

Aus der Klinik und den Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Würzburg
Poliklinik für Kieferorthopädie
Direktorin: Professor Dr. med. dent. A. Stellzig-Eisenhauer

**Untersuchung des Beginns artikulatorischer Vorgänge in den
Lautproduktionen von Säuglingen mit orofazialen Spalten**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt
von Anne Kempf
aus Suhl

Würzburg, September 2008

Referentin: Professor Dr. rer. nat. Kathleen Wermke

Koreferentin: Priv.- Doz. Dr. med./ET Wafaa E. Shehata-Dieler

Dekan: Professor Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 11.03.2009

Die Promovendin ist Zahnärztin.

Meiner Familie in Dankbarkeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XV
1. Einleitung	- 1 -
1.1. Lautproduktionsmechanismen unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse beim Säugling	- 5 -
1.1.1. Besonderheiten des peripheren Lautproduktionssystems beim Säugling	- 5 -
1.1.2. Besonderheiten des peripheren Lautproduktionssystems bei Säuglingen mit orofazialen Spalten	- 9 -
2. Material und Methoden	- 13 -
2.1. Patienten und Probanden	- 13 -
2.1.1. Patientenkollektiv (Spaltgruppe)	- 13 -
2.1.2. Patientenkollektiv (Kontrollgruppe)	- 16 -
2.2. Plattenkondition	- 18 -
2.3. Hörkontrollen	- 18 -
2.4. Methode	- 19 -
2.4.1. Datenbasis	- 19 -
2.4.2. Berechnung der Frequenzspektren	- 22 -
2.4.3. Bestimmung des Grundfrequenzverlaufs - Melodieanalyse	- 24 -
2.4.4. Bestimmung der Resonanzfrequenzverläufe - Formantanalyse	- 25 -
2.4.5. Ermittlung von Interaktionsmustern zwischen Melodie und Resonanzfrequenzen	- 27 -
2.4.6. Charakterisierung prä-artikulatorischer Aktivität in Säuglingslauten	- 33 -
2.5. Statistische Verfahren	- 34 -
3. Ergebnisse	- 36 -
3.1. Analyse der mittleren Grundfrequenz der Schreie	- 36 -
3.2. Analyse der mittleren Schreilänge in Abhängigkeit von der Plattenkondition	- 39 -
3.3. Analyse der Interaktion zwischen der Melodie, ihren Harmonischen und ausgewählten Resonanzfrequenzen	- 42 -
3.4. Analyse der mittleren Resonanzfrequenzen	- 43 -

3.4.1.	Einzelkindanalyse für die mittleren Resonanzfrequenzen	- 50 -
3.5.	Charakterisierung von Interaktionsmustern zwischen der Melodie bzw. den Harmonischen und den Resonanzfrequenzen R1 und R2 in Schreien von Säuglingen mit und ohne orofaziale Spalten	- 55 -
3.5.1.	Anzahl auswertbarer Interaktionsmuster in Schreien der Säuglinge mit orofazialen Spalten und Auftrittshäufigkeit der Merkmale „Shift“, „Subharmonische“ und „phonatorisches Rauschen“	- 55 -
3.5.2.	Analyse des T/NT-Quotienten	- 58 -
3.5.2.1.	Einzelkindanalyse des T/NT-Quotienten	- 65 -
3.5.3.	Analyse des Interaktionsmusters TUT	- 67 -
3.5.3.1.	TUT für R1 unabhängig von der Plattenkondition	- 69 -
3.5.3.2.	TUT für R1 in Abhängigkeit von der Plattenkondition	- 71 -
3.5.3.3.	TUT für R2 unabhängig von der Plattenkondition	- 74 -
3.5.3.4.	TUT für R2 in Abhängigkeit von der Plattenkondition	- 76 -
3.6.	Analyse der mittleren Tuningzeit T	- 79 -
3.6.1.	Einzelkindanalyse der mittleren Tuningzeit	- 84 -
3.7.	Analyse der mittleren Übergangszeit U	- 86 -
3.7.1.	Einzelkindanalyse der mittleren Übergangszeit	- 91 -
3.8.	Darstellung der Entwicklung von einfachen zu komplexen Interaktionsmustern	- 93 -
3.9.	Analyse der Tv/U- und U/Tn-Quotienten für R1	- 96 -
4.	Diskussion	- 99 -
4.1.	Auswertung der mittleren Grundfrequenz	- 99 -
4.2.	Auswertung der mittleren Schreilänge	- 101 -
4.3.	Auswertung der Analysen von R1 und R2	- 103 -
4.3.1.	Überblick über bisherige Untersuchungen bezüglich der Formantfrequenzen von Säuglingen	- 103 -
4.3.2.	Auswertung der mittleren Resonanzfrequenzen	- 111 -
4.4.	Interaktion zwischen der Melodie, ihren Harmonischen und R1/R2	- 114 -
4.4.1.	Auswertung des T/NT-Quotienten	- 114 -
4.4.1.1.	Vergleich zur Kontrollgruppe	- 114 -
4.4.2.	Auswertung der mittleren Tuningzeit	- 116 -
4.4.3.	Auswertung der mittleren Übergangszeit	- 118 -
4.5.	Auswertung der Tv/U- und U/Tn-Quotienten	- 119 -

5.	Zusammenfassung	- 120 -
6.	Literaturverzeichnis	- 124 -
	Danksagung	
	Lebenslauf	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schmalbandspektrum	- 23 -
Abbildung 2: Breitbandspektrum	- 24 -
Abbildung 3: Melodie/Intensitätsgrafik	- 25 -
Abbildung 4: Tuningdiagramm	- 28 -
Abbildung 5: CDAP© Melodie-Formant-Interaktionsroutine	- 33 -
Abbildung 6: Histogramm mit eingezeichneter Normalverteilungskurve für die mittlere Grundfrequenz (F_0) der ausgewerteten Schreie aller Säuglinge mit orofazialen Spalten im Untersuchungszeitraum (N = 871)	- 37 -
Abbildung 7: Histogramm mit eingezeichneter Normalverteilungskurve für die mittlere Grundfrequenz der Schreie aller Säuglinge mit orofazialen Spalten im Untersuchungszeitraum (N = 1708; ungefilterte Datenbasis)	- 39 -
Abbildung 8: Histogramm mit eingezeichneter Normalverteilungskurve für die mittlere Signallänge der hier ausgewerteten Schreie aller Säuglinge mit orofazialen Spalten im Untersuchungszeitraum (N = 871)	- 40 -
Abbildung 9: Variationsbereich von R1: Vergleich der Säuglinge mit orofazialen Spalten zur Kontrollgruppe im Untersuchungszeitraum	- 44 -
Abbildung 10: Variationsbereich von R2: Vergleich der Säuglinge mit orofazialen Spalten zur Kontrollgruppe im Untersuchungszeitraum	- 45 -
Abbildung 11: Variationsbereich von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)	- 48 -
Abbildung 12: Variationsbereich von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)	- 49 -
Abbildung 13: Variationsbereich von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)	- 49 -
Abbildung 14: Variationsbereich von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)	- 50 -
Abbildung 15: Auftrittshäufigkeit der Strukturmerkmale Shift, Rauschbande und Subharmonische im Untersuchungszeitraum	- 56 -

Abbildung 16: Schmalbandspektrum eines Schreis mit der strukturellen Besonderheit Shift eines Säuglings (HSHAL) im Alter von 110 Tagen	- 57 -
Abbildung 17: Schmalbandspektrum eines Schreis zur Veranschaulichung struktureller Besonderheiten in Form von Subharmonischen und phonatorischem Rauschen	- 58 -
Abbildung 18: Schmalbandspektrum eines Schreis zur Veranschaulichung struktureller Besonderheiten in Form einer Rauschbande und Shift	- 58 -
Abbildung 19: Tuningdiagramm zur Veranschaulichung eines Lautes mit ausgeprägtem Tuning in R1 (großer T/NT-Quotient: 3,9) eines Säuglings (TAM) am 101. Tag	- 59 -
Abbildung 20: Tuningdiagramm zur Veranschaulichung eines Lautes mit wenig Tuning in R1 (kleiner T/NT-Quotient: 0,37) eines Säuglings (AT) am 96. Tag	- 60 -
Abbildung 21: Variationsbereich des T/NT-Quotienten für R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)	- 62 -
Abbildung 22: Variationsbereich des T/NT-Quotienten für R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)	- 62 -
Abbildung 23: Variationsbereich des T/NT-Quotienten für R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)	- 63 -
Abbildung 24: Variationsbereich des T/NT-Quotienten für R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)	- 63 -
Abbildung 25: Tuningdiagramm mit einem typischen Beispiel einer TUTno-Interaktion von R1 und der 2. bis 4. Harmonischen	- 68 -
Abbildung 26: Tuningdiagramm zur Verdeutlichung der TUTnu-Interaktion von R1	- 68 -
Abbildung 27: Variationsbereich der mittleren Tuningzeit von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)	- 81 -

Abbildung 28: Variationsbereich der mittleren Tuningzeit von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)	- 81 -
Abbildung 29: Variationsbereich der mittleren Tuningzeit von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)	- 82 -
Abbildung 30: Variationsbereich der mittleren Tuningzeit von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)	- 82 -
Abbildung 31: Variationsbereich der mittleren Übergangszeit von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)	- 88 -
Abbildung 32: Variationsbereich der mittleren Übergangszeit von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)	- 88 -
Abbildung 33: Variationsbereich der mittleren Übergangszeit von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)	- 89 -
Abbildung 34: Variationsbereich der mittleren Übergangszeit von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)	- 89 -
Abbildung 35: Tuningdiagramm mit einem einfachen TUTno-Interaktionsmuster für R1	- 94 -
Abbildung 36: Tuningdiagramm mit zwei TUTno-Interaktionsmustern und einem TUTnu-Interaktionsmuster für R1	- 94 -
Abbildung 37: Tuningdiagramm mit drei TUTno- und zwei TUTnu-Interaktionsmustern für R1	- 95 -
Abbildung 38: Tuningdiagramm mit sieben TUTno- und sieben TUTnu-Interaktionsmustern für R1	- 95 -
Abbildung 39: Variationsbereich der logarithmierten Tv/Unu -, Tv/Uno -, Uno/Tn - und Unu/Tn -Quotienten für R1 und jede Gruppe (LKGS- und HSH-Gruppe in der Kondition mit Platte) im Untersuchungszeitraum	- 97 -

Abbildung 40: Variationsbereich der logarithmierten T_v/Unu -, T_v/Uno -,
 Uno/T_n - und Unu/T_n -Quotienten für R1 und jede Gruppe
(LKGS- und HSH-Gruppe in der Kondition ohne Platte) im
Untersuchungszeitraum

- 97 -

Tabellenverzeichnis	
Tabelle 1: Zusammensetzung der Spaltgruppe	- 14 -
Tabelle 2: Patienten und Auswahlkriterien	- 15 -
Tabelle 3: Perinatale und anthropometrische Daten zum Zeitpunkt der Geburt der Säuglinge mit orofazialen Spalten	- 17 -
Tabelle 4: Hörkontrollen	- 19 -
Tabelle 5: Anzahl der ausgewerteten (aufgenommenen) Schreie pro Lebenswoche	- 21 -
Tabelle 6: Analyisierte Interaktionsmuster zwischen der Melodie bzw. ihren Harmonischen und den ersten beiden Resonanzfrequenzen	- 29 -
Tabelle 7: Quotienten und Interaktionsmuster zur Charakterisierung prä- artikulatorischer Aktivität	- 34 -
Tabelle 8: Ergebnisse der deskriptiven Analyse der mittleren Grundfrequenz in Abhängigkeit von der Plattenkondition	- 37 -
Tabelle 9: Deskriptive Analyse der Schreilänge in Abhängigkeit von der Plattenkondition und im Vergleich zur Kontrollgruppe	- 40 -
Tabelle 10: Ergebnisse der deskriptiven Analyse der mittleren Schreilänge in Abhängigkeit vom Spalttyp und von der Plattenkondition	- 42 -
Tabelle 11: Deskriptive Statistik des TNT/S-Quotienten im Untersuchungszeitraum	- 43 -
Tabelle 12: Inter-Gruppen-Vergleich des mittleren TNT/S-Quotienten mittels Mann-Whitney-U-Tests (p-Werte)	- 43 -
Tabelle 13: Ergebnisse der deskriptiven Analyse von R1 und R2 der Spalttypgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe	- 45 -
Tabelle 14: Ergebnisse der deskriptiven Analyse von R1 und R2 in Abhängigkeit vom Spalttyp und von der Plattenkondition	- 47 -
Tabelle 15: Inter-Gruppen-Vergleich für R1 und R2 mittels Mann-Whitney-U- Tests (p-Werte)	- 50 -
Tabelle 16: Deskriptive Statistik für jeden Säugling der LKGS-Gruppe für R1 und R2	- 52 -
Tabelle 17: Deskriptive Statistik für jeden Säugling der HSH-Gruppe für R1 und R2	- 53 -
Tabelle 18: Deskriptive Statistik für jeden Säugling der HSHoP-Gruppe für R1 und R2	- 54 -

Tabelle 19: p-Werte der Mann-Whitney-U-Tests für R1-Mittelwertvergleiche zwischen den Schreien der untersuchten Säuglinge und denen der KG-Gruppe	- 54 -
Tabelle 20: Auftrittshäufigkeit der Strukturmerkmale Shift, Rauschbande und Subharmonische im Untersuchungszeitraum (Spaltgruppe mit Platte)	- 55 -
Tabelle 21: Ergebnisse der deskriptiven Analyse des T/NT-Quotienten für R1 und R2 in Abhängigkeit vom Spalttyp und von der Plattenkondition	- 61 -
Tabelle 22: Inter-Gruppen-Vergleich des T/NT-Quotienten für R1 und R2 mittels Mann-Whitney-U-Tests (p-Werte)	- 64 -
Tabelle 23: Intra-Gruppen-Vergleich des T/NT-Quotienten zwischen R1 und R2 mittels Wilcoxon-Tests (p-Werte)	- 65 -
Tabelle 24: Einzelkindanalyse der Säuglinge der LKGS-Gruppe für den T/NT-Quotienten für R1	- 66 -
Tabelle 25: Einzelkindanalyse der Säuglinge der HSH-Gruppe für den T/NT-Quotienten für R1	- 67 -
Tabelle 26: Einzelkindanalyse der Säuglinge der HSHoP-Gruppe für den T/NT-Quotienten für R1	- 67 -
Tabelle 27: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R1	- 69 -
Tabelle 28: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R1	- 70 -
Tabelle 29: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R1 von Schreien, die mit eingesetzter Platte erzeugt wurden.	- 71 -
Tabelle 30: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R1 von Schreien, die ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden.	- 72 -
Tabelle 31: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R1 von Schreien, die mit eingesetzter Platte erzeugt wurden.	- 73 -
Tabelle 32: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R1 von Schreien, die ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden.	- 73 -
Tabelle 33: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R2	- 74 -
Tabelle 34: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R2	- 75 -
Tabelle 35: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R2 von Schreien, die mit eingesetzter Platte erzeugt wurden.	- 76 -

Tabelle 36: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R2 von Schreien, die ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden.	- 77 -
Tabelle 37: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R2 von Schreien, die mit eingesetzter Platte erzeugt wurden.	- 78 -
Tabelle 38: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R2 von Schreien, die ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden.	- 78 -
Tabelle 39: Ergebnisse der deskriptiven Analyse der mittleren Tuningzeit von R1 und R2 in Abhängigkeit vom Spalttyp und der Plattenkondition	- 80 -
Tabelle 40: Inter-Gruppen-Vergleich der mittleren Tuningzeit für R1 und R2 mittels Mann-Whitney-U-Tests (p-Werte)	- 83 -
Tabelle 41: Intra-Gruppen-Vergleich der mittleren Tuningzeit zwischen R1 und R2 mittels Wilcoxon-Tests (p-Werte)	- 84 -
Tabelle 42: Deskriptive Statistik der mittleren Tuningzeit für jeden Säugling der LKGS-Gruppe für R1	- 85 -
Tabelle 43: Deskriptive Statistik der mittleren Tuningzeit für jeden Säugling der HSH-Gruppe für R1	- 85 -
Tabelle 44: Deskriptive Statistik der mittleren Tuningzeit für jeden Säugling der HSHoP-Gruppe für R1	- 86 -
Tabelle 45: Ergebnisse der deskriptiven Analyse der mittleren Übergangszeit von R1 und R2 in Abhängigkeit vom Spalttyp und von der Plattenkondition	- 87 -
Tabelle 46: Inter-Gruppen-Vergleich der mittleren Übergangszeit für R1 und R2 mittels Mann-Whitney-U-Tests (p-Werte)	- 91 -
Tabelle 47: Intra-Gruppen-Vergleich der mittleren Übergangszeit zwischen R1 und R2 mittels Wilcoxon-Tests (p-Werte)	- 91 -
Tabelle 48: Deskriptive Statistik der mittleren Übergangszeit für jeden Säugling der LKGS-Gruppe für R1	- 92 -
Tabelle 49: Deskriptive Analyse der mittleren Übergangszeit für jeden Säugling der HSH-Gruppe für R1	- 92 -
Tabelle 50: Deskriptive Statistik der mittleren Übergangszeit für jeden Säugling der HSHoP-Gruppe für R1	- 93 -
Tabelle 51: Medianwerte und p-Werte (Vergleich der Spalttypgruppen mit KG) von R1 für alle Tv/U- und U/Tn-Quotienten	- 96 -

Tabelle 52: Zusammenstellung der Ergebnisse von Formantanalysen in
Säuglings- und Kinderlauten früherer Studien

- 108 -

Abkürzungsverzeichnis

APGAR	Activity/ Pulse/ Grimace/ Appearance/ Respiration
BSID	Bayley Scales of Infant Development
BERA	Brainstem evoked response audiometry
dB	Dezibel
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorrelierte Potentiale
F ₀	Grundfrequenz
F1	Erster Formant [Hz]
F2	Zweiter Formant [Hz]
F3	Dritter Formant
IDCFA	International Database of Craniofacial Anomalies
GG	Geburtsgewicht
H	Harmonische
HSH-Gruppe	Säuglinge mit isolierter Gaumenspalte (mit Gaumenplatte behandelt)
HSHoP-Gruppe	Säuglinge mit isolierter Gaumenspalte (nicht mit Gaumenplatte behandelt)
Hz	Hertz
KG-Gruppe	Kontrollgruppe (Säuglinge ohne orafaziale Spaltbildung)
LAHSHAL	Lip - alveolar - hard palate - soft palate - hard palate - alveolar - lip
LKGS	Lippen-Kiefer-Gaumen-Segel-Spalte
LKGS-Gruppe	Säuglinge mit Lippen- Kiefer-Gaumen-Segel-Spalten
NT	Nichttuningzeit pro Schrei [ms]
MDI	Mental Scale of the Bayley Scales of Infant Development
ms	Millisekunde
mP	Kondition mit Platte
oP ¹	Kondition ohne Platte, ohne Säuglinge ME und AL
oP ²	Kondition ohne Platte, mit Säuglingen ME und AL
R1	Erste Resonanzfrequenz [Hz]
R2	Zweite Resonanzfrequenz [Hz]
S	Signallänge [ms]
T	Tuningzeit pro Schrei [ms]
TEOAE	Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen
Tv	Tuning vor einem Übergang pro Schrei [ms]
Tn	Tuning nach einem Übergang pro Schrei [ms]
TUT	Interaktionsmuster Tuning-Übergang-Tuning

TUTno	Interaktionsmuster Tuning-Übergang-Tuning mit Übergang auf eine höhere Harmonische (<u>n</u> ach <u>o</u> ben)
TUTnu	Interaktionsmuster Tuning-Übergang-Tuning mit Übergang auf eine tiefere Harmonische (<u>n</u> ach <u>u</u> nten)
U	Übergangszeit pro Schrei [ms]
Uno	Zeitdauer eines Resonanzfrequenzübergangs zu einer höheren Harmonischen [ms]
Unu	Zeitdauer eines Resonanzfrequenzübergangs zu einer tieferen Harmonischen [ms]
vSSW	vollendete Schwangerschaftswoche
WHO	World Health Organization

1. Einleitung

Die Geburt eines Säuglings mit orofazialen Spalten stellt für die betroffenen Eltern häufig eine große Belastung dar. Oft sind neben dem äußeren Erscheinungsbild auch die Atmung, die Nahrungsaufnahme, das Gehör und die Sprache beeinträchtigt. Daher ist eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich, um diese Säuglinge optimal zu betreuen. Mit Hilfe der Betreuung im Rahmen einer interdisziplinären Spaltsprechstunde, wie sie auch an der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Würzburg durchgeführt wird (www.lkg-zentrum.de), ist eine solche Betreuung gewährleistet. Die Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Würzburg verfügt im Unterschied zu anderen interdisziplinären Einrichtungen zusätzlich über ein Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen. Dadurch kann die Sprech- und Sprachentwicklung von Säuglingen mit orofazialen Spalten bereits ab der vorsprachlichen Phase dokumentiert und analysiert werden. Man weiß heute, dass bereits im ersten Lebensjahr wesentliche Entwicklungsschritte für eine spätere ungestörte Sprech- und Sprachfähigkeit absolviert werden müssen (Koopmans van Beinum und Van der Stelt, 1986; Kuhl, 2000; Jusczyk, 2002; Wermke et al., 2007). Die dafür vorhandenen biologischen Prädispositionen sind bei Säuglingen mit orofazialen Spalten in gleicher Weise vorhanden wie bei medizinisch unauffälligen Säuglingen. Das Programm, das der vorsprachlichen und frühen sprachlichen Entwicklung zugrunde liegt, unterscheidet sich prinzipiell nicht, trotzdem sind Besonderheiten im vorsprachlichen Lautrepertoire bzw. in den akustischen Eigenschaften der Lautproduktionen von Säuglingen mit orofazialen Spalten bekannt (Chapman et al., 2001; Wermke et al., 2002; Meißner, 2003; Hardin-Jones et al., 2002; Zeipert, 2004). Diese Besonderheiten sind nicht allein durch die Malformationen des Vokaltraktes und die dadurch veränderten orofazialen Funktionen bzw. Resonanzverhältnisse zu erklären. An ihrer Entstehung sind vermutlich weitere Regelmechanismen der Lautproduktion beteiligt. Unterschiede in der vorsprachlichen Entwicklung könnten mit dafür verantwortlich sein, dass ein Teil der betroffenen Säuglinge später eine auffällige Sprech- und Sprachentwicklung aufweist.

Lange Zeit hat man versucht, gefundene interindividuelle Unterschiede in der Sprech- und Sprachentwicklung bei Säuglingen mit vergleichbarem Spalttyp

allein mit dem Zeitpunkt und der Art der operativen Gaumenverschlüsse (Kemp-Fincham et al., 1990; Hardin-Jones und Jones, 2005; Hardin-Jones et al., 2003) und/oder der Versorgung mit einer Gaumenplatte (Stuffins, 1981; Hotz et al., 1983; Gnoinski, 1990; Gruber, 1990) zu erklären. Inzwischen gibt es zunehmend Hinweise darauf, dass spezifische hirnpfysiologische Faktoren, wie z. B. ein verändertes auditives Kurzzeitgedächtnis (Ceponiene et al., 1999; Richman und Eliason, 1984), eine essentielle Rolle bei der Entstehung von Sprachstörungen von Kindern mit orofazialen Spalten spielen könnten (vgl. Steck-Walter, 2007; Dokou, 2007).

Trotz eines deutlichen Erkenntniszuwachses in den vergangenen Jahren sind viele Fragen bezüglich des Sprech- und Spracherwerbs von Säuglingen mit orofazialen Spalten allerdings noch nicht geklärt.

Schon die vorsprachliche Entwicklung dient dem Training feinmotorischer Abläufe. Bei Vorliegen einer fehlerhaften und gestörten frühen Entwicklung kann dies nach Wermke et al. (2007) direkte Auswirkungen auf die spontane Wortproduktionsleistung und andere Sprachleistungen der Säuglinge im Alter von 18 bis 24 Monaten haben. Dieser Zusammenhang kommt dadurch zustande, dass in der vorsprachlichen Entwicklung Grundbausteine für den Prosodieerwerb bereitgestellt, nach einem angeborenen, für das Lernen offenen Entwicklungsprogramm trainiert, modifiziert und kombiniert werden. Dies spiegelt sich z. B. in der Melodieentwicklung wider (z. B. Wermke, 2002; Wermke und Friederici, 2004; Wermke et al., 2006). Während die frühesten vorsprachlichen Entwicklungsphasen vor allem phonatorische Prozesse beinhalten, kommen im dritten Monat artikulatorische Prozesse hinzu.

Es gibt bisher vergleichsweise wenige Studien, die sich mit dem Beginn artikulatorischer Aktivitäten bei Säuglingen beschäftigen (Buhr, 1980; Kent und Murray, 1982; Robb et al., 1997; Wick, 1990; Rvachew et al., 1996; Gilbert et al., 1997; Casal et al., 2002; Wermke et al., 2005). Die besondere Anatomie des Vokaltraktes beim jungen Säugling und die damit verbundene funktionelle Unreife artikulatorischer Mechanismen, sowie das Fehlen wahrnehmbarer Vokale (Kap. 1.1.1.), begründen das geringe Interesse für Resonanzfrequenz- bzw. Formantanalysen in Säuglingslauten. Auch methodische Gründe

schränkten derartige Untersuchungen ein. Die Grundfrequenz der Säuglingsschreie ist häufig höher als 450 Hz, wodurch gängige Verfahren zur Formantbestimmung nur bedingt einsetzbar sind (z. B. LPC-Analyse, Kap. 2.4.4.).

Viele Autoren haben versucht, ontogenetische Veränderungen der Vokaltraktgeometrie und des Beginns einer intentionalen Artikulation durch Mittelwertverschiebungen von Formanten in Säuglingslauten zu beschreiben (Kent und Murray, 1982; Robb und Cacace, 1995; Robb et al., 1997; Wick, 1990; Wermke/Mende et al., 2002). Allerdings sind mittlere Formantfrequenzen vorsprachlicher Laute nur bedingt geeignet, um die Entwicklung prä-artikulatorischer Mechanismen zu charakterisieren. Daher haben Wermke/Mende et al. (2002) einen anderen Ansatz gewählt und erstmalig Interaktionsmechanismen zwischen den an der Quelle (Larynx) erzeugten Melodien und ihren Harmonischen und Resonanzfrequenzen (Filterfunktionen des Vokaltraktes) beschrieben. In Weiterführung dieses Untersuchungsansatzes gehen Wermke et al. (2005) von der Hypothese aus, dass intentionale Abstimmungsmechanismen („Tuning“) zwischen Melodie („Quellsignal“) und ausgewählten Resonanzfrequenzen („Filter“) eine essentielle Vorübung für das Erlernen der für das Sprechen notwendigen Artikulation darstellen. Wie Wermke/Mende et al. (2002) gezeigt haben, gewinnen solche prä-artikulatorischen Mechanismen in den ersten Lebensmonaten zunehmend an Bedeutung und reflektieren den Beginn der artikulatorischen Aktivität. Während in den ersten Lebenswochen relativ starre Formanten vorherrschen, die hauptsächlich durch die geometrischen Verhältnisse des Vokaltraktes bedingt sind (Kap. 1.1.1.), konnten sie etwa ab der neunten Woche erste prä-artikulatorische Phänomene bei der Analyse der Klangeigenschaften der Säuglingsschreie nachweisen. Wermke et al. (2005) beschreiben, wie typische Tuning-Interaktionen und Übergänge von Resonanzfrequenzen zwischen den Harmonischen zu Klangmustern führen, wie sie auch später durch Formantwechsel im Babbeln und der Sprache entstehen. Sie leiten daraus ab, dass diese Interaktionen zwischen der Melodie, ihren Harmonischen und den Resonanzfrequenzen in Säuglingsschreien eine essentielle Vorübung für das Erzeugen normaler Babbellaute sind. Sie stellten

die Hypothese auf, dass diese Resonanzwechsel Vorgänger für die extrem kurzen Formantübergänge zwischen den phonologischen Einheiten in der späteren Sprache sind.

Aufgrund der anatomischen und funktionellen Veränderungen ihres Vokaltraktes könnten Säuglinge mit orofazialen Spalten gerade in diesen prä-artikulatorischen Entwicklungsstufen charakteristische Abweichungen zeigen. In einer Pilotstudie zur Prüfung dieser Hypothese (Wermke et al., 2005) zeigte sich, dass einzelne Messgrößen, z. B. die Übergangszeiten von Resonanzfrequenzen, bei Säuglingen mit orofazialen Spalten in Abhängigkeit von der Benutzung einer Gaumenplatte variierten. Die Autorin vorliegender Arbeit war an dieser Pilotstudie beteiligt.

Die vorliegende Arbeit hatte das Ziel, basierend auf diesen Voruntersuchungen, ausgewählte Eigenschaften der prä-artikulatorischen Aktivität bei Säuglingen mit orofazialen Spalten detaillierter zu untersuchen und anhand ausgewählter Messgrößen quantitativ zu bestimmen. Diese Bestimmung sollte unter Berücksichtigung der Plattenkondition, das heißt unter Differenzierung der Laute, die mit bzw. ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden, erfolgen. Diese Untersuchungen dienen der Entwicklung frühdiagnostischer Indikatoren für Säuglinge mit orofazialen Spalten.

In der vorliegenden Arbeit werden folgende Hypothesen geprüft:

H 1

Pathologisch erhöhte Grundfrequenzwerte in der Spaltgruppe, die auf eine zerebrale Dysfunktion hinweisen könnten (> 650 Hz; Michelsson et al., 1971), werden aufgrund der hier untersuchten nichtsyndromalen Spaltbildung nicht erwartet. Damit gibt es keine Unterschiede in der mittleren Grundfrequenz der Schreie der Säuglinge mit orofazialen Spalten im Vergleich zu den Schreien der Säuglinge der Kontrollgruppe.

H 2

Die mittlere Einzelschreilänge unterscheidet sich nicht zwischen der Spaltgruppe und der Kontrollgruppe, da diese Eigenschaften der

Zeitorganisation nicht durch die Spaltbildung beeinflusst werden und die Säuglinge einen vergleichbaren Entwicklungsstand haben.

H 3

Aufgrund der vorherrschenden retrokranialen Zungenlage bei Säuglingen mit orofazialen Spalten werden Abweichungen in der mittleren Resonanzfrequenz R2 der Spaltgruppe im Vergleich zu den Referenzwerten der Kontrollgruppe erwartet.

H 4

Die bei der Spaltgruppe beobachteten R1- und R2-Mittelwertunterschiede sind von der Plattenkondition abhängig, da die Resonanzeigenschaften des Vokaltraktes durch den Einsatz einer Gaumenplatte verändert wurden.

1.1. Lautproduktionsmechanismen unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse beim Säugling

1.1.1. Besonderheiten des peripheren Lautproduktionssystems beim Säugling

Zur Beschreibung des peripheren Lautproduktionssystems wird in der Regel das von Fant (1960) entwickelte Quelle-Filter-Modell benutzt. Nach dieser Theorie ist der Larynx die *Quelle*, an der die Schallwellen erzeugt werden, und der Vokaltrakt der *Filter*, der das Quellsignal modifiziert. Diese Modifikation erfolgt durch die anatomischen Verhältnisse, also die Geometrie des Vokaltraktes sowie die Bewegungen der Artikulatoren (z. B. Zunge). Der Vokaltrakt beginnt an der Epiglottis und setzt sich in den Pharynx, in Cavitas oris und Cavitas nasi fort. Durch die Filterfunktion des Vokaltraktes werden die an der Quelle erzeugten Schallwellen abgewandelt, indem bestimmte Frequenzen des Quellspektrums verstärkt werden (Resonanzphänomene). Dadurch entsteht der spezifische Klang eines Lautes. Die durch Form, Länge und Volumen des Vokaltraktes bestimmten Resonanzfrequenzen können durch die Artikulatoren Zunge, Lippen, Zähne, Gaumen, Gaumensegel, Uvula und Pharynx verändert werden.

Bereits beim jungen Säugling ist die *Quelle* (Larynx) relativ ausgereift (Bosma et al., 1965), was sich unter anderem in fein kontrollierten und koordinierten

Stimmlippenbewegungen bzw. in deren Resultat, den Schreimelodien zeigt (Wermke et al., 1987; Wermke/Mende et al., 1992). Wermke (2002) wies z. B. trotz der im Untersuchungszeitraum der ersten sechs Lebensmonate stattfindenden anatomischen und physiologischen Umgestaltungen durch Wachstumsvorgänge, eine Altersunabhängigkeit der mittleren Schreigrundfrequenz im ersten Lebenshalbjahr nach, die sich in einem stabilen Mittelwert der Grundfrequenz der Säuglingslaute reflektierte. Sie leitet daraus ab, dass für die Realisierung eines solchen konstanten „Referenzniveaus“ bereits ein sehr leistungsfähiges neuromuskuläres Regelsystem vorhanden sein muss. Diese und andere Arbeiten bestätigen die früheren Befunde (Bosma et al., 1965) über abgestimmte respiratorische und laryngeale Aktivitäten bei der Produktion von Säuglingsschreien.

Im Vergleich zu älteren Säuglingen oder Erwachsenen gibt es dennoch anatomische Unterschiede, z. B. in der Struktur der Stimmbänder (Behrendt und Strauch, 1965; Leutert, 1986; Ishii et al., 2000; Hartnick et al., 2005). Diese Unterschiede führen gemeinsam mit dem hohen subglottischen Druck beim Schreien (Shardonofsky et al., 1989) dazu, dass Säuglingslaute strukturelle Besonderheiten aufweisen, die man mit Hilfe von instationären Frequenzspektren deutlich zeigen kann. Solche Besonderheiten sind z. B. das Auftreten von Subharmonischen, plötzliche Sprünge der Grundfrequenz (in der klassischen Schreianalyseterminologie als „Shift“ bezeichnet) und phonatorische „Rauschphänomene“ (Hirschberg, 1999; Wasz-Höckert et al., 1968; Lind, 1965) (vgl. auch Kap. 2.4.1.).

Im Vergleich zur *Quelle* sind die Unterschiede zu älteren Säuglingen und Erwachsenen in Struktur und Funktion des *Filters* (Vokaltraktes) bei Säuglingen allerdings deutlich ausgeprägter. Der Vokaltrakt ähnelt anatomisch in diesem Alter noch mehr dem eines nicht menschlichen Primaten (Negus, 1949; Crelin, 1969). Im Vergleich zum Kleinkind und Erwachsenen ist der Vokaltrakt des Säuglings kürzer, die Zunge liegt anteriorer, der Oropharynx ist nicht rechtwinklig sondern nur leicht gebogen (Bosma, 1975a/1975b/1976; Crelin, 1976). Der Larynx liegt deutlich kranialer (Articulatio intervertebralis C3/C4 (King, 1952; Laitman und Crelin, 1976; Senecail, 1979; Bosma, 1985), sodass sich Epiglottis und weicher Gaumen annähern.

Diese Anatomie bedingt grundsätzliche Unterschiede in den Resonanzverhältnissen im Vergleich zum Vokaltrakt bei älteren Säuglingen und Erwachsenen. Besonders deutlich wird dies z. B. bei der Ansicht von Formantkarten, in denen die beiden ersten Resonanzfrequenzen (Formanten) der Kardinalvokale [a], [e], [i], [o], [u] in einem F1-F2-Diagramm dargestellt sind. In der Phonetik werden die sprachrelevanten Resonanzfrequenzen als Formanten bezeichnet. F1 und F2 der Vokale [a], [i], und [u], die in ihrem Klang am weitesten auseinander liegen, bilden dabei das sogenannte Vokaldreieck, das in den meisten Sprachen der Welt vorhanden ist (Vallée, 1994; Schwarz et al., 1997). Die drei tiefsten Formanten sind für phonetische Unterscheidungen von Sprachlauten in der Regel ausreichend, zur Charakterisierung der Vokale genügen bereits die ersten beiden.

Der kürzere Vokaltrakt der Säuglinge schränkt den Formantraum, also den Bereich an potentiell möglichen Resonanzfrequenzen, ein. Der deutlich längere Vokaltrakt Erwachsener und die damit größere mögliche Bewegungsfreiheit der Zunge vergrößert das phonetische Repertoire beträchtlich. Auf diese Weise wird es möglich, das oben erwähnte Vokaldreieck zu erzeugen. Neugeborene und junge Säuglinge vermögen nur Zwischenformen (z. B. [e] und [o]) zu bilden, nicht aber die Extreme [a], [i], [u].

Erwachsene können die Querschnittsfläche ihrer oralen und pharyngealen Räume frei manipulieren und auf diese Weise eine Art flexibles Zwei-Röhren-System erzeugen. Säuglinge können dies aufgrund des Fehlens einer supralaryngealen pharyngealen Region noch nicht in vergleichbarer Weise. Sie können nur versuchen, den Zungenkörper in der Mundhöhle zu bewegen, um Querschnittsveränderungen zu erzielen. Die intrinsische Zungenmuskulatur limitiert jedoch auch hierbei noch den möglichen Bewegungsumfang, sodass man den Vokaltrakt des Neugeborenen und jungen Säuglings in grober Näherung als ein Ein-Röhren-System betrachten kann.

In den ersten 18 Monaten, etwa ab dem dritten Monat, kommt es zu dramatischen Umbauprozessen im Vokaltrakt des Säuglings, die von neurobiologischen Veränderungen im Gehirn begleitet werden (Herschkowitz et al., 1997). Lieberman et al. (2001) zeigten, dass das Verhältnis der Pharynxhöhe (Stimm lippen bis zum Gaumensegel) zur Länge der Mundhöhle

(hintere Pharynxwand bis zu den Lippen) vom Zeitpunkt der Geburt bis zum Zeitraum des sechsten bis achten Lebensjahres von 1,5 auf 1,0 sinkt. Diese Veränderungen vollziehen sich in zwei Hauptschüben. Der Erste erfolgt vor dem ersten Lebensjahr (Verhältnis ändert sich von 1,5 auf ca. 1,3) und der Zweite zwischen 4,75 und 7,75 Jahren (Verhältnis ändert sich von ca. 1,25 auf ca. 1,05). Danach bleibt das Verhältnis konstant bei 1,0. Dieses anatomische Verhältnis in Kombination mit der Fähigkeit der Zunge, die Querschnittsfläche der Pharynxhöhe und die Länge der Mundhöhle um etwa das Zehnfache zu modifizieren, ermöglicht es dem Menschen, ein großes Repertoire an akustisch unterscheidbaren Lauten zu produzieren (Lieberman, 1984; Beckman et al., 1995). Im Gegensatz dazu zeigten Regressionsanalysen, dass sich superior-inferiore Verhältnisse zwischen der Position der Stimmlippen, dem Hyoidkörper, der Mandibula, und dem harten Gaumen nicht signifikant während des postnatalen Wachstums ändern (Lieberman et al., 2001).

Alle oralen und pharyngealen Vokaltraktstrukturen zeigen permanentes Wachstum ohne geschlechtsspezifische Unterschiede und ein beschleunigtes Wachstum von der Geburt bis zum Alter von 18 Monaten. So zeigten die Resultate von Vorperian et al. (2004), dass die verschiedenen Vokaltraktstrukturen im Alter von 18 Monaten zwischen 55 % und 80 % ihrer adulten Größe erreicht haben. Weiterhin erreichen das Hyoid und der Larynx im Alter von zwei Jahren ihre adulte Position im Verhältnis zur Wirbelsäule (Carlsöö und Leijon, 1960).

Das Wachstumsmuster der verschiedenen Vokaltraktstrukturen variiert mit der Region und Richtung des Wachstums, sodass einige Strukturen früher die adulte Größe erreichen als andere. Anteriore Strukturen, wie z. B. die Länge des harten Gaumens, haben mit 18 Lebensmonaten ca. 80 % der adulten Größe erreicht, wohingegen vorwiegend posteriore oder pharyngeale Strukturen, wie z. B. die Länge des Pharynx, 80 % ihrer adulten Größe erst mit dem sechsten Lebensjahr erlangen (Vorperian et al., 2005).

Wenn sich der Vokaltrakt durch die beschriebenen Wachstumsvorgänge entwickelt, ändern sich damit auch die akustischen Eigenschaften erzeugter Stimmlaute (Fant, 1960). Durch die Erfahrung, die der Säugling bei dem spielerischen Erkunden der hörbaren Folgen seiner Vokaltraktveränderung

macht, erlangt er die Fähigkeit zur Imitation der Laute seiner Muttersprache. Dieses intentionale Erkunden beginnt mit ca. neun Wochen, wenn erste prä-artikulatorische Aktivitäten auftreten (Wermke et al., 2002). Bereits vier Monate alte Säuglinge zeigen erste Ansätze auf dem Weg zur Vokalnachahmung aus ihrer Umgebungssprache (Kuhl und Meltzoff, 1982/1996). Dabei spielen vor allem Zungenbewegungen in horizontaler Ebene eine entscheidende Rolle (Serkhane et al., 2007), während Kieferbewegungen erst beim kanonischen Babbeln mit etwa sieben Monaten artikulatorisch von Bedeutung werden.

Die Veränderungen im Lautrepertoire der ersten Monate kann man nicht allein durch die Wachstumsvorgänge im Vokaltrakt erklären. Das zeigt sich daran, dass sich die Formantfrequenzen der Vokale in den ersten zwei Lebensjahren nur wenig bezüglich ihrer Mittenfrequenz ändern, obwohl sich der Bereich der erzeugten Formantwerte insgesamt stark erweitert. Einige Autoren (Buhr, 1980; Robb und Chen, 1997; Robb et al., 1997) erklären das fehlende Absinken der mittleren Formantfrequenzen mit dem größeren Spielraum für die Zungenbewegung, der die Größenzunahme funktionell kompensiert. Inzwischen weiß man, dass in dieser Zeit wiederholt Re-Kalibrierungen der artikulatorisch-akustischen Verbindungen stattfinden, die durch die „Zielvorgaben“ der Umgebungssprache getriggert werden (Ménard et al., 2007). In jedem Fall bedingt dies auch permanente Reorganisationsmechanismen der neurophysiologischen Regelmechanismen der Lautproduktion. In der vorliegenden Arbeit werden die ersten Etappen des Weges von den frühen prä-artikulatorischen Aktivitäten zur Beherrschung der Artikulation untersucht.

1.1.2. Besonderheiten des peripheren Lautproduktionssystems bei Säuglingen mit orofazialen Spalten

Zu den in Kapitel 1.1.1. beschriebenen Merkmalen des Vokaltraktes bei Säuglingen, kommen spezifische Strukturbesonderheiten bei Säuglingen mit orofazialen Spalten hinzu.

Lippen-Kiefer-Gaumen-Segel-Spalten (LKGS-Spalten) und isolierte Gaumenspalten sind häufige, angeborene, exogen und endogen bedingte Fehlbildungen beim Menschen (Aylsworth, 1996). Ihnen ist gemeinsam, dass sich in der Embryonalentwicklung Teile des Gesichts nicht normal entwickeln. Je nach Zeitpunkt des Auftretens der Entwicklungsstörung während der Schwangerschaft und ihres Schweregrades, treten verschiedene Spaltformen

auf. Spalten im primären Gaumen treten in Form einer Lippenkerbe, Lippenspalte oder Lippenkieferspalte auf. Spaltbildungen, die den sekundären Gaumen betreffen, sind Gaumen-, Segel- bzw. Gaumensegelspalten. Die Spalten des primären und sekundären Gaumens können kombiniert auftreten. Sie kommen außer im weichen Gaumen (mediane Spalte) unilateral oder bilateral vor. Jungen zeigen häufiger Lippen-Kiefer-Spalten als Mädchen. Die isolierten Spalten des Gaumens betreffen häufiger Mädchen (WHO IDCFA, 2007), wobei der Grund dafür unklar ist. Bei den Gaumenspalten können auch submuköse Gaumenspalten vorliegen. Hier kaschiert die intakte Schleimhaut die gespaltene Muskulatur des weichen Gaumens.

Die Muskulatur von Ober- und Unterlippe wird physiologisch vom Muskelring des Musculus orbicularis oris gebildet. Im Falle einer Lippenspalte ist dieser unterbrochen, wobei die Muskelfasern im Bereich der Spalte zur Nase hin verlaufen (Gundlach und Pfeifer, 1979). Die Fasern laufen parallel entlang der Spalte nach kranial. Es sind nur die Fasern der oberflächlichen Schicht beteiligt. Die Fasern der tiefen Schicht werden unterbrochen und erreichen das äußere Ende des Lippenrotes nicht (Nicolau, 1983). Bei beidseitigen Spalten enthält der mittlere Lippenanteil keine eigene Muskulatur. Aufgrund dieser anatomischen Veränderungen ist das Runden der Lippen für die Vokale [o] und [u] eingeschränkt. Dies zeigte sich an veränderten Formantfrequenzen für diese Vokale bei Säuglingen mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Segel-Spalten in einer Studie von Casal et al. (2002).

Spalten, die den Gaumen einschließen, haben dagegen weitaus größere Folgen für die Sprech- und Sprachentwicklung. Das Gaumensegel besteht aus den Muskeln Musculus levator veli palatini und Musculus tensor veli palatini, die sich in der Mittellinie mit dem korrespondierenden Muskel der Gegenseite vereinigen. Beim Sprechen ist, je nach Abfolge der Sprachlaute, eine rasche Folge von Hebungs- und Senkbewegungen des Gaumensegels und damit eine hochpräzise, intentionale Steuerung gefordert. Im Falle von Gaumenspalten sind die Muskeln zwar ebenfalls vorhanden, sie haben sich jedoch nicht in der Mittellinie des Gaumensegels zur Schlinge vereinigt, sondern laufen einzeln, schräg zum Spaltrand, nach vorne zum harten Gaumen und sind dort angewachsen. Der M. levator veli palatini setzt anterior am harten Gaumen an und ist häufig hypoplastisch. Der M. tensor veli palatini endet wahrscheinlich am

Hamulus pterygoideus oder inseriert im lateralen Velum (Stewart, 1991). Die fehlerhafte Insertion der Mm. levatores veli palatini und Mm. palatopharyngici am harten Gaumen resultiert in einer pathologischen Zugrichtung nach latero kranial anstelle einer physiologischen Richtung nach dorso kranial (Kriens, 1975). Diese Muskeln können zwar aktiviert werden, sind aber nicht in der Lage, die beiden Hälften des Gaumensegels nach hinten anzuheben. Folglich ist ein dichter Abschluss zwischen Nasen- und Mundhöhle nicht oder nur unvollständig möglich. Dadurch ändern sich die Resonanzverhältnisse des Vokaltraktes im Vergleich zu Säuglingen ohne orofaziale Spalten.

Spalten im harten Gaumen führen ebenso wie Weichgaumenspalten zu einer enormen Veränderung des Resonanzraumes aufgrund der durch die Spalte bedingten oronasalen Kopplung.

Bestandteil der kieferorthopädischen Frühbehandlung an der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg ist die Versorgung der Säuglinge mit orofazialen Spalten mit einer individuell angepassten Gaumenplatte nach Hotz (1979/1983) in den ersten Lebenstagen. Diese gewährleistet unter anderem das Abhalten der Zunge aus dem Spalt, um eine präoperative Spaltreduzierung zu fördern (Fish, 1972; Graf-Pinthus und Bettex, 1974; Ball et al., 1995). Durch wiederholtes Freischleifen der Gaumenplatte in Abhängigkeit von individuellen Wachstumsvorgängen werden schrittweise Kiefersegmente freigegeben und eine Harmonisierung des Zahnbogens ermöglicht (Hotz und Gnoinski, 1976; Dibiase und Hunter, 1983; Komposch, 1986; Weil, 1987; Opitz et al., 1992). Hierdurch lässt sich die anteriore und vertikale Entwicklung der Alveolarfortsätze, das Aufrichten des Vomers, die Reduzierung der Spaltbreite und eine Stabilisierung der Prämaxilla in der Vertikalen erzielen (Komposch, 1986). Mit Hilfe der Gaumenplatte wird die spaltbedingt offene Verbindung im harten Gaumen zwischen Nasen- und Mundraum transitorisch verschlossen und dadurch die natürlichen Verhältnisse, soweit möglich, simuliert. Die Platte wird nur zum Reinigen kurzzeitig entfernt und verbleibt, soweit vom Säugling akzeptiert, bis zum operativen Gaumenverschluss im Mund.

Durch den mehr oder weniger gelungenen Verschluss der offenen Verbindung zwischen Mundraum und Nase mit Hilfe der Platte werden sich die

Resonanzeigenschaften der Säuglingslaute weniger von denen der Säuglinge ohne orofaziale Spaltbildungen unterscheiden, als dies bei Lauten der Fall ist, die ohne eingesetzte Platte erzeugt werden.

Das Herausnehmen der Platte ist mit stark veränderten Resonanzcharakteristiken des Vokaltraktes verbunden und ändert dementsprechend auch die Klangeigenschaften der Säuglingslaute. Diese Veränderungen sind deutlich hörbar und können quantitativ bestimmt werden, indem man relevante Lauteigenschaften beim selben Säugling unmittelbar hintereinander mit und ohne eingesetzte Platte untersucht. Erste Studien dieser Art von Wermke et al. (2002) und Hauschildt (2007) belegten, dass akustische Schreieigenschaften, wie z. B. die Feinvariabilität der Grundfrequenz und der Anteil stimmloser Elemente (Rauschbanden) im Schrei bei Säuglingen mit orofazialen Spalten, in Abhängigkeit von der eingesetzten bzw. nicht eingesetzten Platte signifikant differieren können. Diese Unterschiede sind so ausgeprägt, dass sie eine automatische Klassifikation mit Hilfe eines geeigneten Modells erlauben (z. B. „Hidden Markov Model“, Lederman et al., 2008).

2. Material und Methoden

2.1. Patienten und Probanden

2.1.1. Patientenkollektiv (Spaltgruppe)

Für die Bearbeitung der Fragestellung der vorliegenden Arbeit standen auswertbare Tonaufnahmen von zwölf (sieben männlichen, fünf weiblichen) Patienten im Datenarchiv des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie zur Verfügung (Tabelle 1). Es handelte sich um Säuglinge, die im Rahmen der Spaltsprechstunde behandelt wurden und bestimmte Auswahlkriterien erfüllten (Tabelle 2). Drei Säuglinge wiesen eine unilaterale LKGS-Spalte links mit inkompletter Spalte im Gaumen rechts auf, ein Säugling eine LKGS-Spalte links mit Spalte im Gaumen rechts. Sechs Säuglinge kamen mit einer Gaumen-Segel-Spalte auf die Welt, wobei bei fünf von ihnen eine inkomplette Spaltbildung vorlag. Ein weiterer Säugling zeigte eine bilaterale LKGS-Spalte und ein Säugling eine LKGS-Spalte rechts und Hartgaumenspalte links (Tabelle 1). Die Säuglinge wurden nach Art ihrer orofazialen Spaltenausprägung den Gruppen LKGS, HSH und HSHoP zugeordnet. In der LKGS-Gruppe sind die Säuglinge mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Segel-Spalten, in der HSH-Gruppe die Säuglinge mit isolierter Gaumenspalte, welche eine Plattentherapie erhielten, und in der HSHoP-Gruppe die beiden Säuglinge mit isolierter Gaumenspalte, die nicht mit einer Gaumenplatte behandelt wurden, zusammengefasst (Tabelle 1). Alle diese Patienten repräsentieren in der vorliegenden Arbeit die „Spaltgruppe“ und werden einer Kontrollgruppe (Kap. 2.1.2.) gegenübergestellt.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Spaltgruppe

Patienten	Geschlecht	LASHAL-Code*	Spalttypgruppe
AS	weiblich	hSHAL	LKGS
IT	männlich	HSHAL	LKGS
OD	männlich	hSHAL	LKGS
AD	männlich	hSHAL	LKGS
TS	männlich	hSh	HS
DA	männlich	HS	HS
AM	männlich	hSh	HS
AT	weiblich	hSh	HS
ME	weiblich	hSh	HS
AL	weiblich	hSh	HS
TAM	männlich	LAHSHAL	LKGS
OL	weiblich	LAHS	LKGS

*LAHSHAL-Code (Koch et al., 2003)

Großbuchstaben stellen komplette Spaltbildungen, Kleinbuchstaben inkomplette Spaltbildungen des betreffenden Abschnitts dar. Die Abschnitte werden von rechts nach links angegeben:

L = lip (r), A = alveolar (r), H = hard palate (r), S = soft palate (r), H = hard palate (l), A = alveolar (l), L = lip (l)

Aufgrund der Spaltbildung wurde mit Ausnahme von AL und ME bei allen anderen Säuglingen eine kieferorthopädische Frühbehandlung in Form der passiven Plattentherapie nach Hotz (1979, 1983) durchgeführt. Die Platte wurde nach der Geburt individuell angefertigt und in den ersten Lebenstagen (Ausnahme Säugling DA, der erst nach zwölf Tagen eine Gaumenplatte erhielt) eingesetzt. Sie wurde mit Ausnahme der Zeiten für die Plattenreinigung von den Säuglingen ständig getragen. In regelmäßigen Kontrollen wurde die korrekte Passung der Gaumenplatte von Mitarbeitern der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Würzburg überprüft und zur Lenkung des Wachstums und Entfernung von Druckstellen beschliffen. Alle acht bis zwölf Wochen erfolgte aufgrund des Wachstums eine Neuherstellung der Gaumenplatte. Die kieferorthopädische Frühbehandlung erfolgte bis zur Gaumenverschlussplastik im Alter von zwölf bis 18 Monaten.

Säuglinge mit orofazialen Spalten unterscheiden sich selbst bei gleichem Spalttyp teilweise erheblich in ihren individuellen Charakteristika. Dies erschwert die Untersuchung. Um eine möglichst homogene Patientengruppe zu

untersuchen, mussten die für die Arbeit ausgewählten Patienten, wie auch die Säuglinge der Kontrollgruppe, die in Tabelle 2 aufgeführten Kriterien erfüllen. Darüber hinaus wurde versucht, eine annähernd homogene Verteilung der Geschlechter, der Spaltausprägung und eine vergleichbare Anzahl an auswertbaren Lautäußerungen im Untersuchungszeitraum zu gewährleisten. Die anthropometrischen Daten aller Säuglinge sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 2: Patienten und Auswahlkriterien

Patienten Auswahlkriterien
kontrollierte Schwangerschaft mit unauffälligem Verlauf
keine Anzeichen einer Plazentainsuffizienz oder einer schweren intrauterinen Wachstumsstörung
keine Hypo- oder Hyperglykämie
APGAR '5 \geq 8
keine behandlungsbedürftige Neugeborenenhepatitis
TSH im Normbereich
neurologische Erstuntersuchung im Normbereich
Einwilligung der Eltern zur Teilnahme an der Studie

Bis auf die beiden Patienten AD (34 vSSW) und DA (28 vSSW) wurden alle Säuglinge termingerecht geboren. Die Säuglinge AS und DA zeigten nach der Geburt eine leichte Hyperbilirubinämie, die mittels Phototherapie behandelt wurde. Die Leberwerte lagen immer im Normbereich. Eine gesteigerte Hämolyse konnte nicht festgestellt werden. Säugling DA erfüllt mit seiner extremen Frühgeburt nicht alle Auswahlkriterien. Da sich aber dieser Säugling im Verlauf sehr gut entwickelt hat und sich in den relevanten Bereichen nicht von den anderen Säuglingen unterscheidet, wurde er mit in die Studie einbezogen.

Die Eltern wurden in einem Informationsgespräch über die Art und Ziele der Datenerhebung sowie deren wissenschaftliche Analyse aufgeklärt und haben ihre Einwilligung zur Mitarbeit schriftlich gegeben. Die Teilnahme war freiwillig.

2.1.2. Patientenkollektiv (Kontrollgruppe)

Die Kontrollgruppe setzt sich aus sieben gesunden Säuglingen ohne orofaziale Spaltbildungen zusammen, deren Lautaufnahmen ebenfalls aus dem Datenarchiv des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie stammen. Alle Säuglinge der Gruppe erfüllen die in Tabelle 2 aufgeführten Kriterien. Auf die einzelnen Säuglinge wird in der hier vorliegenden Arbeit nicht eingegangen, da die ermittelten Parameter und Maßzahlen der Kontrollgruppe nur als Referenzwerte zum Vergleich mit denen der Säuglinge mit orofazialen Spaltbildungen dienen und eine ausführliche Charakterisierung prä-artikulatorischer Vorgänge bei Säuglingen ohne orofaziale Spalten Gegenstand einer anderen Dissertation ist. Im Rahmen von Vorarbeiten wurden sieben Säuglinge bereits analysiert und diese Ergebnisse hier von mir als Referenz verwendet. In den folgenden Kapiteln wird die Kontrollgruppe mit dem Synonym KG abgekürzt.

Tabelle 3: Perinatale und anthropometrische Daten zum Zeitpunkt der Geburt der Säuglinge mit orofazialen Spalten

Säugling	Geschlecht	Gestationsalter in vSSW	APGAR '5	Geburtsgewicht in g	Geburtslänge in cm	Kopfumfang in cm	Längenbezogenes GG in %
AS	weiblich	37+4	10	3085	49	35	63
IT	männlich	38	10	4000	53	36	76
OD	männlich	38	10	2970	49	36	61
AD	männlich	34	8	2495	46	32	54
TS	männlich	39	10	3325	50	33	67
DA	männlich	28	5	1250	40	26	31
AM	männlich	40	(¹⁰) 10	3580	51	34	70
AT	weiblich	40	10	3550	53	34	67
ME	weiblich	36	10	2600	48	34	54
AL	weiblich	40	9	3770	52	35	73
TAM	männlich	38+3	9	3190	52	34	61
OL	weiblich	39	9	3030	49	34	62

2.2. Plattenkondition

Die Aufnahmen der Schreie der Säuglinge der LKGS- und HSH-Gruppe erfolgten mit und ohne eingesetzte Gaumenplatte. Der größte Teil der Aufnahmen erfolgte in der interdisziplinären Spaltsprechstunde der Poliklinik für Kieferorthopädie und nur ein geringer Anteil der Aufnahmen wurde von den Eltern in häuslicher Umgebung erstellt. Diese Aufnahmen wurden erstellt, während die Gaumenplatte zu Reinigungszwecken oder zum Einschleifen entfernt bzw. gerade wieder eingesetzt war.

In der vorliegenden Arbeit wird von „Plattenkondition“ gesprochen, wenn Laute die mit bzw. ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden, unterschieden werden.

Bei der Analyse in Abhängigkeit von der Plattenkondition innerhalb der Spaltgruppe wurden für alle deskriptiven Untersuchungen und Tests, soweit aufgrund der Datenmenge möglich, die Unterscheidung in eine Kondition mit Platte (mP) und eine ohne Platte (oP) vorgenommen. Da zwei Säuglinge (ME und AL) keine Plattentherapie erhielten, wurde die Kondition oP in oP¹ (ohne ME und AL) und oP² (mit ME und AL) unterteilt.

2.3. Hörkontrollen

Die Hörleistungen der Säuglinge mit orofazialen Spalten werden unter anderem mit Hilfe von Verhaltensreaktionen im Freifeld und BERA-Messungen zur objektiven Bestimmung der Hörschwelle ermittelt. Diese Untersuchung ist Teil der Betreuung der Säuglinge in der interdisziplinären Spaltsprechstunde und wurde von HNO-Ärzten des interdisziplinären Behandlungsteams durchgeführt. Bei keinem der Säuglinge wurden bereits im Untersuchungszeitraum der vorliegenden Arbeit operative Paukendrainagen durch Einlage von T-Tubes durchgeführt.

Unterteilt man die hier untersuchten Säuglinge im Alter von drei bis fünf Monaten in solche mit regelrechter Hörschwelle (≤ 35 dB), mit geringgradiger Hörminderung (35-60 dB) und mittelgradiger (> 60 dB) Hörminderung durch Paukenerguss, ergibt sich folgendes Ergebnis:

Tabelle 4: Hörkontrollen

Säugling	Hörleistung im Untersuchungszeitraum
AS	geringgradige Hörminderung
IT	mittelgradige Hörminderung
OD	geringgradige Hörminderung
AD	geringgradige Hörminderung
TS	mittelgradige Hörminderung
DA	keine Angaben
AM	geringgradige Hörminderung
AT	geringgradige Hörminderung
ME	geringgradige Hörminderung
AL	mittelgradige Hörminderung
TAM	keine Angaben
OL	geringgradige Hörminderung

Quelle: Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen Priv.- Doz. Dr. Ch. Völter

Eine hochgradige Hörminderung lag bei keinem Säugling vor.

2.4. Methode

2.4.1. Datenbasis

Bei den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Säuglingslauten handelt es sich grundsätzlich um spontan geäußerte Laute (keine durch Schmerz induzierten Schreie). Neben Weinlauten sind auch einige Übergangslaute (Übergang vom Schreien zum Gurren) und vereinzelt erste einfache Babbellaute mit ausgewertet worden (zur Charakterisierung der Vokalisationstypen siehe z. B. Vihman, 1996). Eine Differenzierung der Auswertung nach dem Vokalisationstyp war aufgrund der zu geringen Datenmenge pro Säugling hier nicht sinnvoll, obwohl eine solche Unterscheidung bei zukünftigen Untersuchungen der frühen Artikulationsaktivität angestrebt werden sollte. Zur Vereinfachung wird in der vorliegenden Arbeit für alle untersuchten Lautäußerungen der Begriff „Schreie“ verwendet.

Es wurden nur Schreie mit einer Mindestdauer von ≥ 350 ms analysiert, um Kurzlaute auszuschließen, in denen sich eine Interaktion von phonatorischen und artikulatorischen Mechanismen aus Zeitgründen nur schwer oder gar nicht ausbilden kann. Kurzlaute sind häufig auch vegetativer Natur. Ihre Einbeziehung in die Analyse würde eine inhaltlich ungerechtfertigte Erhöhung

der Variabilität der Messwerte bedingen, da sie nicht intentional frequenzgeregelt sind.

Aus allen Lautäußerungen der Säuglinge (Spaltgruppe: N = 2813; KG: N = 1046) wurden nur solche Schreie ausgewählt, die eine klare Harmonischenstruktur aufwiesen und nicht durch ausgeprägte stimmlose Bereiche (Dysphonie) gestört waren. Auch plötzliche Grundfrequenzsprünge (Shift) und das Auftreten von Subharmonischen als Vorläufer der Rauschbanden waren Gründe, die dazu führten, Lautäußerungen nicht in die Analyse prä-artikulatorischer Vorgänge einzubeziehen.

Die Auswahl erfolgte anhand der Frequenzspektrogramme (Kap. 2.4.2.). Bei den für die Resonanzfrequenzanalyse ausgewählten Schreien wurde ein weiteres Auswahlkriterium angewandt. Die mittlere Grundfrequenz musste ≤ 450 Hz sein, um verlässliche LPC-Analysen zu erhalten (vgl. Kap. 3.3.). Weiterhin wurden nur Schreie ausgewertet, deren TNT/S-Quotient (Summe von Tuningzeit und Nichttuningzeit zur Signallänge) $\geq 0,49$ war (Tabelle 6, Kap. 2.4.5.). Die Begründung dafür findet sich in Kapitel 3.3.. In Tabelle 5 sind die in die Analyse eingeschlossenen Laute pro Säugling sowie die insgesamt pro Aufnahme vorhandenen Schreie angegeben.

Tabelle 5: Anzahl der ausgewerteten (aufgenommenen) Schreie pro Lebenswoche

		Lebenswoche							
Säugling	Platte	9	10	11	12	13	14	15	16
AS	mit	9 (16)				15 (25)			20 (34)
	ohne	4 (9)				5 (22)			15 (64)
IT	mit			17 (44)		16 (39)		4 (8)	0 (1)
	ohne			7 (55)		17 (36)			2 (46)
OD	mit	2 (24)	5 (20)	3 (7)	4 (16)	8 (19)	1 (28)	18 (32)	1 (24)
	ohne	4 (10)	0 (6)	4 (8)	2 (6)	0 (5)	6 (14)	6 (12)	0 (5)
AD	mit	4 (27)	3 (12)	0 (19)		0 (30)	3 (19)	6 (29)	0 (13)
	ohne	6 (11)	3 (7)	0 (10)		2 (14)	2 (6)	4 (13)	
TS	mit	4 (16)	14 (31)		16 (25)		11 (30)		
	ohne	10 (13)	8 (24)	5 (11)	10 (30)		3 (13)		12 (25)
DA	mit					0 (3)	13 (32)		3 (20)
	ohne					2 (11)	3 (6)		12 (50)
AM	mit	19 (64)			6 (22)		35 (50)		
	ohne	0 (1)			4 (8)		8 (14)		
AT	mit	14 (18)	17 (23)	21 (41)	7 (19)	10 (13)	22 (23)	14 (17)	12 (21)
	ohne	12 (13)	19 (21)	6 (8)	15 (18)	15 (19)	14 (19)	12 (16)	13 (21)
ME	ohne	29 (76)		22 (75)	9 (18)	6 (30)		14 (36)	
AL	ohne		2 (24)	3 (14)	10 (31)	3 (12)		1 (15)	
TAM	mit	15 (20)	8 (11)					5 (5)	11 (16)
	ohne	5 (5)	6 (9)					9 (11)	5 (6)
OL	mit			10 (64)	2 (16)	20 (55)		0 (122)	0 (186)
	ohne			3 (21)	12 (85)	13 (39)		0 (129)	0 (28)
KG		52 (144)	52 (138)	51 (113)	7 (98)	10 (112)	6 (223)	1 (91)	2 (127)

Der Untersuchungszeitraum umfasst die Lautaufnahmen vom dritten und vierten Lebensmonat. Dieser Zeitraum ist bewusst gewählt worden, weil in dieser Zeit erste prä-artikulatorische Phänomene nachweisbar sind (Wermke/Mende et al., 2002). Ab der zehnten Lebenswoche treten Schreie mit komplexerer Gestalt auf, deren Melodie deutlich weniger eng an den Luftstrom der Ausatmung gekoppelt ist (Wermke und Mende, 1992). Dies erst ermöglicht intentionale Abstimmungen mit Resonanzfrequenzen. Ab dem dritten Monat ändern sich auch Vokaltraktstrukturen (Kap. 1.1.1.) und im Lautrepertoire treten neue Vokalisationstypen auf (Vihman, 1996).

2.4.2. Berechnung der Frequenzspektren

Zur Analyse der Frequenzspektren wurde das CSL-System der Firma KAY Elemetrics/USA, Model 4500, verwendet. Die durchgeführte instationäre Spektralanalyse beruht auf einer Fouriertransformation unter Nutzung eines HANNIG-Fensters (1024 Abtastwerte). Es wurden Schmalbandspektrogramme (Abbildung 1), in einigen Fällen in Ergänzung zu den Formantanalysen auch Breitbandspektrogramme (Abbildung 2) erstellt.

In der vorliegenden Arbeit wurden von allen Lauten, die von den ausgewählten Säuglingen mit orofazialen Spalten im Alter von drei bis vier Monaten in der Datenbank vorhanden waren, zunächst Spektrogramme erstellt (insgesamt 2813). Diese wurden dazu verwendet, um im Rahmen einer Voranalyse jene Laute auszuwählen, die aufgrund ihrer Signaleigenschaften für die nachfolgenden Melodie- und Resonanzfrequenzanalysen geeignet erschienen. Dabei wurden nur solche Laute ausgesucht, die weder phonatorische Rauschbanden, noch ausgeprägte Shifts oder Subharmonische (Kap. 3.5.) aufwiesen und deren Harmonischen noch einzeln voneinander abgrenzbar waren. Danach standen 871 Schreie für die Spaltgruppe zur Verfügung, für die Kontrollgruppe 181.

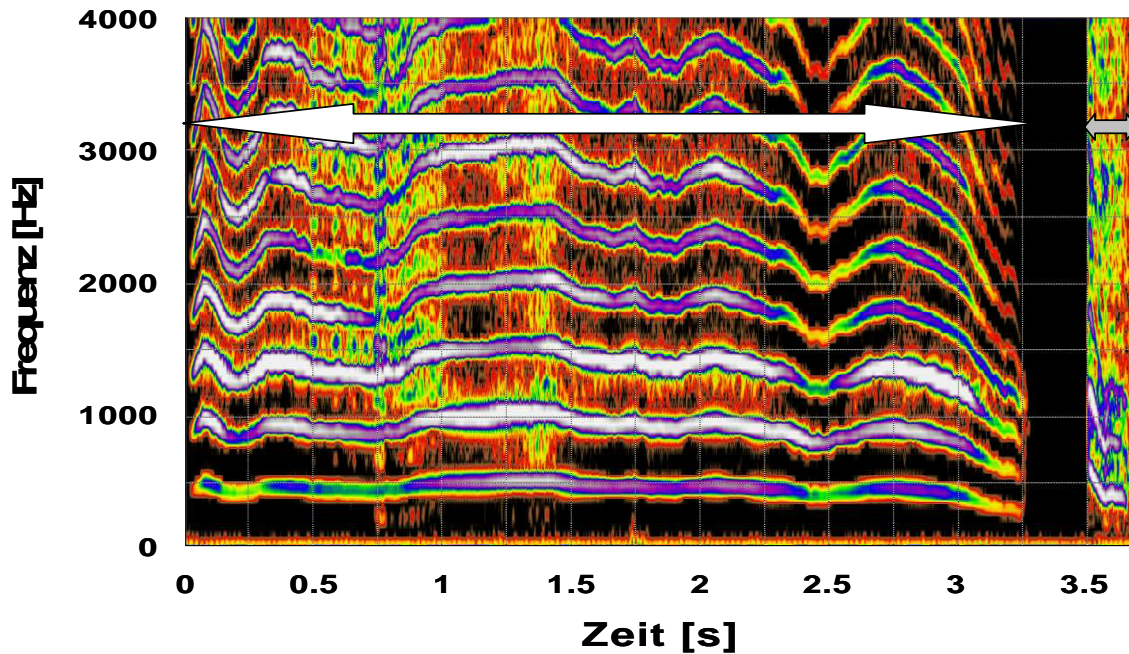


Abbildung 1: Schmalbandspektrogramm

In der Abbildung ist das Schmalbandspektrogramm (Frequenz vs. Zeit) der im Laut enthaltenen Frequenzkomponenten bis 4 kHz auf einer linearen Skala dargestellt. Die Energie ist mittels einer Farbskala codiert, wobei grau für die höchste Energiedichte und dunkelbraun für die niedrigste steht. Es sind die Expiration (weißer Pfeil) und die darauf folgende Inspiration (grauer Pfeil) dargestellt. Der dargestellte Schrei stammt von Säugling AD am 99. Lebenstag mit eingesetzter Gaumenplatte. Der unterste Balken repräsentiert die Zeitfunktion der Grundfrequenz (Melodie), darüber sind ganzzahlige Vielfache, die Harmonischen abgebildet.

Im Schmalbandspektrogramm werden die spektralen Eigenschaften des Lautes wie Harmonischen-Struktur, Auftreten subharmonischer Bereiche oder Rauschbanden deutlich visualisiert. Der zeitliche Verlauf der Grundfrequenz, die Melodie, kann allerdings nur grob anhand des Verlaufs der höheren Harmonischen beurteilt werden. Für eine präzisere Melodieanalyse sind zusätzliche Verfahren notwendig (Kap. 2.4.3.).

Im Unterschied zu Breitbandspektrogrammen, die eine hohe Frequenzauflösung haben, zeichnen sich Schmalbandspektrogramme durch eine hohe Zeitauflösung aus. Es ist daher in der Sprachforschung üblich, für die Darstellung bzw. Bestimmung von Formanten zusätzlich Breitbandspektrogramme zu verwenden (Kent und Forner, 1979; Kent und Murray, 1982). In Abbildung 2 ist ein Breitbandspektrogramm des in Abbildung 1 dargestellten Lautes abgebildet. (Für Analysedetails vergleiche Wermke et al., 2002/2005).

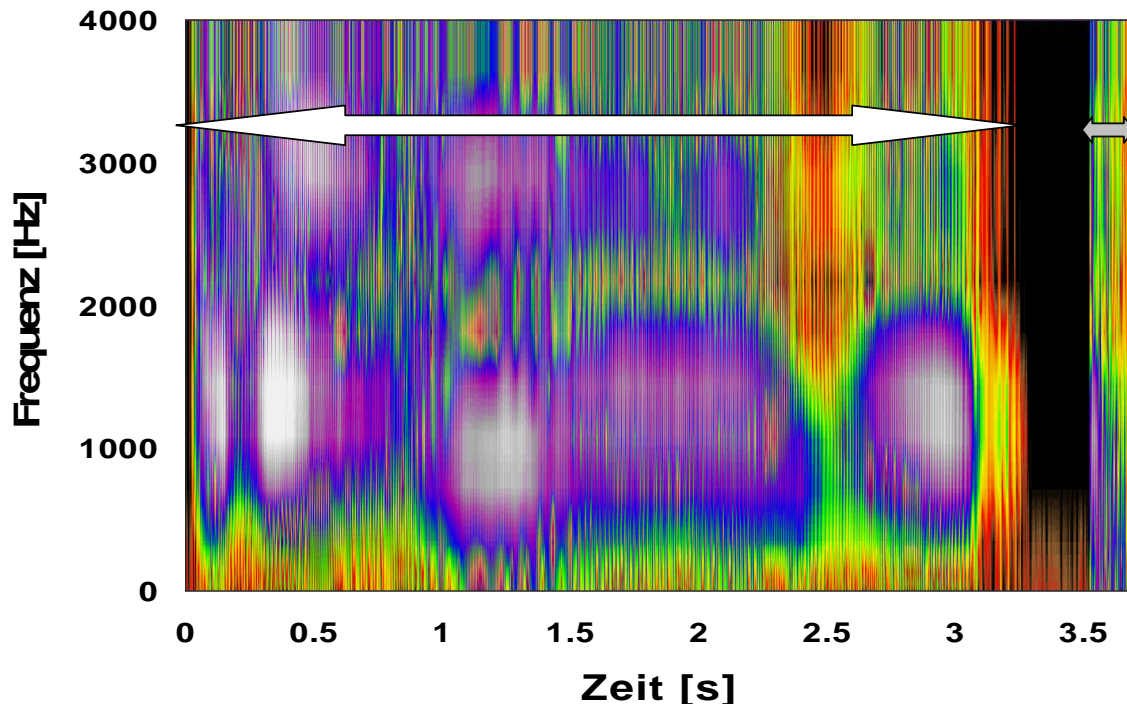


Abbildung 2: Breitbandspektrogramm

In der Abbildung ist das Breitbandspektrogramm (Frequenz vs. Zeit) der im Laut enthaltenen Frequenzkomponenten bis 4 kHz auf einer linearen Skala dargestellt. Die Energie ist mittels einer Farbskala codiert, wobei grau für die höchste Energiedichte und braun für die niedrigste steht. Es sind die Expiration (weißer Pfeil) und die darauf folgende Inspiration (grauer Pfeil) dargestellt. Man erkennt zwei Resonanzbereiche, deren Mittenfrequenz bei ca. 1250 Hz und 3000 Hz liegt.

2.4.3. Bestimmung des Grundfrequenzverlaufs - Melodieanalyse

Um die Interaktion zwischen der laryngealen Lautproduktion (Melodie) und den pharyngealen Resonanzeigenschaften zu demonstrieren, war es erforderlich, auch die Melodie aller untersuchten Laute zu ermitteln.

Zur Berechnung der mittleren Grundfrequenz, sowie des Grundfrequenzverlaufs (Melodie) wurde das MDVP-Advanced Modul 5105 (Multi-Dimensional-Voice-Program-Advanced, Version 2.4.4) als Softwarekomponente des CSL-Systems verwendet. Es handelt sich dabei um ein adaptives Korrelationsverfahren, das im Zeitbereich konsequente Perioden vergleicht (KAY Elemetrics Corp., 1999). Säuglingsschreie können sehr komplexe und komplizierte Signaleigenschaften aufweisen, die sich zudem auch noch in wenigen Millisekunden ändern können. Dies und die kurzen Korrelationsänderungen, die bei der F_0 -Bestimmung durch das CSL-System zu Anwendung kommen, bedingen in Einzelfällen eine Nachbearbeitung der errechneten Melodien. Dies erfolgte mit dem

Programmsystem CDAP© (Cry-Data-Analysis-Program) der Firma „pw-project“. Mit diesem System wurden nachfolgend auch die Melodie- und Intensitätsverläufe geeignet grafisch dargestellt (Abbildung 3) sowie quantitativ ausgewertet.

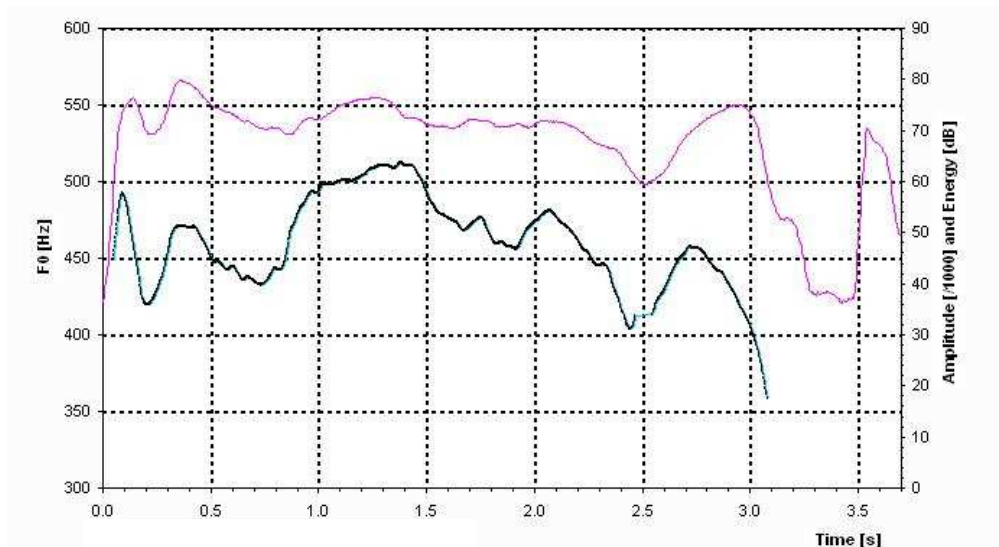


Abbildung 3: Melodie/Intensitätsgrafik

In der Grafik (Programm CDAP©) sind die tiefpassgefilterten Melodie- und Intensitätsverläufe des Schreis aus Abbildung 1 dargestellt. Die Melodie (grüne Kurve) und die Intensität (pinke Kurve) sind gegen die Zeit aufgetragen. (Für Analysedetails vergleiche Wermke et al., 2002/2005 und Wermke, 2002).

2.4.4. Bestimmung der Resonanzfrequenzverläufe - Formantanalyse

Die Bestimmung der Resonanzfrequenzen und ihrer zeitlichen Variation erfolgte mit dem LPC-Algorithmus des CSL-Speech-Labs (Fensterlänge 10-20 ms, Schrittweite 5 ms, adaptiv Autokorrelationsmethode bzw. Kovarianzmethode). Die Bezeichnung LPC-Analyse ist die Abkürzung für „Linear Predictive Coding“ und steht für einen Algorithmus, der eine lineare Voraussage aus einer Folge von Abtastwerten ermöglicht. Es handelt sich um ein Standardverfahren zur Formantanalyse. Ziel der LPC-Analyse ist es, eine Vorhersage mit möglichst wenigen Koeffizienten machen zu können. Mit Hilfe eines Filters wird hier der Schrei in eine Schätzung des Anregungssignals der Stimmlippen und des Filters (Vokaltrakt) zerlegt. Bei der Bearbeitung des Signals wird davon ausgegangen, dass der Filter durch seine Polstellen, die mit spektralen Peaks einhergehen, bestimmt wird (Markel und Gray, 1982).

Wo es sich als notwendig erwies, wurden hier die Analyseergebnisse interaktiv Frame für Frame mit unterschiedlicher Fensterlänge und unterschiedlicher polynominaler Ordnung kontrolliert, um das Auftreten von überlappenden Resonanzfrequenzen auszuschließen. Die Standardauflösung (10 ms Fenster/100 Hz) für die geschätzten Resonanzfrequenzen korrespondiert bei 500 Hz mit einem theoretischen Fehler von 20 % oder $0,2/x$ für die Resonanzfrequenz in der Nähe der x -ten Harmonischen. Diese Vorgehensweise wurde in Voruntersuchungen umfangreich getestet und hat sich dabei als geeignet erwiesen (z. B. Wermke et al., 2005). Zur Validitätstestung wurden die mit dem LPC-Algorithmus ermittelten Resonanzfrequenzen mit denen der per Spektrogrammen ermittelten verglichen.

Für die statistische Auswertung der Interaktionsmuster sowie der Harmonischenwechsel und Tuningzeiten (Kap. 3.) wurden für die Untersuchung nur Schreie mit einer Grundfrequenz ≤ 450 Hz ausgewählt, um die Unsicherheiten der LPC-Algorithmen bezüglich größerer F_0 -Werte zu umgehen (Lindblom, 1961; Kent, 1976; Fant, 1960; Bauer und Robb, 1990). Hohe Grundfrequenzen führen zur verringerten Fähigkeit, Peaks von kleinen und nah beieinander liegenden Resonanzfrequenzen festzustellen. Weiterhin kann bei hohen Vokalen (z. B. [i], [u]) F_0 in den Bereich des ersten Formanten geraten, was zu Problemen bei der automatischen Analyse führen kann.

In den meisten untersuchten Signalen wurden drei Hauptresonanzbänder bis 10 kHz gefunden, aber die Autorin der vorliegenden Arbeit hat sich hier auf die Analyse der ersten zwei Resonanzfrequenzen in einem Bereich bis zu 4 kHz beschränkt. Da die für die Sprache typischen Vokalformanten bei Säuglingen nur ansatzweise oder noch gar nicht ausgeprägt sind, wird in der vorliegenden Arbeit nachfolgend von Resonanzfrequenzen gesprochen. Die ersten beiden Resonanzfrequenzen (R_1 , R_2) charakterisieren die verschiedenen vokalähnlichen Lautelemente und sind daher die wichtigsten Resonanzbänder für den Fokus der Arbeit. Sie sind am besten ausgeprägt und damit auch am einfachsten quantitativ zu analysieren.

2.4.5. Ermittlung von Interaktionsmustern zwischen Melodie und Resonanzfrequenzen

Zur Ermittlung der Interaktionsmuster zwischen Melodie und Resonanzfrequenzen (Formanten) wurde von Mende ein spezielles Tuningdiagramm entwickelt (Wermke/Mende et al., 2005). In diesem Diagramm wird sowohl der Verlauf der Melodie und ihrer Harmonischen als auch die zeitgleich auftretenden, aber separat berechneten Resonanzfrequenzen und Verläufe dargestellt. Dieses Tuningdiagramm ist im CDAP-System implementiert und wurde in der vorliegenden Arbeit verwendet (Abbildung 4). Es erlaubt, Interaktionen zwischen der Melodie bzw. den Harmonischen und den Resonanzfrequenzen R1 und R2 zu visualisieren. Mit Hilfe einer speziellen CDAP-Routine ist es möglich, Interaktionsarten (Tabelle 6) und korrespondierende Parameter zu vermessen (Kap. 2.4.6.).

Mit „Tuning“ haben Wermke/Mende et al. (2005) die Fähigkeit des Säuglings bezeichnet, im Vokaltrakt entstehende Resonanzfrequenzen intentional auf den im Larynx erzeugten Melodieverlauf abzustimmen. Im Tuningdiagramm erkennt man eine solche Abstimmung daran, dass die beiden untersten Resonanzfrequenzen (R1 und R2) auf oder in unmittelbarer Nähe der Melodie bzw. ihrer Harmonischen liegen. Dabei werden Abweichungen innerhalb eines Bandes von 20 % ($\pm 10\%$) von der Grundfrequenz automatisch im Tuningdiagramm rot markiert (Abbildung 4). Als Tuning werden diese Bewegungen dann bezeichnet, wenn sie mindestens 15 ms andauern.

Dieses Konzept wurde in der vorliegenden Arbeit ebenfalls angewendet. Im Verlauf einer Lautäußerung kann ein Tuning nicht nur in Bezug zu einer einzigen Harmonischen auftreten, sondern es kann zunächst auf einer Harmonischen und nachfolgend auf der nächsthöheren oder tieferen Harmonischen erfolgen (Tuning-Übergang-Tuning). Dies ändert die Klangeigenschaften in der Form, dass eine Art Vokalwechsel hörbar ist. Tuningbereiche treten also nicht nur auf einer bestimmten Harmonischen auf, sondern können sich zwischen mehreren Harmonischen bewegen. Der Wechsel zwischen zwei Tuningbereichen auf voneinander verschiedenen Harmonischen vollzieht sich mehr oder weniger schnell in Abhängigkeit von der neurophysiologischen Integrität der zugrunde liegenden Kontrollsysteme. Diese Wechsel zwischen den Harmonischen ähneln den späteren schnellen

Formantübergängen, die für die Artikulation von Vokalen bzw. Silben in Babbellauten und Wörtern wichtig sind (Wermke et al., 2005).

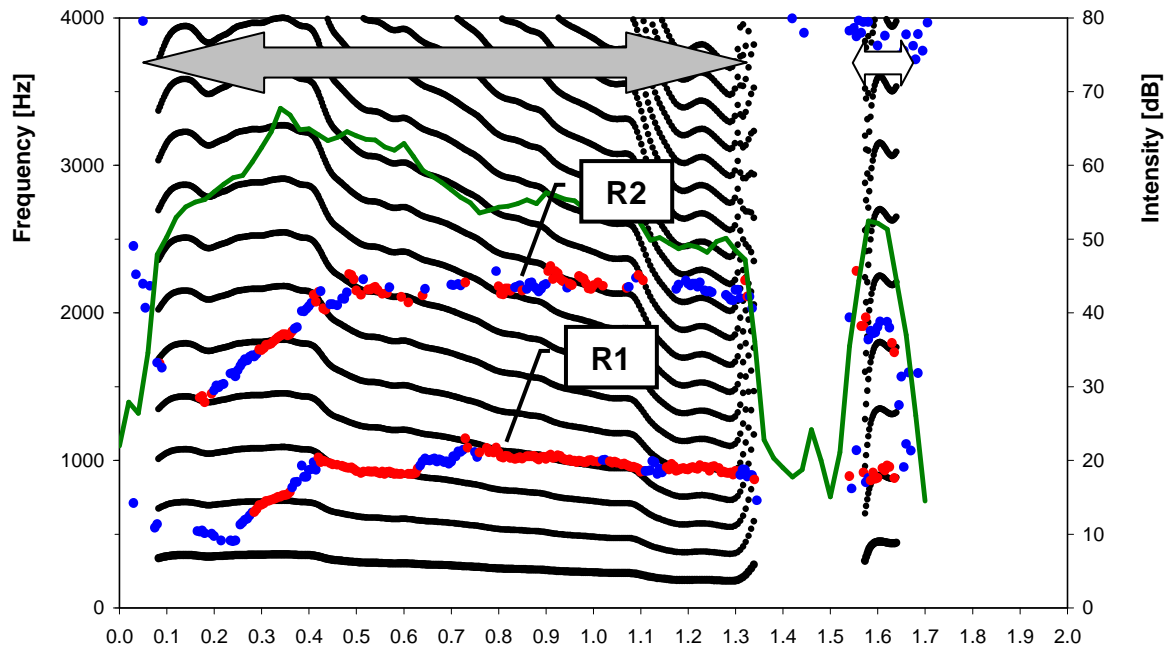


Abbildung 4: Tuningdiagramm

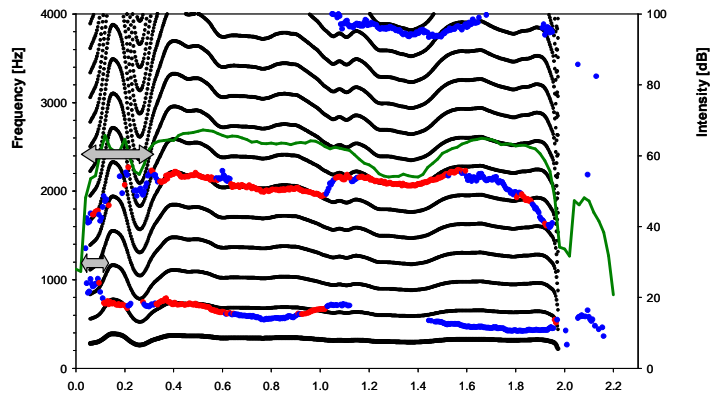
Im Diagramm ist die Frequenz gegen die Zeit aufgetragen. Die Expiration ist mittels eines grauen Pfeils und die Inspiration durch einen weißen Pfeil verdeutlicht. Die Melodie und ihre Harmonischen sind schwarz, die Intensität ist grün und die ersten beiden Resonanzfrequenzen durch blaue und rote Punkte dargestellt. Rote Punkte markieren den Zeitraum der Resonanzfrequenz, in welchem sie sich innerhalb eines Bandes von 20 % (+/- 10 %) von der Grundfrequenz befindet, während die blauen Punkte die Zeitbereiche zeigen, in welchen kein Tuning vollzogen wird (Tabelle 6). Melodie und Resonanzfrequenzverläufe sind unabhängig voneinander mit verschiedenen Algorithmen berechnet worden. Diese Beschreibung gilt für alle in den nachfolgenden Kapiteln abgebildeten Tuningdiagramme.

Nachdem für alle ausgewählten Laute solche Tuningdiagramme erstellt wurden, erfolgte mit Hilfe des Unterprogramms Melodie/Formant-Interaktion des CDAP©-Systems eine quantitative Analyse definitiver Interaktionsmuster zwischen der Melodie bzw. ihren Harmonischen und den ersten beiden Resonanzfrequenzen. Bei dieser Analyse wurden die in Tabelle 6 aufgeführten und erläuterten Interaktionsmuster unterschieden. Die von der Kontrollgruppe in der Arbeit herangezogenen Referenzwerte wurden in gleicher Weise ermittelt und können somit unmittelbar mit den hier berechneten Werten aller Parameter und Quotienten verglichen werden.

Tabelle 6: Analyalisierte Interaktionsmuster zwischen der Melodie bzw. ihren Harmonischen und den ersten beiden Resonanzfrequenzen

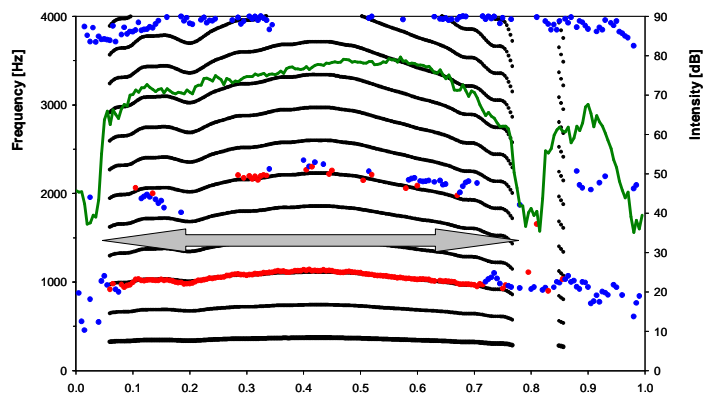
Interaktion **Beschreibung**

Einschwingen: E



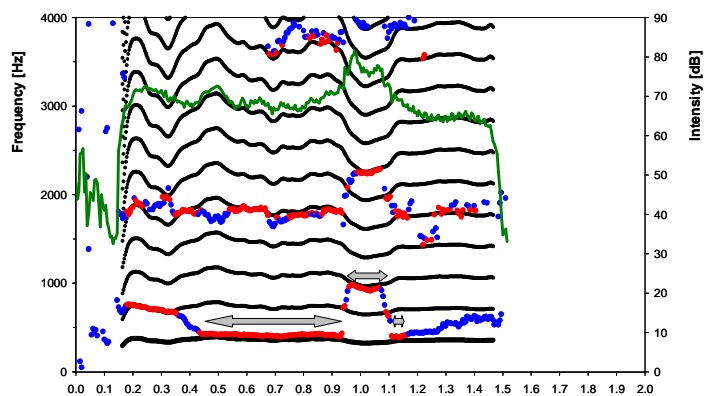
E beschreibt die Zeit, die die Resonanzfrequenzen vom Beginn der Melodie bis zum ersten Tuning benötigen.

Tuning: T



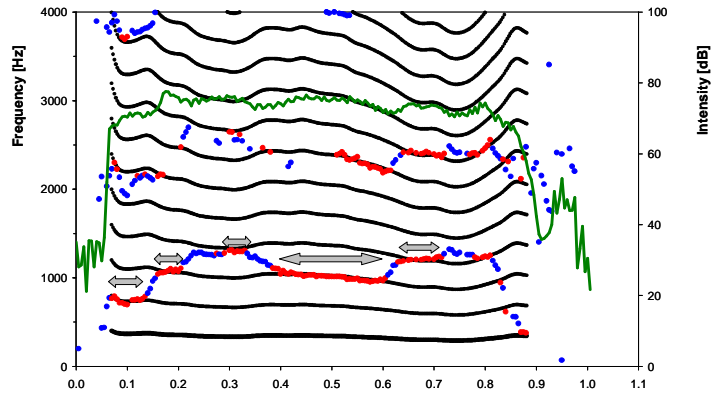
Die Resonanzfrequenzen (hier R1) befinden sich auf der Melodie bzw. deren Harmonischen, d.h. innerhalb eines Bandes von $\pm 10\%$ von der Mittenfrequenz der Grundfrequenz. Das Tuning (T) dauert mindestens 15 ms an.

Tuning nach: Tn



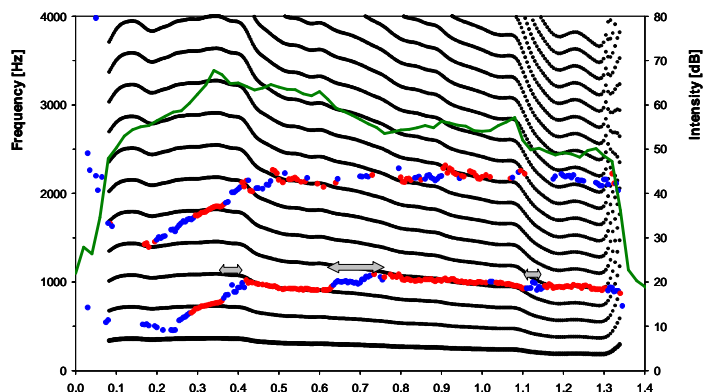
Erfolgt ein Tuning nach einem Übergang von einer Harmonischen auf eine höhere oder tiefere Harmonische, so wird dies als Tn (nach) bezeichnet.

Tuning vor: Tv



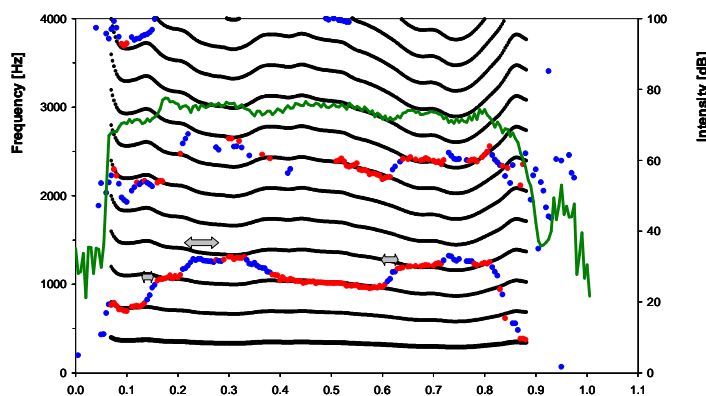
Erfolgt ein Tuning vor einem Übergang, so wird dies als Tv (vor) bezeichnet.

Übergang: U



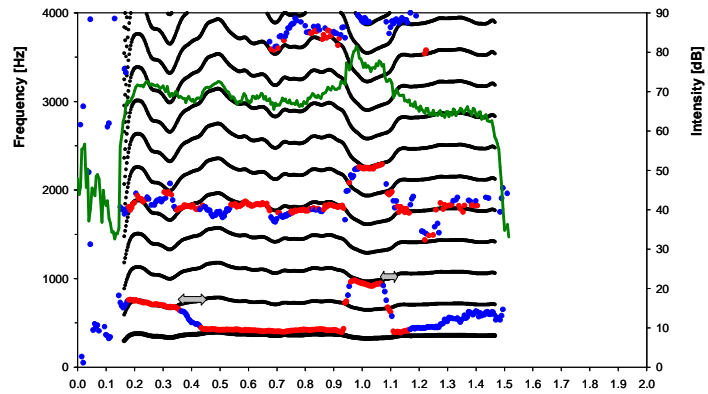
U beschreibt Tuningphänomene, an denen mehr als eine Harmonische (H) beteiligt ist und reflektiert das Zeitintervall, das die Resonanzfrequenzen benötigen, um vom Tuningbereich auf H_x zum nächsten Tuningbereich auf H_y ($x, y = 1, 2, \dots, n; x \neq y$) zu gelangen.

Übergang nach oben: Uno



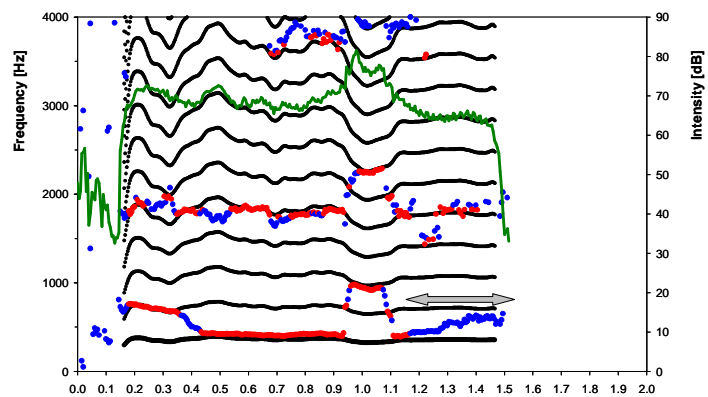
Bei einem Übergang wurde zusätzlich die jeweilige Richtung bezüglich der Harmonischen (H) festgehalten. Springt die Resonanzfrequenz von H_x auf $H_x + 1$ ($x = 1, 2, \dots, n$) im zeitlichen Verlauf des Formanten, so wird die Richtung „nach oben“ zugeordnet. Hierfür steht Uno.

Übergang nach unten: Unu



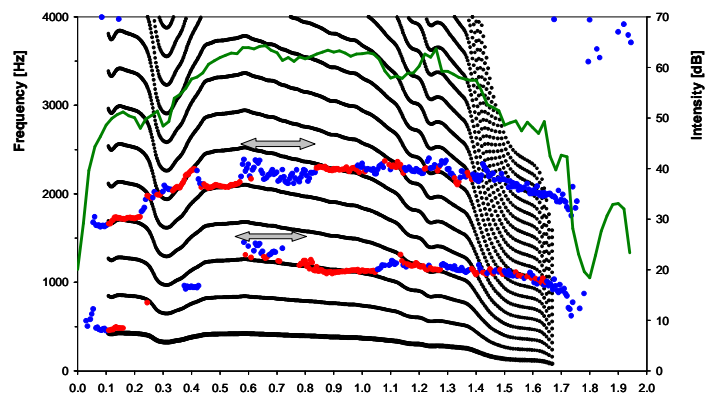
Bewegt sich die Resonanzfrequenz von H_x auf $H_x - 1$ ($x = 1, 2, \dots, n$), erfolgt die Zuordnung „nach unten“. Hierfür steht Unu.

Freilauf: F



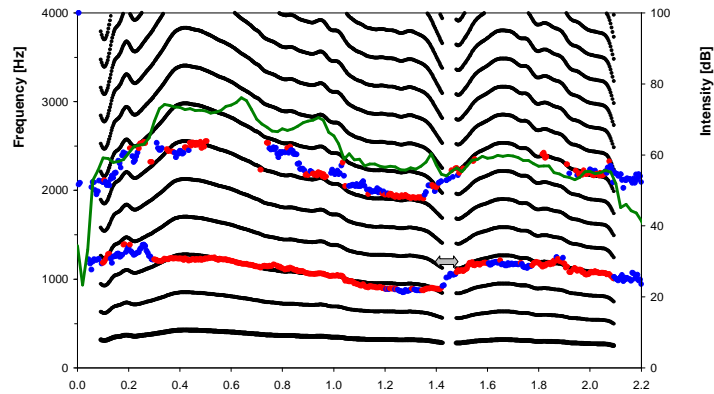
F beschreibt das Zeitintervall, in dem die Resonanzfrequenz „frei“, also ungerichtet, in Bezug auf die Melodie und ihre Harmonischen verläuft (kein Tuning, kein Übergang).

Noise: N



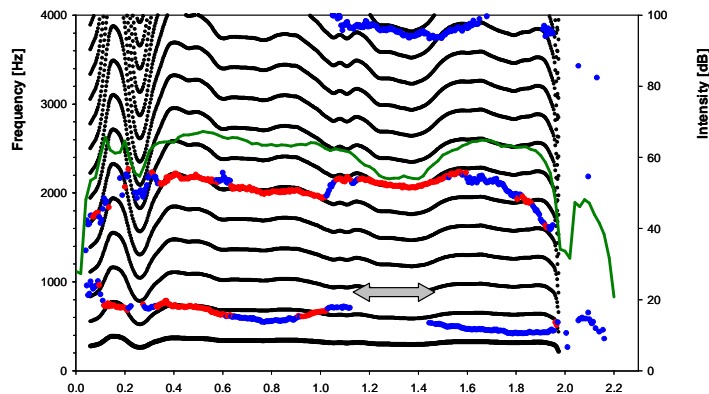
N beschreibt das Zeitintervall, in dem die Resonanzfrequenzen eine diffuse Struktur besitzen (Punktwolke).

Pause: P



P beschreibt das Zeitintervall, in dem aufgrund von glottalen Schwingungspausen keine Melodie erzeugt wird (Segmentierung).

?



? beschreibt das Zeitintervall, in dem keine Resonanzfrequenz berechnet werden konnte.

Nichttuning: NT

Die Interaktionen Einschwingen, Freilauf und Übergang werden zur Kategorie „Nichttuning“ zusammengefasst. Noise, Pause und die Zeitintervalle ohne berechenbare Resonanzfrequenz wurden in den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt.

Graue Pfeile markieren die jeweilige Interaktion.

Alle beschriebenen Merkmale wurden interaktiv durch Cursorsetzung separat für R1 und R2 bestimmt. Diese Bestimmung ist äußerst zeitintensiv, kann aber aufgrund der individuellen Struktur jedes einzelnen Lautes nicht automatisiert werden. Die Dauer des jeweiligen Interaktionsmusters wurde anhand der Cursorposition automatisch berechnet (Abbildung 5).

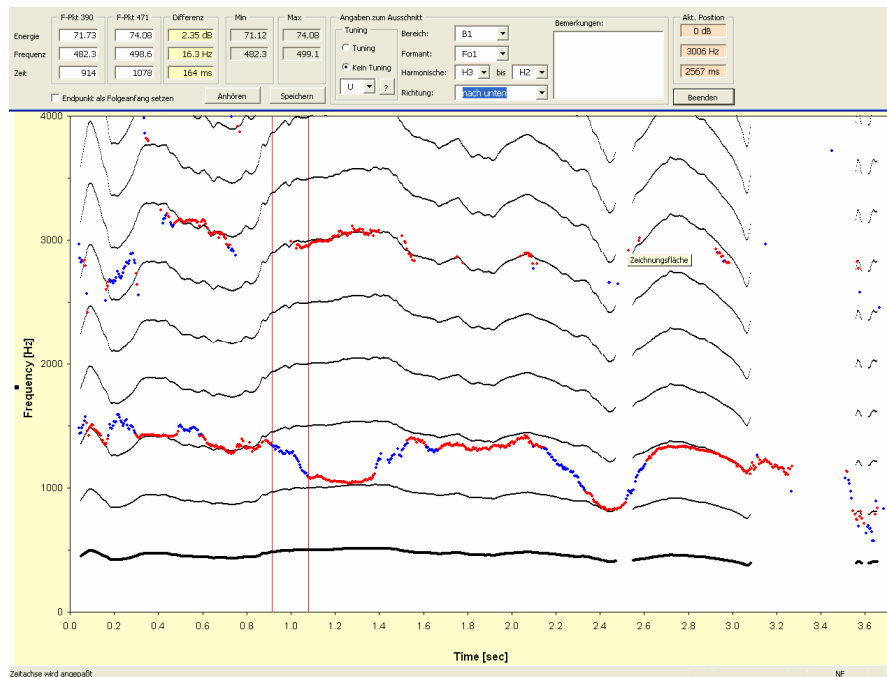


Abbildung 5: CDAP© Melodie-Formant-Interaktionsroutine

Im abgebildeten Ausgabefenster der CDAP© Melodie-Formant-Interaktionsroutine ist der Laut aus Abbildung 1 dargestellt. Die Cursor sind mit roten vertikalen Linien markiert. In diesem Beispiel wird ein Übergang nach unten (Unu) zwischen zwei Tuningbereichen vermessen.

Für jeden einzelnen Laut, also für dessen gesamte Expirationsphase, wurden in der vorliegenden Arbeit interaktiv alle vorkommenden Interaktionen (Tabelle 6) separat für R1 und R2 per Cursor markiert und vermessen. Anschließend wurden basierend auf Vorarbeiten (Wermke et al., 2005) aus den Messgrößen verschiedene dimensionslose Quotienten berechnet (Kap. 2.4.6.).

2.4.6. Charakterisierung prä-artikulatorischer Aktivität in Säuglingslauten

Zur Charakterisierung prä-artikulatorischer Aktivitäten wurden aus den in Kapitel 2.4.5. beschriebenen Messgrößen Quotienten gebildet, sowie einzelne Interaktionen teilweise zu Interaktionsmustern zusammengefasst. In Tabelle 7 sind die hier verwendeten Muster und Quotienten näher erläutert.

Tabelle 7: Quotienten und Interaktionsmuster zur Charakterisierung prä-artikulatorischer Aktivität

Quotienten (pro Resonanz- frequenz und Schrei ermittelt)	Definition
TNT/S	(Tuning + Nichttuning) [ms]/Signallänge [ms]; nur für R1
T/NT	Tuning [ms]/Nichttuning [ms]
Tv/Unu	Tuning vor einem Übergang [ms]/ Übergang nach unten [ms]
Tv/Uno	Tuning vor einem Übergang [ms]/ Übergang nach oben [ms]
Unu/Tn	Übergang nach unten [ms]/ Tuning nach einem Übergang [ms]
Uno/Tn	Übergang nach oben [ms]/ Tuning nach einem Übergang [ms]
Interaktionsmuster (pro Resonanz- frequenz und Schrei ermittelt)	Definition
TUT	Interaktionsmuster Tuning Übergang Tuning [Anzahl]
TUTno	Interaktionsmuster Tuning-Übergang-Tuning mit Übergang auf eine höhere Harmonische (<u>n</u> ach <u>o</u> ben) [Anzahl]
TUTnu	Interaktionsmuster Tuning-Übergang-Tuning mit Übergang auf eine tiefere Harmonische (<u>n</u> ach <u>u</u> nten) [Anzahl]

2.5. Statistische Verfahren

Mit Hilfe des Programms Microsoft Excel 2000 wurden die gemessenen Daten in Tabellen erfasst und die in Tabelle 7 aufgeführten Quotienten berechnet. Die weitere statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS 14 für Windows.

Alle für die Studie verwendeten Daten wurden zuerst mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf hinreichende Normalverteilung untersucht. Normalverteilung liegt vor, wenn sich 68 % der Fälle innerhalb von einer Standardabweichung des Mittelwerts und 95 % der Fälle innerhalb von zwei Standardabweichungen befinden. Wenn eine hinreichende Normalverteilung vorliegt, wurden zur statistischen Auswertung der Daten parametrische Tests und arithmetische

Mittelwerte verwendet, wohingegen bei nicht bestehender Normalverteilung nichtparametrische Tests und Medianwerte benutzt wurden.

Mit allen vermessenen Daten wurden Quotienten erstellt, welche spalttypabhängig und unter Berücksichtigung der Plattenkondition in Boxplotdiagrammen dargestellt wurden.

Das Boxplotdiagramm zeigt das Minimum, oberes und unteres Quartil, Median und Maximum. Der horizontale Strich im als Box bezeichneten Kasten entspricht dem Median. Die obere und untere Begrenzung der Box stellen die 25. und 75. Perzentile dar. Somit enthält die Box 50 % aller Werte. Die „Whiskers“ zeigen Minimum und Maximum der Werte an. Zwischen den oberen und unteren Whiskers und oberer und unterer Boxgrenze liegen genau 25 % aller Werte. Ausreißer sind Werte, die 1,5 bis drei Kastenlängen vom oberen und unteren Rand der Box entfernt liegen. Sie werden mit einem Kreis verdeutlicht. Extremwerte liegen mehr als drei Kastenlängen vom oberen und unteren Rand der Box entfernt und werden mit einem Stern markiert.

Mittelwertunterschiede von Daten, die nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt sind, wurden mit dem nichtparametrischen Mann-Whitney-U-Test analysiert. Er überprüft, ob zwei unabhängige Verteilungen zur selben Grundgesamtheit gehören. Abhängige, nicht normalverteilte Variablen wurden mit dem Wilcoxon-Test überprüft. Mittelwertunterschiede normalverteilter Daten wurden mit dem T-Test berechnet. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests mit $p = 0,05$ festgelegt.

3. Ergebnisse

3.1. Analyse der mittleren Grundfrequenz der Schreie

Vor der Untersuchung der Interaktion zwischen der Zeitfunktion der Grundfrequenz (Melodie) und den Resonanzfrequenzen wurde zunächst die mittlere Grundfrequenz der Laute analysiert. Diese Analyse wurde auch in Abhängigkeit von der Plattenkondition durchgeführt.

Die Verteilungseigenschaften der mittleren Grundfrequenz aller hier untersuchten Schreie ($n = 871$) von Säuglingen mit orofazialen Spalten sind nachfolgend beschrieben, ebenso Verteilungseigenschaften der Schreie, die mit ($n = 447$) bzw. ohne ($n = 424$) eingesetzte Platte produziert wurden. In Abbildung 6 ist das Histogramm der F_0 -Mittelwerte für alle untersuchten Laute dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass methodenbedingt nur Schreie in die Analyse einbezogen wurden, deren mittlere Grundfrequenz ≤ 450 Hz und deren TNT/S-Verhältnis $\geq 0,49$ waren (Kap. 2.4.1.). Die Verteilungsanalyse der mittleren Grundfrequenz mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test lieferte keine hinreichende Normalverteilung ($p = 0,004$). Die entsprechende Verteilung der F_0 -Mittelwerte der Schreie, die mit eingesetzter Platte (mP) und derjenigen, die ohne eingesetzte Platte (oP¹, ME und AL ausgeschlossen) erzeugt wurden, sind jeweils normalverteilt (mP: $p = 0,200$; oP¹: $p = 0,061$). Die Verteilung der Schreie, die ohne eingesetzte Platte (oP², ME und AL eingeschlossen) erzeugt wurden, ist ebenso wie die der KG-Gruppe nicht normalverteilt (oP¹: $p = 0,002$; KG: $p = 0,030$).

Für die weitere statistische Analyse wurde neben dem Mittelwert auch der Medianwert berechnet und parameterfreie statistische Tests angewandt. Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind in Tabelle 8 aufgeführt.

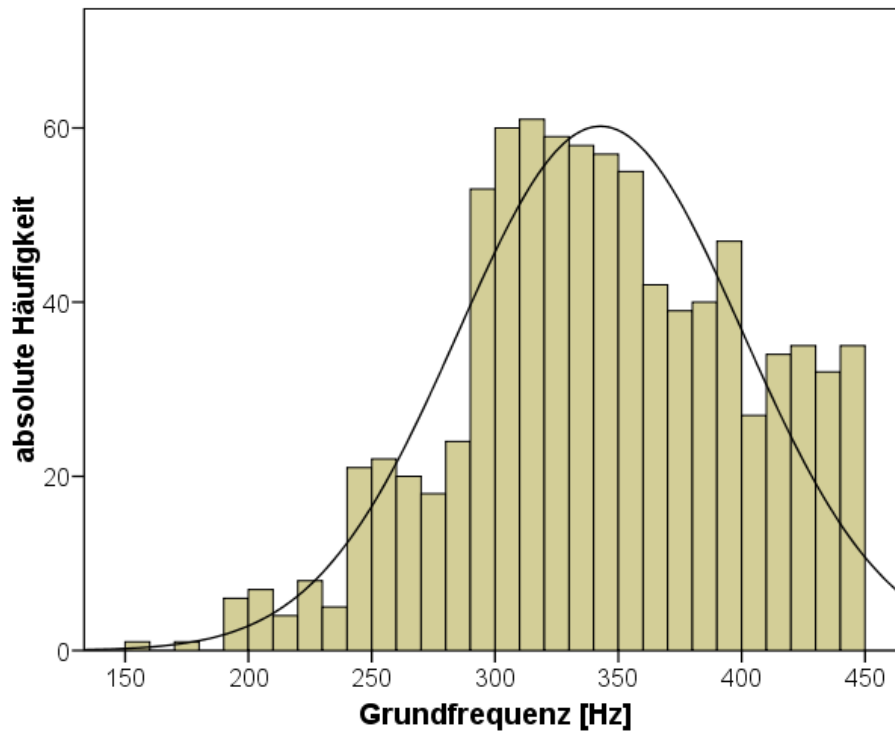


Abbildung 6: Histogramm mit eingezeichnete Normalverteilungskurve für die mittlere Grundfrequenz (F_0) der ausgewerteten Schreie aller Säuglinge mit orofazialen Spalten im Untersuchungszeitraum ($N = 871$)

Tabelle 8: Ergebnisse der deskriptiven Analyse der mittleren Grundfrequenz in Abhängigkeit von der Plattenkondition

	N	Mittelwert	Std. Abw.	Medianwert	Minimum	Maximum
	Schreie	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
Spaltgruppe	871	343*	58	341	159	450
mit Platte (mP)	447	340*	55	337	159	450
ohne Platte¹ (oP¹)	325	332*	58	327	177	448
ohne Platte² (oP²)	424	346*	60	348	177	448
KG	181	359	57	357	189	450

*signifikanter Unterschied zu KG; ¹ ohne ME und AL; ² mit ME und AL

Die Mittelwerte sind bei der oP¹-Kondition (vgl. Kap. 2.2.) etwas geringer als bei der Kondition mit eingesetzter Platte (mP). Es liegt aber kein signifikanter Unterschied vor. Im Vergleich zur Kontrollgruppe (KG) sind sowohl die F_0 -Mittelwerte der Schreie der Spaltgruppe in der mP als auch der oP¹ Kondition

signifikant kleiner (Mann-Whitney-U-Test: $p < 0,0001$). Bei Einschluss der beiden nicht Platten versorgten Säuglinge ME und AL (oP^2) verringert sich der Unterschied zu KG. Er bleibt jedoch signifikant (Mann-Whitney-U-Test: $p < 0,0001$). Die Schreie der Säuglinge ME und AL zusammen zeigen eine signifikant höhere Grundfrequenz als die Schreie der oP^1 -Gruppe.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum (dritter bis vierter Monat) wurden keine Veränderungen der mittleren Grundfrequenz beobachtet, sowohl die Mittelwerte als auch der Variationsbereich blieben relativ unverändert. Das gilt sowohl für die Spaltgruppe als auch für die einzelnen Konditionsuntergruppen „ oP “ und „ mP “. Auch säuglingsspezifische Unterschiede wurden diesbezüglich nicht gefunden. Insgesamt liegen die Mittelwerte der hier untersuchten Säuglinge trotz der oben beschriebenen Signifikanzen in einem sehr homogenen, für gesunde Säuglinge dieses Alters typischen Variationsbereich (vgl. Kap. 4.2.).

Kein Säugling zeigte im Untersuchungszeitraum hochfrequente Schreie, die auf eine neurophysiologische Dysfunktion hinweisen könnten (Michelsson et al., 1975/1982). Zum Beleg ist in Abbildung 7 die Verteilungskurve der ungefilterten Datenbasis (siehe oben) für die in der hier vorliegenden Arbeit verwendeten Aufnahmen (Kap. 2.) der Säuglinge mit orofazialen Spalten abgebildet. Schreie mit unklarer Harmonischenstruktur, Rauschbanden, Shift und Subharmonischen fehlen in der Grafik, da diese in einer Vorauswahl anhand von Spektrogrammen visuell gesichtet und daraufhin aussortiert wurden. Aus diesem Grund sind statt 2813 (Datenbasis für den Untersuchungszeitraum) nur 1708 Schreie in der Grafik enthalten.

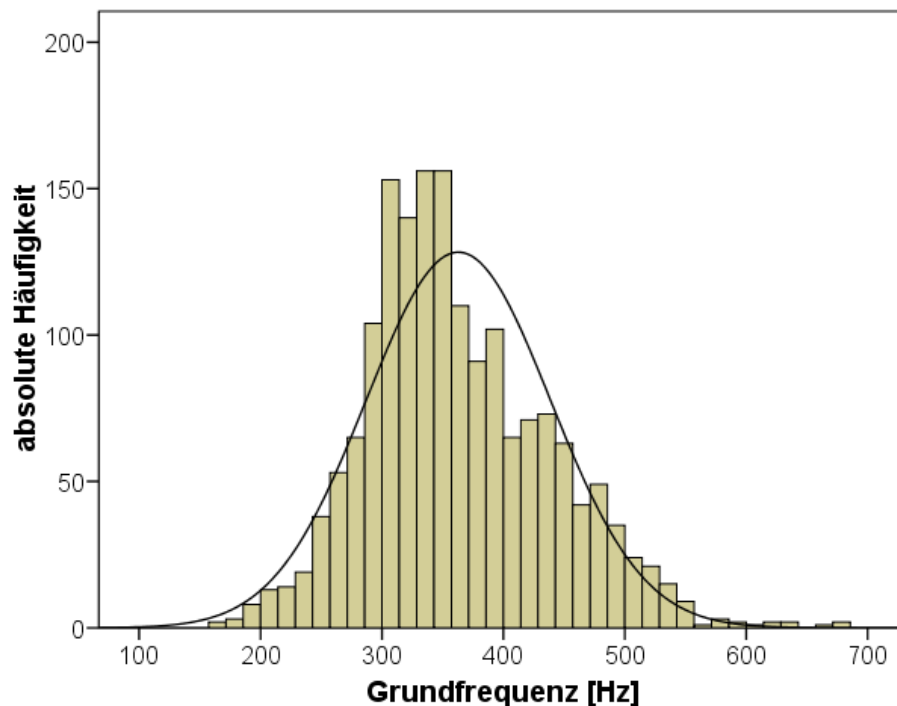


Abbildung 7: Histogramm mit eingezeichneter Normalverteilungskurve für die mittlere Grundfrequenz der Schreie aller Säuglinge mit orofazialen Spalten im Untersuchungszeitraum (N = 1708; ungefilterte Datenbasis)

3.2. Analyse der mittleren Schreilänge in Abhängigkeit von der Plattenkondition

Zu den potentiellen Co-Faktoren, die Einfluss auf die im Zentrum der Arbeit stehenden Interaktionsmuster zwischen Melodie und Resonanzfrequenzen haben könnten, gehört auch die Schreilänge. Ausgeprägte Interaktionen könnten sich z. B. unter Umständen erst zeigen, wenn die Schreie eine bestimmte Mindestlänge haben. Es galt daher zu prüfen, ob es im Mittel Unterschiede in der Einzelschreilänge zwischen den Gruppen und bezüglich der beiden Plattenkonditionen gibt. Dazu wurden die entsprechenden Verteilungseigenschaften geprüft und deskriptive Analysen durchgeführt (Tabelle 9). Die Verteilungsanalyse der mittleren Schreilänge mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test lieferte in keinem Fall eine hinreichende Normalverteilung ($p < 0,0001$). Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind in Tabelle 9 aufgeführt.

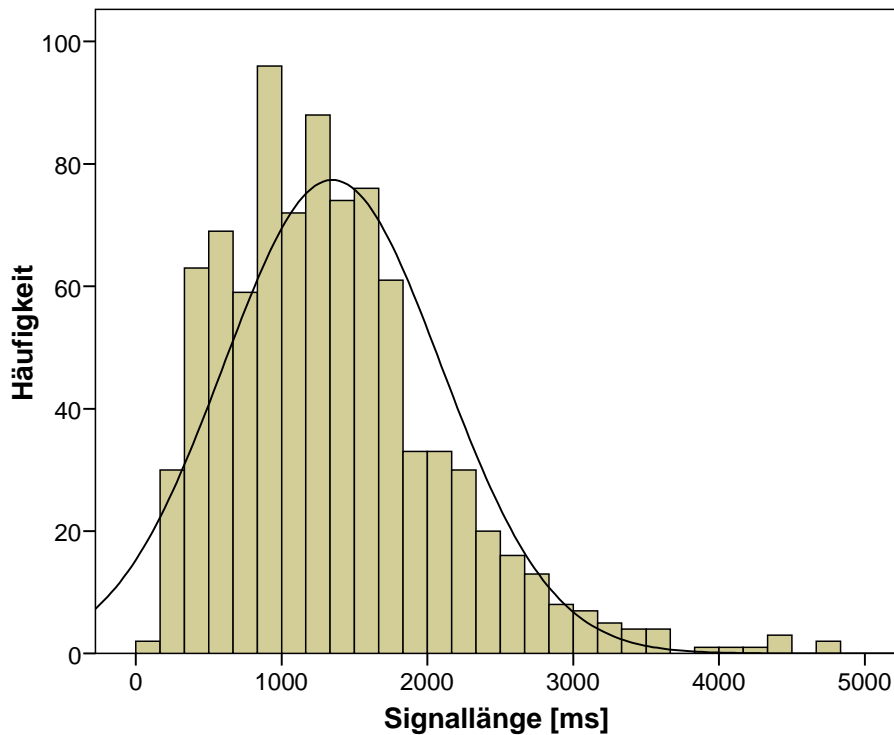


Abbildung 8: Histogramm mit eingezeichneter Normalverteilungskurve für die mittlere Signallänge der hier ausgewerteten Schreie aller Säuglinge mit orofazialen Spalten im Untersuchungszeitraum (N = 871)

Tabelle 9: Deskriptive Analyse der Schreilänge in Abhängigkeit von der Plattenkondition und im Vergleich zur Kontrollgruppe

	N	Mittelwert [ms]	Std. Abw. [ms]	Medianwert [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
Spaltgruppe gesamt	871	1349	748	1234	112	4827
mit Platte (mP)	447	1393	723	1269	215	4463
ohne Platte¹ (oP¹)	325	1482	761	1391	271	4827
ohne Platte² (oP²)	424	1302*	773	1195	112	4827
KG	181	1428	762	1317	327	4562

*signifikanter Unterschied zu KG; ¹ ohne ME, AL; ² mit ME, AL

Die mittlere Schreilänge der hier untersuchten Laute aller Säuglinge mit orofazialen Spalten beträgt für den Untersuchungszeitraum im Mittelwert 1349 ms (\pm 748 ms). Bei Schreien, die mit eingesetzter Platte erzeugt wurden, betrug der Mittelwert 1393 ms (\pm 723 ms), während er bei Schreien, die ohne

Platte erzeugt wurden, 1482 ms (\pm 761 ms) betrug. Die ohne Platte erzeugten Schreie sind damit im Durchschnitt 89 ms länger (Unterschied nicht signifikant). Nimmt man die Schreie der beiden nicht mit einer Platte versorgten Säuglinge hinzu, dann beträgt die mittlere Schreilänge nur noch 1302 ms (\pm 773 ms). Sie ist sowohl gegenüber den Schreien der Kondition mP (Mann-Whitney-U-Test: $p = 0,025$) als auch gegenüber denen der KG-Gruppe (Mann-Whitney-U-Test: $p = 0,047$) signifikant verkürzt. Der Wert für die Kontrollgruppe liegt mit 1428 ms zwischen den Werten der beiden Plattenkonditionen der Säuglinge mit orofazialen Spalten. Statistisch signifikante Unterschiede liegen allerdings nicht vor.

Differenziert man die Spaltgruppen nach Spalttypen und vergleicht diese mit der Kontrollgruppe (Tabelle 10), so zeigt die LKGS-Gruppe zwar kleinere, jedoch zur Kontrollgruppe nicht signifikant verschiedene Mittelwerte in beiden Plattenkonditionen. Die HSH-Gruppe zeigt signifikant größere Mittelwerte ohne Platte ($p = 0,002$) im Vergleich zu KG. Auffällig ist die deutlich verringerte mittlere Schreilänge der HSHoP-Gruppe. Sie zeigt signifikant kleinere Mittelwerte ($p < 0,0001$) zu den anderen Spalttypgruppen (unabhängig von deren Plattenkondition) und zur Kontrollgruppe.

Zwischen den beiden Plattenkonditionen bestehen weder für die HSH- (Wilcoxon: $p = 0,143$) noch für die LKGS-Gruppe (Wilcoxon: $p = 0,059$) signifikante Unterschiede. Der p -Wert für die LKGS-Gruppe zeigt die Tendenz eines Unterschiedes.

Tabelle 10: Ergebnisse der deskriptiven Analyse der mittleren Schreilänge in Abhängigkeit vom Spalttyp und von der Plattenkondition

Mit Platte							
	N	Mittelwert	Std. Fehler	Std. Abw.	Medianwert	Minimum	Maximum
	Schreie	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
LKGS	209	1360	55	801	1183	225	4463
HSH	238	1422	42	647	1357	215	4217
Ohne Platte							
	N	Mittelwert	Std. Fehler	Std. Abw.	Medianwert	Minimum	Maximum
	Schreie	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]	[ms]
LKGS	142	1268	59	700	1129	271	4383
HSH	183	1648*	57	767	1532	355	4827
HSHoP	99	711*	45	450	609	112	2786
KG	181	1428	57	762	1317	327	4562

*signifikanter Unterschied zu KG

3.3. Analyse der Interaktion zwischen der Melodie, ihren Harmonischen und ausgewählten Resonanzfrequenzen

Um die mittlere Gesamtdauer der untersuchten Interaktionen der Resonanzfrequenzen mit der Melodie und ihren Harmonischen untersuchen zu können, wurde der Quotient TNT/S (Kap. 2.4.6.) gebildet. Zunächst für jeden Schrei separat ermittelt, dann über Säuglinge und Gruppen gemittelt, gibt dieser Quotient das Verhältnis der Summe von Tuning und Nichttuningzeiten zur Schreilänge der ersten Resonanzfrequenz an. Aufgrund der geringeren Datenmenge war diese Analyse für die zweite Resonanzfrequenz nicht sinnvoll. Als Nichttuning werden hier auch Bereiche des Einschwingens, Freilaufs und Übergangs angesehen (Kap. 2.4.5.). Es wurden nur Schreie analysiert, deren TNT/S-Quotient $\geq 0,49$ war, also die Dauer der auswertbaren Interaktionen der ersten Resonanzfrequenz mindestens 49 % der Schreilänge betrug.

In Tabelle 11 sind die Mittelwerte für den TNT/S-Quotienten für alle Gruppen, sowie, falls zutreffend, für die Kondition mit bzw. ohne Platte dargestellt. Der TNT/S-Quotient der LKGS-Gruppe steigt mit Entfernung der Platte signifikant (Wilcoxon: $p = 0,004$) an und wird signifikant größer als der TNT/S-Quotient der Kontrollgruppe (Tabelle 12). Allerdings ist dieser Unterschied inhaltlich eher unwesentlich, da der mittlere Quotient zwischen 87 - 94 % schwankt und damit vergleichbar hoch ist.

Es zeigte sich also, dass die hier untersuchten Interaktionen der ersten Resonanzfrequenz vergleichbar lange andauern und ihre mittlere Dauer weder wesentlich von der Plattenkondition beeinflusst ist noch vom Spalttyp abhängt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Deskriptive Statistik des TNT/S-Quotienten im Untersuchungszeitraum

Mit Platte			
	N Schreie	Mittelwert	Std. Abw.
LKGS	209	0,87	0,15
HSH	238	0,91	0,13
Ohne Platte			
	N Schreie	Mittelwert	Std. Abw.
LKGS	142	0,92*	0,13
HSH	183	0,94*	0,10
HSHoP	99	0,89	0,14
KG	181	0,89	0,15

*signifikanter Unterschied zu KG

Tabelle 12: Inter-Gruppen-Vergleich des mittleren TNT/S-Quotienten mittels Mann-Whitney-U-Tests (p-Werte)

Mit Platte					
LKGS/ HSH	LKGS/ HSHoP	LKGS/ KG	HSH/ HSHoP	HSH/ KG	HSHoP/ KG
<0,0001	0,093	0,103	0,244	0,064	/
Ohne Platte					
LKGS/ HSH	LKGS/ HSHoP	LKGS/ KG	HSH/ HSHoP	HSH/ KG	HSHoP/ KG
0,288	0,154	0,047	0,011	0,001	0,738

Signifikanzen grau unterlegt

3.4. Analyse der mittleren Resonanzfrequenzen

Vor der Analyse der Interaktionsmuster der beiden tiefsten Resonanzfrequenzen mit der Melodie und deren Harmonischen wurden auch die Mittelwerte der ersten zwei Resonanzfrequenzen (R1, R2) aller untersuchten Säuglinge mit orofazialen Spalten (Spaltgruppe) untersucht und mit den Referenzwerten der Kontrollgruppe (KG) von Säuglingen ohne orofaziale Spalten im gleichen Alter verglichen. Im Diskussionsteil werden diese Werte mit Angaben aus anderen Studien verglichen (Kap. 4.3.2.). In Abbildung

9 und Abbildung 10 sind die Boxplotdiagramme für R1 und R2 im Gruppenvergleich dargestellt. Tabelle 13 enthält die dazugehörigen Werte der deskriptiven Statistik. Während sich die Gruppen in R1 nicht unterscheiden, hat in der zweiten Resonanzfrequenz die Spaltgruppe signifikant kleinere Mittelwerte im Vergleich zur Kontrollgruppe (Mann-Whitney-U-Test: $p < 0,0001$).

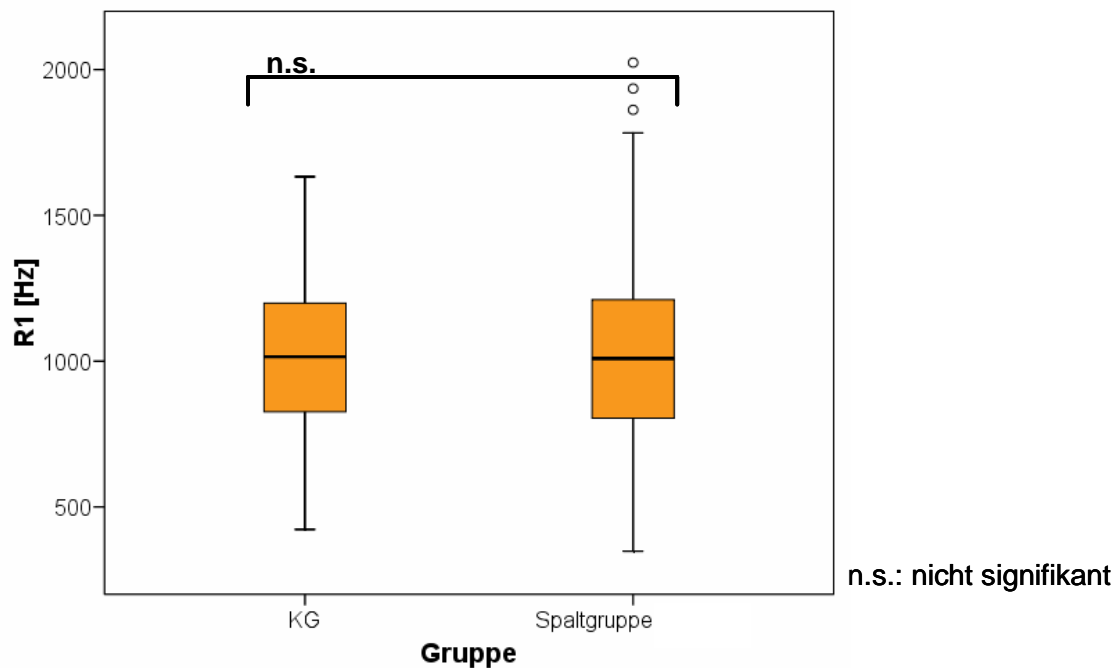


Abbildung 9: Variationsbereich von R1: Vergleich der Säuglinge mit orofazialen Spalten zur Kontrollgruppe im Untersuchungszeitraum

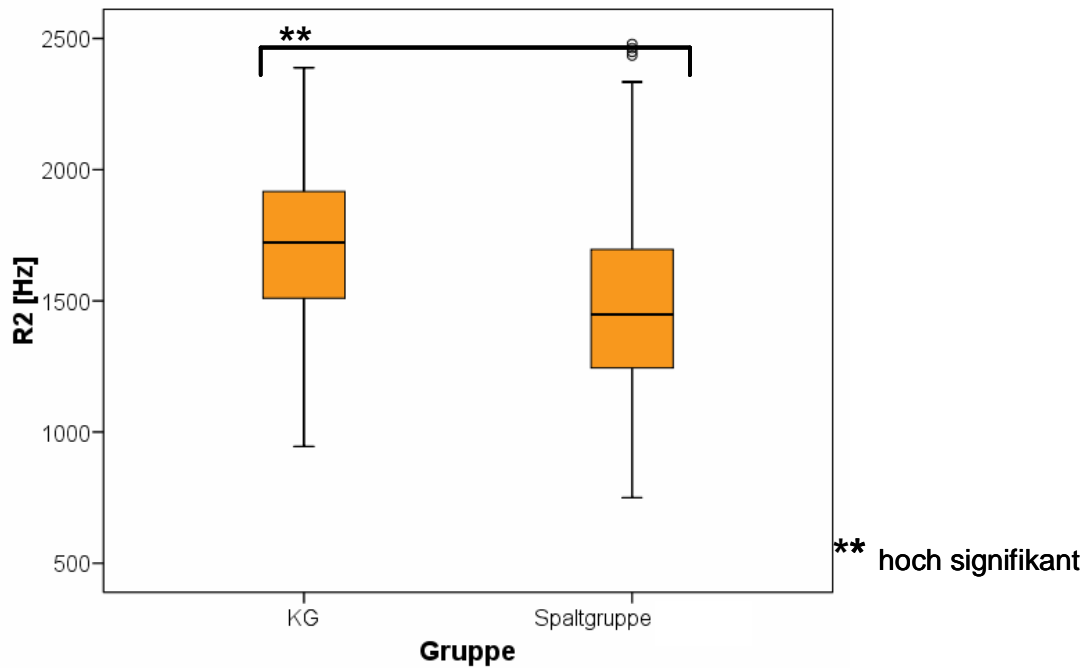


Abbildung 10: Variationsbereich von R2: Vergleich der Säuglinge mit orofazialen Spalten zur Kontrollgruppe im Untersuchungszeitraum

Tabelle 13: Ergebnisse der deskriptiven Analyse von R1 und R2 der Spalttypgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe

	Rn	N Schreie	Mittelwert [Hz]	Std.-Fehler [Hz]	Std.-Abw. [Hz]	Medianwert [Hz]	Minimum [Hz]	Maximum [Hz]
KG	R1	181	1018	18	255	1015	423	1633
	R2	141	1711	25	304	1722	945	2388
Spaltgruppe	R1	871	1008	10	298	1009	348	2024
	R2	330	1478*	19	351	1448	750	2479

*signifikanter Unterschied zu KG

Eine differenziertere Betrachtung in Abhängigkeit vom Spalttyp lieferte signifikante Unterschiede zwischen allen drei betrachteten Spalttypgruppen (Kap. 2.1.1.) und der Kontrollgruppe für R1. Die Ergebnisse der dazu durchgeführten deskriptiven Analyse für die Variablen R1 und R2 sind in Tabelle 14 angegeben. Während die LKGS-Gruppe bezüglich der KG-Gruppe signifikant höhere R1-Werte in der Kondition ohne Platte hat, zeigen die beiden anderen Gruppen eine signifikante Erniedrigung von R1. Mittels des Wilcoxon-Tests wurden gruppenabhängig keine signifikanten Unterschiede zwischen der

Kondition mit Platte und ohne Platte gefunden (Wilcoxon-Test R1: HSH $p = 0,481$, LKGS $p = 0,155$; R2: HSH $p = 0,055$, LKGS $p = 0,055$).

Signifikante Unterschiede in R2 fanden sich nur in einer der drei Spalttypgruppen: Die HSH-Gruppe zeigt signifikant niedrigere R2 Mittelwerte (Abbildung 11 bis Abbildung 14 und Tabelle 15), sowohl mit als auch ohne Platte im Vergleich zur Kontrollgruppe. Mittels des Wilcoxon-Tests wurden gruppenabhängig keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kondition mit Platte und ohne Platte gefunden (Wilcoxon-Test für R2: HSH $p = 0,055$, LKGS: kein Ergebnis aufgrund zu geringer Datenmenge).

Darüber hinaus fanden sich Unterschiede in der Häufigkeit, mit der R2 nachweisbar war. Während 77,9 % der Schreie der Kontrollgruppe eine deutliche Resonanzfrequenz R2 aufwiesen, war das bei den Schreien der Säuglinge mit isolierter Gaumenspalte in der Kondition mit Platte nur zu ca. 50 % der Fall (HSH 54,9 %, HSHoP 49,5 %). In den Schreien der LKGS-Gruppe konnte R2 nur in 12 % der Schreie ermittelt werden. Hier zeigte sich ein leichter Platteneffekt, derart, dass bei Entfernen der Gaumenplatte die Anzahl der auswertbaren Schreie in der LKGS-Gruppe auf 17,6 % und in der HSH-Gruppe auf 64,5 % anstiegen.

Tabelle 14: Ergebnisse der deskriptiven Analyse von R1 und R2 in Abhängigkeit vom Spalttyp und von der Plattenkondition

Mit Platte								
	Rn	N Schreie	Mittelwert [Hz]	Std.-Fehler [Hz]	Std.-Abw. [Hz]	Median [Hz]	Minimum [Hz]	Maximum [Hz]
LKGS	R1	209	1068	18	261	1075	421	1862
	R2	25	1692	71	358	1642	1185	2463
HSH	R1	238	940*	18	278	953	348	1685
	R2	113	1374*	27	297	1400	750	2245
Ohne Platte								
	Rn	N Schreie	Mittelwert [Hz]	Std.-Fehler [Hz]	Std.-Abw. [Hz]	Median [Hz]	Minimum [Hz]	Maximum [Hz]
LKGS	R1	142	1180*	22	266	1177	431	1783
	R2	25	1703	54	272,2	1730	1055	2290
HSH	R1	183	925*	22	308	931	378	2024
	R2	118	1380*	24	271	1398	767	2224
HSHoP	R1	99	946*	31	315	921	480	1569
	R2	49	1723	63	443	1780	831	2479
KG	R1	181	1018	18	255	1015	423	1633
	R2	141	1711	25	304	1722	945	2388

*signifikanter Unterschied zu KG

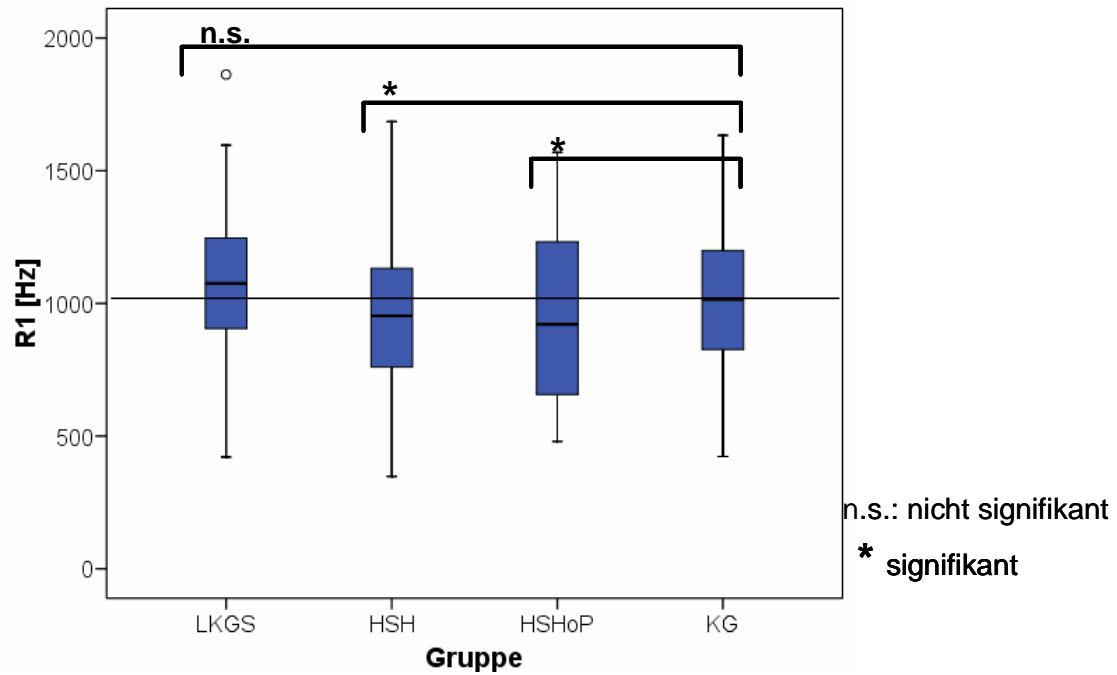


Abbildung 11: Variationsbereich von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)

Im Diagramm wurde eine Referenzlinie auf Höhe des Medianwerts der Kontrollgruppe eingezeichnet, um den Vergleich der Gruppenergebnisse zu erleichtern. Dies erfolgte ebenso in allen folgenden Boxplotdiagrammen.

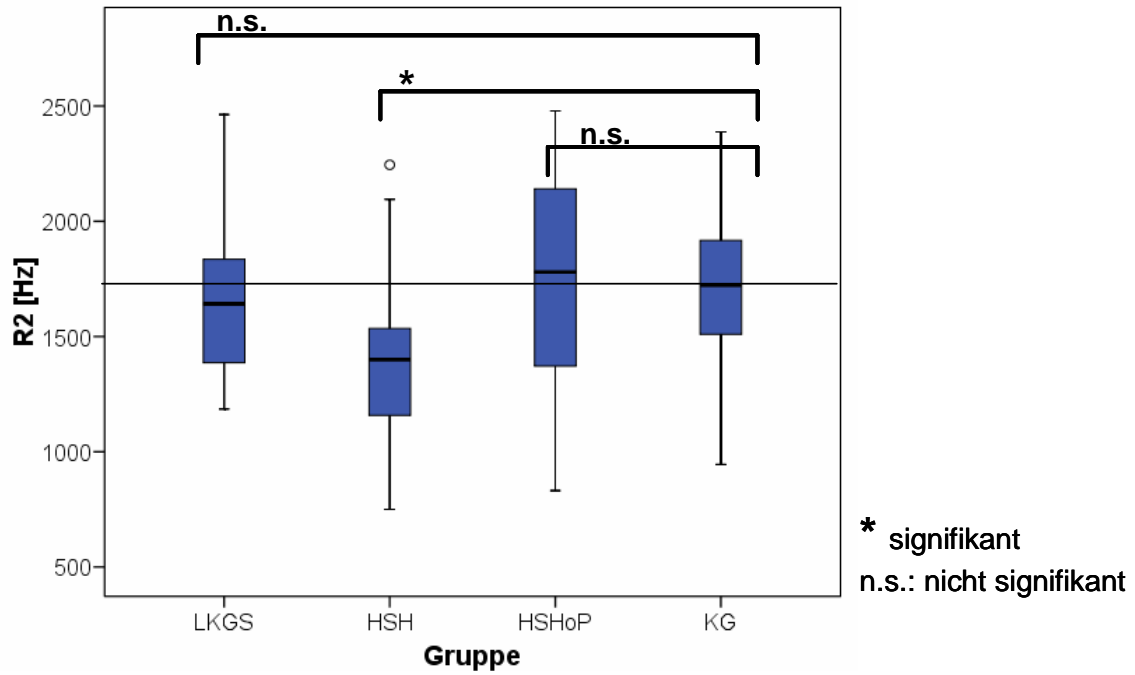


Abbildung 12: Variationsbereich von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)

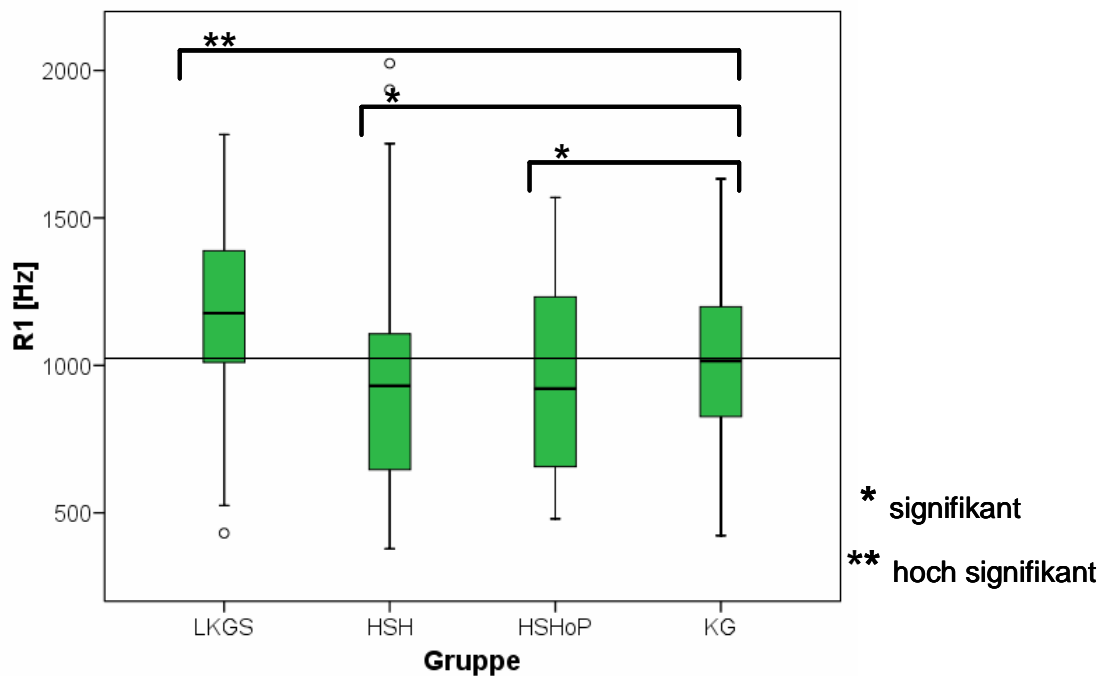


Abbildung 13: Variationsbereich von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)

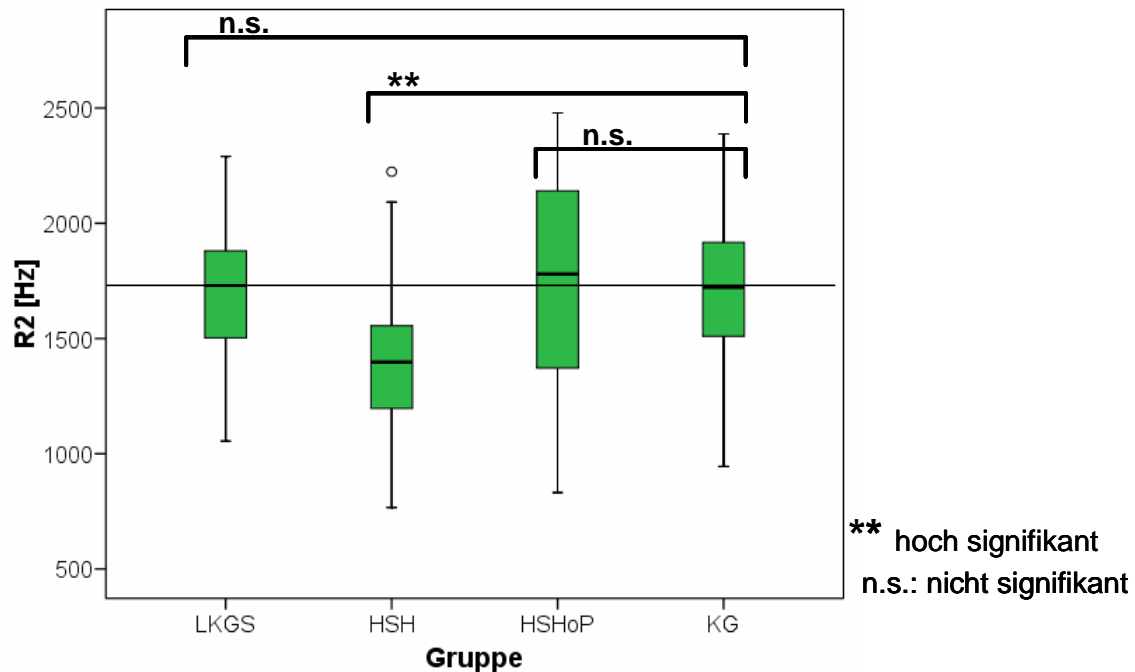


Abbildung 14: Variationsbereich von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)

Tabelle 15: Inter-Gruppen-Vergleich für R1 und R2 mittels Mann-Whitney-U-Tests (p-Werte)

Mit Platte						
	LKGS/HSH	LKGS/HSHoP	LKGS/KG	HSH/HSHoP	HSH/KG	HSHoP/KG
R1	<0,0001	0,001	0,06	0,944	0,007	/
R2	<0,0001	0,668	0,521	<0,0001	<0,0001	
Ohne Platte						
	LKGS/HSH	LKGS/HSHoP	LKGS/KG	HSH/HSHoP	HSH/KG	HSHoP/KG
R1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,478	0,001	0,032
R2	<0,0001	0,873	0,883	<0,0001	<0,0001	0,818

Signifikanzen grau unterlegt

3.4.1. Einzelkindanalyse für die mittleren Resonanzfrequenzen

Um zu prüfen, ob die gefundenen Gruppeneffekte auf Schreiebene auch auf der Säuglingsebene nachvollziehbar sind, wurde eine deskriptive Einzelkindanalyse für die erste und zweite mittlere Resonanzfrequenz durchgeführt. Die Ergebnisse der Signifikanztests sind in Tabelle 19 aufgeführt. Bei der Einzelkindanalyse von R1 der LKGS-Gruppe zeigte sich, dass alle Säuglinge bis auf OD nach Entfernung der Platte höhere R1 Medianwerte als beim Tragen der Platte in ihren Lauten aufwiesen. Somit bestätigt sich das gefundene Gruppenergebnis (Tabelle 14) auch auf Säuglingsebene. OL und AS zeigen als

einzigste Säuglinge der LKGS-Gruppe in der Kondition mit Platte kleinere Resonanzfrequenzen als die Kontrollgruppe. Jedoch liegt kein signifikanter Unterschied vor. Dagegen haben AD, IT und AS in der Kondition ohne Platte, OD in der Kondition mit Platte und TAM in beiden Konditionen eine signifikant größere erste Resonanzfrequenz als die Kontrollgruppe.

Die zweite Resonanzfrequenz konnte in der LKGS-Gruppe nicht für alle Säuglinge ausgewertet werden, da teilweise keine oder zu wenige Daten vorhanden waren.

Das Gruppenergebnis der HSH-Gruppe für R1 zeigte plattenunabhängig einen relativ konstanten Medianwert. Dieser kommt allerdings dadurch zustande, dass sich die Säuglinge unterschiedlich verhalten. Während bei DA und AT mit Entfernung der Platte die R1-Medianwerte anstiegen, sanken sie bei AM und TS. AM und AT zeigen kleinere R1-Werte als die Kontrollgruppe, welche bis auf AM in der Kondition mit Platte, signifikant sind. DA und TS haben dagegen bezüglich der Kontrollgruppe signifikant größere R1-Werte.

Bezüglich der zweiten Resonanzfrequenz (R2) sanken mit Ausnahme der Platte bei DA die Medianwerte, bei TS zeigte sich wiederum ein Anstieg und bei AT gab es keinen Unterschied zwischen der Kondition mit bzw. ohne Platte. Bei AM lagen keine Werte für die Kondition ohne Platte vor. Damit ist das Ergebnis in dieser Gruppe sehr inkonsistent und zeigt eine hohe interindividuelle Variabilität.

In der HSHoP-Gruppe (ME, AL) bestimmt ME mit einem Anteil von 81 % der Schreie für R1 und 80 % für R2 das Gruppenergebnis. Im Vergleich zu AL zeigt sie größere Werte für R1 und R2 (Tabelle 17). Es liegt nur bei AL eine signifikant kleinere erste Resonanzfrequenz als bei der Kontrollgruppe vor.

Tabelle 16: Deskriptive Statistik für jeden Säugling der LKGS-Gruppe für R1 und R2

R1							
Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [Hz]	Std.-Abw. [Hz]	Medianwert [Hz]	Minimum [Hz]	Maximum [Hz]
AD	mit	16	1087	251	1103	696	1514
	ohne	17	1292	265	1282	764	1783
OD	mit	42	1113	185	1138	591	1441
	ohne	22	1043	202	1058	710	1479
OL	mit	32	920	316	948	1596	1175
	ohne	28	978	248	1026	431	1402
TAM	mit	39	1187	217	1192	707	1574
	ohne	25	1259	181	1324	942	1527
IT	mit	37	1109	326	1080	516	1862
	ohne	26	1369	248	1400	746	1757
AS	mit	43	984	179	963	629	1487
	ohne	24	1178	224	1221	674	1638
R2							
Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [Hz]	Std.-Abw. [Hz]	Medianwert [Hz]	Minimum [Hz]	Maximum [Hz]
AD	mit	0	/	/	/	/	/
	ohne	3	1920	522	2148	1323	2290
OD	mit	4	1601	351	1590	1185	2038
	ohne	9	1618	185	1654	1372	1910
OL	mit	1	/	/	/	/	/
	ohne	3	1774	293	1901	1439	1983
TAM	mit	10	1743	291	1745	1199	2306
	ohne	5	1776	114	1740	1632	1923
IT	mit	7	1800	494	1720	1297	2463
	ohne	5	1614	335	1710	1055	1881
AS	mit	3	1497	257	1413	1292	1786
	ohne	0	/	/	/	/	/

Tabelle 17: Deskriptive Statistik für jeden Säugling der HSH-Gruppe für R1 und R2

R1							
Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [Hz]	Std.-Abw. [Hz]	Medianwert [Hz]	Minimum [Hz]	Maximum [Hz]
DA	mit	16	1207	218	1301	760	1471
	ohne	17	1417	314	1448	920	2024
AM	mit	60	1025	238	987	436	1643
	ohne	12	574	86	575	426	778
TS	mit	45	1128	187	1123	721	1685
	ohne	48	1106	197	1108	574	1592
AT	mit	117	788	242	843	348	1410
	ohne	106	804	219	850	378	1313
R2							
Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [Hz]	Std.-Abw. [Hz]	Medianwert [Hz]	Minimum [Hz]	Maximum [Hz]
DA	mit	6	1527	334	1535	930	1866
	ohne	3	1427	22	1427	1405	1448
AM	mit	16	1699	292	1671	1158	2245
	ohne	0	/	/	/	/	/
TS	mit	6	1467	309	1339	1194	1986
	ohne	30	1625	276	1660	875	2224
AT	mit	85	1296	248	1321	750	1994
	ohne	85	1292	215	1333	767	1726

Tabelle 18: Deskriptive Statistik für jeden Säugling der HSHoP-Gruppe für R1 und R2

R1							
Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [Hz]	Std.-Abw. [Hz]	Medianwert [Hz]	Minimum [Hz]	Maximum [Hz]
ME	ohne	80	981	326	1008	421	1596
AL	ohne	19	799	213	792	480	1165
R2							
Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [Hz]	Std.-Abw. [Hz]	Medianwert [Hz]	Minimum [Hz]	Maximum [Hz]
ME	ohne	39	1861	382	1843	899	2479
AL	ohne	10	1188	174	1246	831	1372

Tabelle 19: p-Werte der Mann-Whitney-U-Tests für R1-Mittelwertvergleiche zwischen den Schreien der untersuchten Säuglinge und denen der KG-Gruppe

Säugling	Platte	p-Wert
LKGS		
AD	mit	0,294
	ohne	<0,0001
OD	mit	0,009
	ohne	0,718
OL	mit	0,055
	ohne	0,672
TAM	mit	<0,0001
	ohne	<0,0001
IT	mit	0,134
	ohne	<0,0001
AS	mit	0,299
	ohne	0,004

Säugling	Platte	p-Wert
HSH		
DA	mit	0,004
	ohne	<0,0001
AM	mit	0,971
	ohne	<0,0001
TS	mit	0,008
	ohne	0,022
AT	mit	<0,0001
	ohne	<0,0001
HSHoP		
ME	ohne	0,316
AL	ohne	0,001

Signifikanzen zu KG grau unterlegt

3.5. Charakterisierung von Interaktionsmustern zwischen der Melodie bzw. den Harmonischen und den Resonanzfrequenzen R1 und R2 in Schreien von Säuglingen mit und ohne orofaziale Spalten

3.5.1. Anzahl auswertbarer Interaktionsmuster in Schreien der Säuglinge mit orofazialen Spalten und Auftrittshäufigkeit der Merkmale „Shift“, „Subharmonische“ und „phonatorisches Rauschen“

In den insgesamt 2813 ausgewerteten Schreien (mP: 1449, 51,5 %; oP: 1364, 48,5 %) von Säuglingen mit orofazialen Spalten (Tabelle 5) wurden quantitativ auswertbare Interaktionsmuster in 870 (mP: 447, 51,3 %; oP: 423, 48,6 %) Schreien gefunden (31 % von 2813). Alle in Kapitel 2.4.5. definierten Interaktionsmuster waren dabei vertreten.

Ursache dafür, dass nur 31 % der Schreie diesbezüglich quantitativ auswertbar waren, sind neben methodischen Einschränkungen (Kap. 2.4.2.) bezüglich der hohen mittleren Grundfrequenz auch akustische Eigenschaften wie z. B. plötzliche Frequenzsprünge der Grundfrequenz (Shift), phonatorische Rauschbanden oder Subharmonische. Diese strukturellen Besonderheiten sind in Abbildung 16 bis Abbildung 18 dargestellt.

Vergleicht man die Auftrittshäufigkeit der Strukturmerkmale Shift, Rauschbande und Subharmonische zwischen der Kontrollgruppe und der Spaltgruppe in der Kondition mit Platte, zeigen sich insbesondere Unterschiede im Auftreten von Subharmonischen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 aufgeführt und in Abbildung 15 (Kontrollgruppe gelb, Spaltgruppe braun) dargestellt.

Tabelle 20: Auftrittshäufigkeit der Strukturmerkmale Shift, Rauschbande und Subharmonische im Untersuchungszeitraum (Spaltgruppe mit Platte)

Gruppe	Shift	Rauschbande	Subharmonische
KG	9.76 %	22.58 %	8.73 %
Spaltgruppe	11.18 %	28.90 %	31.90 %

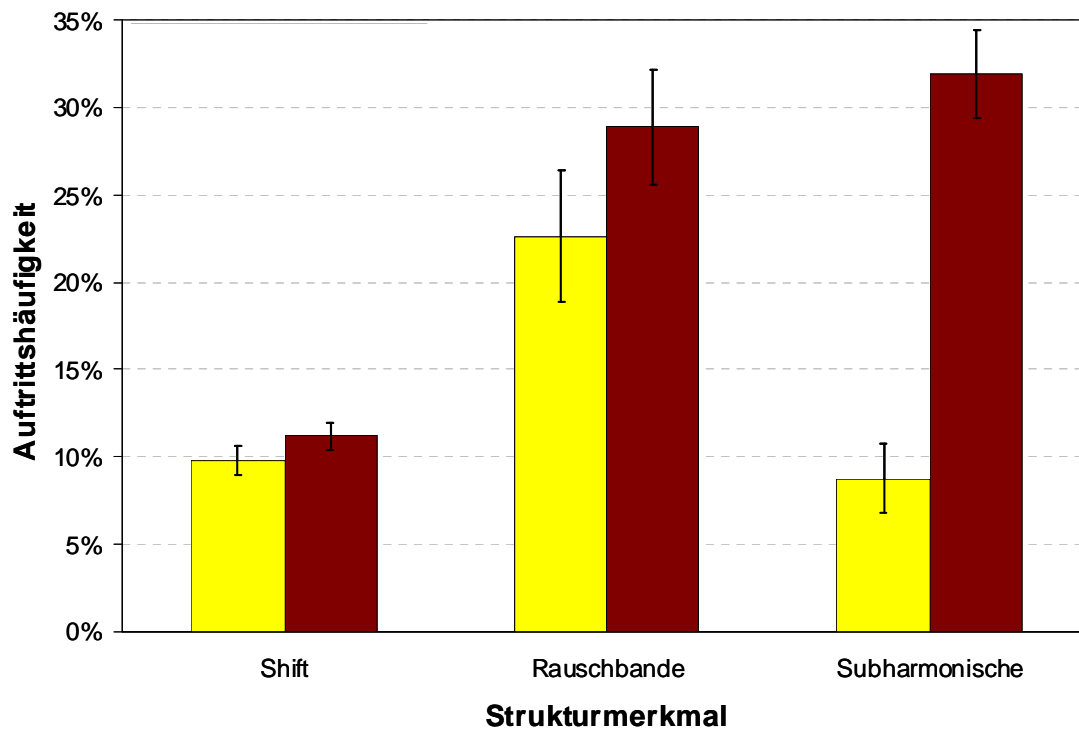


Abbildung 15: Auftrittshäufigkeit der Strukturmerkmale Shift, Rauschbande und Subharmonische im Untersuchungszeitraum

Die Auftrittshäufigkeit aller drei Strukturmerkmale überwiegt in der Spaltgruppe mehr oder weniger deutlich. Während die Strukturmerkmale Shift und Rauschbande in der Spaltgruppe nur geringfügig häufiger als in der KG-Gruppe auftreten, überwiegt die Auftrittshäufigkeit von Subharmonischen in den Schreien der Spaltgruppe (32 %) im Vergleich zu den Schreien der KG-Gruppe (9 %). Dieser Befund ist bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt worden.

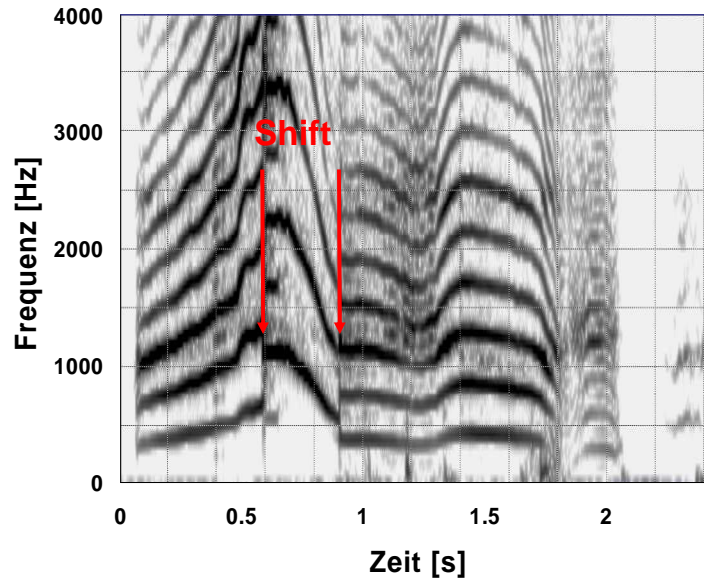


Abbildung 16: Schmalbandspektrogramm eines Schreies mit der strukturellen Besonderheit Shift eines Säuglings (HSHAL) im Alter von 110 Tagen

In der Abbildung ist ein Schmalbandspektrogramm (Frequenz vs. Zeit) der im Laut enthaltenen Frequenzkomponente bis 4 kHz auf einer linearen Skala dargestellt. Die Energie ist mittels einer Grauskala codiert, wobei schwarz für die höchste Energiedichte und weiß für die niedrigste steht. Dies trifft ebenso auf Abbildung 17 und Abbildung 18 zu.

Der dargestellte Schrei besteht aus zwei auf- und absteigenden Melodiebögen. Bevor die ansteigende Flanke des ersten Bogens ihr Maximum erreicht, erfolgt ein plötzlicher Frequenzsprung (Shift) auf eine etwas tiefere Frequenz. Ein weiterer Shift tritt in der absteigenden Flanke auf.

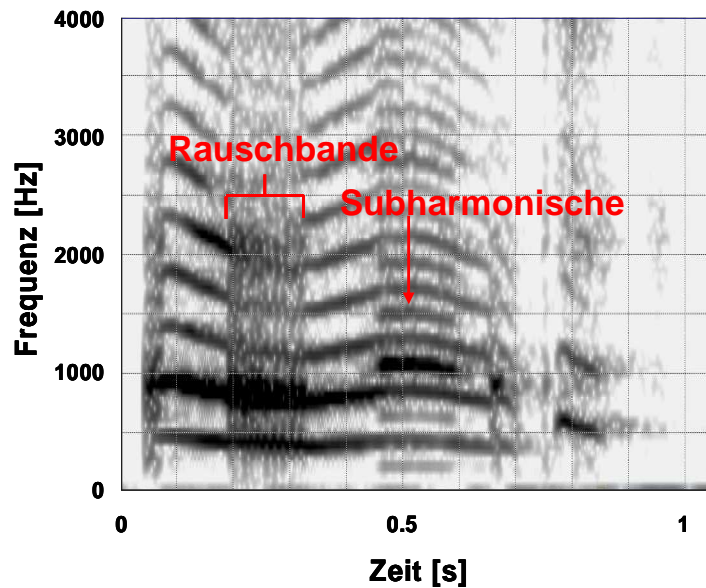


Abbildung 17: Schmalbandspektrogramm eines Schreies zur Veranschaulichung struktureller Besonderheiten in Form von Subharmonischen und phonatorischem Rauschen

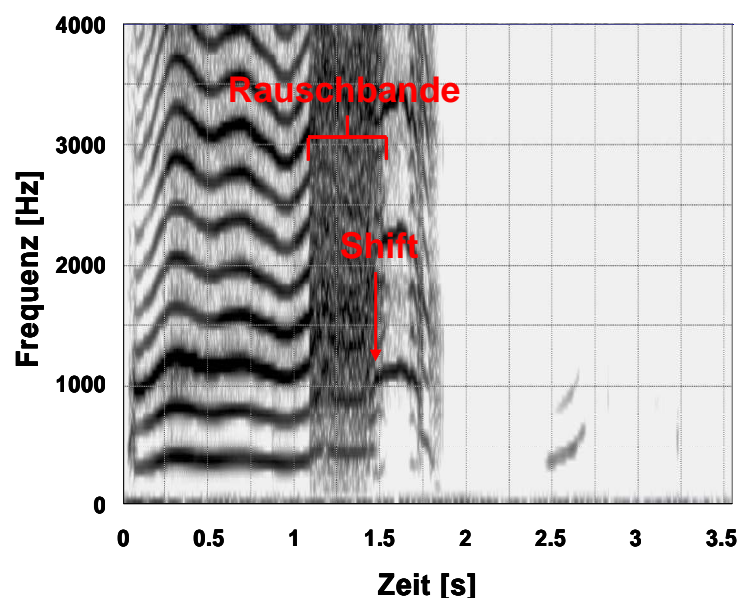


Abbildung 18: Schmalbandspektrogramm eines Schreies zur Veranschaulichung struktureller Besonderheiten in Form einer Rauschbände und Shift

3.5.2. Analyse des T/NT-Quotienten

In einem weiteren Analyseschritt wurde das Verhältnis von Tuning- zu Nichttuningbereichen pro Schrei für alle Schreie mit einem TNT/S-Index $\geq 0,49$ ausgewertet (Kap. 3.3.). Dieser Quotient gibt faktisch an, wie groß das Ausmaß der Abstimmung (Tuning) zwischen R1 und/oder R2 und der Melodie bzw. ihren

Harmonischen ist. Der Grad der Melodiekomplexität (z. B. Einfachbogen, Zweifachbogen) wird dabei nicht berücksichtigt.

Der T/NT-Quotient konnte in insgesamt 870 Schreien von Säuglingen mit orofazialen Spalten untersucht werden, davon fallen 447 Schreie auf die Kondition mit und 423 Schreie auf die Kondition ohne Platte. Typische Beispiele für die beiden Extreme eines großen und eines sehr kleinen Quotienten sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellt.

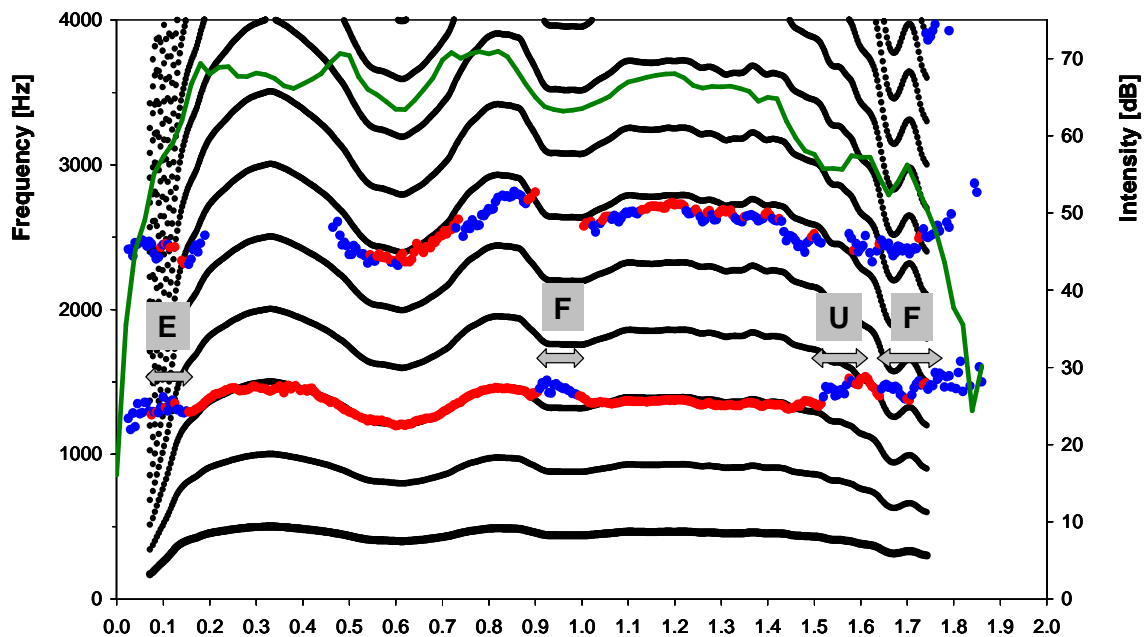


Abbildung 19: Tuningdiagramm zur Veranschaulichung eines Lautes mit ausgeprägtem Tuning in R1 (großer T/NT-Quotient: 3,9) eines Säuglings (TAM) am 101. Tag

Die grauen Pfeile verdeutlichen die Interaktionsmuster Einschwingen (E), Freilauf (F) und Übergang (U), die in die Kategorie Nichttuning (NT) eingehen. Die Melodie besteht aus drei Bögen. R1 und die dritte Harmonische sind mit Ausnahme kürzerer Zeitabschnitte aufeinander abgestimmt. Der T/NT-R1-Quotient ist in diesem Fall 3,9. Auch R2 zeigt teilweise Tuning. Er ist jedoch aufgrund fehlender Formantanteile nicht in die Analyse eingegangen.

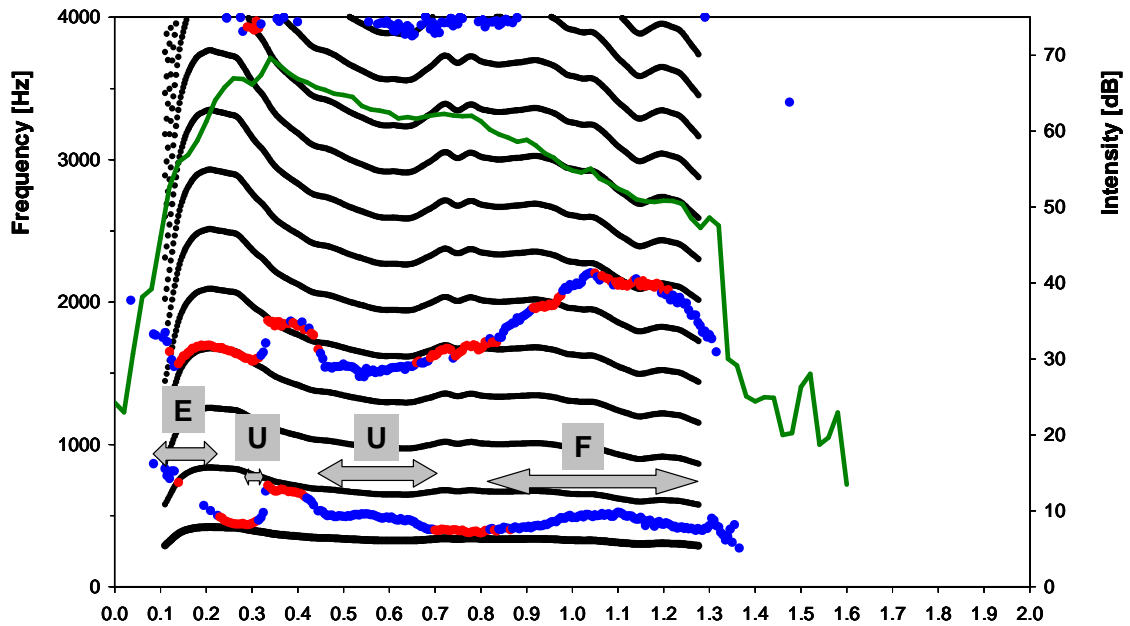


Abbildung 20: Tuningdiagramm zur Veranschaulichung eines Lautes mit wenig Tuning in R1 (kleiner T/NT-Quotient: 0,37) eines Säuglings (AT) am 96. Tag

Die grauen Pfeile verdeutlichen die Interaktionsmuster Einschwingen (E), Freilauf (F) und Übergang (U), die in die Kategorie Nichttuning (NT) eingehen. R1 und R2 zeigen Interaktionen zur 1.-2. bzw. 4.-7. Harmonischen. Allerdings sind die Nichttuningbereiche in R1 sehr deutlich ausgeprägt. (T/NT-Quotient: R1 = 0,37, R2 = 1,28)

Die Verteilungsanalyse des T/NT-Quotienten mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test lieferte keine hinreichende Normalverteilung ($p < 0,0001$) für die Schreie der Säuglinge mit orofazialen Spalten. Die Ergebnisse der deskriptiven Analyse sind in Tabelle 21 aufgeführt und in Boxplotdiagrammen (Abbildung 21 bis Abbildung 24) visuell verdeutlicht. Die geringe Anzahl der Werte der LKGS-Gruppe ($n = 50$) für die zweite Resonanzfrequenz ist bereits im Kapitel 3.4. beschrieben.

Tabelle 21: Ergebnisse der deskriptiven Analyse des T/NT-Quotienten für R1 und R2 in Abhängigkeit vom Spalttyp und von der Plattenkondition

Mit Platte								
	Rn	N Schreie	Mittelwert	Std.-Fehler	Std.-Abw.	Median	Minimum	Maximum
LKGS	R1	209	2,62*	0,34	4,93	1,38	0	57
	R2	25	1,42*	0,21	5,20	0,81	0	61
HSH	R1	238	2,81*	0,36	5,49	1,44	0	56
	R2	113	1,29*	0,11	1,16	0,96	0	8
Ohne Platte								
	Rn	N Schreie	Mittelwert	Std.-Fehler	Std.-Abw.	Median	Minimum	Maximum
LKGS	R1	142	2,78*	0,36	4,28	1,50	0	32
	R2	25	2,34	0,81	4,03	0,81	0	16
HSH	R1	183	2,42*	0,20	2,64	1,75	0	22
	R2	118	1,29*	0,09	1,02	1,1	0	9
HSHoP	R1	98	4,64*	0,73	7,22	2,05	0	34
	R2	47	1,88*	0,260	1,79	1,58	0	11
KG	R1	162	1,76	0,169	2,15	1,13	0	13
	R2	135	1,45	0,447	5,120	0,81	0	61

* signifikanter Unterschied zu KG

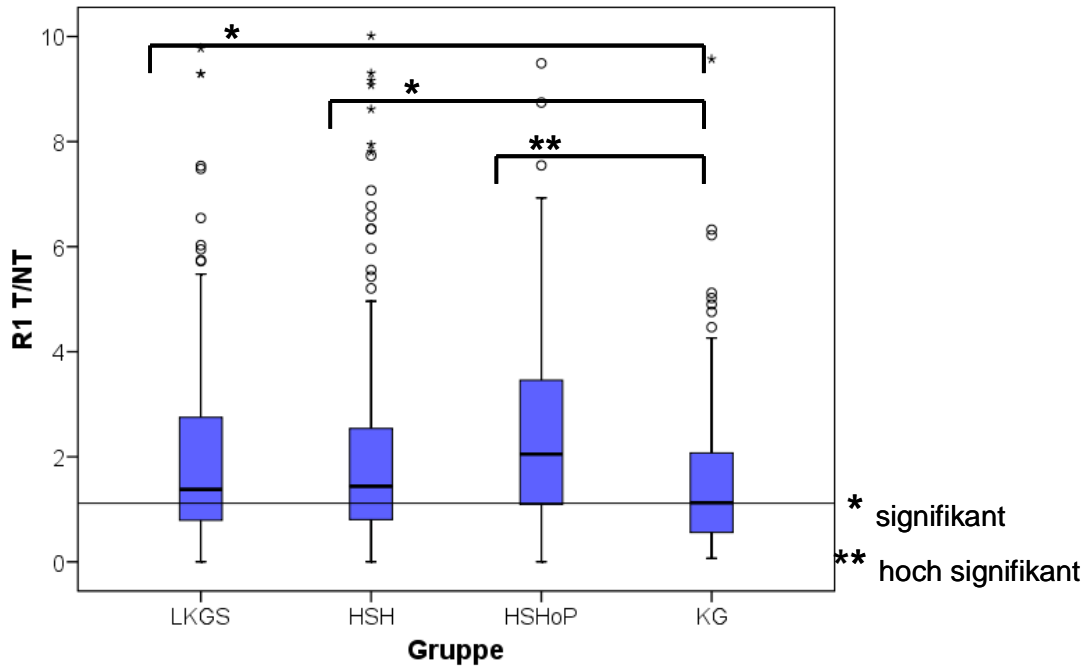


Abbildung 21: Variationsbereich des T/NT-Quotienten für R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)

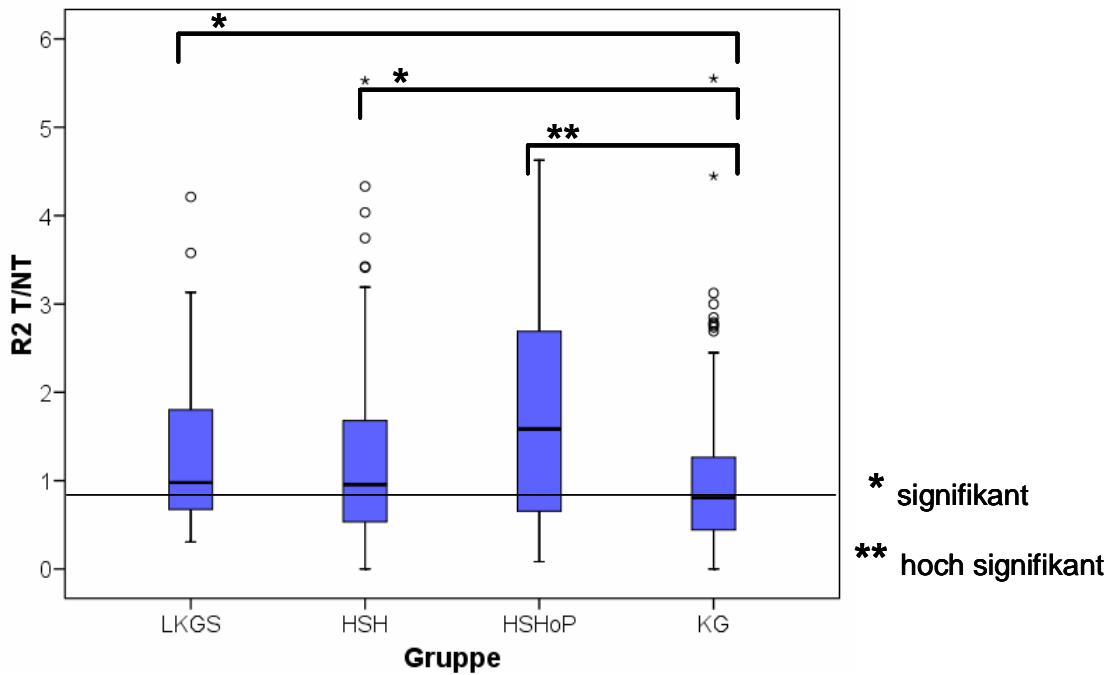


Abbildung 22: Variationsbereich des T/NT-Quotienten für R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)

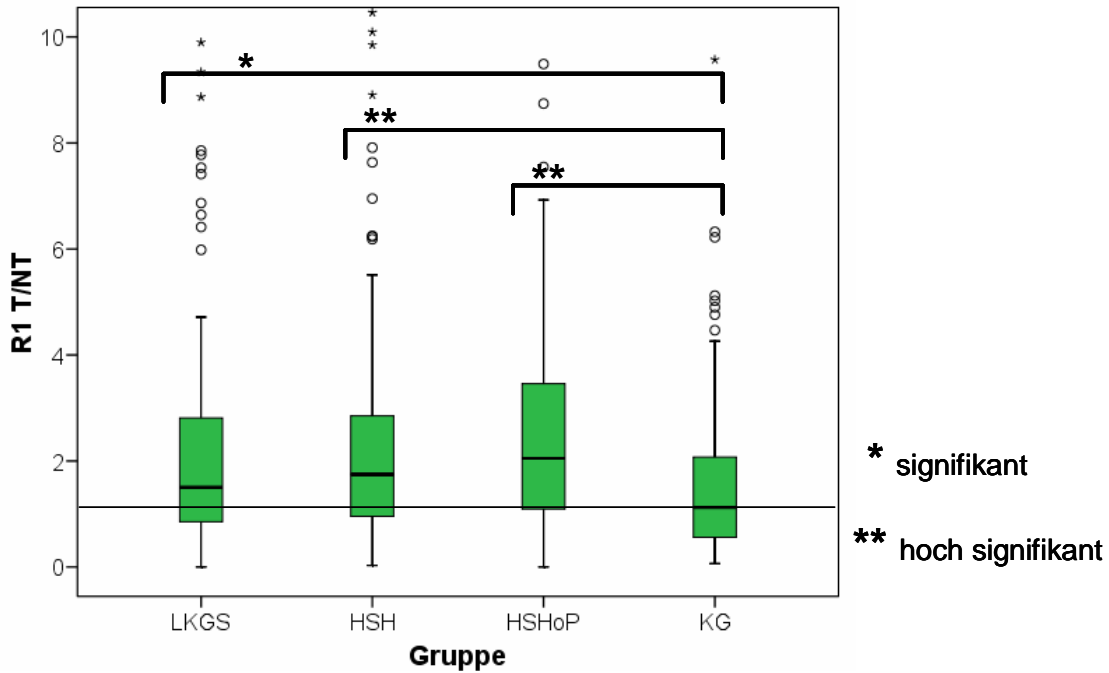


Abbildung 23: Variationsbereich des T/NT-Quotienten für R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)

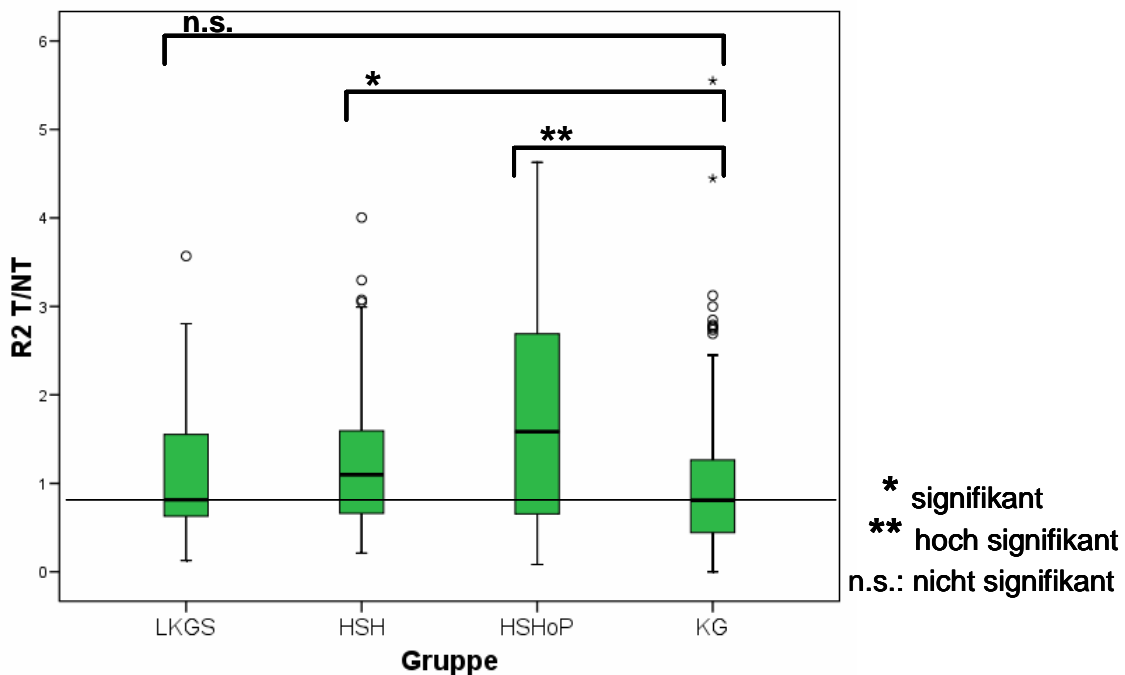


Abbildung 24: Variationsbereich des T/NT-Quotienten für R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)

Die Ergebnisse der Signifikanztests sind in Tabelle 22 (Mann-Whitney-U-Test) bzw. Tabelle 23 (Wilcoxon-Test) dargestellt. Alle Spalttypgruppen zeigen mit Ausnahme der LKGS-Gruppe in R2 in der Kondition ohne Platte signifikant größere Werte des T/NT-Quotienten für die erste und zweite Resonanzfrequenz als die Kontrollgruppe. Der T/NT-Quotient der HSHoP-Gruppe ist zudem in der

ersten Resonanzfrequenz signifikant größer als der der LKGS-Gruppe und in der zweiten Resonanzfrequenz signifikant größer als der der HSH-Gruppe. Nach Einsetzen der Gaumenplatte sind die R1- und R2-Werte aller Spalttypgruppen weiterhin signifikant größer als die der Kontrollgruppe. Die LKGS-Gruppe zeigt in R2 sowohl mit als auch ohne Platte den gleichen Medianwert des T/NT-Quotienten wie die Kontrollgruppe (0,81).

Die T/NT-Quotienten der LKGS- bzw. HSH-Gruppe sind in der Kondition ohne Platte größer als in der Kondition mit Platte. Die Differenz ist jedoch nicht signifikant und zeigt allenfalls eine Tendenz an. Vergleicht man die T/NT-Werte der ersten und zweiten Resonanzfrequenz (Tabelle 23) plattenunabhängig für jede Gruppe so wird deutlich, dass der R1-Quotient signifikant größer als der R2-Quotient ist. Weiterhin zeigt plattenabhängig nur die HSH-Gruppe in beiden Konditionen einen signifikant größeren R1-Quotienten. Für die LKGS-Gruppe liegt nur in der Kondition ohne Platte ein signifikant größerer R1- als R2-T/NT-Quotient vor.

Tabelle 22: Inter-Gruppen-Vergleich des T/NT-Quotienten für R1 und R2 mittels Mann-Whitney-U-Tests (p-Werte)

Mit Platte						
Rn	LKGS/ HSH	LKGS/ HSHoP	LKGS/ KG	HSH/ HSHoP	HSH/ KG	HSHoP/ KG
R1	0,811	0,005	0,014	0,007	0,007	/
R2	0,352	0,347	0,025	0,021	0,038	
Ohne Platte						
Rn	LKGS/ HSH	LKGS/ HSHoP	LKGS/ KG	HSH/ HSHoP	HSH/ KG	HSHoP/ KG
R1	0,245	0,029	0,002	0,134	<0,0001	<0,001
R2	0,295	0,161	0,442	0,050	0,001	<0,0001

Signifikanzen grau unterlegt

Tabelle 23: Intra-Gruppen-Vergleich des T/NT-Quotienten zwischen R1 und R2 mittels Wilcoxon-Tests (p-Werte)

	LKGS	HSH	HSHoP	KG
Gesamt	0,005	<0,0001	0,001	<0,0001
Mit Platte	0,122	0,003	/	
Ohne Platte	0,045	<0,0001		

Signifikanzen grau unterlegt

3.5.2.1. Einzelkindanalyse des T/NT-Quotienten

Um zu prüfen, ob die gefundenen Effekte auf Gruppenebene auch auf der Säuglingsebene wiederzufinden sind, wurde eine Einzelkindanalyse für den T/NT-Quotienten für R1 durchgeführt. Aufgrund der deutlich geringeren Datenmenge war diese Analyse für R2 auf der Ebene der einzelnen Säuglinge nicht durchführbar.

In der LKGS-Gruppe zeigen die Säuglinge AD und IT eine zu allen anderen Säuglingen der Gruppe gegensätzliche Tendenz nach Herausnahme der Platte. Bei ihnen fällt im Gegensatz zu den anderen Säuglingen der Medianwert des T/NT-Quotienten der Schreie nach Herausnahme der Platte ab. Da Säugling IT trotzdem signifikant größere T/NT-Quotienten (Mann-Whitney-U-Test: mit Platte: $p = 0,014$, ohne Platte: $p = 0,04$) im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigt, beeinflusst dies die vorhergehend dargestellten Gruppenergebnisse nicht maßgeblich. Ebenso wie bei AD sinkt ITs Medianwert mit Entfernung der Platte ganz leicht. Auch ohne seine 63 eingehenden Werte bleibt das in Kapitel 3.5.2. beschriebene Gruppenresultat stabil. In der Kondition mit Platte haben alle Säuglinge der LKGS-Gruppe, mit Ausnahme von OL, einen größeren T/NT-Quotienten als die Kontrollgruppe und bestätigen damit die Ergebnisse der Gruppenanalyse. Signifikante Unterschiede bezüglich der KG-Gruppe zeigen AD (Mann-Whitney-U-Test: mit: $p = 0,014$, ohne: $p = 0,040$), AS (Mann-Whitney-U-Test: mit: $p = 0,041$, ohne: $p = 0,026$), IT (Mann-Whitney-U-Test: mit: $p = 0,014$, ohne: $p = 0,04$) in beiden Plattenkonditionen und OD in der Kondition ohne Platte (Mann-Whitney-U-Test: $p = 0,042$).

In der HSH-Gruppe zeigte sich in der Einzelkindanalyse, dass besonders AM aufgrund seines großen R1-T/NT-Quotienten in der Kondition mit Platte und seines, im Vergleich zu den anderen Säuglingen relativ kleinen, T/NT-Quotienten ohne Platte auffällt. Die Schreie von AM in der Kondition mit Platte

zeigen zudem einen signifikant größeren T/NT-Quotienten als die Schreie der Kontrollgruppe (Mann-Whitney-U-Test: $p < 0,0001$). Auf die vorhergehend dargestellten Gruppenergebnisse hat dies jedoch keinen inhaltlichen Einfluss, da der T/NT-Quotient der HSH-Gruppe, trotz des gegensätzlichen Verhaltens des Säuglings AM, nach der Entfernung der Platte signifikant größer als mit Platte ist. TS und AT scheinen dies durch signifikant größere T/NT-Quotienten in der Kondition ohne Platte im Vergleich zur Kontrollgruppe zu begünstigen.

In der HSHoP-Gruppe fällt vor allem AL aufgrund ihres sehr großen Medianwertes auf (4,25). Der Medianwert von ME liegt mit 1,70 nicht so deutlich oberhalb des Medianwerts der Kontrollgruppe (1,13), jedoch unterscheiden sich beide signifikant von der Kontrollgruppe (Mann-Whitney-U-Test: ME: $p = 0,001$, AL: $p < 0,0001$).

Tabelle 24: Einzelkindanalyse der Säuglinge der LKGS-Gruppe für den T/NT-Quotienten für R1

Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert	Std. Abw	Medianwert	Minimum	Maximum
AD	mit	16	3,18	3,95	2,15*	0,00	15,85
	ohne	17	1,98	1,16	1,54*	0,56	4,40
OD	mit	42	4,21	9,44	1,21	0,19	56,60
	ohne	22	5,25*	8,78	1,55	0,19	32,00
OL	mit	32	2,04	3,07	1,04	0,00	14,33
	ohne	28	2,09	2,44	1,47	0,00	11,04
TAM	mit	39	2,12	2,64	1,26	0,34	16,09
	ohne	25	2,28	2,38	1,36	0,48	9,34
IT	mit	37	2,27*	2,62	1,61	0,14	16,08
	ohne	26	2,62*	3,32	1,54	0,13	14,58
AS	mit	43	2,04*	2,20	1,46	0,08	13,40
	ohne	24	2,54*	3,00	1,48	0,46	13,58

*signifikanter Unterschied zu KG

auffällige Werte fett markiert

Tabelle 25: Einzelkindanalyse der Säuglinge der HSH-Gruppe für den T/NT-Quotienten für R1

Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert	Std. Abw.	Medianwert	Minimum	Maximum
DA	mit	16	1,40	1,06	0,89	0,36	4,48
	ohne	17	1,74	1,05	1,48	0,71	4,92
AM	mit	60	3,48*	4,85	2,20	0,00	32,60
	ohne	12	1,55	0,77	1,54	0,25	2,47
TS	mit	45	1,63	1,34	1,31	0,07	7,74
	ohne	48	2,19*	1,40	1,83	0,41	7,91
AT	mit	117	3,11	6,90	1,46	0,00	55,92
	ohne	106	2,74*	3,26	1,85	0,03	22,39

*signifikanter Unterschied zu KG

auffällige Werte fett markiert

Tabelle 26: Einzelkindanalyse der Säuglinge der HSHoP-Gruppe für den T/NT-Quotienten für R1

Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert	Std. Abw.	Medianwert	Minimum	Maximum
ME	ohne	79	4,11*	7,16	1,70	0	34
AL	ohne	19	6,87*	7,24	4,25	1	25

*signifikanter Unterschied zu KG

3.5.3. Analyse des Interaktionsmusters TUT

Für das Interaktionsmuster in Form von Tuning-Übergang-Tuning-Ereignissen (TUT) wurden zwei Varianten unterschieden: TUTno mit einem Übergang von der Harmonischen Hx nach Hx + 1 und TUTnu mit einem Übergang von Hx nach Hx - 1 (Kap. 2.4.5., Tabelle 6).

In Abbildung 25 ist ein typisches Beispiel für die TUTno-Interaktion, in Abbildung 26 für die TUTnu-Interaktion dargestellt.

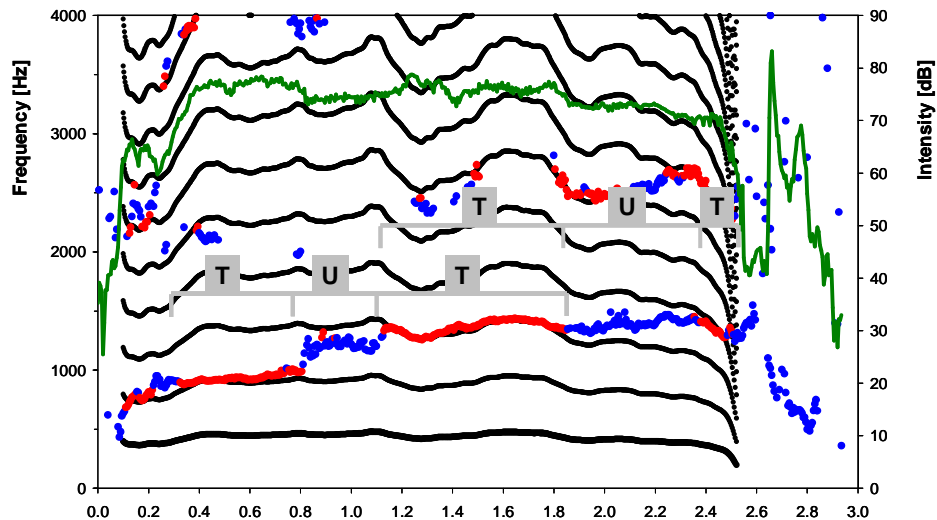


Abbildung 25: Tuningdiagramm mit einem typischen Beispiel zweier TUTno-Interaktionen von R1

Die zwei auftretenden TUT-Interaktionen mit einem Übergang auf eine jeweils höhere Harmonische sind gekennzeichnet und entsprechend beschriftet.

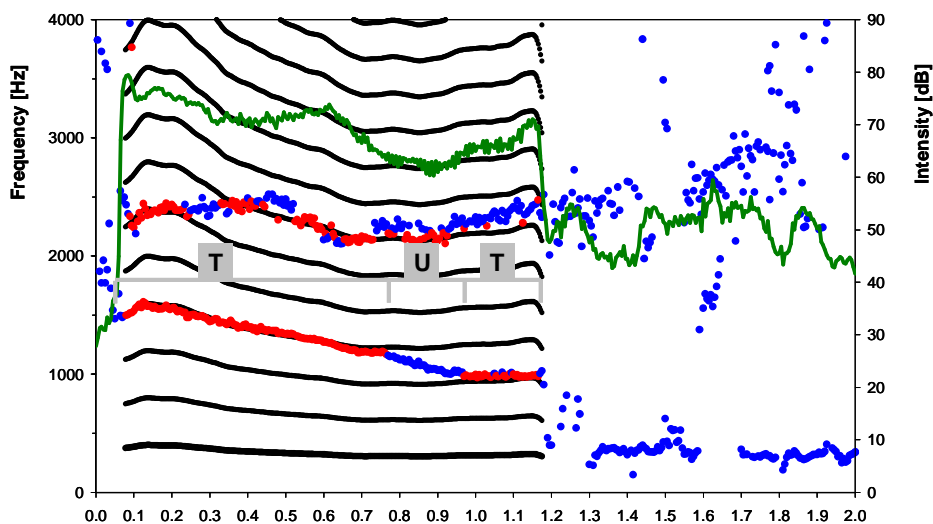


Abbildung 26: Tuningdiagramm zur Verdeutlichung der TUTnu-Interaktion von R1

Die auftretende TUT-Interaktion mit einem Übergang auf eine tiefere Harmonische ist gekennzeichnet und entsprechend beschriftet.

Die Analyse der Auftrittshäufigkeiten des TUT-Interaktionsmusters für R1 und R2 lieferte sowohl deutliche Unterschiede zwischen der Spalt- und der Kontrollgruppe als auch zwischen der Kondition mit und ohne Platte. Dies wird in den nachfolgenden Kapiteln 3.5.3.1. bis 3.5.3.4. aufgezeigt.

3.5.3.1. TUT für R1 unabhängig von der Plattenkondition

Die ermittelten Auftrittshäufigkeiten von TUTno- und TUTnu-Interaktionen in den Säuglingsschreien wurden zunächst ohne Berücksichtigung der Plattenkondition ermittelt und sind in Tabelle 27 und Tabelle 28 aufgeführt.

Tabelle 27: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R1

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	32	15,3	84,7	15,3
	1	122	58,4		
	2	46	22,0		
	3	9	4,3		
HSH	0	19	6,3	93,7	6,3
	1	172	57		
	2	89	29,5		
	3	18	6,0		
	4	2	0,7		
	5	1	0,3		
	6	1	0,3		
HSHoP	0	9	16,1	83,9	16,1
	1	37	66,1		
	2	8	14,3		
	3	2	3,6		
KG	0	18	15,1	84,9	15,1
	1	67	56,3		
	2	20	16,8		
	3	10	8,4		
	4	3	2,5		
	5	1	0,8		

Während sich die Spalttypgruppen LKGS und HSHoP bezüglich der Auftrittshäufigkeit von TUTno-Interaktionsmustern zwischen R1 und den Harmonischen nicht unterscheiden (84 – 85 %), zeigt die HSH-Gruppe eine deutlich höhere Auftrittshäufigkeit (94 %) (Tabelle 27). Analysiert man in den Schreien, die eine TUTno-Interaktion aufweisen, wie häufig dieses Muster pro Schrei aufgetreten ist, dann zeigt sich, dass in ca. der Hälfte aller Schreie das Muster nur einmal vorkam (56,3 - 66,1 %). Unterschiede zwischen den

Spalttypgruppen zeigen sich bei Schreien, die zwei TUTno-Interaktionen enthalten. TUTno tritt in der LKGS- (22,0 %) und HSH-Gruppe (29,5 %) deutlich häufiger auf als in der HSHoP- (14,3 %) und KG-Gruppe (16,8 %). Das dreimalige Auftreten von TUTno kommt in der KG-Gruppe pro Schrei mit 8,4 % am häufigsten vor, gefolgt von der HSH-Gruppe mit 6 %. Die TUTno-Interaktion wurde bis zu sechsmal pro Schrei in der HSH-, bzw. bis zu fünfmal in der KG-Gruppe beobachtet, während in den anderen Gruppen TUTno maximal dreimal pro Schrei auftritt.

Tabelle 28: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R1

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	101	48,3	51,7	48,3
	1	81	38,8		
	2	22	10,5		
	3	4	1,9		
	4	1	0,5		
HSH	0	210	69,5	30,5	69,5
	1	69	22,8		
	2	17	5,6		
	3	6	2,0		
HSHoP	0	31	55,4	44,6	55,4
	1	21	37,5		
	2	4	7,1		
KG	0	53	44,5	55,5	44,5
	1	50	42		
	2	12	10,1		
	3	3	2,5		
	5	1	0,8		

In den Schreien aller Gruppen tritt unabhängig vom Tragen der Platte das Interaktionsmuster TUTnu deutlich seltener (31 - 56 %) als das Interaktionsmuster TUTno (84 - 94 %) auf.

Das Interaktionsmuster TUTnu von R1 wurde in der Spalttypgruppe HSH mit 30,5 % (Tabelle 28) am seltensten gefunden. In allen Gruppen findet man das einmalige Auftreten einer TUTnu-Interaktion pro Schrei am häufigsten. LKGS

und HSHoP liegen beim einmaligen Auftreten von TUTnu mit 38,8 % bzw. 37,5 % nah beieinander, und ähneln diesbezüglich der KG-Gruppe (42 %). Der ermittelte Wert für die HSH-Gruppe liegt erwartungsgemäß darunter (22,8 %). Beim zweimaligen Auftreten des TUTnu-Interaktionsmusters pro Schrei haben die LKGS-Gruppe mit 10,5 % und die KG-Gruppe mit 10,1 % gleiche Auftrittshäufigkeiten. Der Wert für die HSHoP-Gruppe beträgt 7,1 % und für die HSH-Gruppe 5,6 %. Auch bezüglich der Häufigkeit eines dreimaligen Auftretens von TUTnu-Interaktionen pro Schrei ähneln sich die Gruppen (HSH: 2,0 %, LKGS: 1,9 %, KG: 2,5 %). In der HSHoP-Gruppe konnte TUTnu im Gegensatz zu den anderen Gruppen nur maximal zweimal pro Schrei beobachtet werden, während in der LKGS-Gruppe die Interaktion bis zu viermal pro Schrei und in der KG-Gruppe bis zu fünfmal auftrat.

3.5.3.2. TUT für R1 in Abhängigkeit von der Plattenkondition

Zur Untersuchung eines möglichen Einflusses der Gaumenplatte auf die Häufigkeit der beobachteten TUT-Interaktionen wurden korrespondierende Analysen zu den in Kapitel 3.5.3.1. beschriebenen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 29 bis Tabelle 32 aufgeführt.

Tabelle 29: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R1 von Schreien, die mit eingesetzter Platte erzeugt wurden.

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	20	15,9	84,1	15,9
	1	71	56,3		
	2	30	23,8		
	3	5	4,0		
HSH	0	11	6,9	93,1	6,9
	1	96	60,4		
	2	44	27,7		
	3	7	4,4		
	4	1	0,6		

Tabelle 30: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R1 von Schreien, die ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden.

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	12	14,5	85,5	14,5
	1	51	61,4		
	2	16	19,3		
	3	4	4,8		
HSH	0	8	5,6	94,4	5,6
	1	76	53,1		
	2	45	31,5		
	3	11	7,7		
	4	1	0,7		
	5	1	0,7		
	6	1	0,7		

Das Interaktionsmuster TUTno tritt in der HSH-Gruppe unabhängig von der Plattenkondition häufiger als in der LKGS-Gruppe auf (Kap. 3.5.3.1.). In beiden Gruppen steigt die Häufigkeit beobachteter TUTno-Interaktionen mit der Herausnahme der Platte leicht an (Anstieg in LKGS: 1,4%; HSH: 1,3%). Betrachtet man die Häufigkeit der TUT-Interaktion pro Schrei, dann ergibt sich folgende Tendenz: Während mit der Herausnahme der Platte die Häufigkeit des einmaligen Auftretens von TUTno-Interaktionen pro Schrei bei der LKGS-Gruppe ansteigt und die des zweimaligen Auftretens dafür abfällt, ist dies bei der HSH-Gruppe nicht der Fall. In den Schreien, die ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden, konnten hier zwei- und dreimalige TUTno-Interaktionen pro Schrei häufiger beobachtet werden als in den mit eingesetzter Platte erzeugten Schreien. Auch konnten diese Interaktionen in der Kondition ohne Platte bis zu sechsmal pro Schrei beobachtet werden, mit Platte dagegen nur bis zu viermal pro Schrei. Im Gegensatz dazu tritt TUTno in der LKGS-Gruppe sowohl mit als auch ohne Platte maximal dreimal pro Schrei auf.

Das Interaktionsmuster TUTnu tritt bei der LKGS-Gruppe unabhängig von der Plattenkondition häufiger als in der HSH-Gruppe auf (vgl. Kap. 3.5.3.1., Tabelle 31, Tabelle 32).

Tabelle 31: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R1 von Schreien, die mit eingesetzter Platte erzeugt wurden.

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	64	50,8	49,2	50,8
	1	47	37,3		
	2	13	10,3		
	3	2	1,6		
HSH	0	113	71,1	28,9	71,1
	1	36	22,6		
	2	8	5,0		
	3	2	1,3		

Tabelle 32: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R1 von Schreien, die ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden.

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	37	44,6	55,4	44,6
	1	34	41,0		
	2	9	10,8		
	3	2	2,4		
	4	1	1,2		
HSH	0	97	67,8	32,2	57,7
	1	33	23,1		
	2	9	6,3		
	3	4	2,8		

Mit der Herausnahme der Platte steigen in den Schreien beider Spalttypgruppen die Häufigkeiten für das Auftreten von TUTnu an, unabhängig von der Anzahl der TUTnu-Interaktionen pro Schrei. Dieser Anstieg ist deutlicher als bei den TUTno-Interaktionen von R1. Die LKGS-Gruppe vollzieht bis zu vier TUTnu-Interaktionen pro Schrei.

3.5.3.3. TUT für R2 unabhängig von der Plattenkondition

In analoger Weise wie für die TUT-Interaktionen von R1 wird in diesem Kapitel die Auftrittshäufigkeit von TUT-Interaktionen für R2 beschrieben (Tabelle 33, Tabelle 34).

Tabelle 33: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R2

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	1	3,7	96,3	3,7
	1	18	66,7		
	2	7	25,9		
	3	1	3,7		
HSH	0	7	3,6	96,4	3,6
	1	79	40,9		
	2	67	34,7		
	3	28	14,5		
	4	10	5,2		
HSHoP	0	6	16,7	83,3	16,7
	1	25	69,4		
	2	5	13,9		
KG	0	19	10,5	89,5	10,5
	1	51	28,2		
	2	21	11,6		
	3	11	6,1		
	4	2	1,1		
	6	1	0,6		

Das Interaktionsmuster TUTno für die zweite Resonanzfrequenz wurde in den Gruppen HSH und LKGS in 96 % der Schreie, in denen R2 analysiert werden konnte, gefunden (Tabelle 14). In der HSHoP- und der KG-Gruppe wurde TUTno in 83,3 % bzw. 89,5 % der untersuchten Schreie beobachtet. Ein einmaliges TUTno-Ereignis pro Schrei kommt mit 66,7 % bis 69,4 % in den Spalttypgruppen LKGS und HSHoP sehr häufig vor, während es in der HSH-Gruppe nur in 40,9 % auftritt. In der KG-Gruppe findet ein einmaliges TUTno-Ereignis in 28 % der Schreie statt, also deutlich seltener. Das zweimalige Auftreten von TUTno pro Schrei zeigt größere Unterschiede zwischen den

Gruppen: Es wurde in der HSH-Gruppe mit 34,7 % am häufigsten beobachtet, gefolgt von LKGS- (25,9 %), HSHoP- (13,9 %) und KG-Gruppe (11,6 %). In der HSHoP-Gruppe tritt die TUTno-Interaktion maximal zweimal und in der LKGS-Gruppe bis zu dreimal pro Schrei auf, während in der HSH-Gruppe TUTno-Interaktionen bis zu fünfmal und in der Kontrollgruppe bis zu sechsmal pro Schrei auftreten können.

Das Interaktionsmuster TUTnu für R2 tritt in allen Gruppen unabhängig vom Tragen der Platte deutlich seltener als das Interaktionsmuster TUTno auf.

Tabelle 34: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R2

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	18	66,7	33,3	66,7
	1	9	33,3		
HSH	0	136	70,5	29,5	70,5
	1	45	23,3		
	2	11	5,7		
	3	1	0,5		
HSHoP	0	19	52,8	47,2	52,8
	1	12	33,3		
	2	5	13,9		
KG	0	46	43,8	56,2	43,8
	1	44	41,9		
	2	9	8,6		
	3	4	3,8		
	4	2	1,9		

Das Interaktionsmuster TUTnu für die zweite Resonanzfrequenz trat in der Kontrollgruppe mit 56,2 % am häufigsten auf, gefolgt von der HSHoP-Gruppe (47,2 %). Die LKGS-Gruppe zeigte mit 33,3 %, genauso wie die HSH-Gruppe, mit 29,5 % deutlich weniger Interaktionsereignisse dieser Art. Auffällig ist hier die im Vergleich zur Auftrittshäufigkeit des TUTnu-Interaktionsmusters von R1 (51,7 %) der LKGS-Gruppe geringe Anzahl der TUTnu-Ereignisse von R2 (33,3 %). Auch hier nimmt die Häufigkeit mit steigender Anzahl der TUTnu pro Schrei deutlich ab. Die Kontrollgruppe zeigt das einmalige Auftreten von TUTnu am häufigsten (41,9 %). In der LKGS- und der HSHoP-Gruppe findet das

einmalige Auftreten von TUTnu mit 33,3 % gleich häufig statt, die HSH-Gruppe hat dagegen mit 23,3 % das seltenste Vorkommen des Interaktionsmusters. In der LKGS-Gruppe kommt TUTnu maximal einmal, in der HSHoP-Gruppe zweimal, in der HSH-Gruppe dreimal und in der KG-Gruppe viermal pro Schrei vor.

Das Interaktionsmuster TUTnu für R2 tritt in allen Gruppen unabhängig vom Tragen der Platte deutlich seltener als das Interaktionsmuster TUTno auf.

3.5.3.4. TUT für R2 in Abhängigkeit von der Plattenkondition

Zur Untersuchung eines möglichen Einflusses der Gaumenplatte auf die Häufigkeit der beobachteten TUT-Interaktionen wurden korrespondierende Analysen zu den in Kapitel 3.5.3.3. beschriebenen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 35 bis Tabelle 38 aufgeführt.

Tabelle 35: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R2 von Schreien, die mit eingesetzter Platte erzeugt wurden.

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	1	6,3	93,7	6,3
	1	8	50,0		
	2	6	37,5		
	3	1	6,3		
HSH	0	5	5,3	94,7	5,3
	1	38	40,4		
	2	33	35,1		
	3	12	12,8		
	4	5	5,3		
	5	1	1,1		

Tabelle 36: Auftrittshäufigkeit von TUTno für R2 von Schreien, die ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden.

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	1	10	90,9	100,0	0,0
	2	1	9,1		
HSH	0	2	2,0	98,0	2,0
	1	41	41,4		
	2	34	34,3		
	3	16	16,2		
	4	5	5,1		
	5	1	1,0		

Nach Entfernung der Gaumenplatte zeigte sowohl die LKGS- als auch die HSH-Gruppe einen Anstieg im Auftreten der Interaktion TUTno. Die LKGS-Gruppe zeigte ohne Platte einen deutlichen Anstieg an Schreien mit einmaliger TUTno-Interaktion von 50,0 % auf 90,9 %. Vergleichsweise gering ist der Anstieg bei der HSH-Gruppe von 40,4 % auf 41,4 %. In der Kondition mit Platte ähneln sich beide Gruppen in der Häufigkeit des zweimaligen Auftretens von TUTno pro Schrei. Während die Auftrittshäufigkeit des zweimal pro Schrei vorkommenden Interaktionsmusters TUTno der HSH-Gruppe nach Herausnahme der Platte relativ konstant bleibt, sinkt die zweimal pro Schrei vorkommende Auftrittshäufigkeit der TUTno-Interaktion der LKGS-Gruppe von 37,5 % auf 9,1 %.

Mit Platte kommen drei TUTno pro Schrei in der LKGS-Gruppe nur in 6,3 % der Schreie vor, wohingegen der Anteil in der HSH-Gruppe 12,8 % beträgt. Dieser steigt ohne Platte auf 16,2 % an. Die LKGS-Gruppe dagegen hat nach Entfernung der Platte nicht mehr als zwei TUTno-Interaktionen pro Schrei. Die HSH-Gruppe zeigt maximal fünf TUTno-Interaktionen pro Schrei, unabhängig vom Tragen der Platte.

Tabelle 37: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R2 von Schreien, die mit eingesetzter Platte erzeugt wurden.

Gruppe	Anzahl der TUT pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	12	75,0	25,0	75,0
	1	4	25,0		
HSH	0	64	68,1	31,9	68,1
	1	22	23,4		
	2	7	7,4		
	3	1	1,1		

Tabelle 38: Auftrittshäufigkeit von TUTnu für R2 von Schreien, die ohne eingesetzte Platte erzeugt wurden.

Gruppe	Anzahl der TUT Pro Schrei	Häufigkeit absolut	Häufigkeit relativ in %	Auftreten der Interaktion in %	Nichtauftreten der Interaktion in %
LKGS	0	6	54,5	45,5	54,5
	1	5	45,5		
HSH	0	72	72,7	27,3	72,7
	1	23	23,2		
	2	4	4,0		

In der LKGS-Gruppe ist mit der Herausnahme der Platte eine Zunahme der TUTnu-Interaktionen festzustellen, gleichzeitig nimmt die Häufigkeit des Interaktionsmusters TUTnu der HSH-Gruppe leicht ab. Die LKGS-Gruppe hat maximal ein TUTnu-Ereignis pro Schrei, wohingegen die HSH-Gruppe in der Kondition mit Platte pro Schrei bis zu drei und ohne Platte bis zu zwei Interaktionen dieser Art vollzieht. Mit Platte haben beide Gruppen einen vergleichbaren Anteil an Schreien mit einem TUTnu-Ereignis pro Schrei. Ohne Platte bleibt der Anteil der HSH-Gruppe nahezu unverändert, wohingegen der Anteil der einmaligen TUTnu-Interaktionen pro Schrei der LKGS-Gruppe von 25,0 % auf 45,5 % steigt.

3.6. Analyse der mittleren Tuningzeit T

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Analyse der mittleren Tuningzeit T pro Schrei dargestellt. Tuning beschreibt die Kopplung der Resonanzfrequenzen mit der Grundfrequenz bzw. deren Harmonischen (Kap. 2.4.5.). Hier befinden sich die Resonanzfrequenzen auf der Melodie bzw. deren Harmonischen, d. h. innerhalb eines Bandes von $\pm 10\%$ von der Mittenfrequenz der Grundfrequenz. Die Tuningzeit ist die Summe der Dauer dieser Ereignisse pro Schrei. Als Mindest-Tuningzeit pro Tuning für die Analyse wurde ein Wert von 15 ms festgelegt (Kap. 2.4.5.).

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind in Tabelle 39 aufgeführt und in den nachfolgenden Boxplotdiagrammen visualisiert.

Tabelle 39: Ergebnisse der deskriptiven Analyse der mittleren Tuningzeit von R1 und R2 in Abhängigkeit vom Spalttyp und der Plattenkondition

Mit Platte								
	Rn	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std.-Fehler [ms]	Std.-Abw. [ms]	Median [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
LKGS	R1	126	222*	12	137	184	44	870
	R2	16	217*	22	89	187	65	417
HSH	R1	158	241*	11	140	205	30	659
	R2	94	159*	10	98	131	34	499
Ohne Platte								
	Rn	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std.-Fehler [ms]	Std.-Abw. [ms]	Median [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
LKGS	R1	82	222*	15	136	186	45	631
	R2	12	187*	31	107	144	58	371
HSH	R1	142	304*	16	186	275	35	1112
	R2	99	183*	10	104	160	55	656
HSHoP	R1	55	157	15	107	141	34	565
	R2	36	120	17	100	87	29	484
KG	R1	118	180	14	150	128	22	908
	R2	103	127	7	75	106	21	379

*signifikanter Unterschied zu KG

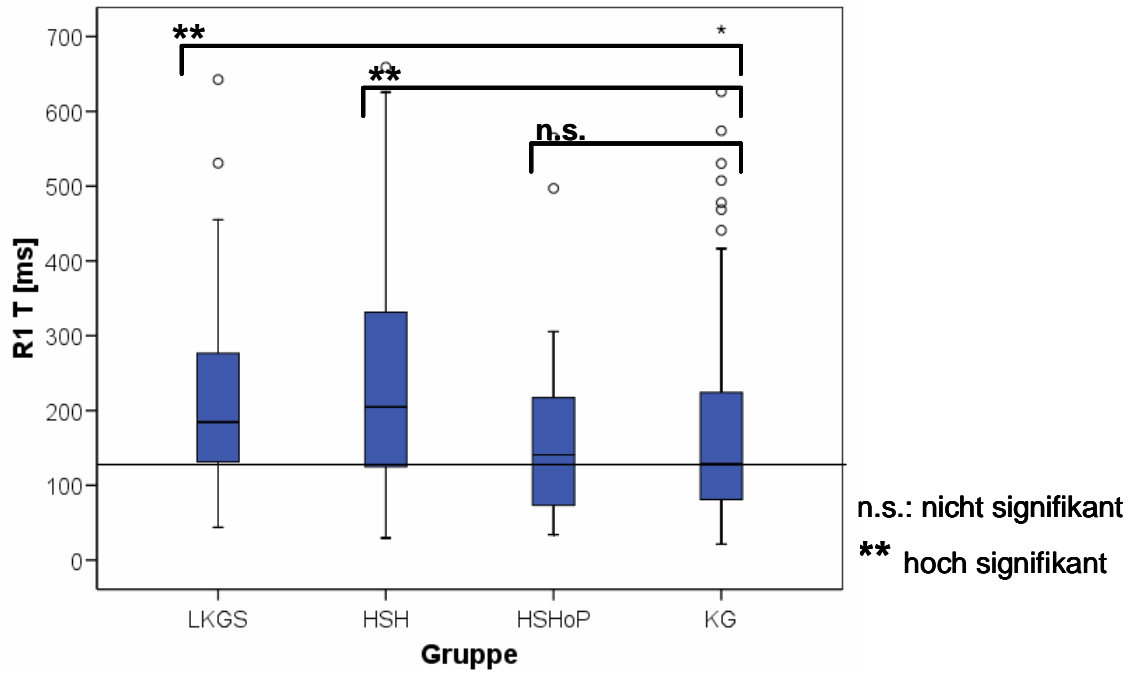


Abbildung 27: Variationsbereich der mittleren Tuningzeit von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)

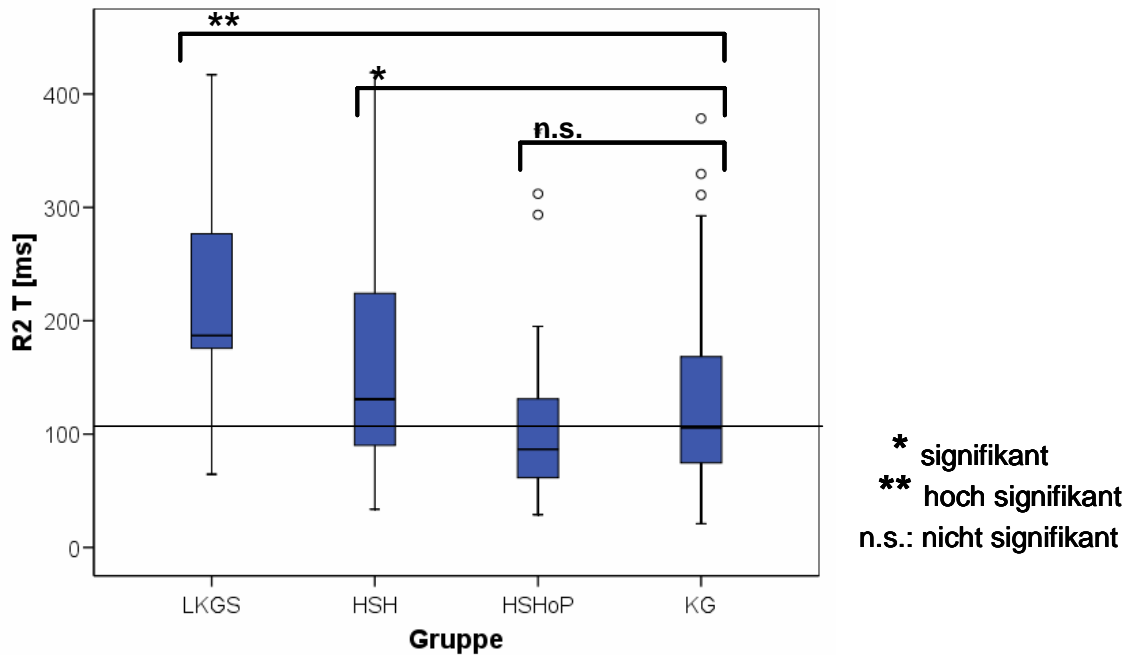


Abbildung 28: Variationsbereich der mittleren Tuningzeit von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)

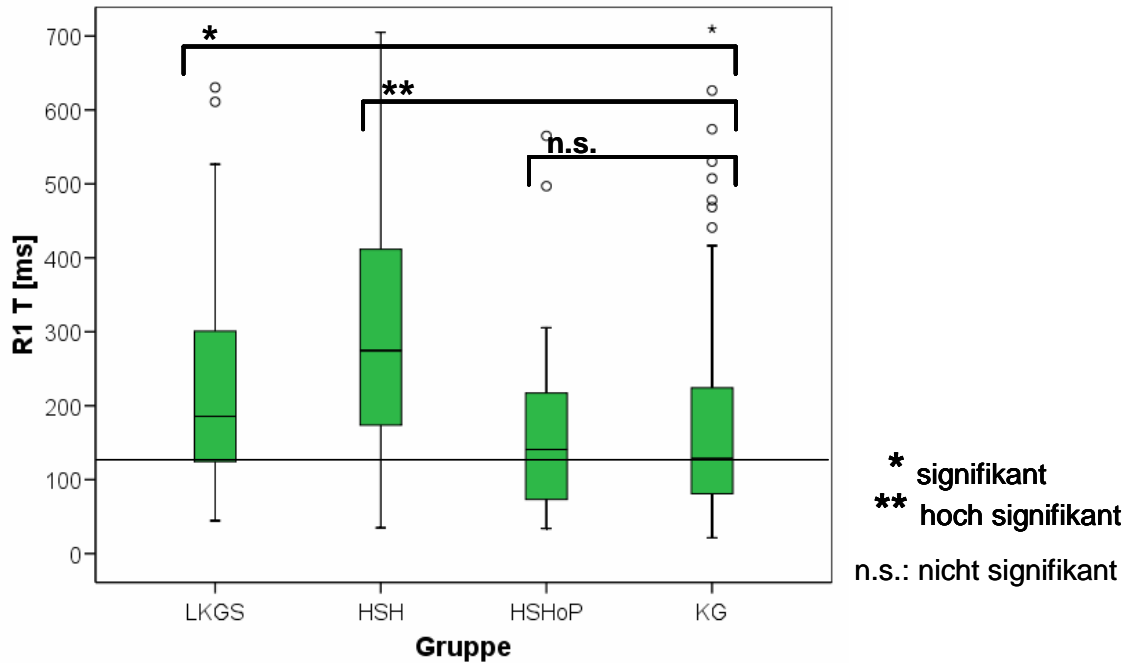


Abbildung 29: Variationsbereich der mittleren Tuningzeit von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)

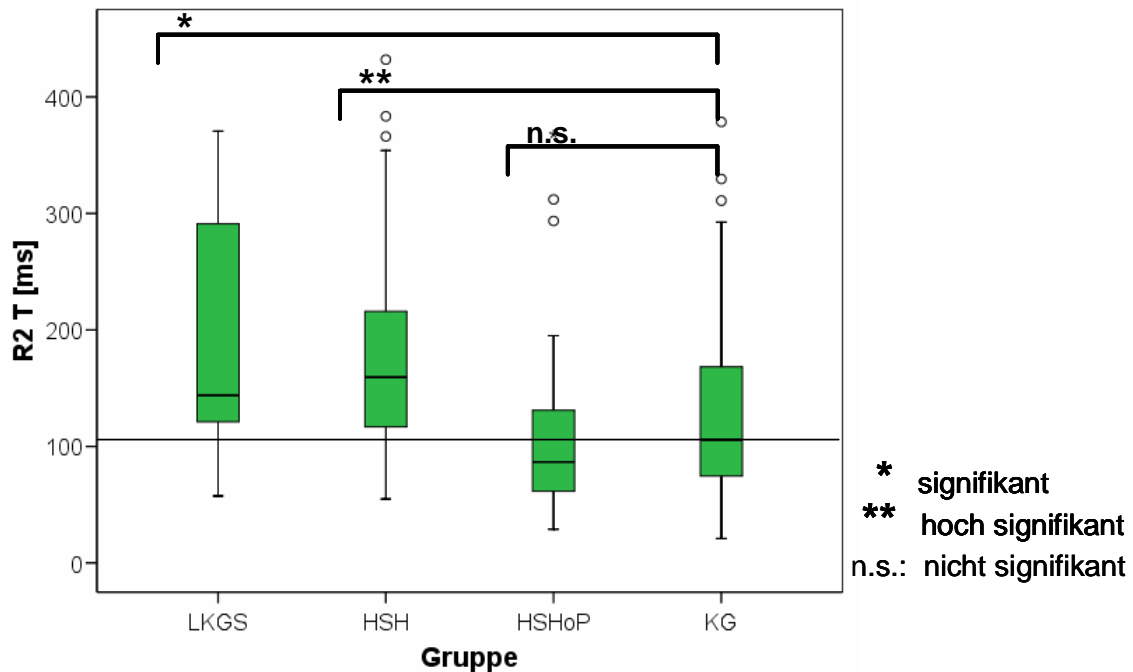


Abbildung 30: Variationsbereich der mittleren Tuningzeit von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)

Die Ergebnisse der Signifikanztests sind in Tabelle 40 (Mann-Whitney-U) bzw. Tabelle 41 (Wilcoxon) aufgeführt. Die HSHoP-Gruppe zeigt keine signifikanten Unterschiede zur KG-Gruppe. Alle anderen Gruppen zeigen signifikant längere mittlere Tuningzeiten von R1 und R2 unabhängig von der Plattenkondition im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die beiden Gruppen LKGS und HSH haben

zudem signifikant längere mittlere Tuningzeiten als die HSHoP-Gruppe, unabhängig von der Plattenkondition und Resonanzfrequenz. Die LKGS-Gruppe hat in der zweiten Resonanzfrequenz mit Platte signifikant längere mittlere Tuningzeiten als die HSH-Gruppe, während die HSH-Gruppe in der ersten Resonanzfrequenz ohne Platte längere mittlere Tuningzeiten als die LKGS-Gruppe zeigt.

Es liegen keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Tragen und der Herausnahme der Platte für beide Gruppen vor (Wilcoxon p-Wert: R1 von HSH = 0,181; R2 von HSH = 0,870; R1 von LKGS = 0,432). Für R2 der LKGS-Gruppe konnte der Wilcoxon-Test aufgrund der geringen Datenmenge nicht angewendet werden.

Bis auf die LKGS-Gruppe sind die Tuningzeiten unabhängig vom Tragen der Platte in der ersten Resonanzfrequenz signifikant länger als in der zweiten Resonanzfrequenz (Tabelle 41). Nach Entfernung der Gaumenplatte sind die Tuningzeiten der ersten Resonanzfrequenz in der LKGS- und HSH-Gruppe gegenüber der zweiten verlängert, jedoch nur für die HSH-Gruppe signifikant.

Tabelle 40: Inter-Gruppen-Vergleich der mittleren Tuningzeit für R1 und R2 mittels Mann-Whitney-U-Tests (p-Werte)

Mit Platte						
	LKGS/HSH	LKGS/HSHoP	LKGS/KG	HSH/HSHoP	HSH/KG	HSHoP/KG
R1	0,233	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	/
R2	0,010	<0,0001	<0,0001	0,005	0,021	
Ohne Platte						
	LKGS/HSH	LKGS/HSHoP	LKGS/KG	HSH/HSHoP	HSH/KG	HSHoP/KG
R1	0,001	0,002	0,001	<0,0001	<0,0001	0,591
R2	0,924	0,012	0,039	<0,0001	<0,0001	0,168

Signifikanzen grau unterlegt

Tabelle 41: Intra-Gruppen-Vergleich der mittleren Tuningzeit zwischen R1 und R2 mittels Wilcoxon-Tests (p-Werte)

	LKGS	HSH	HSHoP	KG
gesamt	0,260	<0,0001	0,011	0,001
mit Platte	0,937	<0,0001	/	
ohne Platte	0,063	<0,0001		

Signifikanzen grau unterlegt

3.6.1. Einzelkindanalyse der mittleren Tuningzeit

Um zu prüfen, ob die gefundenen Gruppeneffekte auf Schreiebene auch auf der Säuglingsebene nachvollziehbar sind, wurde eine Einzelkindanalyse für die mittlere Tuningzeit für R1 durchgeführt (Tabelle 42). Aufgrund der deutlich geringeren Datenmenge war diese Analyse für R2 nicht durchführbar.

Bei der Einzelkindanalyse zeigte sich, dass die Säuglinge der Spalttypgruppe HSH, außer AM in der Kondition ohne und DA mit Platte, einen größeren Medianwert als die Kontrollgruppe haben. Dies trifft auch auf die beiden Säuglinge der HSHoP-Gruppe zu. Allerdings zeigten diese sowohl einzeln als auch als Gruppe keinen signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe. Vergleicht man von den Säuglingen der HSH- und LKGS-Gruppe die Medianwerte in der Kondition mit und ohne Platte, so zeigt sich, dass in der LKGS-Gruppe mit Entfernung der Platte die Säuglinge OD, IT und AS einen Anstieg des Medianwertes zeigen, während man bei OL einen relativ konstanten Medianwert und bei TAM und AD abnehmende Medianwerte beobachten kann. TAM und AD haben in der Kondition mit Platte signifikant längere Tuningzeiten als die Säuglinge der Kontrollgruppe (Mann-Whitney-U-Test: TAM: $p = 0,003$, AD: $p = 0,007$), OD hat dagegen in der Kondition ohne Platte (Mann-Whitney-U-Test: $p = 0,038$), AS in beiden Plattenkonditionen (Mann-Whitney-U-Test: mit: $p < 0,0001$, ohne: $p = 0,001$) signifikant längere Tuningzeiten als die KG-Gruppe.

In der HSH-Gruppe ist ein Anstieg der Medianwerte mit Entfernung der Platte zu verzeichnen (Tabelle 39). Dafür sind drei von vier Säuglingen der Gruppe verantwortlich, nur Säugling AM zeigt in der Kondition ohne Platte signifikant kürzere Tuningzeiten (Mann-Whitney-U-Test: $p = 0,021$) als die Kontrollgruppe. TS und AT haben in beiden Plattenkonditionen (Mann-Whitney-U-Test:

$p < 0,0001$) und DA in der Kondition ohne Platte (Mann-Whitney-U-Test: $p = 0,008$) signifikant längere Tuningzeiten als die Kontrollgruppe.

Tabelle 42: Deskriptive Statistik der mittleren Tuningzeit für jeden Säugling der LKGS-Gruppe für R1

Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std. Abw. [ms]	Median [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
AD	mit	12	305*	213	255	110	870
	ohne	14	182	72	188	80	366
OD	mit	22	210	141	188	51	643
	ohne	9	250*	120	267	103	467
OL	mit	11	145	45	137	96	229
	ohne	14	148	80	132	59	347
TAM	mit	33	219*	134	185	87	824
	ohne	21	203	126	169	57	631
IT	mit	20	171	92	152	44	404
	ohne	10	268	181	241	45	518
AS	mit	28	265*	121	277	54	531
	ohne	14	313*	169	299	117	611

*signifikanter Unterschied zu KG

Tabelle 43: Deskriptive Statistik der mittleren Tuningzeit für jeden Säugling der HSH-Gruppe für R1

Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std. Abw. [ms]	Median [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
DA	mit	15	189	151	113	70	577
	ohne	15	261*	134	209	95	524
AM	mit	38	192	130	166	31	551
	ohne	9	87*	47	90	35	179
TS	mit	38	266*	130	278	96	626
	ohne	42	367*	178	352	79	793
AT	mit	67	267*	141	252	30	659
	ohne	76	304*	190	276	39	1112

*signifikanter Unterschied zu KG

Tabelle 44: Deskriptive Statistik der mittleren Tuningzeit für jeden Säugling der HSHoP-Gruppe für R1

Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std. Abw. [ms]	Median [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
ME	ohne	45	150	95	131	34	497
AL	ohne	10	188	153	161	34	565

3.7. Analyse der mittleren Übergangszeit U

In Kapitel 3.5.3. sind die Analyseergebnisse der beobachteten TUT-Ereignisse beschrieben. Bei diesem Interaktionsmuster kommt es zu einem Tuning von R1 oder R2 mit der Melodie oder einer ihrer Harmonischen mit einem nachfolgenden Wechsel und erneutem Tuning auf einer höheren oder tieferen Harmonischen. Ein „Übergang“ ist die Zeit, welche die Resonanzfrequenzen benötigen, um von einem Tuningbereich auf einer Harmonischen zum nächsten Tuningbereich auf einer größeren bzw. kleineren Harmonischen zu gelangen. Diese Zeiten sind ein sensibler Indikator für die Schnelligkeit, mit der verschiedene „Artikulationsbewegungen“ ausgeführt werden können. Bei der in diesem Kapitel beschriebenen Auswertung dieser Übergangszeiten wurde die Richtung des Übergangs außer Acht gelassen. Es wurde die Summe der Zeitdauer aller pro Schrei auftretenden Übergänge ausgewertet. Die Ergebnisse der deskriptiven Analyse der Übergangszeiten sind in Tabelle 45 aufgeführt und in den nachfolgenden Boxplotdiagrammen visualisiert (Tabelle 31 bis Tabelle 34). Dabei ist, sofern relevant, wiederum zwischen den Konditionen „eingesetzte“ und „nicht eingesetzte Platte“ unterschieden worden (LKGS- und HSH-Gruppe).

Tabelle 45: Ergebnisse der deskriptiven Analyse der mittleren Übergangszeit von R1 und R2 in Abhängigkeit vom Spalttyp und von der Plattenkondition

Mit Platte								
	Rn	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std.-Fehler [ms]	Std.-Abw. [ms]	Medianwert [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
LKGS	R1	126	141*	11	125	108	23	718
	R2	16	138*	26	103	91	21	381
HSH	R1	158	167*	12	150	110	19	797
	R2	94	104*	7	68	83	20	330
Ohne Platte								
	Rn	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std.-Fehler [ms]	Std.-Abw. [ms]	Medianwert [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
LKGS	R1	82	107	11	104	70	20	617
	R2	12	119	27	96	89	25	359
HSH	R1	142	146*	9	109	115	18	610
	R2	99	158*	15	144	116	21	1089
HSHoP	R1	55	85	9	70	57	11	339
	R2	36	75	11	66	50	6	268
KG	R1	118	104	11	114	73	13	834
	R2	103	73	5	48	63	12	306

*signifikanter Unterschied zu KG

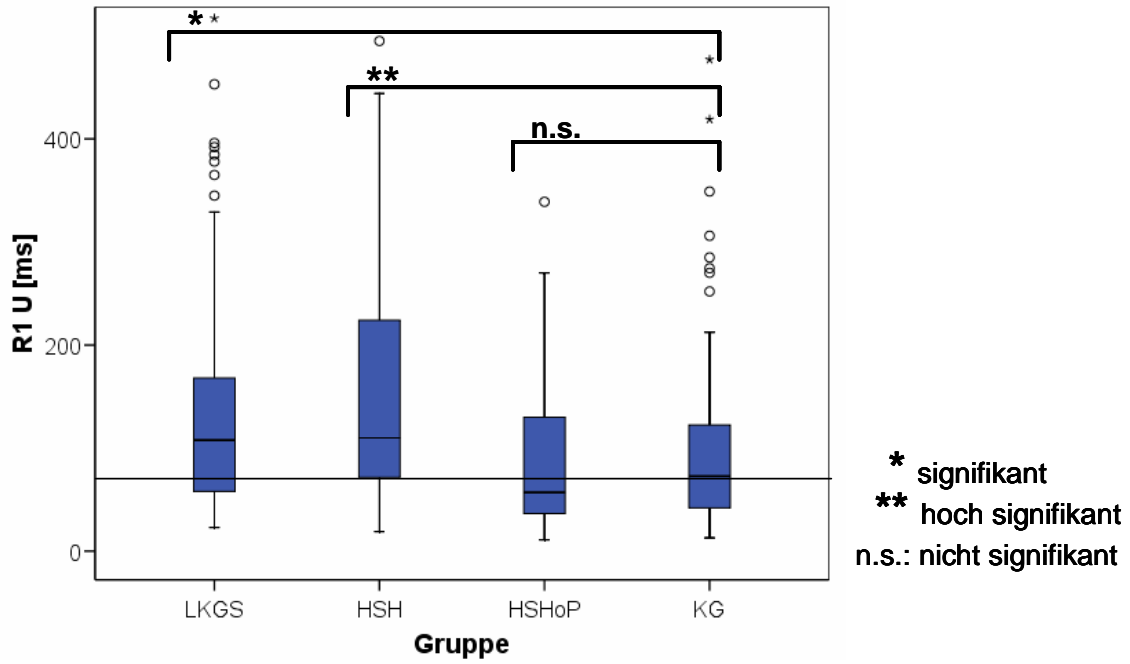


Abbildung 31: Variationsbereich der mittleren Übergangszeit von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)

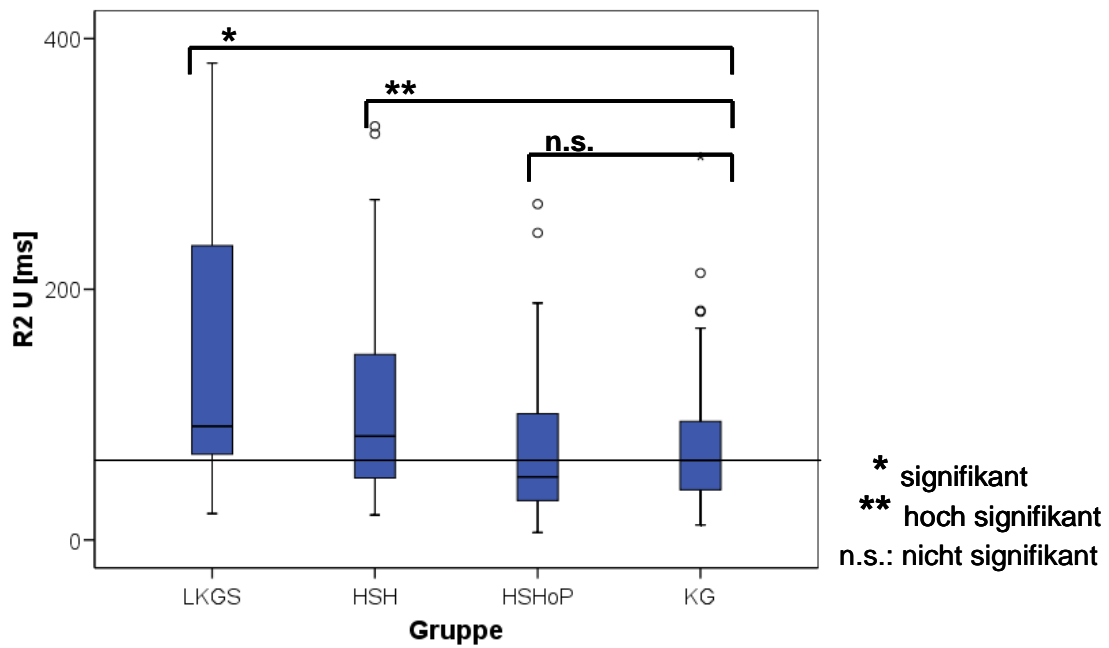


Abbildung 32: Variationsbereich der mittleren Übergangszeit von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition mit Platte)

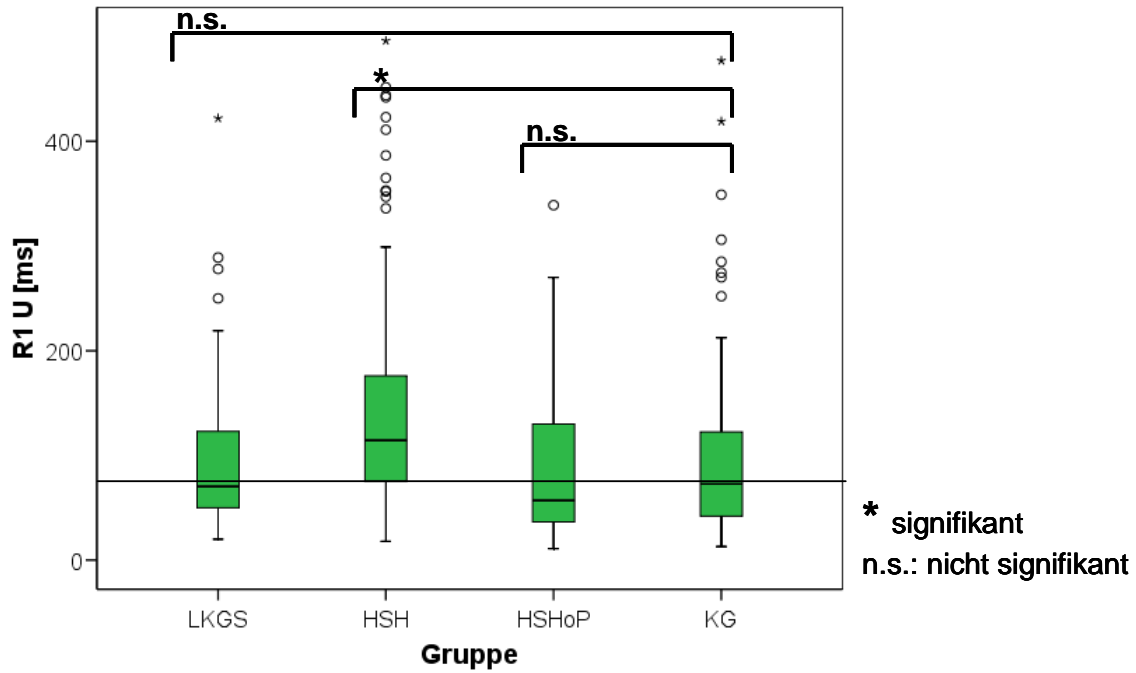


Abbildung 33: Variationsbereich der mittleren Übergangszeit von R1 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)

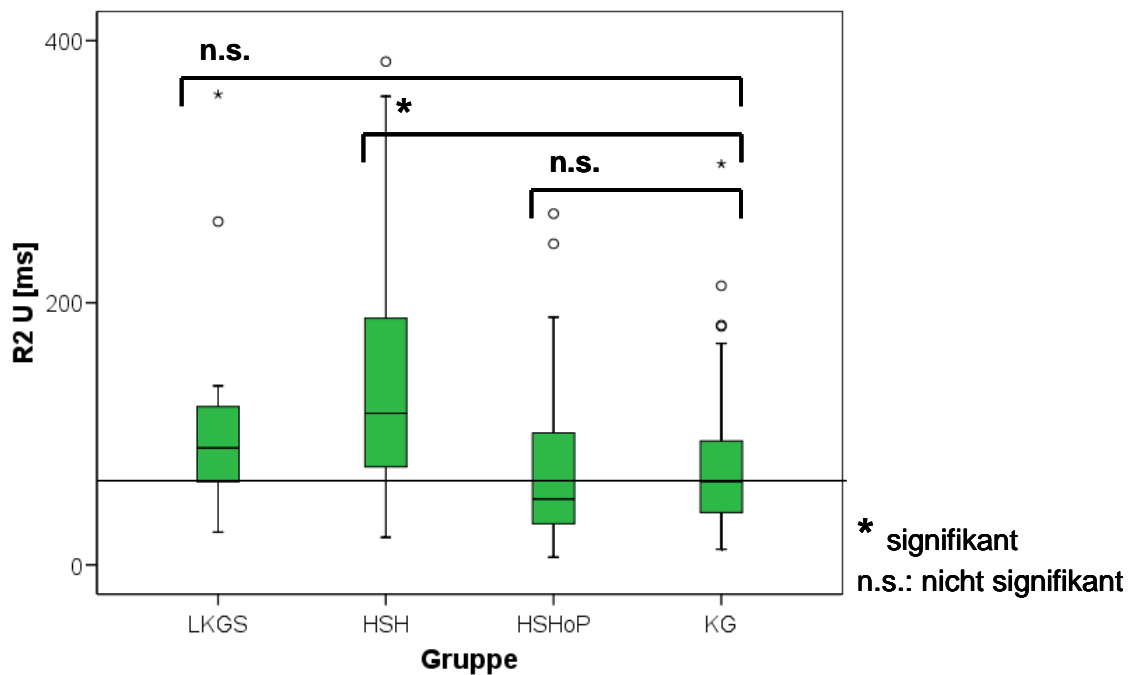


Abbildung 34: Variationsbereich der mittleren Übergangszeit von R2 von der 9. bis zur 16. Lebenswoche (HSH und LKGS in der Kondition ohne Platte)

Die Ergebnisse der Signifikanztests sind in Tabelle 46 (Mann-Whitney-U-Test) und Tabelle 47 (Wilcoxon-Test) aufgeführt. Bei der Lauterzeugung mit eingesetzter Gaumenplatte sind die mittleren Übergangszeiten der Gruppen

HSH und LKGS sowohl in der ersten als auch in der zweiten Resonanzfrequenz signifikant länger als die der Kontrollgruppe, wohingegen zur Gruppe HSHoP kein signifikanter Unterschied besteht. Eine vergleichbare Situation wurde bei der Analyse der mittleren Tuningzeiten (Kap. 3.6.) gefunden.

Bei der Lauterzeugung ohne eingesetzte Platte zeigt nur noch die HSH-Gruppe signifikant längere Übergangszeiten als die Kontrollgruppe. Bei der LKGS-Gruppe zeigt sich die Tendenz zu einem Unterschied zur Kontrollgruppe mit einem p-Wert von 0,051. Die Übergangszeiten der HSH-Gruppe sind in der ersten Resonanzfrequenz zudem signifikant länger als die Übergangszeiten der LKGS-Gruppe.

Mit dem Wilcoxon-Test konnten weder für die HSH- noch für die LKGS-Gruppe signifikante Unterschiede bezüglich der beiden Plattenkonditionen festgestellt werden (HSH R1: $p = 0,132$; R2: $p = 0,135$; LKGS R1: $p = 0,671$; für R2 lagen zu wenige Daten für den Test vor), obwohl auch hier eine Tendenz zu kürzeren Übergangszeiten in der Kondition ohne Platte beobachtet wurde.

Im Vergleich der Übergangszeiten von R1 und R2 zeigten nur die Schreie der HSH-Gruppe bei eingesetzter Platte und die der KG-Gruppe signifikant längere Übergangszeiten von R1 gegenüber R2. Die HSHoP-Gruppe zeigt zwar keinen statistisch signifikanten Unterschied der mittleren Übergangszeit von R1 und R2, allerdings deutet der p-Wert von 0,052 auch hier eine Tendenz zum signifikanten Unterschied an.

Tabelle 46: Inter-Gruppen-Vergleich der mittleren Übergangszeit für R1 und R2 mittels Mann-Whitney-U-Tests (p-Werte)

Mit Platte						
	LKGS/HSH	LKGS /HSHoP	LKGS/KG	HSH/HSHoP	HSH/KG	HSHoP/KG
R1	0,159	<0,0001	0,001	<0,0001	<0,0001	/
R2	0,259	0,010	0,009	0,005	0,001	
Ohne Platte						
	LKGS/HSH	LKGS /HSHoP	LKGS/KG	HSH/HSHoP	HSH/KG	HSHoP/KG
R1	<0,0001	0,079	0,400	<0,0001	<0,0001	0,326
R2	0,192	0,043	0,051	<0,0001	<0,0001	0,378

Signifikanzen grau unterlegt

Tabelle 47: Intra-Gruppen-Vergleich der mittleren Übergangszeit zwischen R1 und R2 mittels Wilcoxon-Tests (p-Werte)

	LKGS	HSH	HSHoP	KG
gesamt	0,159	0,012	0,052	0,005
mit Platte	0,084	0,004	/	
ohne Platte	1,000	0,383		

Signifikanzen grau unterlegt

3.7.1. Einzelkindanalyse der mittleren Übergangszeit

Um zu prüfen, ob die gefundenen Gruppeneffekte auf Schreiebene auch auf der Säuglingsebene nachvollziehbar sind, wurde eine Einzelkindanalyse für die mittlere Übergangszeit für R1 durchgeführt (Tabelle 48 bis Tabelle 50). Aufgrund der deutlich geringeren Datenmenge war diese Analyse für R2 nicht durchführbar. Bei der Einzelkindanalyse zeigte sich, dass bis auf die Säuglinge AD in der Kondition mit Platte, AM, IT, TAM, OL in der Kondition ohne Platte, ME und AL alle Säuglinge plattenunabhängig einen größeren Medianwert als die Kontrollgruppe aufwiesen. Diese Differenz der Medianwerte der einzelnen Säuglinge bezüglich der KG-Gruppe ist jedoch nicht signifikant. Vergleicht man die Ergebnisse bei Berücksichtigung der beiden Plattenkonditionen miteinander, so fällt auf, dass alle Säuglinge bis auf OD und AD in der LKGS-Gruppe und DA in der HSH-Gruppe in der Kondition ohne Platte kleinere Medianwerte und damit kürzere Übergangszeiten als in der Kondition mit Platte aufwiesen. Obwohl statistisch nicht signifikant, zeigt dieses Ergebnis eine deutliche Tendenz zu kürzeren Übergangszeiten bei der Lautproduktion ohne Platte. Signifikant längere Übergangszeiten als die KG-Gruppe zeigten nur TS und AT

in beiden Plattenkonditionen (Mann-Whitney-U-Test mit/ohne Platte: $p < 0,0001$) und AS in der Kondition mit Platte (Mann-Whitney-U-Test: $p < 0,0001$).

Tabelle 48: Deskriptive Statistik der mittleren Übergangszeit für jeden Säugling der LKGS-Gruppe für R1

Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std. Abw. [ms]	Median [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
AD	mit	12	95	78	54	31	280
	ohne	14	86	36	78	38	154
OD	mit	22	143	154	99	23	718
	ohne	9	122	72	126	22	219
OL	mit	11	117	90	124	24	325
	ohne	14	88	61	66	20	250
TAM	mit	33	121	99	92	23	453
	ohne	21	73	42	64	30	219
IT	mit	20	108	87	89	23	396
	ohne	10	100	82	69	24	278
AS	mit	28	218*	152	160	43	699
	ohne	14	193	202	90	21	617

*signifikanter Unterschied zu KG

Tabelle 49: Deskriptive Analyse der mittleren Übergangszeit für jeden Säugling der HSH-Gruppe für R1

Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std. Abw. [ms]	Median [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
DA	mit	15	117	105	81	22	333
	ohne	15	131	115	86	43	496
AM	mit	38	119	97	92	19	432
	ohne	9	55	37	51	20	134
TS	mit	38	211*	180	149	34	752
	ohne	42	156*	113	124	18	452
AT	mit	67	180*	158	128	24	797
	ohne	76	155*	107	117	35	610

*signifikanter Unterschied zu KG

Tabelle 50: Deskriptive Statistik der mittleren Übergangszeit für jeden Säugling der HSHoP-Gruppe für R1

Säugling	Platte	N Schreie	Mittelwert [ms]	Std. Abw. [ms]	Median [ms]	Minimum [ms]	Maximum [ms]
ME	ohne	45	87	72	57	11	339
AL	ohne	10	74	61	55	23	206

3.8. Darstellung der Entwicklung von einfachen zu komplexen Interaktionsmustern

Ableitend aus den Kapiteln 3.5.3., 3.6. und 3.7. lässt sich eine Entwicklung vom einfachen Tuning zu schnellen TUT-Übergängen schlussfolgern. In Abbildung 35 bis Abbildung 38 wird zur Verdeutlichung dieses Entwicklungsweges beispielhaft der Fortschritt der prä-artikulatorischen Aktivität von einem TUTno-Interaktionsmuster über mehrere TUTno-Interaktionsmuster kombiniert mit einem TUTnu-Interaktionsmuster zu kürzeren, sich abwechselnden TUTno- und TUTnu-Interaktionen dargestellt.

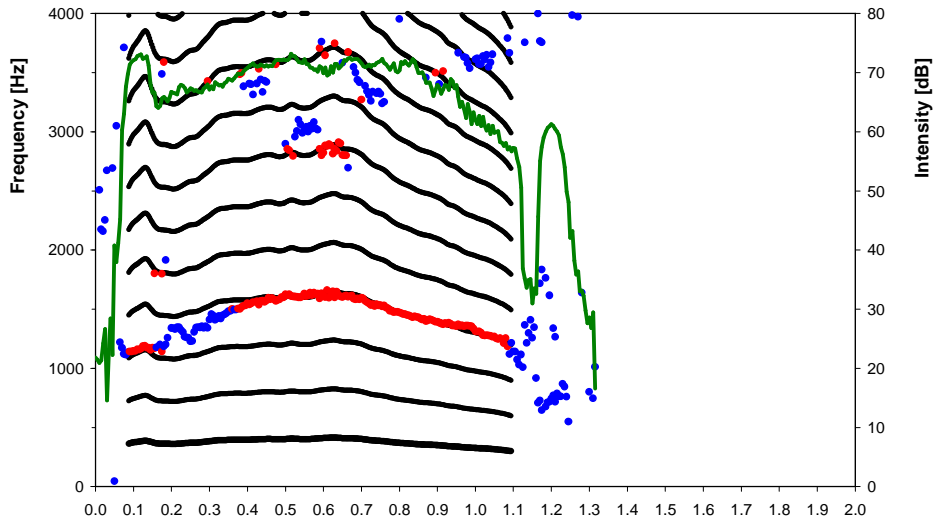


Abbildung 35: Tuningdiagramm mit einem einfachen TUTno-Interaktionsmuster für R1

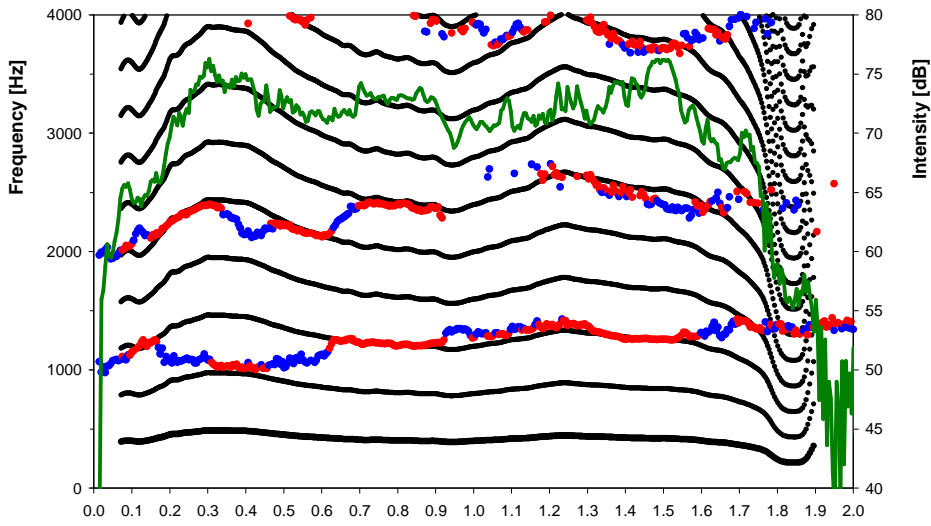


Abbildung 36: Tuningdiagramm mit zwei TUTno-Interaktionsmustern und einem TUTnu-Interaktionsmuster für R1

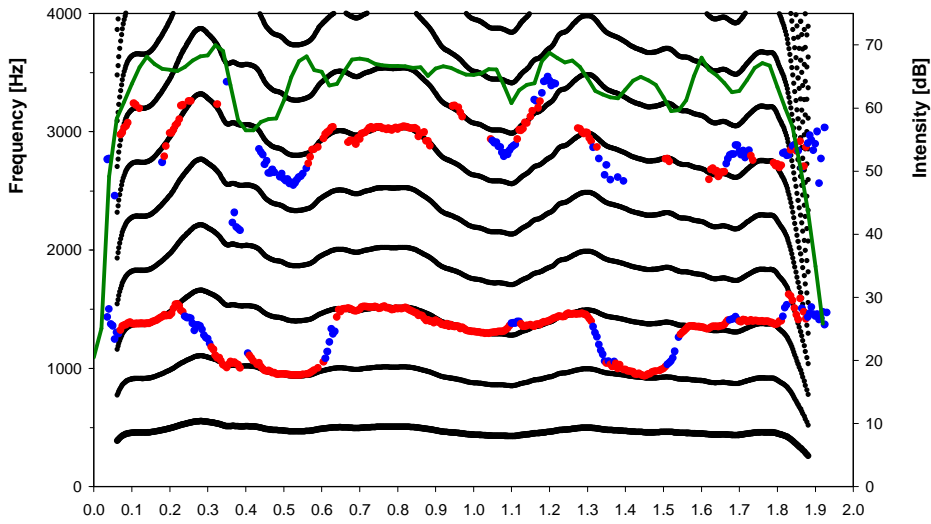


Abbildung 37: Tuningdiagramm mit drei TUTno- und zwei TUTnu-Interaktionsmustern für R1

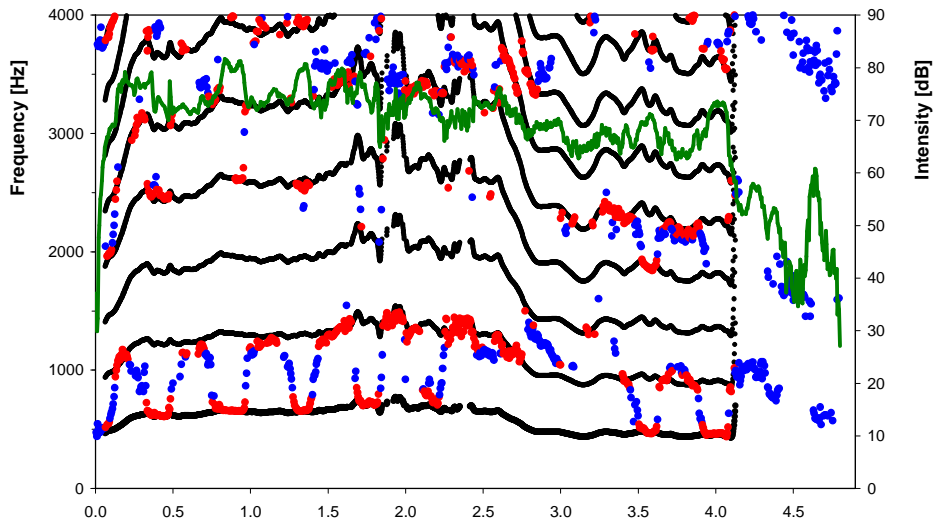


Abbildung 38: Tuningdiagramm mit sieben TUTno- und sieben TUTnu-Interaktionsmustern für R1

3.9. Analyse der Tv/U- und U/Tn-Quotienten für R1

Im folgenden Abschnitt sind die Ergebnisse der Untersuchung der Tv/U- und U/Tn-Quotienten von R1 dargestellt. Die Medianwerte und p-Werte aus dem Vergleich der Spalttypgruppen mit der Kontrollgruppe sind in Tabelle 51 aufgeführt. Zuvor erfolgte für jeden Quotienten und jede Gruppe der Test auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test). Bis auf den Unu/Tn- und Uno/Tn-Quotienten der KG-Gruppe waren alle anderen Quotienten hinreichend normalverteilt und konnten mit dem t-Test auf Signifikanz untersucht werden. Bei den beiden übrigen Quotienten wurde der Mann-Whitney-U-Test angewandt. Die Werte wurden logarithmiert, um trotz verschiedener Skalen eine gemeinsame grafische Darstellung im Boxplot (Abbildung 39 und Abbildung 40) zu erreichen.

Tabelle 51: Medianwerte und p-Werte (Vergleich der Spalttypgruppen mit KG) von R1 für alle Tv/U- und U/Tn-Quotienten

Quotient	Tv/Unu		Tv/Uno		Unu/Tn		Uno/Tn	
	Median	p-Wert	Median	p-Wert	Median	p-Wert	Median	p-Wert
Mit Platte								
LKGS	1,35	0,465	2,19	0,534	0,56	<i>0,503</i>	0,85	<i>0,535</i>
HSH	1,48	0,840	1,78	0,570	0,69	<i>0,701</i>	0,98	<i>0,373</i>
Ohne Platte								
LKGS	1,66	0,100	3,16	0,073	0,52	<i>0,191</i>	0,79	<i>0,551</i>
HSH	1,66	0,547	2,40	0,280	0,41	<i>0,279</i>	0,73	<i>0,392</i>
HSHoP	1,45	0,761	1,62	0,026	0,37	<i>0,120</i>	0,54	<i>0,144</i>
KG	1,58		1,95		0,62		0,83	

Signifikanz zur KG-Gruppe ist grau unterlegt.

Mann-Whitney-U-Test ist kursiv markiert.

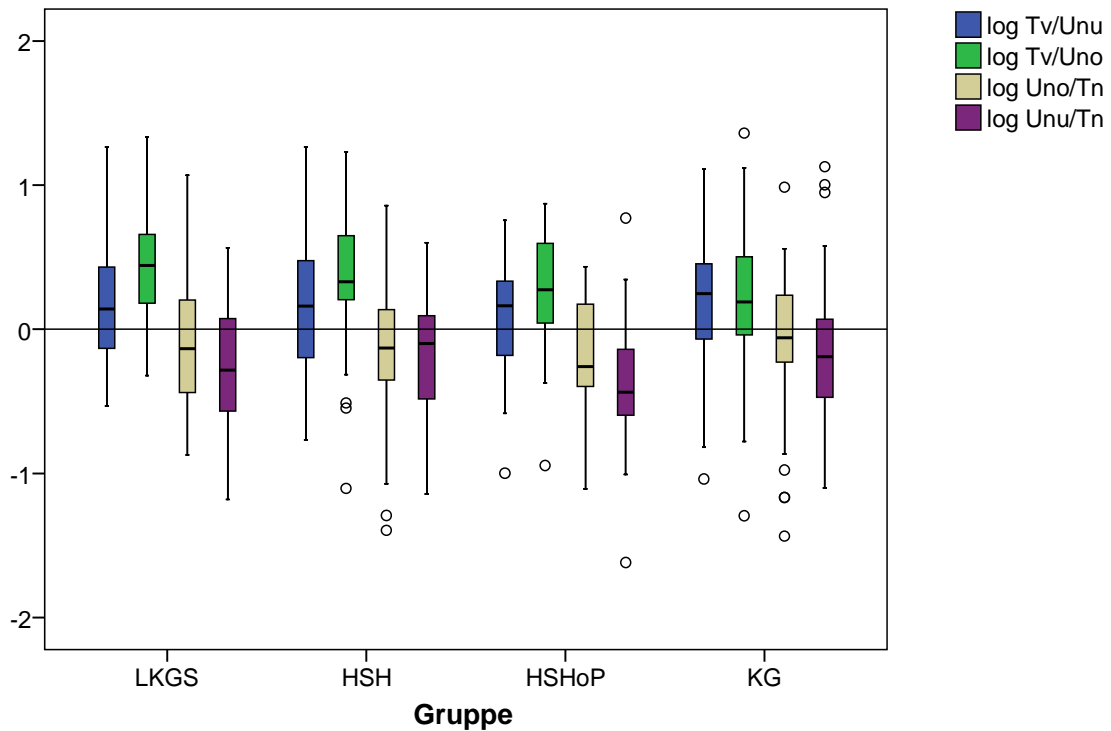


Abbildung 39: Variationsbereich der logarithmierten Tv/Unu-, Tv/Uno-, Uno/Tn- und Unu/Tn-Quotienten für R1 und jede Gruppe (LKGS- und HSH-Gruppe in der Kondition mit Platte) im Untersuchungszeitraum

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurde eine Linie durch den Nullpunkt gezogen.

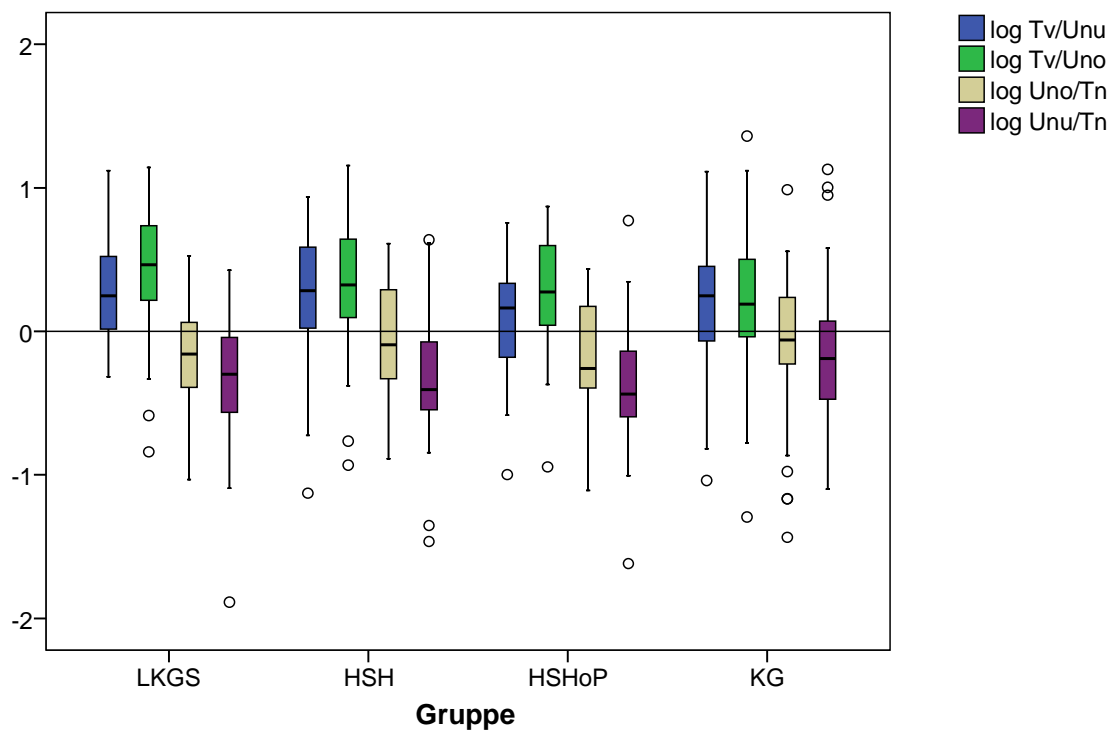


Abbildung 40: Variationsbereich der logarithmierten Tv/Unu-, Tv/Uno-, Uno/Tn- und Unu/Tn-Quotienten für R1 und jede Gruppe (LKGS- und HSH-Gruppe in der Kondition ohne Platte) im Untersuchungszeitraum

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurde eine Linie durch den Nullpunkt gezogen.

Für alle Gruppen ist plattenunabhängig der Medianwert des Tv/Uno-Quotienten am größten, gefolgt von den Tv/Unu-, Uno/Tn- und Unu/Tn-Quotienten. Nach Entfernung der Platte steigen sowohl der Tv/Unu- als auch der Tv/Uno-Quotient der HSH- und LKGS-Gruppe, während der Unu/Tn- und der Uno/Tn-Quotient sinken. In beiden Fällen entfernen sich die Medianwerte von dem Medianwert der Kontrollgruppe. In der Kondition mit Platte zeigt die HSHoP-Gruppe die kleinsten Quotienten, während die KG-Gruppe die größten Uno/Tn- und Unu/Tn-Quotienten und die LKGS-Gruppe die größten Tv/Uno- bzw. Tv/Unu-Quotienten gefolgt von der HSH-Gruppe zeigt. Jedoch zeigt nur die HSHoP-Gruppe einen signifikant kleineren Tv/Uno-Quotienten als die Kontrollgruppe. Weitere Signifikanzen liegen weder im Vergleich zur Kontrollgruppe noch im Vergleich der beiden Plattenkonditionen vor.

In Abbildung 39 und Abbildung 40 gilt zu beachten, dass das Statistikprogramm SPSS, bei der Verwendung mehrerer Variablen in einem Boxplotdiagramm, die gleiche Anzahl von Werten, trotz des Vorliegens unterschiedlicher Anzahl von Werten, vergleicht.

4. Diskussion

4.1. Auswertung der mittleren Grundfrequenz

Die Analyse der mittleren Grundfrequenz ist ein wichtiger Untersuchungsschritt vor Beginn der Resonanzfrequenzbestimmungen in Säuglingslauten. In der vorliegenden Arbeit wurden nur Schreie mit einer Grundfrequenz (F_0) ≤ 450 Hz verwendet, da bei höheren Frequenzen die Gefahr besteht, keine korrekten Resonanzfrequenzwerte mit Hilfe der verwendeten Methode zu bestimmen (Lindblom, 1961; Kent, 1976; Fant, 1960; Bauer und Robb, 1990).

Um trotz dieser methodisch notwendigen Selektion eventuell existierende Unterschiede zwischen den F_0 -Mittelwerten der Lautäußerungen der Spaltgruppe und der Kontrollgruppe und/oder der Lautäußerungen in Abhängigkeit von den Plattenkonditionen nicht zu vernachlässigen, erfolgte im Vorfeld eine F_0 -Analyse aller Laute. Signifikante Unterschiede der F_0 -Mittelwerte zwischen der Spalt- und der Kontrollgruppe könnten einen Einfluss auf Art und Häufigkeit der hier untersuchten Interaktionsmuster zwischen Melodie und Resonanzfrequenzen haben und müssten in diesem Fall als Co-Faktor berücksichtigt werden. Auf die hier durchgeführten Analysen hat dies jedoch keinen Einfluss. Die Schreiforschung der letzten 40 Jahre hat umfangreiche Belege für den diagnostischen Wert der mittleren Grundfrequenz bzw. der Extremwerte von F_0 in Form von Maxima und Minima in einzelnen Lauten geliefert (Lester und Boukydis, 1985; Koivisto, 1987; Wermke, 1987; Lester et al., 1989; Mende et al., 1990b; Corwin et al., 1996; Pearce und Taylor, 1993; Michelsson und Michelsson, 1999).

Eine pathologisch erhöhte mittlere Grundfrequenz oder sehr hochfrequente Einzeltöne können eine neuromuskuläre Dysfunktion indizieren. Auch bei Säuglingen mit orofazialen Spalten sind F_0 -Werte als „Risikomarker“ dieser Art bereits eingesetzt worden (Mühler et al., 1996; Wermke et al., 2002).

Die Analyse der mittleren Grundfrequenz (Kap. 3.1.) ergab hier, dass die untersuchten Schreie beider Gruppen keine pathologisch erhöhten F_0 -Werte zeigten, die auf eine neurophysiologische Dysfunktion der an der Lauterzeugung beteiligten Mechanismen hinweisen könnten. Keiner der hier untersuchten Säuglinge mit orofazialen Spalten ist damit aus der Perspektive

der „Schreidiagnostik“ mit einem erhöhten Risiko bezüglich einer zerebralen Dysfunktion behaftet. Diesen Befund bestätigt Hypothese H 1 (S. 4).

Betrachtet man die mittlere Grundfrequenz der hier für die Interaktionsanalyse ausgewerteten Schreie aller Säuglinge ($F_0 \leq 450$ Hz), dann findet man in der KG-Gruppe eine signifikant geringfügig höhere mittlere Grundfrequenz als in der Spaltgruppe (Tabelle 8). Die Differenz beträgt ungefähr einen musikalischen $\frac{1}{4}$ Ton, ist also theoretisch hörbar. Allerdings ist dieser relativ geringe Unterschied für die hier im Fokus stehenden Interaktionsanalysen inhaltlich nicht relevant. Er stützt aber existierende frühere Forschungsergebnisse, die bei Säuglingen mit LKGS-Spalten und isolierten Gaumenspalten eine, im Vergleich zu Säuglingen ohne orofaziale Spalten, tiefere Grundfrequenz beobachtet haben (Michelsson et al., 1975; Mühlner, 1996; Wermke et al., 2002). Eine Vermutung, dass niedrigere F_0 -Werte mit anthropometrischen Körpermaßen korreliert sein könnten, haben sich nach bisherigen Untersuchungen nicht bestätigt (Wermke et al., 2002). Es wird vermutet, dass hormonelle Faktoren ursächlich daran beteiligt sein könnten (Wermke et al., 2002). Eine weitere Ursache könnte auch das bei Säuglingen mit orofazialen Spalten deutlich häufiger als bei Säuglingen ohne orofaziale Spalten auftretende Lautieren bei laryngeal verengten phonatorischen Verhältnissen („verrauschte Laute“, „Pressen“) sein (Fuamenya, 2008), das mit einer deutlichen F_0 -Absenkung verbunden ist (Giesbrecht, 2002). Die laryngealen Verengungen werden zu Segmentierungszwecken innerhalb der Schreie verwendet und sind ein regulär auftretendes, wichtiges Element in der prosodischen Entwicklung. Auffällig ist jedoch die Beobachtung, dass dieses Strukturelement bei Säuglingen mit orofazialen Spalten deutlich häufiger beobachtet wird (Fuamenya, 2008), insbesondere ohne eingesetzte Oberkieferplatte (Hauschildt, 2007).

4.2. Auswertung der mittleren Schreilänge

Die durchschnittliche Einzelschreilänge der hier untersuchten Säuglinge im Alter von 9 bis 16 Wochen lag bei etwa 1,4 s (KG: 1,43 s; Spaltgruppe: 1,35 s) (Tabelle 9). Mit Ausnahme der beiden Säuglinge ME und AL, die signifikant kürzere mittlere Einzelschreie erzeugten und der HSH-Gruppe in der Kondition ohne Platte, die signifikant längere mittlere Einzelschreie produzierte, unterscheiden sich die mittleren Schreilängen der Säuglinge mit orofazialen Spalten nicht von denen der Kontrollgruppe. Dies war auch nicht zu erwarten, da die Schreilänge vor allem von der respiratorischen Kapazität abhängt und diesbezüglich keine Auffälligkeiten bekannt sind.

Die prinzipiell gefundene, größenordnungsmäßig hohe Ähnlichkeit in den durchschnittlichen Einzelschreilängen (Tabelle 10), ist ein gutes Argument für die Annahme eines relativ einheitlichen und damit gut vergleichbaren Entwicklungsstadiums der hier untersuchten Säuglinge.

Es gibt in der Literatur nur wenige Angaben zu Einzelschreilängen von Säuglingen. Der überwiegende Teil beschreibt zudem Schmerzschreie, deren Eigenschaften nur bedingt mit den hier untersuchten spontanen Lautäußerungen zu vergleichen sind (Schmerzschreie sind länger). In diesen Arbeiten werden Schreilängen angegeben, die zwischen 1,0 s - 6,5 s liegen (Lester und Boukydis, 1985). Lind (1999) untersuchte die Veränderung der Einzelschreilängen spontaner Säuglingsschreie in den ersten 100 Lebenstagen in dichten Aufnahmeintervallen bei einem Säugling. Für das hier relevante Alter von 9 bis 12 Wochen gibt sie einen durchschnittlichen Wert von 1,64 s an. Eine Untersuchung von Borschberg und Ruppert (1998) an Zwillingen zeigte ähnliche Ergebnisse im Untersuchungszeitraum vom vierten bis sechsten Lebensmonat (1,7 s). Es liegen zudem einige Arbeiten vor, die sich mit den mittleren Schreilängen von Säuglingen mit orofazialen Spalten beschäftigen. Massengill (1969) erhielt in seiner Untersuchung für Säuglinge mit orofazialen Spalten im Alter von vier Monaten eine durchschnittliche Schreilänge von 1,4 s, welche den errechneten Schreilängen in der vorliegenden Arbeit entspricht. Zeipert (2004) ermittelte die durchschnittliche Schreilänge von drei Säuglingen mit orofazialen Spalten im Zeitraum vom ersten bis zum sechsten Lebensmonat

und erhielt Schreilängen von 1,9 s - 2,7 s. Ein Vergleich zu Säuglingen ohne orofaziale Spalten wurde von Zeipert (2004) und Massengill (1969) im Gegensatz zu Mühler (1996) nicht angestellt. Dieser stellte verlängerte mittlere Schreilängen für Säuglinge mit orofazialen Spalten bis zur vierten Lebenswoche fest (ca. 1,25 s - 1,9 s). In der fünften bis achten Lebenswoche betrug die mittlere Schreilänge nur noch ca. 1,2 s und näherte sich damit an die mittleren Schreilängen der Säuglinge ohne orofaziale Spaltbildung mit ca. 1,29 s an. Damit fand er im Alter von zwei Monaten keine Unterschiede mehr in den Einzelschreilängen von Säuglingen mit orofazialen Spalten zu Säuglingen ohne orofaziale Spalten.

Legt man den relativ hohen Variationsbereich der Messwerte dieser Arbeiten zugrunde, sind die etwas kürzeren durchschnittlichen Einzelschreilängen der beiden HSHoP-Fälle (ME, AL) und die längeren Einzelschreilängen der HSH-Gruppe als nicht relevant einzustufen. Auch Wermke et al. (2001) konnten trotz häufig transitorisch eingeschränkter Hörleistung von Säuglingen mit orofazialen Spalten keine verlängerte Schreilänge im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen.

Um dennoch mögliche Auswirkungen dieser Abweichungen auf die hier untersuchten Interaktionsmuster auszuschließen, wurden der TNT/S-Quotient (Kap. 3.3.) und die Häufigkeit der verschiedenen Interaktionsmuster pro Schrei untersucht (Kap. 3.5.3.). Die Häufigkeiten der Interaktionsmuster der Spalttypgruppe HSHoP bewegen sich in dieser Analyse zwischen denen der anderen Spalttypgruppen und der Kontrollgruppe. Die HSHoP-Gruppe zeigt also trotz reduzierter Signallänge die untersuchten Interaktionsmuster in vergleichbarer Häufigkeit zu den anderen Gruppen. Der mittlere TNT/S-Quotient der beiden HSHoP-Säuglinge lag bei 89 %, der der HSH-Säuglinge ohne Platte bei 94 %. Beide Werte liegen dicht beieinander und belegen die relative Unabhängigkeit des Auftretens prä-artikulatorischer Prozesse von der Signallänge. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass die untersuchten Interaktionen bzw. ihre neurophysiologischen Grundlagen auf einem altersabhängigen Entwicklungsprogramm im Rahmen der vorsprachlichen Entwicklung beruhen. Dies bestätigt Hypothese H 2 (S. 4).

4.3. Auswertung der Analysen von R1 und R2

4.3.1. Überblick über bisherige Untersuchungen bezüglich der Formantfrequenzen von Säuglingen

Es existieren nur relativ wenige Studien, die eine Bestimmung von Formantfrequenzen (Resonanzfrequenzen) in Lauten von Säuglingen beinhalten (Tabelle 52). Aufgrund der in Kapitel 1.1.1. beschriebenen anatomischen Besonderheiten und der funktionellen Unreife des Vokaltraktes von Neugeborenen und jungen Säuglingen, wurden vor allem laryngeale Prozesse, also die Phonation untersucht. Man ging davon aus, dass artikulatorische Mechanismen frühestens im zweiten Lebenshalbjahr relevant sind, da es anfänglich nur durch die Geometrie des Vokaltraktes bestimmte und dadurch relativ starre Resonanzfrequenzen gäbe. Die Werte dieser Frequenzen kann man theoretisch berechnen, indem man von einem kreiszylindrischen Modellrohr ausgeht, das an einem Ende offen ist und eine Länge von ca. 7 cm hat (7,5 cm: Liebermann et al., 1971; 7,1 cm: Vorperian et al., 2005). Die Resonanzfrequenzen (R_i) oder Formanten (F_i) des Ansatzrohres errechnen sich nach der Formel:

$$[1] F_i = c(2i-1)/4l$$

c: Schallgeschwindigkeit (353,3 m/s); l: Vokaltraktlänge (7,1 cm); $i = 1, 2, \dots, n$

Damit ergeben sich für das Neugeborene drei wesentliche durch die Geometrie des Vokaltraktes bestimmte Resonanzfrequenzen, deren Mittenfrequenzen bei 1244 Hz (F_1), 3732 Hz (F_2) und 6219 Hz (F_3) liegen.

Liebermann et al. (1971) demonstrieren das Vorkommen dieser theoretischen Frequenzwerte an Beispielen von Neugeborenen schreien mit Hilfe spektraler Methoden.

Ringel und Kluppel (1964) untersuchten 27 Schreie von 10 Neugeborenen im Alter von 4 bis 40 Stunden. Die spektrale Analyse der Schreie ergab, dass die Formanteigenschaften Ähnlichkeiten mit den Vokalen $[\Lambda]$ und $[\æ]$ aufweisen.

Die von beiden ermittelten F1-Werte liegen etwas höher, die F2-Werte etwas tiefer als die theoretisch berechneten (Tabelle 52).

Ebenfalls auf der Auswertung von Frequenzspektrogrammen beruhen die Untersuchungen von Sedlácková (1967) an Neugeborenen. Sie ermittelte für die [a]-ähnlichen Laute 1400 Hz für den ersten Formanten (F1), 2500 Hz für den zweiten (F2) und 3400 Hz für den dritten (F3). Für die [æ]-ähnlichen Laute betrug F1 800 - 1400 Hz, F2 2500 Hz und F3 3500 Hz. Ihre Werte zeigen eine gute Übereinstimmung mit denen von Ringel und Kluppel (1964).

Eine größere Übereinstimmung mit den theoretischen Werten für F1 bis F3 zeigen die Angaben von Colton und Steinschneider (1980). Aber auch hier liegen F1 höher und F2 bzw. F3 tiefer als die berechneten theoretischen Werte. Die allerdings relativ geringen Differenzen könnten teilweise auf Schwankungen der Vokaltraktlänge zurückgeführt werden, die durch typische Auf- und Abbewegungen des Larynx beim Schreien junger Säuglinge verursacht werden (Bosma et al., 1965). Dem Neugeborenen und jungen Säugling fehlt noch die Möglichkeit einer Querschnittsvariation des Vokaltraktes, die bei älteren Säuglingen zu deutlich ausgeprägteren Formantvariationen führt.

Mit Beginn des Descensus laryngis, im Alter von ca. drei Monaten, wird ein Absinken der Formanten durch den Längenzuwachs des Vokaltraktes erwartet. Viele Studien fanden überraschenderweise keine Veränderung der mittleren Formantfrequenzen, sondern stattdessen lediglich die ebenfalls erwartete Vergrößerung des Vokalraumes (größerer Variationsbereich auftretender Formantwerte).

Buhr (1980) beschreibt das Vorliegen eines Vokaldreieckes bei 4 bis 16 Monate alten Säuglingen, das dem älterer Säuglinge und Erwachsener ähnlich sei.

Kent und Murray (1982) untersuchten die Formantfrequenzen von Schreien von 21 Säuglingen im Alter von drei, sechs und neun Monaten. Zur Analyse der mittleren Formantfrequenzen wurde ebenfalls, wie bei allen anderen Studien, die Spektrographie verwendet. Genauso wie bei Buhr (1980) wurde ein Anstieg im Frequenzvariationsbereich (Vokalraum) beobachtet, wohingegen die mittleren F1- und F2-Werte nur geringe Veränderungen gezeigt haben (Tabelle

52). Sowohl Buhr (1980) als auch Kent und Murray (1982) interpretieren die Erweiterung des Vokalraumes in der frühen Ontogenese mit einer größeren Zungenmobilität, die der verlängerte Vokaltrakt erlaubt. Rvachew et al. (1996) und Robb et al. (1997) kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Robb et al. (1997) untersuchten in einer Studie mit 20 Säuglingen im Alter von 4 bis 25 Monaten mittlere Formantfrequenzen und Formantbandbreiten (LPC-Analyse). Mit Ausnahme eines leichten Anstieges von F1 im Alter von 18 Monaten veränderten sich die mittleren Formantfrequenzen F1 und F2 auch hier nur in einem sehr geringen Ausmaß (Tabelle 52), während die mittleren Bandbreiten signifikant mit steigendem Alter abnahmen. Neben der erhöhten Zungenmobilität führen diese Autoren zusätzlich noch die Kopplung der Nasenhöhlen mit den oralen und pharyngealen Höhlen als Ursache für die gefundenen Entwicklungsphänomene an.

Wermke/Mende et al. (2002) untersuchten Schreie von drei Paaren monozygoter Zwillinge von der 8. bis 9. Lebenswoche, der 15. bis 17. Lebenswoche und von der 23. bis 24. Lebenswoche und identifizierten zwei Hauptfrequenzbänder. Der erste Formant liegt zwischen 1000 und 3000 Hz, der zweite zwischen 6500 und 8000 Hz. Im ersten Untersuchungszeitraum (8. bis 9. Lebenswoche) blieben F1 und F2 relativ konstant. Im zweiten Untersuchungszeitraum (15. bis 17. Lebenswoche) zeigte F2 eine hohe Variabilität über den gesamten Zeitbereich. Das „erwartete“ Absinken von F1 aufgrund von Wachstumsprozessen war auch hier nicht feststellbar. Dafür zeigten sich in den durchgeführten Analysen Reflexionen artikulatorischer Aktivitäten in Form von Interaktionsmustern zwischen der Melodie bzw. den Harmonischen und den ersten beiden Resonanzfrequenzen.

Neurophysiologische Abstimmungsmechanismen zwischen der Melodie und den Formanten wurden mit Beginn des zweiten Untersuchungszeitraums, in einer nachfolgenden Untersuchung bereits ab der neunten Lebenswoche gefunden (Wermke et al., 2005). Diese Mechanismen, so vermuten die Autoren, könnten existierende Korrelationen zwischen Wachstumsprozessen und dem Absinken der Formantfrequenzen maskieren.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Konzept von Wermke/Mende weiterverfolgt und durch neue Daten gestützt (Kap. 2.4.5., Kap. 3.5., Kap. 4.4.).

Relevante Angaben zu Formantfrequenzen von Säuglingen mit orofazialen Spalten wurden nur bei Casal et al. (2002) gefunden. Es wurden Schreie von 22 Säuglingen mit orofazialen Spalten in einem durchschnittlichen Alter von 27 Monaten mit 22 Säuglingen ohne orofaziale Spaltbildung im gleichen Alter auf ihre spektralen Eigenschaften hin untersucht und verglichen. Signifikante Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Säuglingen mit isolierter Lippenspalte wurden im ersten Formanten des Vokals [e] gefunden, dessen Mittelwert bei dieser Spaltgruppe 86 Hz tiefer lag. Im Vergleich der Säuglinge der Gruppe mit unilateraler LKGS-Spalte mit den Säuglingen der Kontrollgruppe wurden signifikante Unterschiede in Form höherer F1- und F2-Werte des Vokals [o] und in höheren F2-Werten des Vokals [a] gefunden. Auch die Säuglinge mit bilateraler LKGS zeigten Formantunterschiede zur Kontrollgruppe (in welcher Weise wurde nicht beschrieben).

Die beobachteten Unterschiede zur Kontrollgruppe werden von Casal et al. (2002) auf unkorrekte Zungenbewegungen und eine zu geringe Mundöffnung (bedingt durch Lippenverschlussoperation) zurückgeführt. Der bei Säuglingen mit einseitiger LKGS beobachtete Anstieg in F1 und F2 des [o]-Lautes wird auf das Fehlen der erforderlichen Lippenrundung und damit wiederum auf eine eingeschränkte Funktion des M. orbicularis oris zurückgeführt.

Wie Tabelle 52 zeigt, gibt es verschiedene Möglichkeiten Resonanzfrequenzen zu bestimmen. Daraus ergeben sich jedoch unterschiedliche Ergebnisse wie Robb und Cacace (1995) bestätigen. Im Rahmen ihrer Studie wurden die Formantfrequenzen (F1, F2, F3) von normalen Säuglingsschreien untersucht. Dabei wurden drei unterschiedliche Techniken angewandt: Sound Spectrography (Frequenz-Intensitäts-Spektrum), Linear Predictive Coding (LPC) und Power Spectrum Analysis (Frequenz-Dichte-Spektrum). Die Ergebnisse zeigten, dass alle drei Techniken sehr ähnliche Resultate für F1 erhielten. Jedoch unterschieden sich die Techniken signifikant in den Ergebnissen für F2 und F3. Die Power Spectrum Analysis brachte die höchsten Werte für F2 und F3, während die angewandte LPC-Technik die niedrigsten Werte für F2 und F3 berechnete. Die Ergebnisse der LPC-Technik bestätigen auch die niedrigen R2-Werte der hier vorliegenden Arbeit im Vergleich zu den in

der Literatur beschriebenen Werten (Kap. 4.3.1.). Aufgrund dessen fällt es schwer, die Ergebnisse dieser Dissertation mit den wenigen vorhandenen Literaturangaben im gewählten Untersuchungszeitraum zu vergleichen (Kap. 4.3.2.).

Tabelle 52: Zusammenstellung der Ergebnisse von Formantanalysen in Säuglings- und Kinderlauten früherer Studien

Autor	Alter	N Säuglinge	N Schreie	Methode	Schreityp	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]
Lieberman et al. (1971)	Säugling	/	/	Berechnung nach Ansatzrohrmodell 7,5 cm	/	1100	3300	5500
Ringel und Kluppel (1964)	4-40 Stunden	10	27	Schmalband-spektrogramme (45 Hz) (Kay Electric 662)	Schrei	1500-1650	1900-3250	/
Colton und Stein-schneider (1980)	1 Woche	66	5	Breitband-spektrogramme (Voiceprint Series 700 Sound spectrograph)	Schrei	1621	3248	5352
Krueger (1970)	2 Monate	1	1	Schmalband-spektrogramme (Kay Sona-Graph)	„hunger cry“	750	1500-2250	7500
			1		„tired cry“	562-1312	2625-3875	/
			1		„wet cry“	1000	2750-3250	/
			1		„playful coo“	625-687	1625	/
			1		„plosive cry“	500	875	/
Kent und Murray (1982)	3 Monate	21	keine Angabe	Spektrogramm (Voice Identification Series 700)	Vokal-ähnliche Schreie	500-1500	1800-3800	5000

				spectrograph				
Kuhl und Meltzhoff (1996)	12 Wochen	24	224	LPC	Vokale	732-934	2199-3121	/
	14 Wochen	24				739-1044	2156-2887	
	20 Wochen	24				675-778	2335-2947	
Boysson-Bardies et al. (1988)	10 Monate	20	1047	Kurzzeitspektren-Cepstrum (Imai und Abe, 1979)	Vokale	814-1173	2061-2805	/
Wick (1990)	1-12 Monate	2	88	LPC	Schreie	605-1952	1646-2998	3042-3892
Rvachew et al. (2006)	300-570 Tage	43	1190	LPC	Vokale	650-1100	150-1800	/
Buhr (1980)	4-16 Monate	1	944	Breit- und Schmalband-spektrogramme (Kay model 6061)	Vokale	250-1000	2000-4500	4000-7500
Rvachew et al. (1996)	9 Monate	9	17,5	Computerized Speech Research Environment (Autoregressive Spectral Estimation)	„Canonical utterances“	927	2451	/
	12 Monate		23			877	2488	
	15 Monate		32			908	2277	
	18 Monate		34			885	2367	

Robb et al. (1997)	4 Monate	20	340	LPC	Vokale	768	2407	/
	8 Monate		321			775	2494	
	15 Monate		361			815	2367	
	18 Monate		369			881	2417	
	25 Monate		352			821	2347	
Gilbert et al. (1997)	18 Monate	4	ca. 325	Breitband- spektrogramm (Speech Spectrophonics SSD-2X)	Vokale	879-1268	2334-2652	/
	21 Monate					896-1170	2336-2751	
	24 Monate					685-1129	1993-2785	
	36 Monate					528-900	1858-2134	
Casal et al (2002)	27 Monate	6 (Lippen- spalte)	33	KAY Elemetrics model 5500	Vokale	387-688	987-3100	/
		7 (isolierte Gaumen- spalte)	22			380-693	840-3333	
		7 (isolierte unilaterale LKGS-Spalte)	29			333-850	1027-3420	
		2 (isolierte bilaterale LKGS- Spalte)	9			560-800	1380-2700	

4.3.2. Auswertung der mittleren Resonanzfrequenzen

In der vorliegenden Arbeit wurden die Schreie aller Säuglinge mit orofazialen Spalten (Kap. 2.1.1.) zur „Spaltgruppe“ zusammengefasst und mit Referenzwerten einer Kontrollgruppe verglichen. Die Einbeziehung einer Kontrollgruppe war notwendig, um für die hier durchgeführten Analysen geeignete Bezugswerte gleichaltriger Säuglinge ohne orofaziale Spalten zu haben. Da die hier durchgeführten Analysen neuartig sind, gibt es keine Vergleichswerte aus anderen Studien. Die hier verwendeten Daten der Kontrollgruppe entstammen Vorarbeiten zu einer ausführlicheren Untersuchung bei Säuglingen ohne orofaziale Spalten. Wie die Darstellung der Literaturübersicht in Tabelle 52 zeigt, variieren die ermittelten Formantmittelwerte für Säuglingslaute teilweise erheblich zwischen den Studien. Dies hat in erster Linie methodische Gründe (Robb und Cacace, 1995). Trotzdem soll versucht werden, einen Bezug zu den hier ermittelten Werten herzustellen.

Die Ergebnisse der Analyse der mittleren Resonanzfrequenzen (Kap. 3.4.) bestätigen die Hypothese H 3 (S. 5), dass R2 in den Schreien der Säuglinge mit orofazialen Spalten im Vergleich zu den Referenzwerten der Kontrollgruppe niedriger ist. Während sich R1 zwischen der Spaltgruppe und der KG-Gruppe nicht wesentlich unterscheidet, ist R2 der Spaltgruppe signifikant kleiner als R2 der Kontrollgruppe. Die Analyse nach Spalttypgruppen zeigte, dass dieses Phänomen allein durch die Schreie der HSH-Gruppe bewirkt wird.

Säuglinge mit orofazialen Spalten leiden häufig unter Zungendysfunktionen: Sie haben die Tendenz den Zungenrücken zu häufig zur Artikulation zu verwenden und verbleiben in einer relativ zum Gaumen hohen Zungenposition (Morley, 1970; Lawrence und Philips, 1975; Golding-Kushner, 1995).

Typisch ist auch ein vermehrter Kontakt mit dem Gaumen (Fletcher, 1985; Hardcastle et al., 1989; Yamashita et al., 1992; Gibbon und Crampin, 2001). Aufgrund des fehlenden Gaumengewölbes als Widerlager bei Gaumenspalten nimmt die Zunge eine retrokraniale Lage ein (Tanimoto et al., 1994; Shinagawa et al., 2005; Schwenger und Ehrenfeld, 2002), deshalb wird die Bildung der Verschlusslaute (b/p, t/d, k/g) und der Reibelaute (f/s/sch) in den Rachen und

Kehlkopfraum verlagert (Morley, 1970; Lawrence und Philips, 1975; Trost, 1981; Karling et al., 1993; Chapman und Hardin, 1992; Hapaanen, 1994; Lohmander-Agerskov et al., 1995; Marrinan et al., 1998) und die Artikulation in die vierte Artikulationszone zwischen Zungengrund und Rachenhinterwand verschoben (Wirth, 1983). Dies hat zur Folge, dass der zweite Formant absinkt.

Bei den hier untersuchten Säuglingen im Alter von drei bis vier Monaten ist die vertikale Zungenbewegung noch eingeschränkt (Serkhane et al., 2007). Eine Wirkung auf Resonanzfrequenzvariationen hat in diesem Alter vor allem die horizontale Zungenbewegung und eventuelle geringfügige Auf- und Abbewegungen des Larynx (Bosma et al., 1965). Wird der Vokaltrakt durch einen rückverlagerten Zungenkörper bzw. seine Bewegung in posteriore Richtung in der pharyngealen Region verengt, sinkt R2 bzw. F2 ab (Stevens, 1999). Die signifikant niedrigeren R2-Werte zwischen der Spalt- und Kontrollgruppe sind daher vermutlich vor allem durch die rückverlagerte Zunge in der HSH-Gruppe zu erklären. Unerwartet ist der Befund, dass die LKGS-Gruppe in R2 nicht von der KG-Gruppe abweicht. In der Literatur konnten keine Hinweise darauf gefunden werden, dass bei Säuglingen mit isolierter Gaumenspalte eine stärkere Rückverlagerung des Zungenkörpers während der Lautproduktion erfolgt. Dies scheint eine interessante Fragestellung für weiterführende Studien zu sein.

Bezüglich der Plattenkondition wurden in den mittleren R2-Werten keine signifikanten Effekte festgestellt. Die in R2 beobachteten Unterschiede sind sowohl mit als auch ohne Platte in gleichem Ausmaß gefunden worden. Dies könnte bedeuten, dass der erwartete Einfluss der Platte auf die R2-Mittelwerte bei der HSH-Gruppe in diesem Alter nicht nachweisbar ist. Leider liegen nur von drei Säuglingen der LKGS-Gruppe Daten für beide Plattenkonditionen vor, da R2 in dieser Gruppe deutlich seltener zu messen war (vgl. Kap. 3.4.). Bei einem der drei Säuglinge (IT) kommt es zu einem Absinken von R2 bei den Schreien ohne Platte, also offenbar, wie erwartet, zu einer posterioren Zungenbewegung. Bei den anderen beiden Säuglingen wurde kein Effekt der Platte gefunden. Damit kann Hypothese H 4 (S. 5) nicht bestätigt werden.

Eine andere Erklärungsmöglichkeit für die Variation von R2 sind die oben erwähnten „verrauschten Laute“, die mit einer Larynxabsenkung und damit auch R2-Absenkung verbunden sind. Dies würde bedeuten, dass die Säuglinge der HSH-Gruppe diesen Modus der Lautproduktion häufiger verwenden als die Säuglinge der LKGS-Gruppe. Dafür spricht der Befund, dass auch R1 in beiden Gruppen mit isolierter Gaumenspalte tiefer liegt (eine durch Larynxabsenkung bei „verrauschten Lauten“ verursachte Vokaltraktverlängerung muss sich auf beide Resonanzfrequenzen auswirken). Damit wäre verständlich, warum der erwartete Platteneffekt nicht nachweisbar war.

In R1 war ein korrespondierender Effekt der Zungenbewegung nicht nachweisbar. Dies könnte daran liegen, dass er geringer ist als die R1-Erhöhung, die durch die Mundöffnung bedingt ist (Lindblom und Sundberg, 1971). Die Vermutung wird dadurch bestätigt, dass die Spalttypuntergruppe LKGS (die Lippenspalte ist zum Untersuchungszeitpunkt noch nicht geschlossen) eine signifikant erhöhte mittlere R1 gegenüber der Kontrollgruppe zeigte, während dies bei den isolierten Gaumenspalten der Spalttypuntergruppen HSH und HSHoP nicht der Fall war.

Auffällig ist auch, dass R2 in der Spaltgruppe deutlich seltener als in der Kontrollgruppe nachweisbar war (Spaltgruppe: 38 %, KG: 78 %). Besonders deutlich war dies bei der Spalttypuntergruppe LKGS (Kap. 3.4.). Dieser Befund könnte auf erste Anzeichen für eine erhöhte Nasalität der Schreie der Spaltgruppe hinweisen. Die Energie in den höheren Harmonischen ist hier durch die oronasale Kopplung bzw. das Entweichen von Luft bei eingesetzter Platte geringer.

Zusammenfassend muss man bei allen gefundenen Unterschieden jedoch berücksichtigen, dass aufgrund der Variabilität von Resonanzfrequenzwerten (vgl. Tabelle 52) und deren relativen Bandbreiten in diesem Alter erstaunlich wenige Unterschiede zur Kontrollgruppe bezüglich R1 und R2 gefunden wurden. Inwieweit dafür leistungsfähige, neurophysiologische Regelmechanismen verantwortlich sind, die trotz veränderter Vokaltraktstrukturen den „Sollwert“ einstellen, oder methodenbedingte Faktoren

vorhandene Unterschiede maskieren, kann anhand der vorliegenden Daten nicht geklärt werden. Hierzu sind weiterführende Analysen an größeren Stichproben erforderlich.

4.4. Interaktion zwischen der Melodie, ihren Harmonischen und R1/R2

Alle hier untersuchten Interaktionsmuster (Kap. 2.4.5.) zwischen der Melodie bzw. ihren Harmonischen und R1/R2 konnten sowohl in den Schreien der Spaltgruppe als auch in denen der Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass Säuglinge mit orofazialen Spalten prinzipiell dazu in der Lage sind, die in diesem Alter bei Säuglingen ohne orofaziale Spalten beobachteten prä-artikulatorischen Übungen ebenso wie nicht betroffene Säuglinge durchzuführen. Allerdings zeigen die Schreie der Spaltgruppe ausgeprägte strukturelle Besonderheiten, die die Ausführungsqualität intendierter komplexer Interaktionen, wie z. B. TUT-Ereignisse, mindern. In einem Drittel der Schreie der Spaltgruppe kommen Subharmonische (SH) vor, fast ebenso häufig ist das Auftreten von Rauschbanden. Wie die Analyse der Kontrollgruppe zeigt und wie auch aus anderen Studien bekannt ist (Kent und Murray, 1982; Robb und Saxman, 1988), sind diese Strukturelemente regulär auftretende Bestandteile vorsprachlicher Laute. Der stark erhöhte Anteil der SH-Häufigkeit der Spaltgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe deutet allerdings auf Störungen laryngealer Regelmechanismen bei Säuglingen mit orofazialen Spalten hin. Subharmonische sind Folge der an der Quelle (Larynx) herrschenden Nichtlinearität (Mende et al., 1990a). Computersimulationen haben gezeigt, dass Instabilitäten wie Subharmonische und Rauschbanden durch Desynchronisation der beiden Stimmlippen (Steinecke und Herzel, 1995) oder der horizontalen und vertikalen Vibrationsmoden einer Stimmlippe (Berry et al., 1994) entstehen. Diese Instabilitäten können entweder durch eine neurophysiologische Regelungsdysfunktion bedingt, oder Folge eines Rückkopplungseffektes des Vokaltraktes auf laryngeale Mechanismen sein.

4.4.1. Auswertung des T/NT-Quotienten

4.4.1.1. Vergleich zur Kontrollgruppe

Jede der drei Spalttypgruppen zeigt unabhängig von der Plattenkondition einen signifikant größeren R1-T/NT-Quotienten als die Kontrollgruppe und damit ein

längeres Tuning in R1. In R2 zeigen die HSH-Gruppe plattenunabhängig, die LKGS-Gruppe mit Platte und die HSHoP-Gruppe, einen signifikant größeren T/NT-Quotienten als die Kontrollgruppe. Die gefundenen signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe für diesen Quotienten deuten auf bestehende Unterschiede im prä-artikulatorischen Entwicklungsstatus hin, wie etwa auf ein ausgeprägteres Tuning zwischen der Melodie, ihren Harmonischen und den Resonanzfrequenzen R1 und R2. Ausgeprägtes Tuning ist der erste Entwicklungsschritt auf dem Weg zu komplexeren Interaktionen wie TUT-Ereignissen, deren Beherrschung eine Voraussetzung für die Erzeugung von Babbellauten ist (Wermke et al., 2005). Die Säuglinge mit orofazialen Spalten befinden sich quasi in einem früheren Entwicklungsstadium in Bezug auf die Artikulationsentwicklung. Von Relevanz für die Frühdiagnostik bei Säuglingen mit orofazialen Spalten ist dabei insbesondere der Befund interindividueller Unterschiede, die möglicherweise einen spezifischen Risikostatus einzelner Säuglinge reflektieren. Um diese Vermutung zu belegen, sind größere Datenumfänge erforderlich. Dies scheint aber für zukünftige Studien ein aussichtsreicher Forschungsansatz im Rahmen der vorsprachlichen Diagnostik bei Säuglingen mit orofazialen Spalten zu sein.

Vergleicht man die Auftrittshäufigkeit komplexerer Interaktionsmuster, dann zeigt sich deutlich, dass alle Säuglinge TUTno-Muster perfekt beherrschen und damit ausgiebig üben. Mehr als 80 % der Schreie enthalten dieses Muster in allen Gruppen. Deutlich seltener kommen TUTnu-Muster vor (Tabelle 28). Besonders selten sind sie in den Schreien der HSH-Gruppe beobachtet worden (30 %).

Übergänge der Resonanzfrequenzen auf höhere Harmonische sind wesentlich einfacher zu erzeugen als solche auf niedrigere Harmonische (TUTnu). Die Kontrollgruppe zeigt den größten Anteil des schwierigeren Interaktionsmusters TUTnu und auch die häufigsten Wiederholungen dieses Musters innerhalb eines Schreis. Dass es sich hier nicht um einen Zufallsbefund handelt, wird dadurch belegt, dass in beiden Resonanzfrequenzen, R1 und R2, sehr ähnliche Effekte gefunden wurden. Diese Schreie zeigen damit bereits Eigenschaften, die für später auftretende Babbellaute charakteristisch sind. Die Säuglinge mit orofazialen Spalten sind dagegen in ihrer prä-artikulatorischen Entwicklung

gegenüber der Kontrollgruppe ganz offenbar leicht verzögert. Dies trifft insbesondere auf die HSH-Gruppe zu. Die beiden Säuglinge der HSHoP-Gruppe unterscheiden sich zudem von der KG-Gruppe am stärksten. Dies kann gegenwärtig nicht interpretiert werden. Die zwei untersuchten Kinder stellen möglicherweise keine repräsentative Auswahl ihrer Gruppe dar. In anderen Messgrößen verhalten sie sich unauffällig (z. B. mittlere Übergangszeit, Kap. 4.4.3.).

Diese Ergebnisse sind in guter Übereinstimmung mit den Untersuchungen anderer Autoren, die ebenfalls eine verzögerte vorsprachliche Entwicklung bei Säuglingen mit orofazialen Spalten und hier auch wiederum mit isolierten Gaumenspalten gefunden haben (Wermke, 2002; Wermke et al., 2002; Wermke, 2004; Zeipert, 2004; Hauschildt, 2007; Steck-Walter, 2007).

Vergleicht man die Häufigkeit dieser Interaktionsmuster unter Berücksichtigung der Plattenkondition, fällt eine deutliche Tendenz der Zunahme solcher Interaktionen bei der Lautierung ohne eingesetzte Platte auf (bei TUTnu deutlicher als bei TUTno). Der Unterschied ist zwar nur relativ gering und nicht signifikant, bedenkt man aber, dass die Platte nur kurzfristig zur Reinigung und zum Einschleifen herausgenommen wurde, könnte der Befund für die kieferorthopädische Frühbehandlung von Relevanz sein. Es ist durchaus vorstellbar, dass die Platte beim „Spielen mit den Artikulatoren“ hinderlich ist, da sie eine Sensibilitätseinschränkung im Bereich des Gaumens bedingt. Dies ist aufgrund der vorliegenden Datenbasis und der interindividuellen Variation jedoch nur eine sehr vage Vermutung.

Zukünftige Untersuchungen könnten diesen Aspekt aber detaillierter untersuchen und damit einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Betreuung von Säuglingen mit orofazialen Spalten leisten. Möglicherweise wäre es z. B. sinnvoll, den Eltern einiger Säuglinge mit Beginn deutlicher artikulatorischer Aktivitäten eine zumindest stundenweise Herausnahme der Platte während spielerischer Mutter-Säugling-Interaktionen zu empfehlen.

4.4.2. Auswertung der mittleren Tuningzeit

Die Analyse der mittleren Tuningzeiten (Kap. 3.6.1.) lieferte signifikant längere Tuningzeiten der Schreie der LKGS- und HSH-Gruppe im Vergleich zur HSHoP- und KG-Gruppe für R1 und R2 unabhängig von der Plattenkondition.

Dies steht mit dem Befund in Zusammenhang, dass der T/NT-Quotient in der Spaltgruppe deutlich größer ist (Kap. 3.5.2.).

Es ist zu beachten, dass hier nicht zwischen den mittleren Tuningzeiten, die in die Interaktionsmuster TUTno bzw. TUTnu eingehen, unterschieden wurde und folglich eventuell verschiedene gleichzeitig auftretende Effekte vermischt sind (Kap. 3.5.3.). Weiterhin wurde die mittlere Tuningzeit pro Schrei unabhängig von der Schreilänge untersucht, sodass eventuell bestehende Beziehungen außer Acht blieben (Kap. 3.2.). Dies sollte in zukünftigen Untersuchungen variiert werden.

Unabhängig von der Plattenkondition und der Resonanzfrequenz zeigten die LKGS- und HSH-Gruppe eine signifikant längere mittlere Tuningzeit als die KG-Gruppe. Dies gilt in der LKGS-Gruppe für R1 plattenunabhängig für alle Säuglinge. In der HSH-Gruppe haben alle Säuglinge bis auf AM in der Kondition ohne Platte und DA mit Platte eine längere Tuningzeit als die Kontrollgruppe. Einzelkindprüfungen belegen, dass kein einzelner Säugling die Gruppenergebnisse in eine bestimmte Richtung lenkt, sondern die Mehrzahl der Säuglinge einer Gruppe die gleiche Tendenz aufweist. Relevante, signifikante Effekte der Plattenkondition konnten allerdings auch hier für das untersuchte Patientenkollektiv nicht nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass sich die Säuglinge mit orofazialen Spalten trotz interindividueller Unterschiede relativ einheitlich im Vergleich zu den Säuglingen der Kontrollgruppe noch in einem etwas früheren Stadium der Artikulationsentwicklung befinden. Diese Entwicklung beginnt mit der Übung einzelner Tuning-Interaktionen, gefolgt von TUTno-Interaktionen und später folgenden TUTnu-Interaktionen. Mit zunehmendem Training werden immer kürzere Tuningzeiten benötigt, um Übergänge zu vollziehen. Diese Ergebnisse implizieren die potentielle Eignung der Messgrößen für eine frühdiagnostische Bewertung von individuell erreichten Entwicklungsstadien.

4.4.3. Auswertung der mittleren Übergangszeit

Die Analyse der mittleren Übergangszeiten lieferte für R1 und R2 signifikant verlängerte Zeiten in der LKGS- und HSH-Gruppe im Vergleich zur KG-Gruppe in der Kondition mit Platte. Ohne Platte waren R1 und R2 nur noch in der HSH-Gruppe signifikant verschieden.

Man muss hier berücksichtigen, dass nicht zwischen den mittleren Übergangszeiten, die in die Interaktionsmuster TUTno bzw. TUTnu eingehen, unterschieden wurde und folglich eventuell verschiedene Effekte vermischt wurden (Kap. 3.5.3.). Da Übergänge mit Richtung nach unten (TUTnu-Interaktionen) auf dem Entwicklungsweg als eine höhere Stufe angesehen werden, könnte es durchaus möglich sein, dass diese anfänglich noch länger dauern als die Übergänge nach oben. Da TUTnu-Ereignisse allerdings bei der KG- und HSHoP-Gruppe deutlich häufiger vorkommen, würde dies nicht die längeren Zeiten in der Spaltgruppe erklären. Vielmehr scheint es so zu sein, dass sich die etwas unreifere Artikulationsentwicklung auch anhand der Übergangszeiten in der Spaltgruppe zeigt. Lange Übergangszeiten stellen eine primitivere Entwicklungsstufe dar. Die schnellsten Übergänge findet man beim Sprechen Erwachsener. Zusätzlich lässt sich schlussfolgern, dass sich mit der Entwicklung nicht nur die Tuningzeit sondern auch die Übergangszeit verkürzt, und so pro Schrei mehr TUT-Interaktionen möglich sind. Diese Entwicklungssequenzen sind in Abbildung 35 bis Abbildung 38 grafisch verdeutlicht. Das ähnliche Verhalten der HSHoP-Gruppe gegenüber der KG-Gruppe stützt die bereits gemachte Annahme, dass die beiden Säuglinge AL und AS im Unterschied zu den Säuglingen der Spaltgruppe nicht retardiert sind, da sie signifikant schnellere Übergänge bewerkstelligen.

In der Kondition mit Gaumenplatte unabhängig von der Resonanzfrequenz haben die LKGS- und HSH-Gruppe eine signifikant längere mittlere Übergangszeit. In der Kondition ohne Platte trifft dies nur noch für die HSH-Gruppe zu. Die LKGS-Gruppe zeigt keine signifikanten Unterschiede mehr. Dies könnte auf den ersten Blick auf einen nachteiligen Effekt der Platte bei den LKGS-Säuglingen bezüglich der untersuchten prä-artikulatorischen Prozesse hindeuten. Der Befund bei der HSH-Gruppe spricht aber eher dafür, dass die Platte keinen bzw. nur einen indirekten Einfluss auf diese Messgröße hat.

In der Einzelkindanalyse der LKGS-Gruppe zeigen AD in R1 in der Kondition mit Platte und TAM, OL und IT ohne Platte eine kleinere mittlere Übergangszeit als die KG-Gruppe. Dies erklärt wahrscheinlich die fehlende Signifikanz der LKGS-Gruppe zur KG-Gruppe in der Kondition ohne Platte.

In R1 der HSH-Gruppe hat AM in der Kondition ohne Platte kleinere Werte als die Kontrollgruppe. Wird die Platte eingesetzt, haben alle Säuglinge eine längere mittlere Übergangszeit als die Kontrollgruppe. Es werden auch hier interindividuelle Variationen deutlich, die zukünftig in der Betreuung der Säuglinge von Wert sein könnten.

4.5. Auswertung der Tv/U- und U/Tn-Quotienten

Anhand von Abbildung 39 und Abbildung 40 wird deutlich, dass das Verhältnis der einzelnen Quotienten zueinander in jeder Gruppe auffallend ähnlich ist. Dies belegt, dass die der Schreiproduktion bzw. „Artikulation“ zugrunde liegende Zeitorganisation einer stabilen neurophysiologischen Regelung unterliegt. Trotz verschiedener Einflussfaktoren, wie Art und Ausdehnung der orofazialen Spalten, und individueller Entwicklungswege finden sich vergleichbare Zeitparameter. Dies spricht für die Stabilität des Entwicklungsprogramms der Zeitorganisation. Das kurzzeitige Entfernen der Platte erzeugt keine signifikanten Unterschiede in den errechneten Werten, das heißt, dass die Säuglinge einen sehr robusten Regelmechanismus besitzen. Mit der kurzzeitigen Entfernung der Platte ist dennoch ein leichter Trend weg von den Medianwerten der Kontrollgruppe erkennbar. Die Tuningzeiten werden relativ zu den Übergangszeiten länger, sodass die Tv/U-Medianwerte steigen und die U/Tn-Medianwerte sinken.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden Lautäußerungen von Säuglingen mit orofazialen Spalten im Alter von der 9. bis zur 16. Lebenswoche untersucht. In diesem Alter treten erste prä-artikulatorische Phänomene auf, die den Übergang von der anfänglich nur durch phonatorische Mechanismen bestimmten Lautproduktion zur phonatorisch-artikulatorischen Lautproduktion charakterisieren. Dies ist ein essentieller Entwicklungsschritt für die spätere Sprechfähigkeit.

Orofaziale Spalten gehen häufig mit späteren Sprech- und Sprachstörungen einher. Dies äußert sich z. B. in einer Nasalisierung von Vokalen (Hardin und Grunwell, 1998; Kummer et al., 1992), dem Durchschlagen der Plosive (Stoel-Gammon, 1985; Chapman, 1991; Davis und McNeilage, 1995) und Frikative, einem eingeschränkten Repertoire an Konsonanten (Harding und Grunwell, 1998) und einer häufig rückverlagerten Artikulation (Karling et al., 1993; Chapman und Hardin, 1992; Haapanen, 1994; Marrinan et al., 1998).

Sprech- und Spracherwerb beginnen nicht erst, wenn die ersten Worte produziert werden, sondern faktisch unmittelbar nach der Geburt. Wesentliche Komponenten der für das spätere Sprechen erforderlichen, fein kontrollierten Abstimmung zwischen respiratorischen, phonatorischen und artikulatorischen Mechanismen werden bereits im Verlauf des ersten Lebensjahres erworben. Das für eine unauffällige Sprechentwicklung erforderliche vorsprachliche Entwicklungsprogramm erreicht im Alter von drei bis vier Monaten eine kritische Phase. Nachdem im Weinen der ersten beiden Lebensmonate die Abstimmung zwischen respiratorischen und phonatorischen Prozessen „geübt“ wurde und im Ergebnis zunehmend komplexere Schreimelodien und rhythmische Lautvariationen erzeugt werden, beginnt mit drei bis vier Monaten (Wermke et al., 2005) die Abstimmung zwischen Phonation und Artikulation. Das erfolgreiche Absolvieren dieses bedeutsamen Entwicklungsschrittes ist möglicherweise eine Grundvoraussetzung für eine nachfolgende unauffällige Sprach- und Sprechentwicklung. Säuglinge mit orofazialen Spalten sind bezüglich dieser Entwicklung aufgrund ihrer mehr oder weniger ausgeprägten Vokaltraktmalformationen und der damit verbundenen Funktions-einschränkungen der orofazialen Muskulatur erheblich benachteiligt. Aus diesem Grunde ist es wichtig, mögliche Einflüsse orofazialer Spaltbildungen auf

den Zeitpunkt des Beginns und die Art der prä-artikulatorischen Aktivitäten bei diesen Säuglingen zu charakterisieren. Erst danach kann man therapeutische Maßnahmen optimieren. Die vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag zu diesem innovativen Forschungsfeld.

Durch die Auswertung von 871 Lautäußerungen von 12 Säuglingen mit orofazialen Spalten konnten prä-artikulatorische Vorgänge bei diesen Kindern erstmalig quantitativ charakterisiert werden. Dazu wurden Spektralanalysen, Melodieanalysen und Resonanzfrequenzanalysen durchgeführt und relevante Parameter berechnet.

Die Untersuchung basiert auf dem durch Voruntersuchungen erarbeiteten Konzept, dass die Entwicklung der Artikulation mit einer Abstimmung (Tuning) zwischen laryngeal erzeugter Melodie und im Vokaltrakt erzeugten Resonanzfrequenzen beginnt. Im weiteren Verlauf der Entwicklung kommt es zu schnellen Übergängen von Resonanzfrequenzen zwischen den Harmonischen und der Melodie (Wermke et al., 2005). Auf diese Weise werden erste vokalähnliche Laute erzeugt und die für das spätere Babbeln erforderlichen Vorübungen absolviert. Die Auswertung dieser Entwicklungsschritte bei den hier untersuchten Schreien von Säuglingen mit orofazialen Spalten zeigte eine leichte Entwicklungsverzögerung dieser Kinder im Vergleich zu einer altersgleichen Kontrollgruppe von Säuglingen ohne orofaziale Spalten. Dieser Befund ist in guter Übereinstimmung mit den Arbeiten anderer Autoren, die bei Säuglingen mit orofazialen Spalten eine Verzögerung der vorsprachlichen Entwicklung, Defizite im Umfang und der Art des frühen Lautrepertoires und häufig auch ein späteres Erreichen des kanonischen Babbelstadiums beobachtet haben (siehe z. B. Hardin-Jones et al., 2006). Erstmals konnten aber in der vorliegenden Arbeit solche Verzögerungen durch geeignete Messgrößen quantitativ charakterisiert werden. Es konnte aufgrund der Datenbasis in der vorliegenden Arbeit kein direkter Zusammenhang zwischen der Hörminderung einiger untersuchter Kinder (Kap. 2.3.) und der retardierten Artikulationsentwicklung der Spaltgruppe ermittelt werden. Da das Gehör für die Sprech- und Sprachentwicklung von sehr großer Bedeutung ist, sollten in folgenden Studien engmaschigere und langfristige Hörtests erfolgen.

Neben einer generellen Entwicklungsverzögerung bezüglich erster artikulatorischer Aktivitäten der Spaltgruppe, gegenüber der zu Referenzzwecken herangezogenen Kontrollgruppe, wurden aber gleichzeitig große interindividuelle Unterschiede zwischen den Säuglingen mit orofazialen Spalten gefunden. Dies war zu erwarten, da Individuen mit orofazialen Spalten eine sehr heterogene Population darstellen, die darauf beruht, dass eine orofaziale Spaltbildung keine spezifische Erkrankung, sondern vielmehr ein Symptom vieler möglicher gestörter Entwicklungsprozesse darstellt. Selbst innerhalb einer Gruppe von Kindern gleichen Spalttyps gibt es teilweise erhebliche interindividuelle Entwicklungsunterschiede. Dies zeigt sich z. B. daran, dass in Einzelfällen selbst Kinder mit einer ausgeprägten spaltbedingten atypischen Anatomie eine normale Sprach- und Sprechentwicklung zeigen, ohne dass eine intensive therapeutische Intervention erfolgte (Harding und Grunwell, 1996; Peterson-Falzone et al., 2001).

Ein zu Beginn der Studie erwarteter Einfluss der Platte auf die beginnende vorsprachliche Artikulation konnte aufgrund der vorliegenden Datenbasis und der o. g. interindividuellen Unterschiede nicht nachgewiesen werden.

Obwohl die Heterogenität in der Gruppe der Säuglinge mit orofazialen Spalten für die Identifizierung universeller vorsprachlicher Entwicklungsverläufe bzw. deren Modifikation durch die orofaziale Spaltbildung einen großen Nachteil darstellt, eröffnet sie gleichzeitig großes Potential für eine verbesserte individuelle Betreuung dieser Patienten, unter der Voraussetzung der Existenz stabiler und verlässlicher „Risikomarker“.

Die in der vorliegenden Arbeit definierten und berechneten Messgrößen sind bei geeigneter Kalibrierung durch nachfolgende Untersuchungen möglicherweise geeignete Parameter für die Entwicklung frühdiagnostischer Instrumente. Die gefundenen signifikanten Unterschiede in den die prä-artikulatorischen Aktivitäten charakterisierenden Messgrößen zwischen der Spalt- und Kontrollgruppe, wie auch zwischen einzelnen Säuglingen mit orofazialen Spalten, belegen diese potentielle Eignung. Die Tatsache, dass diese Unterschiede vor jeglicher chirurgischer Intervention gefunden wurden, und relativ wenig von der Gaumenplatte beeinflusst werden, ist ein weiterer Vorteil für einen zukünftigen frühdiagnostischen Einsatz, da wesentliche Variabilitätsfaktoren ausgeschlossen sind.

Zusammenfassend kann man aus dem Ergebnis der Arbeit schlussfolgern, dass die von vielen Autoren berichtete Entwicklungsverzögerung von Säuglingen mit orofazialen Spalten in vorsprachlichen Leistungen anhand geeigneter Messgrößen quantifiziert werden konnte. Bevor die hier als geeignet herausgearbeiteten Größen allerdings in der klinischen Praxis eingesetzt werden können, sind nachfolgende Untersuchungen an größeren Stichproben unabdingbar. Sollten sich die hier aufgestellten Hypothesen dabei bestätigen, hätte man ein geeignetes Diagnoseinstrument für eine potentielle zusätzliche Risikostatistik für die Sprach- und Sprechentwicklung von Säuglingen mit orofazialen Spalten.

6. Literaturverzeichnis

Aylsworth AS (1996). Genetic considerations in craniofacial birth defects. Turvey TA, Vig KWL, Fonseca RJ. Facial clefts and craniosynostosis. Principles and management. Saunders, Philadelphia – London – Toronto – Montreal – Sydney – Tokyo; 76

Ball JV, DiBiase DD, Sommerlad BC (1995). Transverse maxillary arch changes with the use of preoperative orthopedics in unilateral cleft palate infants. Cleft Palate Craniofac J 32(6); 483-488

Bauer HR, Robb MP (1990). Formant estimation in child and chimpanzee vocalizations. The Journal of the Acoustical Society of America 87, Issue S1; 121

Beckman ME, Jung TP, Lee SH, de Jong K, Krishnamurthy AK, Ahalt SC, Cohen KB, Collins MJ (1995). Variability in the production of quantal vowels revisited. J. Acoustic. Soc. Am. 97; 471–489

Behrendt W, Strauch G (1965). Die Feinstruktur des menschlichen Stimmbandes in Abhängigkeit vom Lebensalter. Archiv Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilk. 184; 510-520

Berry DA, Herzel H, Titze IR, Krischer K (1994). Interpretation of biomechanical simulations of normal and chaotic vocal fold oscillations with empirical eigenfunctions. J. Acoust. Soc. Am. 95; 3595-3604

Birr M (2008). Quantitative Analyse von Melodiestrukturmustern in Lautäußerungen von Säuglingen mit orofazialen Spalten in den ersten drei Lebensmonaten. Dissertation in Vorbereitung. Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie, Universität Würzburg

Borschberg H, Ruppert R (1998). Vergleich stimmlicher Eigenschaften und anthropometrischer Merkmale bei mono- und dizygoten Zwillingen im ersten Lebensjahr. Dissertation, Humboldt Universität Berlin

Bosma JE, Truby HM, Lind J (1965). Studies of neo-natal transition: correlated cineradiographic and visual-acoustic observations. *Acta Paediatr Scand.*; Suppl 163:93. PMID: 4173913

Bosma JF (1975a). Anatomic and physiologic development of the speech apparatus. *The Nervous System: Human communication and its disorders.* edited by Tower Raven DB, New York, Vol. 3; 469–481

Bosma JF (1975b). Introduction. Symposium on development of upper respiratory anatomy and function: Implications regarding sudden and unexpected infant death, edited by Bosma JF and Showacre J Government Printing Office, Washington, D.C.; 5–44

Bosma JF (1985). Postnatal ontogeny of performances of the pharynx, larynx and mouth. *Am Rev Respir Dis.* 131(5):S10-5

Boysson-Bardies B, Halle P, Sagart L, Durand C (1988). A crosslinguistic investigation of vowel formants in babbling. *Journal of Child Language* 16; 1-17

Buhr RD (1980). The emergence of vowels in an infant. *J. Speech Hear. Res.* 23; 75–94

Carlsöö S, Leijon G (1960). A radiographic study of the position of the hyo-laryngeal complex in relation to the skull and the cervical column in man. *Trans. R. Sch. Dent. Umea. (Stockh)* 5; 13–35

Casal C, Domínguez C, Fernández A, Sarget R, Martínez-Celdrán E, Sentís-Vilalta J, Gay-Escoda C (2002). Spectrographic measures of the speech of

young children with cleft lip and cleft palate. *Folia Phoniatr Logop.* 54 (5); 247-257 12378036

Ceponiene R, Hukki J, Cheour M, Haapanen ML, Ranta R, Naatanen R (1999). Cortical auditory dysfunction in children with oral clefts: relation with cleft type. *Clin.Neurophysiol.*, 110; 1921-1926

Chapman KL (1991). Vocalizations of Toddlers with Cleft Lip and Palate. *Cleft Palate-Craniofacial Journal* 28 2; 172-178

Chapman KL, Hardin MA (1992). Phonetic and phonological skills of two-year olds with cleft palate. *Cleft Palate Craniofa. J.* 29; 435-443

Chapman KL, Hardin-Jones M, Schulte J, Halter KA (2001). Vocal development of 9-month-old babies with cleft palate. *J Speech Lang Hear Res.* 44; 1268–1283

Cohen MM (2002). Syndromes with orofacial clefting. *Cleft Lip and Palate: From Origin to Treatment.* Wyszynski DF. New York, Oxford University Press; 53-65

Colton RH, Steinschneider A (1980). Acoustic characteristics of first week infant cries: Some Relationships to the Sudden Infant Death Syndrome. In Murry T and Murry J (eds.), *Infant communication, cry and early speech*, Houston, Texas: College Hill Press

Colton RH, Steinschneider A (1981). The cry characteristics of an infant who dies of the sudden infant death. *J Speech Hear Disord.* 46; 359–363

Corwin MJ, Lester BM, Golub HL (1996). The infant cry: what can it tell us? *Curr Probl Pediatr.* 26; 325–334

Crelin E (1969). *Anatomy of the newborn: an atlas.* Philadelphia. Lea and Febiger

Crelin ES (1976). Development of the upper respiratory system. Ciba Clin. Symp. 28; 3-30

Davis BL, Mac Neilage PF (1995). The articulatory basis of babbling. Journal of Speech and Hearing Research 38; 1199-1211

DiBiase DD, Hunter SB (1983). A method of pre-surgical oral orthopaedics. Br J Orthod. 10(1); 25-31

Dokou P (2007). Über die Bedeutung von Melodie und Rhythmus in der vorsprachlichen Entwicklung von Säuglingen unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Bedürfnisse von Kindern mit orofazialen Spalten – ein Beitrag zur Entwicklung geeigneter Frühförderkonzepte. Dissertation am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie, Universität Würzburg

Eguchi S, Hirsh IJ (1969). Development of speech sounds in children. Acta Otolaryngol Suppl. 257; 1-51

Fant G (1960). Acoustic theory of speech production. Mouton, The Hague

Fish J (1972). Growth of the palatal shelves of post-alveolar cleft palate infants. Effects of stimulation appliances. Br Dent J 132(12); 492-501

Fletcher SG (1985). Speech production and oral motor skill in an adult with an unrepaired palatal cleft. J.S.H.D. 50; 254-261

Fogh-Andersen P (1942). Inheritance of Cleft Lip and Palate. Copenhagen: Nyt Fordisk Forlag; Thesis

Fuamenya A (2008). Analyse von Subharmonischen und Geräuschphänomenen in Vokalisationen junger Säuglinge: Vergleich von Säuglingen mit und ohne orofaziale Spaltbildung. Dissertation in Vorbereitung.

Zentrum für vorsprachlichen Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie, Universität Würzburg

Giesbrecht N (2002). Creaky voice in a pre-babbling infant. http://web.uvic.ca/ling/assets/documents/nathan_giesbrecht.pdf

Gilbert H, Robb M, Chen Y (1997). Formant Frequency Development: 15-36 months. *Journal of Voice* 11; 260-266

Gibbon FE, Crampin L (2001). An electropalatographic investigation of middorsum palatal stops in an adult with repaired cleft palate, *The Cleft Palate-craniofacial Journal*. Official Publication of the American Cleft Palate-craniofacial Association. 38(2); 96-105

Gnoinski WM (1990). Infant orthopedics and later orthodontic monitoring for unilateral cleft lip and palate patients in Zurich. Bardach J and Morris HL (eds.) *Multidisciplinary Management of Cleft Lip and Palate* (Philadelphia, PA: Saunders); 578-585

Golding-Kushner KJ (1995). Treatment of articulation and resonance disorder associated with cleft palate and VPI. Sphrintzen RJ, Bardach J, (eds.). *Cleft Palate Speech Management: A Multidisciplinary Approach*. St. Louis, MO: Mosby; 327–351

Gorlin RJ, Cohen MM, Levin LS (1990). Orofacial clefting syndromes: general aspects. Gorlin RJ, Cohen MM Jr, and Levin LS. *Syndromes of the Head and Neck*. 3rd ed. New York: Oxford University Press; 693–714

Graf-Pinthus B, Bettex M (1974). Long-term observation following presurgical orthopaedic treatment in complete clefts of the lip and palate. *Cleft Palate J* 11(0); 253-60

Gruber H (1990). Presurgical maxillary orthopedics. Bardach J and Morris HL (eds.) *Multidisciplinary Management of Cleft Lip and Palate* (Philadelphia, PA: Saunders); 559-600

Gundlach KK, Pfeifer G (1979). The arrangement of muscle fibres in cleft lips. *J Maxillofac Surg.* 7(2); 109-116

Haapanen ML (1994). Cleft type and speech proficiency. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 46; 57-63

Hardcastle WJ, Morgan Barry RA, Nunn M (1989). Instrumental articulatory phonetics in assessment and remediation: case studies with the electropalatograph. Stengelhofen J, (ed.) *Cleft Palate: The Nature and Remediation of Communication Problems*. Edinburgh: Churchill Livingstone; 136–164

Harding A, Grunwell P (1998). Active versus passive cleft-type speech characteristics. *Int. J. Language & Communication Disorders* 33 3; 329-352

Hardin-Jones MA, Chapman KL, Wright J, Halter KA, Schulte J, Dean JA, Havlik RJ, Goldstein J (2002). The impact of early palatal obturation on consonant development in babies with unrepaired cleft palate. *Cleft Palate-Craniofac Journal* 39; 157–163

Hardin-Jones MA, Chapman KL, Schulte JA (2003). The impact of cleft type on early vocal development in babies with cleft palate. *Cleft Palate-Craniofacial Journal* 40; 453-459

Hardin-Jones MA, Jones DL (2005). Speech production patterns of preschoolers with cleft palate. *Cleft-Palate-Craniofacial Journal.* 42; 7-13

Hardin-Jones MA, Chapman KL, Scherer NJ (2006). Early intervention in children with cleft palate. *The ASHA Leader*, 11(8), 8-9, 32

Hartnick CJ, Rehbar R, Prasad V (2005). Development and maturation of the pediatric human vocal fold lamina propria. *Laryngoscope*. 115(1); 4-15

Harville EW, Wilcox AJ, Lie RT, Abyholm F, Vindenes H (2007).
Epidemiology of cleft palate alone and cleft palate with accompanying defects.
Eur J Epidemiol. 22(6); 389-395

Hauschildt S (2007). Akustische Eigenschaften von Säuglingslauten bei eingesetzter versus nicht eingesetzter Oberkieferplatte – ein Beitrag zur Untersuchung des Einflusses der kieferorthopädischen Frühbehandlung auf die vorsprachliche Entwicklung von Kindern mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Segelspalten. Dissertation am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie, Universität Würzburg

Heineman de Boer JA (1985). Cleft Palate Children and Intelligence: Intellectual Abilities of Cleft Palate Children in a Cross-Sectional and Longitudinal Study. Lisse: Swets and Zeitlinger. Thesis

Herschkowitz N, Kagan J, Zilles K (1997). Neurobiological bases of behavioral development in the first year. *Neuropediatrics* 28; 296–306

Hofstee Y, Kors N, Hennekam RCM (1993). Genetic survey of a Group of Children with Clefting: Implications for Genetic Counseling. *Cleft Palate Craniofac J* 30 (5); 447-451

Hotz M, Gnoinski W (1976). Comprehensive care of cleft lip and palate children at Zurich niversity: a preliminary report. *Am J Orthod* 70(5); 481-504

Hotz M (1979). Multidisziplinäre Betreuung von Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten in Zürich. *Stomatology* 29; 944-954

Hotz M (1983). Orofacial development under adverse conditions. *European Journal of Orthodontics* 5; 91-103

Ishii K, Yamashita K, Akita M, Hirose H (2000). Age-related development of the arrangement of connective tissue fibers in the lamina propria of the human vocal fold. *Ann Otol Rhinol Laryngol.*109(11); 1055-1064

Jusczyk PW (2002). How infants adapt speech-processing capacities to native-language structure. *Current Directions in Psychological Science* 11; 15–18

Källén B, Harris J, Robert E (1996). The epidemiology of orofacial clefts. 2. Associated malformations. *J Craniofac Genet Dev Biol* 16; 216-248

Kapp Simon KA, Krueckeberg S (2000). Mental development in infants with cleft lip and/or palate. *Cleft Palate Craniofac J* 37 (1); 65-70

Karling J, Larson O, Leanderson R, Henningsson G (1993). Speech in unilateral and bilateral cleft palate patients from Stockholm. *Cleft Palate Craniofac.* 30(1); 73-77

Kay Elemetrics Corp. (1999). Software Instruction Manual. Multi-Dimensional-Voice Program (MDVP) Model 5105. Version 2.0.

Kemp-Fincham SI, Kuehn DP, Trost-Cardamone JE (1990), Speech development and the timing of primary palatoplasty. Bardach J and Morris HL, Multidisciplinary management of cleft lip and palate, Saunders, Philadelphia, PA; 736–745

Kent RD (1976). Anatomical and Neuromuscular Maturation of the Speech Mechanism: Evidence from Acoustic Studies. *Journal of Speech and Hearing Research.* 19; 421-447

Kent RD, Forner LL (1979). Developmental study of vowel formant frequencies in an imitation task. *J Acoust Soc Am.* 65(1); 208-217

Kent RD, Murray AD (1982). Acoustic features of infant vocalic utterances at 6 and 9 months. *Journal of the Acoustic Society of America* 72. JSJ-6S

King EW (1952). A roetgenograohic study of pharyngeal growth. *Angle Orthod.* 22; 23–37

Koch H, Koch J, Grzonka M, Gundlach KK (2003). Facial clefts and their coding with LAHS nomenclature. *Mund Kiefer Gesichtschirurgie.* 7(6); 339-344

König R (1993). Genetik, Syndrome und assoziierte Fehlbildungen bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumen- und Gaumenspalten. Habilitation für das Fachgebiet Humangenetik, Frankfurt am Main

Koivisto M (1987). Cry analysis in infants with RH haemolytic disease. *Acta Paediatr Scand Suppl.* 335; 1–73

Komposch G (1986). Die prächirurgische kieferorthopädische Behandlung von Säuglingen mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten. *Fortschr. Kieferorthop.* 47; 362

Koopmans-van Beinum FJ, Van der Stelt JM (1986). Early stages in the development of speech movements. Lindblom B & Zetterstrom R, *Precursors of early speech.* New York: Stockton Press; 37-50

Kriens O (1975). Anatomy of the velopharyngeal area in cleft palate. *Clin plast Surg Apr* 2 (2); 61-88

Krueger JM (1970). A spectrographic analysis of the differing cries of a normal two-month-old infant. *Nurs Res.* 19(5); 459-462

Kuhl PK (2000). A new view of language acquisition. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 97(22); 11850-11857

Kuhl PK, Meltzoff AN (1982). The bimodal development of speech in infancy. *Science* 218; 1138–1141

Kuhl PK, Meltzoff AN (1996). Infant vocalizations in response to speech: Vocal imitation and developmental change. *Journal of the Acoustical Society of America* 100; 425-2438

Kummer AW, Curtis C, Wiggs M, Lee L, Strife JL (1992). Comparison of velopharyngeal gap size in patients with hypernasality, hyponasality and nasal emission or nasal turbulence (rustle) as the primary speech characteristics. *Cleft Palate-Craniofacial Journal* 29; 152-155

Laitman JT, Crelin ES (1976) Postnatal development of the basicranium and vocal tract region in man. *Symposium on Development of the Basicranium*. Bosma JF (ed.). US. Government Printing Office, Washington, D.C.; 206-220

Lawrence CW, Philips BJ (1975). A telefluoroscopic study of lingual contacts made by persons with palatal defects. *Cleft Palate J.* 12(00); 85-94

Lederman D, Zmora E, Hauschildt S, Stellzig-Eisenhauer A., Wermke K (2008). Classification of cries of infants with cleft-palate using parallel hidden Markov models. *Med Biol Eng Comput.* 18368431 (P,S,E,B,D)

Lester BM, Boukydis CFZ (1985). *Infant crying. Theoretical and Research Perspectives*. Plenum Press, New York

Lester BM, Anderson LT, Boukydis CF, Garcia-Coll CT, Vohr B, Peucker M (1989). Early detection of infants at risk for later handicap through acoustic cry. *Birth Defects Orig Artic Ser.* 25; 99–118

Leutert G (1986). Age dependence of functional systems, exemplified by the vocal cord and cricothyroid articulation. *Z Gesamte Inn Med.*1;41(5); 131-133. German

Lewis R (1971). A survey of the intelligence of cleft lip and palate children in Ontario. *Br J Disord Comm.* 6; 17–25

Lieberman P, Crelin ES (1971). On the speech of Neanderthal man. *Linguist. Inq.* 2; 203-222

Lieberman P, Crelin ES, Klatt DH (1972). Phonetic Ability and Related Anatomy of the Newborn and Adult Human, Neanderthal Man, and the Chimpanzee. *American Anthropologist, New Series, Vol. 74, No. 3*; 287-307

Lieberman P (1984). *The Biology and Evolution of Language*.
Harvard University Press, Cambridge

Lieberman DE, McCarthy RC, Hiiemae KM, Palmer JB (2001). Ontogeny of postnatal hyoid and larynx descent in humans. *Arch Oral Biol.* 46(2); 117-128

Lind K (1999). Ontogenetische Entwicklung vorsprachlicher Lautäußerungen in den ersten 3 Lebensmonaten. Diplomarbeit. Humboldt Universität Berlin

LINDBLOM B (1961): Accuracy and limitations of Sona-Graph Measurements. in *Proc. of the Fourth International Congress of Phonetic Sciences, Helsinki*

Lindblom B und Sundberg J (1971). Acoustical consequences of lip, tongue, jaw, and larynx movement. *Journal of the Acoustical Society of America*, 50; 1166-1179

Lohmander-Agerskov A, Söderpalm E, Friede H, Lilja J (1995). A longitudinal study of speech in 15 children with cleft lip and palate treated by late repair of the hard palate. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 29(1); 21-31

Markel JE, Gray AM (1982). *Linear Prediction of Speech*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ

Marrinan EM, La Brie RA, Mulliken JB (1998). Velopharyngeal function in nonsyndromic cleft palate: relevance of surgical technique, age at repair and cleft type. *Cleft palate Craniofac J* 35; 95-100

Massengill R Jr (1969). Cry characteristics in cleft-palate neonates. *J Acoust Soc Am* 45(3); 782-784

McWilliams BJ, Matthews HP (1979). A comparison of intelligence and social maturity in children with unilateral complete clefts and those with isolated cleft palates. *Cleft Palate J.* 16; 363–372

Meißner S (2003). Untersuchung und Charakterisierung des Lautrepertoirs von Säuglingen mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Segelspalten zwischen dem 7. und 24. Lebensmonat. Diplomarbeit. Institut für Patholinguistik der Universität Potsdam

Mende W, Herzel HP, Wermke K (1990a). Bifurcation and chaos in newborn infant cries. *Physics Letters A* 145(8-9):418-424

Mende W, Wermke K, Schindler S, Wilsopolski K (1990b). Variability of the cry melody and the melody spectrum as indicators for certain CNS disorders. *Early Child Dev Care.* 65; 95–107

Ménard L, Schwartz JL, Boë LJ (2004). Role of vocal tract morphology in speech development: perceptual targets and sensorimotor maps for synthesized French vowels from birth to adulthood. *J Speech Lang Hear Res.* 47(5); 1059-1080

Michelsson K (1971). Cry analyses of symptomless low birth weight neonates and of asphyxiated newborn infants. *Acta Paediatr Scand Suppl* 216; 1-45

Michelsson K, Sirvio P, Koivisto M, Sovijarvi A, Wasz-Höckert O (1975). Spectrographic analysis of pain cry in neonates with cleft palate. *Biol Neonate* 26(5-6); 353-358

Michelsson K, Michelsson O (1999). Phonation in the newborn, infant cry. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 49 Suppl 1; 297-301

Milerad J, Larson O, Hagberg PK, Ideberg M (1997). Associated malformations in infants with cleft lip and palate. *Pediatrics* 100(2); 180-186

Morley ME (1970). *Cleft Palate and Speech*. 7th ed. Edinburgh, Scotland: Churchill Livingstone

Mühler G (1996). Die Schreiperiode von Säuglingen mit Gaumen- und Segelspalten. *Stimme Sprache Gehör* 20; 66-71

Negus VE (1949). *The Comparative Anatomy and Physiology of the Larynx*, Hafner, New York

Nicolau PJ (1983). The orbicularis oris muscle: A functional approach to its repair in the cleft lip. *Br J Plast Surg*. 36; 141

Opitz C, Mühler G, Bloch I, Schenk HJ (1992). A contribution to the controversial discussion on a preoperative orthodontic treatment for infants with unilateral cheilognathopalatoschisis. *Fortschr Kieferorthop* 53(6); 330-337

Pearce S, Taylor B (1993). Time-frequency analysis of infant cry: measures that identify individuals. *Physiol.Meas.* 14; 253-262

Richman LC, Eliason M (1984). Type of reading disability related to cleft type and neuropsychological patterns. *Cleft Palate J*. 21; 1-6

Ringel RL, Kluppel DD (1964). Neonatal crying: a normative study. *Folia Phoniater (Basel)* 16; 1-9

Robb M, Cacace A (1995). Estimation of Formant Frequencies in Infant Cry. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 32; 57-67

Robb M, Chen Y, Gilbert, H (1997). Developmental aspects of formant frequency and bandwidth in infants and toddlers. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 49; 88-95

Robb MP, Saxman JH (1988). Acoustic observations in young children's non-cry vocalizations. *J Acoust Soc Am.* 83(5); 1876-1882

Rustemeyer J, Günther L, Krause H-R, Peterson S, Thieme V, Bremerich A (2000). Assoziierte Anomalien bei Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 4; 274-277

Rvachew S, Mattock K, Polka L, Ménard L (2006). Developmental and cross-linguistic variation in the infant vowel space: the case of Canadian English and Canadian French. *J Acoust Soc Am.* 120(4); 2250-2259

Rvachew S, Slawinski EB, Williams M, Green CL (1996). Formant frequencies of vowels produced by infants with and without early onset otitis media. *Canadian Acoustics/Acoustique Canadienne* 24(2); 19-28

Savage HE, Neiman GS, Reuter JM (1994). A developmental perspective on assessment of infants with clefts and related disorders. *Infant Toddler Intervent.* 4; 221-234

Schwartz JL, Boe LJ, Vallée N (1997). The dispersion-focalisation theory of vowel systems. *Journal of Phonetics* 25; 255-286

Schweikl C (2000). Assoziierte Fehlbildungen bei Patienten mit orofazialer Spalte- eine retrospektive Erhebung. Dissertation an der Kinderklinik und Poliklinik der Technischen Universität München

Schwenzer N, Ehrenfeld M (2002). *Spezielle Chirurgie.* Thiemeverlag 3. Auflage; 203

Senecail B (1979). L'Os hyoïde; introduction anatomique à l'étude de certains mécanismes de la phonation. *Memoires du laboratoire d'anatomie de la Faculté de Médecine de Paris* 36

Sedlácková E (1967). Differenzierung der Formantengebiete in den Anfängen der Stimmentwicklung des Kindes. Proceedings of the Sixth International Congress of Phonetic Sciences. Prague, Academia Praha; 813-816

Serkhane JE, Schwartz JL, Boë LJ, Davis BL, Matyear CL (2007). Infants' vocalizations analyzed with an articulatory model: A preliminary report, Journal of Phonetics 35; 321-340

Shardonofsky FR, Perez-Chada D, Carmuega E, Milic-Emili J (1989). Airway pressures during crying in healthy infants. Pediatr Pulmonol 6(1); 14-18

Shinagawa H, Ono T, Honda E, Masaki S, Shimada Y, Fujimoto I, Sasaki T, Iriki A, Ohyama K (2005). Dynamic analysis of articulatory movement using magnetic resonance imaging movies: methods and implications in cleft lip and palate. Cleft Palate Craniofac J. 42(3); 225-230

Speltz ML, Endriga MC, Hill S, Maris CL (2000). Cognitive and psychomotor development. J Pediatr Psychol 25(3); 185-190

Sphrintzen RJ, Siegel-Sadewitz VL, Amato J, Goldberg RB (1985). Anomalies Associated With Cleft Lip, Cleft Palate, or Both. Am J Genet 20; 585-595

Starr P, Chinsky RR, Canter H, Meier J (1987). Mental, motor, and social behavior of infants with cleft lip and/or cleft palate. Cleft Palate J. 14; 140-147

Steck-Walter SM (2007). Quantitative Strukturanalyse vorsprachlicher Vokalisationen von Säuglingen mit orofazialen Spalten im zweiten Lebenshalbjahr bei kieferorthopädischer Frühbehandlung. Dissertation am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie, Universität Würzburg

Steinecke I, Herzel H (1995). Bifurcations in an asymmetric vocal fold model. Journal of the Acoustical Society of America 97; 1874-1884

Stevens KN (1999). Acoustic Phonetics. Cambridge, MA: The MIT Press
Current Studies in Linguistics, 30

Stewart MG (1991). Introduction to cleft lip and palate.
<http://www.bcm.edu/oto/grand/6191.html>

Stoel-Gammon C (1985). Phonetic inventories, 15–24 months: a longitudinal study. J Speech Hear Res. 28; 505–512

Stoll C, Alembik Y, Dott B, Roth MP (200). Associated malformations in cases with oral clefts. Cleft Palate Craniofac J 37(1); 41-47

Strauss RP, Broder H (1993). Children with cleft Lip/Palate and Mental Retardation: A Subpopulation of Cleft-Craniofacial Team Patients. Cleft Palate Craniofac J 30 (6); 548-556

Stuffins GM (1981). Speech and mental attitudes in the older presurgical child. In long term treatment in cleft lip and palate. Proceedings of the first international symposium (Bern: H.Huber); 199-206

Tanimoto K, Henningsson G, Isberg A, Ren YF (1994). Comparison of tongue position during speech before and after pharyngeal flap surgery in hypernasal speakers. Cleft Palate Craniofac J. 31(4); 280-286

Trost JE (1981). Articulatory additions to the classical description of the speech of persons with cleft palate. Cleft Palate J. 18(3); 193-203

Vallée N (1994). Systèmes y ocaliques : de la typologie aux prédictions . Thèse de Doctorat en Sciences du langage. Université Stendhal. Grenoble

Vihman MM (1996). Phonological Development. The origins of language in the child. Blackwell Publishers

Vorperian HK, Kent RD, Lindstrom MJ, Kalina CM, Gentry LR, Yandell BS (2004). Development of vocal tract length during early childhood: a magnetic resonance imaging study. *J Acoust Soc Am.* 117(1); 338-350

Weil J (1987). Orthopaedic growth guidance and stimulation for patients with cleft lip and palate. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 21(1); 57-63

WHO IDCFA (2007). The International Database on Craniofacial Anomalies. http://www.who.int/genomics/anomalies/ceurope_ttlcases/en/index.html

Wermke K (1987). Begründung und Nachweis der Eignung des Säuglingsschreies für zentralnervöse Funktionsstörungen des Neugeborenen – Fallstudien speziellen Computerverfahrens. Humboldt Universität Berlin

Wermke K, Mende W, Grauel L, Wilzopolski K, Schmucker U, Schröder G (1987). The significance and determination of pitch in Newborn cries and the melodyspectrum as a measure of fundamental frequency variability. Kirkland J (ed.) Cry report -Special Issue. Massey University Press, Palmerston North, N.Z.

Wermke K, Mende W (1992). Sprache beginnt mit dem ersten Schrei. *Spektrum der Wissenschaft.* 12; 115-118

Wermke K, Mende, W (2000). Developmental changes of infant cries during the first months of life: the evolution of complex vocalizations. Workshop "Development and Interaction of Linguistic and Non-Linguistic Cognition in Infants"

Wermke K, Hauser C, Komposch G, Stellzig A (2002). Spectral analysis of prespeech sounds (spontaneous cries) in infants with unilateral cleft lip and palate (UCLP): a pilot study. *Cleft Palate Craniofac J.* 39(3); 285-294

Wermke K (2002). Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten Zwillingen in den ersten 5 Lebensmonaten. Habilitation. Humboldt Universität Berlin. <http://edoc.hu-berlin.de>

Wermke K, Mende W, Manfredi C, Brusciaglioni P (2002). Developmental aspects of infant's cry melody and formants. *Med.Eng Phys.* 24; 501-514

Wermke K, Friederici AD (2004). Developmental changes of infant cries - the evolution of complex vocalizations. *Behav Brain Sci* 27(4); 474-475

Wermke K, Mende W, **Kempf A**, Manfredi C, Brusciaglioni P, Stellzig-Eisenhauer A (2005). Interaction patterns between melodies and resonance frequencies in infants' pre-speech utterances. *Models and analysis of vocal emissions for biomedical applications 4th international workshop: october 29-31.2005. Firenze, Italy. Firenze university press. Atti, 21* <http://digital.casalini.it/8884533201>

Wermke K, Leising D, Stellzig A (2007). Melody Complexity of infant cries predicts language outcome in the second year of life: A longitudinal study

Wermke K (2007). Von einfachen zu komplexen Melodien: Über die frühesten Entwicklungsschritte auf dem Weg zur Sprache. Fuchs M. *Singen und Lernen, Kinder und Jugendstimme*; 9-20

Wick R (1990). Analysen vorsprachlicher Lautäußerungen des Menschen im ersten Lebensjahr unter Einsatz eines speziellen Computerverfahrens zur Formantextraktion. Diplomarbeit. Humboldt Universität Berlin

Wirth G. (1983). Sprachstörungen, Sprechstörungen, kindliche Hörstörungen. Deutscher Ärzteverlag Köln

Wyszynski DF, Sarkozi A, Czeizel A (2005). Oral Clefts with Associated Anomalies: Methodological Issues. *Cleft Palate Craniofac. J.*

Yamashita Y, Michi K, Imai S, Suzuki N, Yoshida H (1992). Electropalatographic investigation of abnormal lingual-palatal contact patterns in cleft palate patients. *Clin Linguist Phonet.* 6; 201–217

Zeipert B (2004). Vorsprachliche Lautäußerungen (Säuglingsschreie) von Säuglingen mit Lippen-, Kiefer- und Gaumenspalten im ersten Lebenshalbjahr – eine Längsschnittstudie. Dissertation, Humboldt Universität Berlin

Danksagung

Zu Beginn bedanke ich mich bei Frau Prof. Dr. Angelika Stellzig-Eisenhauer, Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie, für die Gelegenheit am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen diese besonders reizvolle Forschungsarbeit durchzuführen.

Zudem richte ich einen besonderen Dank an Frau Prof. Dr. Kathleen Wermke, Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen, für ihre fachliche und herzliche Begleitung und Beratung während der Anfertigung dieser Promotion. Besonderer Dank gilt für die vielen geopferten Stunden, die sie mir, anstelle ihrer Familie bei den gemeinsamen Forschungen widmete. Auch bedanke ich mich für die Möglichkeit zur Teilnahme an zwei internationalen Konferenzen, auf denen ich bereits Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit präsentieren konnte.

Für die Übernahme und die Erstellung des Zweitgutachtens möchte ich mich bei Frau Priv.- Doz. Dr. med./ET Wafaa E. Shehata-Dieler aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen herzlich bedanken.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Peter Wermke, der mir die von ihm entwickelte Analysesoftware zur Verfügung stellte, mehrfach spezielle Programmadaptationen implementierte; für seine Hilfe bei der Bewältigung zahlreicher Computerprobleme und für die Geduld bei den o.g. familiären Entbehrungen.

Ich bedanke mich bei Herrn Werner Mende, für die zahlreichen fachlichen Anregungen, Gespräche und seine konstruktive Kritik. Ohne die von ihm konzipierte und im CDAP implementierte innovative Untersuchungsstrategie zur Bestimmung von Interaktionen zwischen der Melodie und den Resonanzfrequenzen wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Danksagung

Ganz herzlich bedanke ich mich bei meiner Familie, insbesondere bei meinen Großeltern und Barbara, für ihr reges Interesse und ihren Rückhalt in allen Etappen dieser Promotion.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name Anne Kempf

Geburtsdatum 06.10.1981

Geburtsort Suhl, Deutschland

Nationalität deutsch

Familienstand Ledig

Schulische Laufbahn

20.06.2000 Allgemeine Hochschulreife

Akademische Laufbahn

2001 bis 2006 Studium der Zahnmedizin
Julius-Maximilians-Universität
Würzburg

2006 Zahnärztliche Prüfung

Berufliche Laufbahn

01.09.2000 bis
30.03.2001 Freiwilliges Soziales Jahr
DRK Würzburg

30.06.2006 Approbation

Seit 01.10.2006 Vorbereitungsassistentin