. <https://doi.org/10.1053/siny.2001.0075>
- 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.102.5.1161>

Appendix

I Abkürzungsverzeichnis

AGA	somatische Klassifikation als „appropriate-for-gestational-age“
aMWF0	arithmetischer Mittelwert aller Grundfrequenzwerte pro Vokalisation (Schrei)
APGAR	Activity/Pulse/Grimace/Appearance/Respiration
BERA	Brainstem evoked response audiometry
CAEP	Cortical auditory evoked potential
CDAP	Cry-Data-Analysis-Programm
CHC	Comprehensive Hearing Center
CPAP	continuous positive airway pressure
CSL	Computer Speech Lab, Sprachanalysesoftware (KayPEN-TAX)
F0	Grundfrequenz
Fmax	höchster gemessener Wert der Grundfrequenz
Fmin	niedrigster gemessener Wert der Grundfrequenz
GBGW	Geburtsgewicht
GBL	Geburtslänge
GM	Geburtsmodus
KU	Kopfumfang
m	männlich
N	Anzahl der in die Statistik aufgenommenen Fälle
NHS	Neugeborenen-Hörscreening
NHS_TA	Neugeborene mit auffälligem NHS
NHS_TU	Neugeborene mit unauffälligem NHS
PC	Probandencode
SDF0	Standardabweichung der Grundfrequenz
SEX	Biologisches Geschlecht
SSW	Schwangerschaftswoche
w	weiblich
ZNS	Zentralnervensystem
ZVES	Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitbereichsdarstellung und Frequenzspektrogramm von typischen Beispielen für eingeschlossene (a) bzw. aussortierte (b) Säuglingsschreie (KAY-CSL-Darstellung, eigene Analyse)	17
Abbildung 2: Melodie-/Intensitätsdiagramm eines Einzellautes (Schrei, 3d altes Neugeborenes)	18
Abbildung 3: Histogramm: Verteilung der Melodielänge im Probandenkollektiv auf Signalebene	22
Abbildung 4: Boxplot: Verteilung der Werte für die Länge der Melodie in den Probandengruppen	23
Abbildung 5: Histogramm: Verteilung der mittleren Grundfrequenz der Laute im Probandenkollektiv auf Signalebene	25
Abbildung 6: Boxplot: Verteilung der mittleren Grundfrequenz in den Probandengruppen	27
Abbildung 7: Histogramm: Verteilung der errechneten Werte für die Standardabweichung (SDF0) im Probandenkollektiv auf Signalebene	29
Abbildung 8: Boxplot: Verteilung der Standardabweichung der Grundfrequenz (SDF0) in den beiden Probandengruppen.....	30
Abbildung 9: Histogramm vom Grundfrequenzhub im Probandenkollektiv auf Signalebene.....	32
Abbildung 10: Boxplot: Verteilung der Werte für den Grundfrequenzhub in den beiden Probandengruppen.....	33
Abbildung 11: Histogramm: Verteilung von Fmax im Probandenkollektiv auf Signalebene.....	35
Abbildung 12: Verteilung der Werte der maximalen Grundfrequenz (Fmax) in den beiden Probandengruppen.....	36
Abbildung 13: Histogramm: Verteilung der Werte der minimalen Grundfrequenz (Fmin) im Probandenkollektiv auf Signalebene	38
Abbildung 14: Boxplot: Verteilung der Werte der minimalen Grundfrequenz (Fmin) in den beiden Probandengruppen	39
Abbildung 15: Histogramm: Verteilung der Melodielängenwerte auf Kindlevel.....	41
Abbildung 16: Boxplot: Vergleich der Verteilung der Melodielänge zwischen den beiden Probandengruppen.....	41
Abbildung 17: Histogramm: Verteilung der Werte für die mittlere Grundfrequenz auf Kindlevel	44
Abbildung 18: Boxplot: Verteilung der Werte der mittleren Grundfrequenz in den beiden Probandengruppen (Kindlevel)	44
Abbildung 19: Histogramm: Verteilung der Werte für die Standardabweichung (SDF0) der Grundfrequenz auf Kindlevel	46
Abbildung 20: Boxplot: Verteilung der Werte für die Standardabweichung der Grundfrequenz in den Probandengruppen (Kindlevel).....	47

Abbildung 21: Histogramm: Verteilung des relativen Frequenzhubs auf Kindlevel	49
Abbildung 22: Boxplot: Verteilung des relativen Frequenzhubs in den Probandengruppen	49
Abbildung 23: Histogramm: Verteilung der Werte der maximalen Grundfrequenz (Fmax) auf Kindlevel	51
Abbildung 24: Boxplot: Verteilung der gemessenen Grundfrequenzmaxima in den Probandengruppen (Kindlevel).....	52
Abbildung 25: Histogramm: Verteilung der gemessenen Grundfrequenzminima auf Kindlevel	54
Abbildung 26: Boxplot: Verteilung der gemessenen Grundfrequenzminima in den Probandengruppen (Kindlevel).....	54
Abbildung 27: Boxplot: Verteilung der Melodielänge innerhalb der und zwischen den Probandengruppen nach Geschlecht	57
Abbildung 28: Boxplot: Verteilung der mittleren Grundfrequenz innerhalb der und zwischen den Probandengruppen nach Geschlecht.....	60
Abbildung 29: Boxplot: Verteilung des relativen Frequenzhubs innerhalb der und zwischen den Probandengruppen nach Geschlecht.....	63

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einschlusskriterien zur Teilnahme an der Studie	9
Tabelle 2:	Übersicht über das Probandenkollektiv	10
Tabelle 3:	BERA-unauffällige Probanden (NHS-TU).....	11
Tabelle 4:	BERA-auffällige Probanden (NHS-TA).....	12
Tabelle 5:	Anzahl der pro Proband analysierten Einzellaute in der Gruppe NHS_TU	14
Tabelle 6:	Anzahl der pro Proband analysierten Einzellaute in der Gruppe NHS_TA.....	15
Tabelle 7:	Beschreibung der in den Messgrößen	19
Tabelle 8:	Deskriptive Statistik auf Signalebene für die Länge der Melodie ohne Gruppendifferenzierung.....	22
Tabelle 9:	Deskriptive Statistik der Werte für die Länge der Melodie in der Gruppe NHS_TU.....	24
Tabelle 10:	Deskriptive Statistik der Werte für die Länge der Melodie in der Gruppe NHS_TA.....	24
Tabelle 11:	Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz der Einzellaute.....	26
Tabelle 12:	Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz der Einzellaute in der Gruppe NHS_TU.....	27
Tabelle 13:	Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz der Einzellaute in der Gruppe NHS_TA	28
Tabelle 14:	Deskriptive Statistik für die Standardabweichung von F0	29
Tabelle 15:	Deskriptive Statistik für die Standardabweichung von F0 in der Gruppe NHS_TU.....	31
Tabelle 16:	Deskriptive Statistik für die Standardabweichung von F0 in der Gruppe NHS_TA.....	31
Tabelle 17:	Deskriptive Statistik für den absoluten Frequenzhub.....	33
Tabelle 18:	Deskriptive Statistik für den absoluten Grundfrequenzhub in der Gruppe NHS_TU.....	34
Tabelle 19:	Deskriptive Statistik für den absoluten Grundfrequenzhub in der Gruppe NHS_TA.....	34
Tabelle 20:	Deskriptive Statistik für die gemessene maximale Grundfrequenz (Fmax) pro Einzellaut.....	35
Tabelle 21:	Deskriptive Statistik für die maximale Grundfrequenz (Fmax) in der Gruppe NHS_TU.....	36
Tabelle 22:	Deskriptive Statistik für die maximale Grundfrequenz (Fmax) in der Gruppe NHS_TA.....	37
Tabelle 23:	Deskriptive Statistik für die Werte der minimalen Grundfrequenz (Fmin)	38

Tabelle 24:	Deskriptive Statistik für die minimale Grundfrequenz (Fmin) in der Gruppe NHS_TU.....	39
Tabelle 25:	Deskriptive Statistik für die minimale Grundfrequenz (Fmin) in der Gruppe NHS_TA.....	40
Tabelle 26:	Deskriptive Statistik für die Melodielänge in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel).....	42
Tabelle 27:	Deskriptive Statistik für die Melodielänge in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel).....	43
Tabelle 28:	Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz (aMWF0) in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel).....	45
Tabelle 29:	Deskriptive Statistik für die mittlere Grundfrequenz in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel).....	45
Tabelle 30:	Deskriptive Statistik für die Standardabweichung (SDF0) der Grundfrequenz in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel).....	47
Tabelle 31:	Deskriptive Statistik für die Standardabweichung (SDF0) der Grundfrequenz in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel).....	48
Tabelle 32:	Deskriptive Statistik für den relativen Frequenzhub in der Gruppe NHS_TU.....	50
Tabelle 33:	Deskriptive Statistik für den relativen Frequenzhub in der Gruppe NHS_TA.....	50
Tabelle 34:	Deskriptive Statistik für die Werte der maximalen Grundfrequenz (Fmax) in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel).....	52
Tabelle 35:	Deskriptive Statistik die Werte der maximalen Grundfrequenz (Fmax) in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel).....	53
Tabelle 36:	Deskriptive Statistik der gemessenen Grundfrequenzminima (Fmin) in der Gruppe NHS_TU (Kindlevel).....	55
Tabelle 37:	Deskriptive Statistik der gemessenen Grundfrequenzminima (Fmin) in der Gruppe NHS_TA (Kindlevel).....	55
Tabelle 38:	Deskriptive Statistik der Melodielänge in der Gruppe NHS_TU nach dem Geschlecht (weiblich = 2, männlich=1).....	58
Tabelle 39:	Deskriptive Statistik der Melodielänge in der Gruppe NHS_TA nach dem Geschlecht (weiblich=2, männlich =1).....	59
Tabelle 40:	Deskriptive Statistik der mittleren Grundfrequenz (aMWF0) in der Gruppe NHS_TU nach dem Geschlecht.....	61
Tabelle 41:	Deskriptive Statistik der mittleren Grundfrequenz [Hz] in der Gruppe NHS_TA nach dem Geschlecht.....	62
Tabelle 42:	Deskriptive Statistik des relativen Frequenzhubs in der NHS_TU Gruppe nach dem Geschlecht (weiblich= 2, männlich =1).....	64
Tabelle 43:	Deskriptive Statistik des relativen Frequenzhubs in der Gruppe NHS_TA nach dem Geschlecht (weiblich=2, männlich=1).....	65

IV Danksagung

Zunächst möchte ich mich herzlich bei Frau Professorin Dr. Kathleen Wermke und Herrn Professor Dr. Wirbelauer für die Überlassung des interessanten Dissertationsthemas und die gute Betreuung bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Frau Professorin Dr. Kathleen Wermke, Leiterin des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) an der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg für ihre unermüdliche Hilfsbereitschaft und ihre fachliche Unterstützung.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Peter Wermke für die Möglichkeit der Nutzung des von ihm entwickelten „Cry-Data-Analysis-Programms“ am ZVES, die Unterstützung bei der Anwendung und die Datensicherung bedanken.

Ein herzlicher Dank gilt auch allen Eltern mit ihren Neugeborenen sowie den Krankenschwestern und Krankenpflegern des Mutter-Kind-Zentrums, die die Datenerhebung erst ermöglicht haben.

Auch möchte ich mich bei meinen Eltern und Großeltern für die jahrelange Unterstützung und Motivation bedanken. Insbesondere danke ich meinem Großvater, der immer an mich geglaubt hat und mich zum Studium ermutigte.

Ein großer Dank geht an meinen Mann, der mir immer geduldig mit Rat und Tat zur Seite stand. Außerdem möchte ich mich bei meiner kleinen Tochter bedanken, die mich durch ihr Lachen immer wieder motivierte.