

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit

der Universität Würzburg

Poliklinik für Kieferorthopädie

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

Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen

Vorsprachliche Diagnostik im zweiten Lebenshalbjahr – Ein Vergleich zwischen Kindern mit isolierter Sagittalnahtsynostose vor und nach operativer Therapie, Säuglingen mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus und Kontrollkindern

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Frederike Vink

aus Köln

Würzburg, 03.02.2018



Referent: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Kathleen Wermke

Koreferent: Priv.-Doz. Dr. med. habil. Tilmann Schweitzer

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 04.07.2018

Die Promovendin ist Zahnärztin

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Kraniofaziale Anomalien von Säuglingsschädeln	2
1.1.1 Kraniosynostosen: Ätiologie und Inzidenz	3
1.1.2 Kraniosynostosen: Therapie	4
1.1.3 Lagerungsbedingter Plagiocephalus: Ätiologie und Inzidenz.....	5
1.1.4 Lagerungsbedingter Plagiocephalus: Therapie	7
1.2 Entwicklungsdefizite durch kraniofaziale Anomalien?	8
1.3 Ziel der Vorsprachlichen Diagnostik	12
2 Material und Methoden	15
2.1 Studiendesign	15
2.2 Probandenkollektiv	18
2.2.1 Postnatale somatische Daten	20
2.3 3D-Bildgebung und –Analyse	28
2.4 Vokalisationsrepertoire	31
2.5 Datenaufbereitung	34
2.6 Datenanalyse.....	36
2.6.1 Qualitative Babelanalyse: Kategorienbildung anhand phonatorischer und artikulatorischer Merkmale.....	36
2.6.2 Klassifizierung anhand der Melodiestructur	43
2.6.3 Quantitative Analyse melodischer und zeitlicher Parameter.....	46
2.7 Statistische Analyse	48
3 Ergebnisse	50

3.1	Gruppencharakterisierung und Vergleich der untersuchten Probanden anhand postnataler 3D-Kopfdaten	50
3.1.1	Analyse des CI-Index	50
3.1.2	Analyse der Zirkumferenz.....	52
3.1.3	Analyse der Maximalen Kopfbreite	53
3.1.4	Analyse der Maximalen Kopflänge	54
3.2	Babbelanalyse	55
3.2.1	Gruppenspezifische Auftrittshäufigkeit der Kategorien	57
3.2.2	Konsonantenrepertoire der postoperativen SMO-Laute	74
3.3	Analyse temporaler und grundfrequenzbasierter Vokalisationseigenschaften	75
3.3.1	Analyse der Vokalisationslängen.....	75
3.3.2	Analyse des Pausenindex segmentierter Vokalisationen	82
3.3.3	Analyse der mittleren Grundfrequenz, der F0-Maxima und F0-Minima und des relativen Hubs	85
4	Diskussion.....	95
4.1	Diskussion der 3D-Analyse.....	96
4.2	Diskussion der Babbelanalyse.....	98
4.2.1	Extremwerte der Messgrößen in der Kontrollgruppe	100
4.3	Diskussion der temporalen und grundfrequenzbasierten Vokalisationsanalyse	102
4.3.1	Temporale Parameter.....	102
4.3.2	Grundfrequenzbasierte Parameter	104
4.3.3	Grundfrequenzbasierte Extremwerte in der Kontrollgruppe.....	105
5	Zusammenfassung.....	108
6	Literaturverzeichnis	110

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Klinisches Erscheinungsbild eines Skaphocephalus, verursacht durch eine Sagittalnahtsynostose. Freundlicherweise von Mitarbeitern des CFCW zur Verfügung gestellt.....	4
Abbildung 2:	Phänotyp eines linksseitigen Lagerungsplagiocephalus mit abgeflachtem Hinterkopf, Verschiebung der Ohrachse („ear shift“) und Betonung der Stirnregion (frontal bossig). (Eigene Abbildung anhand eines 3D-Scans von Kind PG_BP)	6
Abbildung 3:	Schematischer Ablauf aller vorgenommenen Untersuchungen (Eigene Darstellung)	17
Abbildung 4:	Einordnung der männlichen Probanden in Perzentilkurven für das Geburtsgewicht [g]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe	25
Abbildung 5:	Einordnung der weiblichen Probanden in Perzentilkurven für das Geburtsgewicht [g]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe	25
Abbildung 6:	Einordnung der männlichen Probanden in Perzentilkurven für die Geburtslänge [cm]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe	26
Abbildung 7:	Einordnung der weiblichen Probanden in Perzentilkurven für die Geburtslänge [cm]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe	26
Abbildung 8:	Einordnung der männlichen Probanden in Perzentilkurven für den Geburtskopfumfang [cm]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe	27
Abbildung 9:	Einordnung der weiblichen Probanden in Perzentilkurven für den Geburtskopfumfang [cm]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe	27
Abbildung 10:	Positionierung des Säuglings beim 3D-Scan (Abbildung freundlicherweise durch CFCW-Mitarbeiter zur Verfügung gestellt)..	28
Abbildung 11:	3D-Scan-Daten: 1= Zirkumferenz, 2= Breite, 3= Länge, 4= CI-Index, 5= CBW, 6= Vertexhöhe nach Meyer-Marcotty et al, 2012. (3D-Scan-Daten freundlicherweise durch CFCW-Mitarbeiter zur Verfügung gestellt)	28
Abbildung 12:	Laterale, frontale und kraniale Ansicht der 3D-Scans des Kindes SMO_AE. Alter zum Scanzeitpunkt: 191 Tage (von CFCW-Projektleitern zur Verfügung gestellt)	30

Abbildung 13: Laterale, frontale und kraniale Ansicht der 3D-Scans des Kindes KG_BL. Alter zum Scanzeitpunkt: 195 Tage (von CFCW-Projektleitern zur Verfügung gestellt)	30
Abbildung 14: Laterale, frontale und kraniale Ansicht der 3D-Scans des Kindes PG_BP. Alter zum Scanzeitpunkt: 190 Tage (von CFCW-Projektleitern zur Verfügung gestellt)	30
Abbildung 15: Schmalbandspektrogramm im PRAAT-Ausgabefenster (Eigene Darstellung)	35
Abbildung 16: Melodie-/ Intensitätsdiagramm des in Abbildung 15 dargestellten Komfortlautes. (Eigene Darstellung).....	35
Abbildung 17: Kategorisierung aller Babbellaute anhand artikulatorischen und phonatorischen Elementen (Eigene Darstellung)	37
Abbildung 18: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Babbellautes ohne Artikulation im Alter von 194 Tagen.....	38
Abbildung 19: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Babbellautes mit zwei Resonanzveränderungen im Alter von 374 Tagen	39
Abbildung 20: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Babbellautes [r] mit konsonantähnlichem Element im Alter von 374 Tagen	40
Abbildung 21: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Babbellautes mit konsonantähnlichem Element und Resonanzveränderung im Alter von 237 Tagen	41
Abbildung 22: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines kanonischen Babbellautes im Alter von 374 Tagen	42
Abbildung 23: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Melodiebogens mit zugehörigen Obertönen (PRAAT)	43
Abbildung 24: Schmalband-Frequenzspektrogramm einer segmentierten Vokalisation mit zwei Pausen: die erste Pause ist vollständig, die zweite unvollständig (PRAAT).	44
Abbildung 25: Schmalband-Frequenzspektrogramm einer segmentierten Vokalisation mit vollständiger Pause (PRAAT)	45
Abbildung 26: Schmalband-Frequenzspektrogramm einer segmentierten Vokalisation mit drei vollständigen Pausen (PRAAT)	45
Abbildung 27: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Werte des CI-Index [%] zwischen der Kontrollgruppe (KG), der Plagiocephalusgruppe (PG) und der Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO).....	51

Abbildung 28: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Werte der Zirkumferenz [cm] zwischen der Kontrollgruppe (KG), der Plagiocephalusgruppe (PG) und der Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO)..... 52

Abbildung 29: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Werte der max. Kopfbreite [cm] zwischen der Kontrollgruppe (KG), der Plagiocephalusgruppe (PG) und der Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO)..... 53

Abbildung 30: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Werte der max. Kopflänge [cm] zwischen der Kontrollgruppe (KG), der Plagiocephalusgruppe (PG) und der Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO)..... 54

Abbildung 31: Häufigkeitsverteilung der ermittelten Kategorien im gesamten Lautrepertoire der Kinder unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit 55

Abbildung 32: Gruppenspezifisches Alter der Probanden bei Lautaufnahme (Gruppe 1: KG, Gruppe 2: PG, Gruppe 3: SMO-prä, Gruppe 4: SMO-post).... 56

Abbildung 33: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe..... 58

Abbildung 34: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der KG-Gruppe 60

Abbildung 35: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der PG-Gruppe 60

Abbildung 36: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der SMO-prä-Gruppe 60

Abbildung 37: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe..... 62

Abbildung 38: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der KG-Gruppe 64

Abbildung 39: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der PG-Gruppe 64

Abbildung 40: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der SMO-prä-Gruppe 64

Abbildung 41: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der weiblichen Probanden der KG- und PG-Gruppe 66

Abbildung 42: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der weiblichen Probanden der KG-Gruppe 67

Abbildung 43: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der weiblichen Probanden der PG-Gruppe	67
Abbildung 44: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der prä- und post-operativen Werte der SMO-Gruppe	69
Abbildung 45: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der SMO-prä-Gruppe	70
Abbildung 46: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der SMO-post-Gruppe	70
Abbildung 47: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der prä- und post-operativen Werte der männlichen Probanden der SMO-Gruppe	72
Abbildung 48: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der SMO-prä-Gruppe	73
Abbildung 49: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der SMO-post-Gruppe	73
Abbildung 50: Konsonantenrepertoire der postoperativen Laute der SMO-Gruppe. („Fragezeichen“= Laute, die keinem der o.g. Kategorien zugeordnet werden konnten).....	74
Abbildung 51: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der log-Lautlängen unsegmentierter Vokalisationen der Gruppen KG, PG und SMO-prä	77
Abbildung 52: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Lautlängen unsegmentierter Vokalisationen der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe	78
Abbildung 53: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Lautlängen segmentierter Vokalisationen der Gruppen KG, PG und SMO-prä	80
Abbildung 54: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Lautlängen segmentierter Vokalisationen der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe	81
Abbildung 55: Boxplot-Diagramm zum Vergleich des Pausenindex der Gruppen KG, PG und SMO-prä.....	83
Abbildung 56: Boxplot-Diagramm zum Vergleich des Pausenindex der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe	84
Abbildung 57: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der mittleren Grundfrequenz (F0) der Gruppen KG, PG und SMO-prä	86
Abbildung 58: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der mittleren Grundfrequenz (F0) der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe	87

Abbildung 59: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Maximalwerte der Grundfrequenz (Fmax) der Gruppen KG, PG und SMO-prä	89
Abbildung 60: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Maximalwerte der Grundfrequenz (Fmax) der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe	90
Abbildung 61: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Minimalwerte der Grundfrequenz (Fmin) der Gruppen KG, PG und SMO-prä	92
Abbildung 62: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Minimalwerte der Grundfrequenz (Fmin) der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe	92
Abbildung 63: Boxplot-Diagramm zum Vergleich des relativen Hubs der Grundfrequenz der Gruppen KG, PG und SMO-prä.....	94
Abbildung 64: Boxplot-Diagramm zum Vergleich des relativen Hubs der Grundfrequenz der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auswahlkriterien aller Probanden	19
Tabelle 2:	Probandenübersicht	19
Tabelle 3:	Alter zum Zeitpunkt der Geburt, Lautaufnahme und des 3D-Scans, 3D-Scan-Daten sowie anthropometrische Daten zum Geburtszeitpunkt der PG-Gruppe	22
Tabelle 4:	Alter zum Zeitpunkt der Geburt, Lautaufnahme und des 3D-Scans, 3D-Scan-Daten sowie anthropometrische Daten zum Geburtszeitpunkt der SMO-Gruppe	23
Tabelle 5:	Alter zum Zeitpunkt der Geburt, Lautaufnahme und des 3D-Scans, 3D-Scan-Daten sowie anthropometrische Daten zum Geburtszeitpunkt der KG-Gruppe	24
Tabelle 6:	Alter bei Aufnahmezeitpunkt und Anzahl der Lautaufnahmen der PG-Gruppe	32
Tabelle 7:	Alter bei Aufnahmezeitpunkt und Anzahl der Lautaufnahmen der KG-Gruppe	32
Tabelle 8:	Alter bei Aufnahmezeitpunkt und Anzahl der Lautaufnahmen der SMO-Gruppe (prä-operativ)	33
Tabelle 9:	Alter bei Aufnahmezeitpunkt und Anzahl der Lautaufnahmen der SMO-Gruppe (post-operativ)	33
Tabelle 10:	Verwendete Parameter im Rahmen einer quantitativen Melodieanalyse von Einzellauten	47
Tabelle 11:	Deskriptive Statistik des CI-Index [%]	51
Tabelle 12:	Deskriptive Statistik der Zirkumferenz [cm]	52
Tabelle 13:	Deskriptive Statistik der maximalen Kopfbreite [cm]	53
Tabelle 14:	Deskriptive Statistik der maximalen Kopflänge [cm]	54
Tabelle 15:	Deskriptive Statistik des Alters der Probanden bei Lautaufnahme [d]	56
Tabelle 16:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe	58
Tabelle 17:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeiten der Babelkategorien rv, kk, com und bk der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe	59

Tabelle 18:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe.....	62
Tabelle 19:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeiten der Babelkategorien rv, kk, com und bk der männlichen Probanden der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe	63
Tabelle 20:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der weiblichen Probanden der KG- und PG-Gruppe	66
Tabelle 21:	Deskriptive Statistik der Auftrittshäufigkeiten der Babelkategorien rv, kk, com und bk der weiblichen Probanden der KG- und PG-Gruppe	67
Tabelle 22:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe	69
Tabelle 23:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeiten der Babelkategorien rv, kk, com und bk der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe	70
Tabelle 24:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der prä- und post-operativen Werte der männlichen Probanden der SMO-Gruppe	72
Tabelle 25:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeiten der Babelkategorien rv, kk, com und bk der prä- und postoperativen Werte der männlichen Probanden der SMO-Gruppe	73
Tabelle 26:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der logarithmierten Lautlängen unsegmentierter Vokalisationen	77
Tabelle 27:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Lautlängen unsegmentierter Vokalisationen	78
Tabelle 28:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Lautlängen segmentierter Vokalisationen	80
Tabelle 29:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der Lautlängen segmentierter Vokalisationen	81
Tabelle 30:	Deskriptive Statistik zum Vergleich der logarithmieren Werte des durchschnittlichen Pausenindex	83
Tabelle 31:	Deskriptive Statistik der Werte des durchschnittlichen Pausenindex	84
Tabelle 32:	Deskriptive Statistik der logarithmierten mittleren Grundfrequenzwerte (F0).....	86

Tabelle 33:	Deskriptive Statistik der mittleren Grundfrequenzwerte (F0)	87
Tabelle 34:	Deskriptive Statistik der logarithmierten Maximalwerte der Grundfrequenz (Fmax)	89
Tabelle 35:	Deskriptive Statistik der Maximalwerte der Grundfrequenz (Fmax)...	90
Tabelle 36:	Deskriptive Statistik der Minimalwerte der Grundfrequenz (Fmin).....	91
Tabelle 37:	Deskriptive Statistik des relativen Hubs der Grundfrequenz.....	93

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
ant.	anterior
APGAR	System zur Beurteilung: „Atmung-Puls-Grundtonus-Aussehen-Reflexe“
ART	Artikulation
B	Bogen
BB	Babbeln
bk	Kanonisches Babbeln
BM	Marginales Babbeln
BSID	Bayley Scales of Infant Development
CDAP	Cry-Data-Analysis-Program
CFCW	Craniofaziales Centrum Würzburg
CI-Index	Cephalic Index
com	Kombination
FM-Hub	Frequenzmodulationshub
Fmax	Grundfrequenzmaximum
Fmin	Grundfrequenzminimum
F0	Grundfrequenz
GG	Geburtsgewicht
GKU	Kopfumfang bei Geburt
GL	Geburtslänge
ICP	Intercranial Pressure

IZKF	Interdisziplinäres Zentrum für klinische Forschung der Universität Würzburg
KG	Kontrollgruppe
kk	Konsonant
KL	Kurzlaut
KS	komplexe Segmentierung
KU	Kopfumfang
MDI	Mental Development Index
MS	Mehrfachsegmentierung
MW	Mittelwert
MWFO	mittlere Grundfrequenz
NV	Normalverteilung
PDI	Psychomotor Development Index
PG	Plagiocephalusgruppe
post.	posterior
rv	Resonanzveränderung
SMO	Sagittalnahtsynostose mit OP (-Gruppe)
SV	Segmentierte Vokalisation
UV	Unsegmentierte Vokalisation
vSSW	vollendete Schwangerschaftswoche
ZVES	Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen
Zirkf.	Zirkumferenz

1 Einleitung

Kopfformen von Säuglingen sind individuell sehr verschieden. Länge, Breite, Umfang und Form können stark variieren. Doch wann spricht man von einer pathologischen Kopfdeformität? Und haben diese pathologischen Schädelnformen negative Auswirkungen auf die Entwicklung des Kindes? Diese Fragen beschäftigen die Wissenschaft schon seit vielen Jahren und die vorliegende Arbeit soll einen Mosaikstein zu ihrer Beantwortung liefern. Dazu werden zwei verschiedene Entitäten untersucht, die beide mit Veränderungen der Kopfform einhergehen: Erstens der lagerungsbedingte Plagiocephalus und zweitens die isolierten Sagittalnahtsynostosen.

Ein kurzer Blick auf den historischen Hintergrund zeigt, dass deformierte Schädelnformen bereits von dem griechischen Arzt Hippokrates etwa 400 v. Chr. beobachtet wurden. Er beschrieb die sogenannten „Makrocephali“, die durch Menschenhand geformt worden waren (Heikel 1918). Gerszten & Gerszten (1995) beschrieben Deformationen an Schädeln, die bereits 45.000 v.Chr., vermutlich aus Gründen beabsichtigter Selbst-Umgestaltung durch Menschen, verursacht wurden. Auch in späteren Epochen, z.B. bei den Völkern der Mayas oder der Inkas und noch bis in das 19. Jahrhundert hinein wurden kraniale Umformungen vorgenommen, um Standeszugehörigkeit oder Schönheitsideale zu veranschaulichen (Bronfin 2001, Lekovic et al. 2007, White 1996). Inwieweit diese bewusst vorgenommenen Kopfverformungen negativen Einfluss auf die kognitiven Leistungen hatten, vermag man nicht zu sagen.

Heutzutage gibt es Publikationen, die zwischen pathologischen Kopfdeformitäten und kognitiven, motorischen sowie sprachlichen Entwicklungsdefiziten Zusammenhänge sehen (Chieffo et al. 2010, Korpilahti et al. 2012, Shipster et al. 2003, Virtanen et al. 1999). Auf der anderen Seite konnten beispielsweise Untersuchungen am Universitätsklinikum Würzburg (Brenner 2015, Hasenberg 2015, Kunick 2017) keine Hinweise auf Entwicklungsstörungen bei betroffenen Kindern finden. In der vorliegenden Arbeit werden diese Untersuchungen erweitert, indem ein Vergleich zwischen Probanden mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus und Kindern mit isolierten Sagittalnahtsynostosen gezogen wird und diese zusätzlich einer

unauffälligen Kontrollgruppe gegenübergestellt werden. Im Unterschied zu den in der Literatur berichteten Befunden, liefert die hier angewandte Vorsprachliche Diagnostik die Möglichkeit, die betroffenen Kinder bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt untersuchen zu können und Hinweise auf einen potenziellen Risikostatus bezüglich der sprachlichen Entwicklung zu erhalten.

Einleitend werden die hier behandelten kraniofazialen Anomalien kurz beschrieben.

1.1 Kraniofaziale Anomalien von Säuglingsschädeln

Anomalie, griechisch „anomalia“, steht für eine Abweichung von der Norm bzw. den üblichen Strukturen. Im Medizinischen ist sie als ungewöhnliche physiologische Unregelmäßigkeit bzw. Unebenheit definiert. Deformierte Säuglingsschädel, wie sie in dieser Arbeit behandelt werden, sind somit unabhängig von den eingeordneten Symptomkomplexen übergreifend als Anomalie zu bezeichnen.

Im Laufe des Schädelwachstums eines Kindes kann es durch genetische oder externe Einflüsse zu Fehlbildungen des Neuro- und/ oder Viscerocraniums kommen, d.h. Schädel und/ oder Gesicht sind deformiert. Man unterscheidet hier sowohl zwischen asymmetrischen und symmetrischen, als auch zwischen unilateralen und bilateralen Fehlbildungen oder Fehlstellungen. Eine weitere Unterscheidung ist die Abgrenzung von nonsyndromalen kraniofazialen Anomalien zu solchen, die in Begleitung zusätzlicher Fehlentwicklungen als Syndrom auftreten. In der vorliegenden Arbeit werden nur nonsyndromale Probanden untersucht.

Die am häufigsten diagnostizierten nonsyndromalen kraniofazialen Fehlbildungen sind Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten (1:500) (Schwenzer & Ehrenfeld 2011) einschließlich deren Subformen bzw. isolierte Gaumenspalten und Kraniosynostosen mit einer Inzidenz von 1:2500 Lebendgeburten (Hukki et al. 2008). Von diesen angeborenen Anomalien sind erworbene Fehlbildungen abzugrenzen. Zu diesen gehört vor allem der nicht synostotisch-, sondern lagerungsbedingte einseitige Plagiocephalus, der unter den erworbenen Auffälligkeiten am häufigsten auftritt (Kane et al. 1996, Plank et al. 2006).

1.1.1 Kraniosynostosen: Ätiologie und Inzidenz

Kraniosynostosen sind gekennzeichnet durch frühzeitige Verknöcherungen einer oder mehrerer kindlicher Schädelnähte. Daraus entsteht, je nachdem, welche Suturen betroffen sind, eine typisch deformierte Kopfform (Freudlsperger 2013). Auf die frühzeitige Verknöcherung folgt ein kompensatorisches Wachstum parallel zu der betroffenen Naht und ein gehemmtes Wachstum senkrecht zu der frühzeitig verknöcherten Suture (Virchow 1851). Die überschießende Ossifikation wird verursacht durch undifferenzierte Stammzellen, die sich normalerweise erst spät zu Osteoblasten differenzieren. Diese entwickeln eine Hyperaktivität und führen somit zu einer verfrühten Fusion der knöchernen Schädelfronten (Coussens et al. 2008, Lana-Elola et al. 2007).

Abhängig davon, welche Nähte frühzeitig ossifizieren, entstehen die klinischen Erscheinungsformen, wie Skaphozephalie, Trigonozephalie, anteriore- / posteriore Plagiozephalie und Brachyzephalie (Speltz et al. 2004, Ursitti et al. 2011). Die Sagittalnahtsynostose ist die häufigste aller isolierten nonsyndromalen Kraniosynostosen (Freudlsperger 2013, Hukki et al. 2008, Lajeunie et al. 2005). Es entsteht der charakteristische Skaphocephalus mit verlängerter Schädelhöhe in anterior-posteriorer Richtung. Bezüglich der Inzidenz von Sagittalnahtsynostosen dominiert das männliche Geschlecht mit einem Verhältnis von 3,5 : 1 deutlich (Lajeunie et al. 1996).

Die genaue Ätiologie von nonsyndromalen Kraniosynostosen ist bisher noch ungeklärt, jedoch werden mittlerweile neben den primären genetischen Einflüssen sekundäre Ursachen, wie metabolische Störungen wie Hyperthyreose, Vitamin-D-resistente Hypophosphatämie, Mukopolysaccharidose und Mukopolysaccharidose in Betracht gezogen (Alden et al. 1999). Weitere mögliche Ursachen sind intrauterine Platzeinschränkungen in Bezug auf den Säuglingsschädel, Rauchen und Drogenmissbrauch der Mutter während der Schwangerschaft oder Überdrainage von Liquor im shuntversorgten Hydrozephalus (Graham et al. 1980, Lajeunie et al. 2005).

In der vorliegenden Arbeit ist das Hauptaugenmerk auf den Skaphocephalus gerichtet, eine Synostose der Sutura sagittalis. Neben der charakteristisch verlängerten Schädelhöhe in anterior-posteriorer Richtung ist die Betonung der Stirn-

bzw. Okzipitalregion, das sog. „frontal bossing“ / „occipital bossing“, kennzeichnend. Zudem ist häufig ein Wulst im Bereich der Sagittalnaht am Säuglingsschädel zu erkennen bzw. zu ertasten (Freudlsperger 2013).



Abbildung 1: Klinisches Erscheinungsbild eines Skaphocephalus, verursacht durch eine Sagittalnahtsynostose. Freundlicherweise von Mitarbeitern des CFCW zur Verfügung gestellt.

1.1.2 Kraniosynostosen: Therapie

Die Therapie von Kraniosynostosen, speziell von isolierten Sagittalnahtsynostosen, umfasst mehrere Möglichkeiten. Die konservative Behandlungsmethode beinhaltet eine Beobachtung des Verlaufes. Dem gegenüber steht die operative Therapie, die von einigen Behandlern aus funktionellen, psychosozialen und kosmetischen Gründen bevorzugt wird (Freudlsperger 2013). Der optimale Zeitpunkt zur operativen Therapie schwankt je nach Operationsmethode zwischen dem ersten und zwölften Lebensmonat (Freudlsperger 2013, Renier et al. 2000).

Grundsätzlich ist bei Kraniosynostosen ein frühzeitiger Therapiebeginn in einem interdisziplinären Netzwerk sehr förderlich und ausschlaggebend für den späteren Behandlungserfolg (Bronfin 2001, Renier et al. 2000). Ein weiteres bekräftigendes Argument für einen rechtzeitigen Therapiebeginn ist das Risiko funktioneller

Störungen und mentaler Retardierung durch einen erhöhten intrakraniellen Druck (ICP) bei ausbleibender Behandlung (Arnaud et al. 1995, Renier et al. 2000). Laut einer retrospektiven Studie von Thompson et al. (1995) liegt die Inzidenz von subduraler intrakranieller Hypertension bei Kindern mit isolierten Sagittalnahtsynostosen bei 17%. Renier et al. (2000) dokumentieren ein Vorkommen von 13,8%. Arnaud et al. (1995) beschreiben eine Inzidenz von 13,4%. Die Häufigkeit des Auftretens ist allerdings abhängig vom Alter des Kindes und der Form der Kraniosynostose (Renier et al. 2000).

1.1.3 Lagerungsbedingter Plagiocephalus: Ätiologie und Inzidenz

Anders als kraniosynostotische Krankheitsbilder, ist ein lagerungsbedingter Plagiocephalus eine erworbene Anomalie des Säuglingsschädels und somit nicht synostotischer Herkunft (Plank et al. 2006, Robinson & Proctor 2009, Shamji et al. 2012). Sie geht einher mit einer charakteristischen asymmetrischen anterioren oder posterioren Verformung des Kopfes, die die rechte Seite deutlich häufiger (61%) betrifft als die linke Seite (30%). In nur ca. 9% aller Fälle tritt eine symmetrische Abflachung des Hinterkopfes auf (Mulliken et al. 1999). Durch eine kontinuierliche einseitige Lagerung des Schädels entsteht eine typische Parallelogramm-förmige Kopfform. Diese ist gekennzeichnet durch einen abgeflachten Hinterkopf, eine Verschiebung des ipsilateralen Ohres nach anterior („ear shift“) und ein sogenanntes ipsilaterales „frontal bossing“, also eine Betonung der Stirnregion (Ellenbogen et al. 2000). Zudem kann eine Verwindung des Neuro- und Viscerokraniums mit dem Plagiocephalus einhergehen (Netherway et al. 2006). Männliche Säuglinge sind deutlich häufiger betroffen als weibliche (Verhältnis 3:1) (Hutchison et al. 2003, Mulliken et al. 1999, van Vlimmeren et al. 2007).

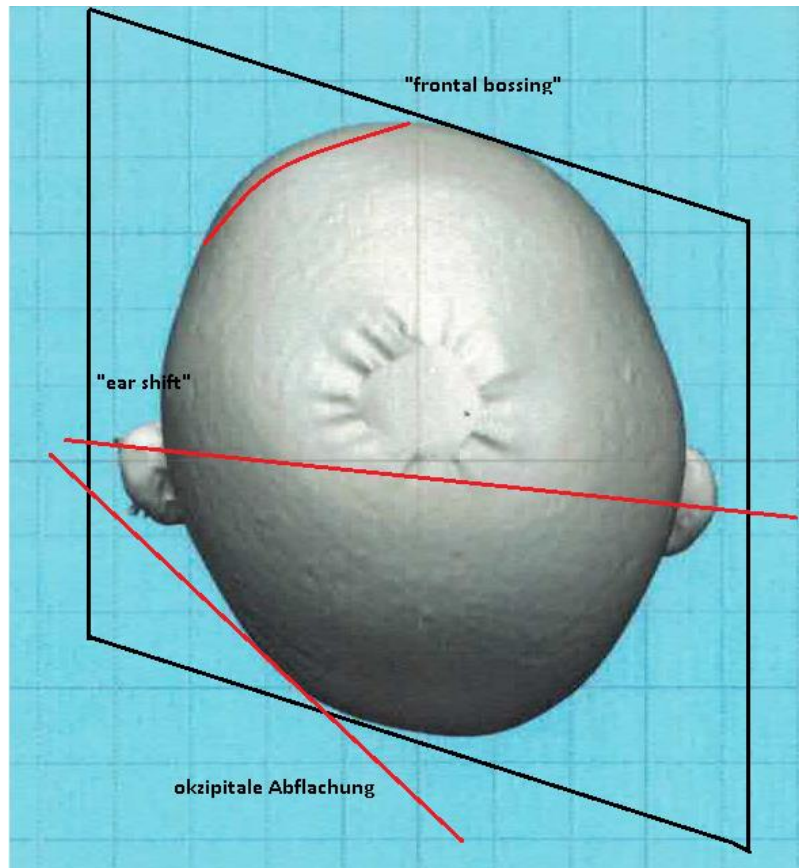


Abbildung 2: *Phänotyp eines linksseitigen Lagerungsplagiocephalus mit abgeflachtem Hinterkopf, Verschiebung der Ohrachse („ear shift“) und Betonung der Stirnregion (frontal bossing). (Eigene Abbildung anhand eines 3D-Scans von Kind PG_BP)*

Als bedeutendste Ursache für diese Anomalie wird eine vorwiegende Lagerung der Säuglinge in Rückenlage angesehen. Nachdem die American Academy of Pediatrics (AAP) im Jahr 1992 zur Vermeidung eines plötzlichen Kindstodes die Empfehlung ausgesprochen hatte, Säuglinge konsequent auf dem Rücken zu lagern (Back-to-sleep-Kampagne), wurden gehäuft Fälle von lagerungsbedingtem Plagiocephalus registriert (Argenta et al. 1996, Branch et al. 2015, Plank et al. 2006). Gegenwärtig wird hingegen eine sogenannte tägliche 30-minütige Bauchlagerung („tummy time“) beim wachen Kind bis zum dritten oder vierten Monat empfohlen (Robinson & Proctor 2009).

Als zusätzliche Risikofaktoren gelten auch eine deutlich verlängerte Geburt, die Anwendung manueller Geburtshilfen, eine Steißlage des Babys und Frühgeburt (Peitsch et al. 2002, Robinson & Proctor 2009). Außerdem kann eine angeborene

oder erworbene Torticollis oftmals Grund für eine Verformung des Schädels sein. Zudem stellen über einen längeren Zeitraum andauernde extrinsische Druckausübungen auf den Säuglingsschädel weitere Risikofaktoren dar (Bronfin 2001).

Die Inzidenz des Lagerungsplagiocephalus ist in der Literatur nicht eindeutig beschrieben. Hier schwanken die Angaben sehr stark. Watson (1971) berichtet von einer Inzidenz bis zu 48%. Peitsch et al. (2002) hingegen sprechen von einem Vorkommen von 13%. Hutchison et al. (2004) dokumentierten altersabhängige Inzidenzen, wobei Säuglinge zum Zeitpunkt der Geburt zu 13% einen Plagiocephalus aufweisen, der als Geburtsdeformität einzuordnen ist. Bis zum vierten Lebensmonat steigt die Inzidenzrate auf 16% bis 19,7%. Mit dem achten Lebensmonat hingegen sinkt sie wiederum auf 9,2%. Demnach hängt die Inzidenz stark vom Diagnosezeitpunkt, der diagnostischen Methode und der Sensitivität ab.

1.1.4 Lagerungsbedingter Plagiocephalus: Therapie

Um potenzielle Folgen wie Manifestationen der skelettalen Asymmetrien oder muskuläre Dysfunktionen zu vermeiden, sollte ein rechtzeitiger Therapiebeginn angestrebt werden (Meyer-Marcotty et al. 2012). Die Therapie eines lagerungsbedingten Plagiocephalus umfasst in den meisten Fällen eine aktive Umlagerung des Kindes mit regelmäßigen variierenden Positionen des Kindskopfes. Zusätzlich wirken physiotherapeutische Behandlungen unterstützend, um eventuelle Bewegungsdefizite auszugleichen. Bei stärker ausgeprägten Symptomen steuern individuell angefertigte Helmorthesen gezielt das Wachstum (Ellenbogen et al. 2000, Meyer-Marcotty et al. 2012, Plank et al. 2006, Shamji et al. 2012).

1.2 Entwicklungsdefizite durch kraniofaziale Anomalien?

Verschiedene Untersuchungsergebnisse beschreiben, dass kraniofaziale Anomalien bei den betroffenen Kindern Entwicklungsverzögerungen sowohl im kognitiven, motorischen als auch sprachlichen Bereich verursachen können (Boltshauser et al. 2003, Chieffo et al. 2010, Magge et al. 2002, Shipster et al. 2003, Starr et al. 2007, Virtanen et al. 1999). Bezüglich möglicher Entwicklungsdefizite bei Sagittalnahtsynostosen werden die unterschiedlichen Aussagen in den Publikationen zusammenfassend beleuchtet:

So untersuchten Shipster et al. (2003) 76 Kinder im Alter zwischen 9 Monaten und 15 Jahren und 7 Monaten mit isolierten Sagittalnahtsynostosen auf sprachliche und kognitive Entwicklungsdefizite. Während bezüglich der Kognition keine Auffälligkeiten feststellbar waren, zeigte sich bei 37% der Probanden ein deutliches sprachliches Defizit. Die verwendeten Messgrößen waren definiert durch die „American Psychiatric Association“ (1995).

Eine groß angelegte Longitudinalstudie von Starr et al. (2007) berichtete von 168 Säuglingen mit isolierter Sagittalnahtsynostose und 115 Kontrollkindern. Diese wurden zuerst im Alter von einem Monat und in einem zweiten Schritt im Alter von 18 Monaten getestet. Bei Verwendung der „Bayley Scales of Infant Development II“ (BSID-II) und der „Preschool Language Scales III“ (PLS-3) schnitten die betroffenen Probanden schlechter ab als die Kontrollgruppe.

Einschränkungen in der Sprachentwicklung dokumentierten Virtanen et al. (1999) unter Verwendung des „Wechsler Intelligence Scale for Children-Revised“ bei scaphocephalen Kindern. Demnach wiesen die Probanden mit Sagittalnahtsynostosen im Gegensatz zu Kontrollkindern im Alter von 7,8 bis 16,3 Jahren Einschränkungen im auditorischen Kurzzeitgedächtnis und der sprachlichen Entwicklung auf.

Knight et al. (2014) verfassten ein systematisches Review, um die bereits existierenden Arbeiten zur neuropsychologischen Entwicklung von Kindern mit singulären Sagittalnahtsynostosen kritisch zu hinterfragen und besonderes Augenmerk auf die methodische Qualität der Studien zu legen. Basierend auf 33 ausgewerteten Artikeln berichten die Autoren, dass es tatsächlich Einschränkungen

in Kognition, Sprache und Motorik bei betroffenen Kindern zu geben scheint (Knight et al. 2014).

Eine Langzeitstudie an 30 Patienten mit isolierten Sagittalnahtsynostosen im Alter zwischen 2,5 Jahren und 25,5 Jahren (Boltshauser et al. 2003) zur kognitiven Entwicklung, zum Verhalten und zur Lebensqualität lieferte dagegen nur leichte Defizite in Lern- und Gedächtnisleistungen sowie Aufmerksamkeitstests.

Speltz et al. (1997) kamen zu dem Ergebnis, dass keine signifikanten Unterschiede bezüglich mentalen und psychomotorischen Entwicklungen zwischen gesunden Kontrollkindern und den Probanden bestehen. Hier wurden 19 Kinder mit isolierten sagittalen Synostosen und 17 Kontrollkinder im Alter von 4, 12 und 24 Monaten anhand des „Bayley Scales of Development“ (BSID) untersucht.

Auch im entwicklungspezifischen Outcome von Kindern mit einem Lagerungsplagiocephalus gehen die Meinungen und Ergebnisse zahlreicher Autoren und Studien weit auseinander:

Untersuchungen von Kordestani et al. (2006) ergaben, dass Kinder mit einem Lagerungsplagiocephalus signifikante Unterschiede hinsichtlich psychomotorischer und mentaler Entwicklungsaspekte gegenüber gesunden Probanden aufwiesen. Zudem beschrieben sie, dass kein Kind mit Plagiocephalus eine dem Durchschnitt entsprechende Entwicklung aufzeigte.

Auch Speltz et al. (2010) veröffentlichten Ergebnisse, die nahelegten, dass Kinder im Alter von 7 Monaten mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus deutliche Defizite in ihrer Grobmotorik zeigen. Zudem lieferten die angewendeten „Bayley Scales of Infant Development“ (BSID-III) deutliche Unterschiede zwischen Probanden und Kontrollkindern. Nachfolgende Kontrolluntersuchungen der Probanden im Alter von 18 und 36 Monaten bestätigten diese Ergebnisse (Collett et al. 2013, Collett et al. 2011).

Eine Studie von Miller & Clarren (2000) ergab, dass 39,7 % der Kinder mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus im Grundschulalter spezielle Lernhilfen, Sprachtherapie und Unterstützungen neben einem individuellen Bildungsplan erhalten hatten. Dies deutet also ebenso auf Entwicklungsbesonderheiten hin.

Jedoch wurden auch gegenteilige Untersuchungsergebnisse, wonach keine Anzeichen für Entwicklungsdefizite bei Kindern mit Lagerungsplagiocephalus nachgewiesen werden konnten, veröffentlicht: Innerhalb des Forschungsprojektes „Dreidimensionale stereophotogrammetrische Diagnostik des Schädels und Verlaufsanalyse bei Kindern mit Lagerungsplagiocephalus unter Berücksichtigung der vorsprachlichen und psychomotorischen Entwicklung“ des CFCW der Julius-Maximilians-Universität Würzburg analysierten Abels (2014), Günzel (2014) und Hasenberg (2015) ausgewählte Probanden und verglichen sie mit gleichaltrigen Kontrollkindern. In keiner der Arbeiten wurden Hinweise auf kognitive oder psychomotorische Defizite bei Säuglingen mit Lagerungsplagiocephalus gefunden.

Zusammenfassend fällt auf, dass die hohe Divergenz zwischen den hier dargelegten Studienergebnissen bezüglich der Entwicklungsdefizite von Kindern mit kraniofazialen Anomalien, die Erschließung eines einheitlichen Gesamtbildes nur schwer zulässt. Die sehr widersprüchlich ausfallenden Studien weisen verschiedene methodische Vorgehensweisen auf, was einen direkten Vergleich bezüglich der Ergebnisse nur bedingt zulässt.

So wurde beispielsweise in den Arbeiten von Boltshauser et al. (2003) oder Virtanen et al. (1999) der Entwicklungszustand der Kinder zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingeschätzt, ohne dass dies bei den statistischen Auswertungen entsprechend berücksichtigt wurde. Dementsprechend variierte das Alter der Probanden zum Untersuchungszeitpunkt sehr stark. Auch gingen die Systematiken bei Erhebung der Testparameter weit auseinander. Telefoninterviews (Miller & Clarren 2000) oder Elternfragebögen stellen nur subjektive Auffassungen der Familienangehörigen dar.

Ebenfalls bei der Zusammenstellung der Kontrollwerte gehen die Vorgehensweisen weit auseinander: Panchal et al. (2001) und Kordestani et al. (2006) verzichteten auf eine Kontrollgruppe und verglichen ihre Ergebnisse lediglich mit standardisierten Normwerten. Boltshauser et al. (2003) und Miller & Clarren (2000) werteten nur die nicht betroffenen Geschwister der Probanden als Kontrollpersonen. Und auch die herangezogenen Tests zur Leistungserfassung (BSID, DSM-IV, MDI, PDI, PLS-3) differierten stark und wurden zudem von einigen Wissenschaftlern kritisch beurteilt. So bezweifelte der Neurochirurg John A. Persing beispielsweise die zuverlässige und

objektive Aussagekraft des „Bayley Scales of Infant Development“ (BSID) hinsichtlich späteren intellektuellen Fähigkeiten der Probanden (Persing 2001).

Aufgrund der vielen unterschiedlich angelegten Untersuchungen sind sich gegenwärtig zahlreiche Wissenschaftler einig, dass zukünftig kontrollierte und qualitativ hochwertige Studien bezüglich des Zusammenhanges zwischen kraniofazialen Anomalien und der neurokognitiven Entwicklung von betroffenen Kindern nötig sind, um die Therapiekonzepte und Prognosen besser einschätzen zu können (Kapp-Simon et al. 2007, Miller & Clarren 2000, Speltz et al. 1997, Speltz et al. 2004, Steinbok et al. 2007). Dementsprechend soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur dargelegten Thematik liefern.

1.3 Ziel der Vorsprachlichen Diagnostik

Seit einigen Jahren beteiligen sich Mitarbeiter des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES, Leitung: Prof. Dr. Kathleen Wermke) an der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Würzburg mit zahlreichen Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Erfassung der vorsprachlichen bzw. frühen sprachlichen Entwicklung bei Kindern mit und ohne Schädeldeformationen“ an Projekten des CFCW. Da in diesen Vorarbeiten mehrfach postuliert wurde, dass vor allem im Sprachgebrauch und der sprachlichen Entwicklung der Probanden Defizite bestehen, liegt es nahe, diesen Leistungsbereich genauer zu untersuchen. Die vorliegende Arbeit erfolgte in diesem Rahmen und hatte das Ziel, eventuelle Entwicklungsverzögerungen oder –störungen der Kinder mit isolierter Sagittalnahtsynostose vergleichend zum lagerungsbedingten Plagiocephalus mit Hilfe der Vorsprachlichen Diagnostik aufzudecken. Der Vorteil dieser Methode ist die Möglichkeit, die Säuglinge zu einem relativ frühen Zeitpunkt zu untersuchen, bevor Umweltfaktoren Einfluss auf den Spracherwerb ausüben.

Die Vorsprachliche Diagnostik zur Entwicklungsbeurteilung beruht auf der Tatsache, dass sich neurophysiologische Dysfunktionen unmittelbar in laryngeal erzeugten Lauteigenschaften widerspiegeln (Wermke 1987). Der Larynx und die beteiligten neurophysiologischen Steuerungsmechanismen stellen das bei Geburt reifste und schnellste neuromuskuläre System dar (Mampe et al. 2009, Wermke 2002, Wermke & Mende 2011). Demnach ist die Lautproduktion eines Säuglings einer der effektivsten, aber auch komplexesten Reflektoren beteiligter hirnhysiologischer Strukturen (Wermke 1987). Auf dem Boden dieser Tatsache lassen sich somit einige Hypothesen aufstellen, die einen defizitären Spracherwerb mit frühkindlichen hormonellen, neuronalen und anatomischen Störungen assoziieren (Wermke et al. 2011, Wermke et al. 2007). Demnach stellt sich die Frage, ob die zugrundeliegenden Kopfdeformitäten die vorsprachliche Vokalisation des Säuglings derart in ihren Eigenschaften beeinflussen, dass Entwicklungsstörungen im vorsprachlichen und sprachlichen Gebrauch nachweisbar sind.

Um dies zu überprüfen, wurden in der vorliegenden Arbeit jeweils 13 Kinder mit isolierter Sagittalnahtsynostose bzw. mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus im

durchschnittlichen Alter von fünf bis zehn Monaten einer vorsprachlichen Vokalisationsanalyse unterzogen und mit einer unabhängigen Kontrollgruppe verglichen.

In der seit den 1960er Jahren praktizierten „Schreidiagnostik“ junger Säuglinge hat sich bereits die mittlere Grundfrequenz als geeignete Messgröße bewährt (Lester 1987, Manfredi et al. 2008, Michelsson & Michelsson 1999, Raes et al. 1982, Rautava et al. 2007, Runefors et al. 2000, Wermke & Mende 2011). Zahlreiche Wissenschaftler fanden dabei heraus, dass zerebrale Dysfunktionen zu stark erhöhten Grundfrequenzwerten führen können (Michelsson et al. 1977, Sirvio & Michelsson 1976, Wermke 2002). Somit kommt auch in der vorliegenden Arbeit der Melodie, also der Zeitfunktion der Grundfrequenz, und ihren Variabilitätsparametern eine wichtige Schlüsselrolle zu.

Ausgehend von dem Fakt, dass die Grundfrequenz und abgeleitete Kenngrößen den zerebralen Funktionszustand unmittelbar widerspiegeln und so der Beurteilung der fortschreitenden Sprachentwicklung dienen, wird im Folgenden kurz auf den Ursprung der Lautbildung eingegangen.

Die bestehende Literatur zum Spracherwerb geht zunächst von einer postpartalen, vorsprachlichen „Trainingsphase“ aus, die primitive Lautäußerungen beinhaltet. Innerhalb dieser können anatomische Einflussfaktoren, wie beispielsweise Schädeldeformationen, eine Langzeitwirkung auf die Sprachentwicklung haben.

Oller (2000) teilt die vorsprachliche Entwicklung in vier Phasen ein: Die erste Phase ist gekennzeichnet durch einfache Schrei- und Weinglaute und weiche Vokalisationen ohne Artikulation. Dieses Phonationsstadium betrifft in etwa den ersten und zweiten Lebensmonat. Die zweite Phase umfasst den ersten bis vierten Lebensmonat. Hier treten laut Oller (2000) sogenannte Übergangslaute auf, die den Übergang von Schrei- zu Nicht-Schrei-Lauten darstellen. Diese Vokalisationen sind immer noch sehr primitiv und werden vorwiegend laryngeal gebildet. Zu diesem Zeitpunkt ist die neurophysiologische Reifung der Vokaltraktmechanismen noch nicht vollständig abgeschlossen.

In der nächsten Phase, dem Expansionsstadium, treten etwa ab dem fünften Monat marginale Babbellaute auf, die bereits artikulatorische Fähigkeiten voraussetzen.

Hierzu gehören vokal- und konsonantenähnliche Babbellaute mit primitivem Silbencharakter. Die vierte und letzte Phase der vorsprachlichen Entwicklung umfasst laut Oller (2000) sogenannte kanonische Babblers. Sie treten etwa ab dem siebten Lebensmonat auf und verdeutlichen eine weitaus bessere Kontrolle des Säuglings über Artikulation und Phonation. Konsonant-Vokal-Kombinationen und variable Silbensequenzen charakterisieren hier einen bedeutenden Schritt in der sprachlichen Entwicklung des Kindes. Verspätetes Auftreten von kanonischem Babbeln kann daher ein Prädiktor für nachfolgende Sprachentwicklungsstörungen sein (Oller et al. 1998).

Zusammenfassend ist der gegenwärtigen Literatur zu entnehmen, dass neben den quantitativen, prosodischen Lauteigenschaften auch die qualitativen Vokalisationsmerkmale zur Vorhersage der kindlichen Sprachentwicklung dienen können. Aufgrund dessen beinhaltet die vorliegende explorative Pilotstudie sowohl quantitative- als auch qualitative Vokalisationsanalysen, um Kinder mit Sagittalnahtsynostosen und Plagiocephalus mit gesunden Kontrollkindern im Hinblick auf ihre sprachliche Entwicklung zu vergleichen. So stellt sich in dieser Arbeit die Frage, ob die Postulate der bisherigen Untersuchungen zur sprachlichen Entwicklung von Kindern mit Schädeldeformitäten unterstützt werden können und ob potenzielle Defizite bereits im vorsprachlichen Alter nachweisbar sind. Dies zu untersuchen, ist von großem praktischem und klinischem Interesse bezüglich zukünftiger individueller Prognosen und Behandlungsmöglichkeiten.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Im Jahr 2010 wurde am Universitätsklinikum Würzburg ein interdisziplinäres Forschungsprojekt mit dem Titel „Dreidimensionale stereophotogrammetrische Diagnostik des Schädels und Evaluierung der Therapie bei Kindern mit kraniofazialen Fehlbildungen“ initiiert. Geleitet wird diese Forschung gegenwärtig von PD Dr. Tilmann Schweitzer (Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie, Sektion für pädiatrische Neurochirurgie) und PD Dr. Dr. Christian Linz (Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie). Gefördert wurde das Projekt durch das Interdisziplinäre Zentrum für Klinische Forschung der Universität Würzburg.

Die IZKF-Studie (Studien-Nr. F-164) wurde von der Ethik-Kommission der medizinischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg überprüft und zugelassen (Ethik-Nr. 143/09). Die Studie wird nach den Kriterien der Deklaration von Helsinki durchgeführt. Von jedem Säugling, der als Proband am Projekt teilnimmt, liegt eine schriftliche Einwilligungserklärung der Eltern bzw. der Sorgeberechtigten vor.

Mit Hilfe von strahlungsfreier, non-invasiver Stereophotogrammetrie wurden Form und Entwicklung der Kinderschädel erfasst, um Asymmetrien und Deformitäten festzustellen. Diese Aufnahmen wurden durch anthropometrische Kenngrößen charakterisiert (Linz et al. 2014, Meyer-Marcotty et al. 2014, Schweitzer et al. 2013). Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Kinder mit Lagerungsplagiocephalus oder mit Sagittalnahtsynostosen sind Probanden dieses Projektes. Zusätzlich wurde eine geeignete Kontrollgruppe unauffälliger Kinder aus diesem Projekt zum Vergleich der morphologischen Veränderungen des Schädels und der vorsprachlichen bzw. frühen sprachlichen Entwicklung hinzugezogen.

Das Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) an der Poliklinik für Kieferorthopädie (Leitung: Prof. Dr. Kathleen Wermke) ist an diesem Längsschnittprojekt mit dem Teilprojekt „Erfassung der vorsprachlichen bzw. frühen sprachlichen Entwicklung bei Kindern mit und ohne Schädeldeformationen“ beteiligt.

In diesem Teilprojekt werden digital aufgezeichnete Vokalisationen der Säuglinge im Signalanalyselabor des ZVES analysiert und spezifisch quantitativ und qualitativ ausgewertet (Vorsprachliche Diagnostik).

Die Lautaufnahmen wurden von Frau Sandra Habel (ehemalige Projektmitarbeiterin des CFCW) angefertigt und anschließend von der Doktorandin mit Unterstützung durch wissenschaftliche Mitarbeiter des ZVES nach einer standardisierten Vorgehensweise analysiert und ausgewertet (siehe Kap.2.5, 2.6).

Die in dem Projekt erstellten 3D-Scans wurden nach dem Prinzip der Stereophotogrammetrie von wissenschaftlichen Mitarbeitern bewertet. Nähere Beschreibungen sind in Kapitel 2.3 erläutert. Diese Daten wurden der Autorin dieser Arbeit durch die Projektleiter für die hier untersuchten Probanden zur Verfügung gestellt.

Das Probandenkollektiv der vorliegenden explorativen Untersuchung umfasst 13 Kinder mit einem Lagerungsplagiocephalus (PG), 13 Kinder mit Sagittalnahtsynostosen mit operativem Eingriff (SMO) und 13 unauffällige Kinder (KG). Alle 39 Probanden wurden hinsichtlich der morphologisch veränderten Schädelformen und der vorsprachlichen bzw. frühen sprachlichen Entwicklung miteinander verglichen. Innerhalb der SMO-Gruppe wurden die prä- und postoperativen Laute jeweils gesondert betrachtet. Daraus resultiert eine weitere Unterteilung der SMO-Gruppe in eine SMO-prä- und SMO-post-Gruppe. Die analysierten und ausgewerteten Lautaufnahmen (N= 2836) wurden bei allen Säuglingen im Alterszeitraum von 163 bis 407 Tagen angefertigt.

Abbildung 3 zeigt schematisch den Ablauf aller vorgenommenen Untersuchungen und Arbeitsabläufe. In den folgenden Kapiteln werden diese genauer erläutert.

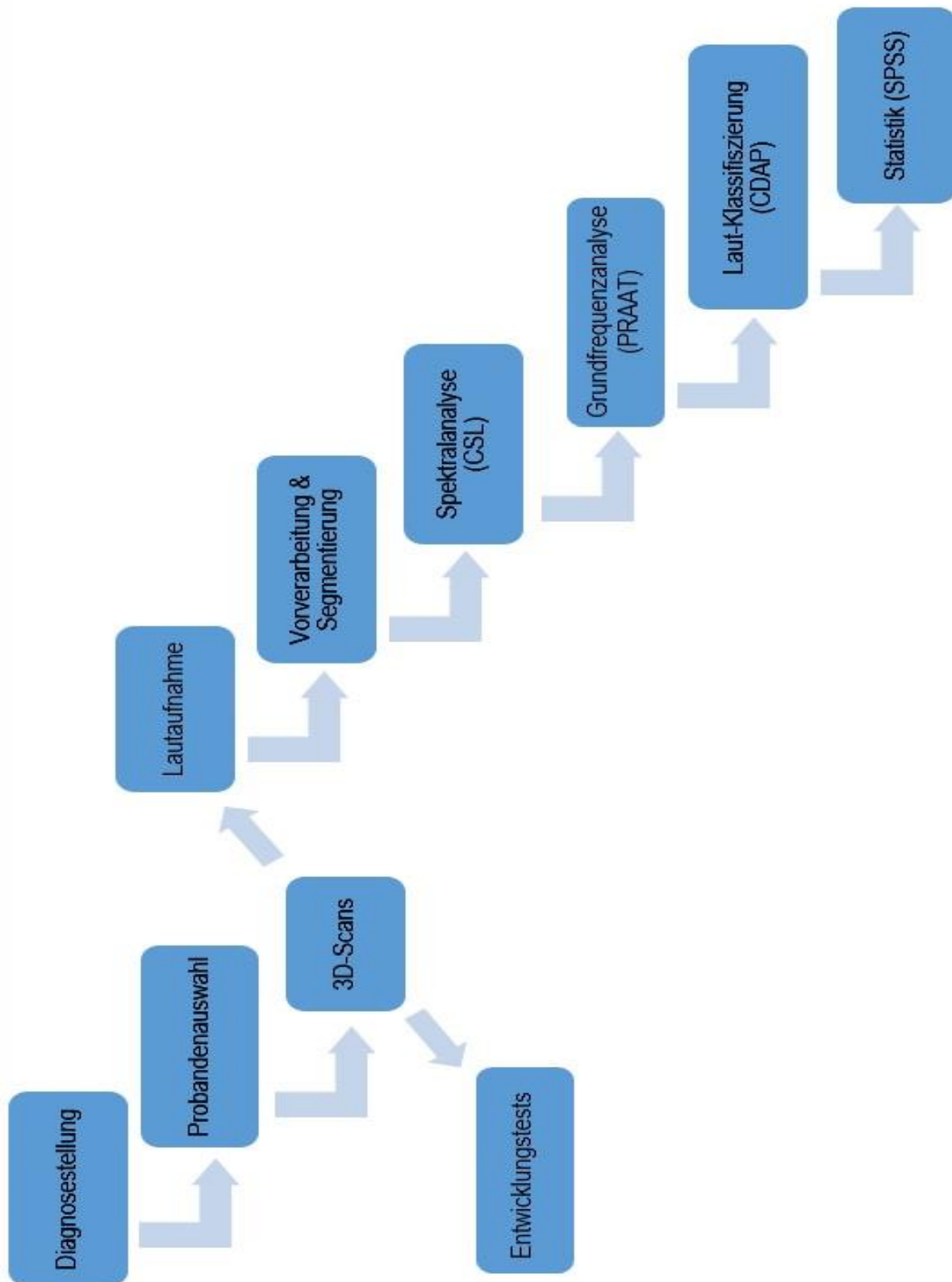


Abbildung 3: Schematischer Ablauf aller vorgenommenen Untersuchungen (Eigene Darstellung)

2.2 Probandenkollektiv

Die vorliegende Arbeit umfasst 39 Probanden im Alter von 163 bis 407 Tagen. Die Arbeit vergleicht Probanden mit zwei unterschiedlichen kraniofazialen Anomalien. Zum einen Kinder mit einem lagerungsbedingtem Plagiocephalus zum anderen Kinder mit einer Sagittalnahtsynostose. Alle 13 Kinder mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus wurden am CFCW mit einem speziell für sie konzipierten Helm therapiert. Sie bilden hier die „PG-Gruppe“. Die in dieser Arbeit untersuchten 13 Kinder mit einer Sagittalnahtsynostose erhielten eine operative Behandlung. Sie bilden hier die „SMO-Gruppe“. Innerhalb der SMO-Gruppe wurden die prä- und postoperativen Laute jeweils gesondert betrachtet.

Zusätzlich wurden von der Verfasserin der vorliegenden Arbeit aus der Kontrollgruppe des Gesamtprojektes 13 Kinder ausgewählt und hier als Kontrollgruppe (KG) analysiert. Die Auswahl der Kontrollkinder berücksichtigte neben den für alle Probanden geltenden Auswahlkriterien (siehe Tabelle 1) vornehmlich das Alter bei Lautaufnahme und eine ausreichende Anzahl verwertbarer Lautaufnahmen. Aufgrund der Berücksichtigung dieser Merkmale bei der Auswahl der Kontrollkinder ergab sich in der KG-Gruppe ein wesentlich höherer Anteil an weiblichen Probanden.

Auffällig in der SMO-Gruppe ist das deutliche Übergewicht an männlichen Probanden (11 männliche, 2 weiblich). In der Literatur wird ebenfalls eine 80%ige Dominanz des männlichen Geschlechts bei Sagittalnahtsynostosen beschrieben (Lajeunie et al. 2005).

Alle Probanden wurden anhand eines einheitlichen Buchstabencodes pseudonymisiert.

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über das Probandenkollektiv hinsichtlich der Probandenanzahl und der Geschlechterverteilung.

Tabelle 1: Auswahlkriterien aller Probanden

Kontrollierte Schwangerschaft mit unauffälligem Verlauf
Kein Verdacht auf Syndrom
Unauffällige neurologische Erstuntersuchung
Möglichst Deutsch als Muttersprache
Unauffälliges Neugeborenen-Hörscreening
APGAR 5 Minuten postnatal ≥ 8
Einverständnis der Eltern zur Teilnahme an der Studie
Alter zum Zeitpunkt der Lautaufnahme zwischen 163. und 407. Tag
Kein Beginn der Helmtherapie vor Lautaufnahme (nur PG betreffend)
Diagnostizierter lagerungsbedingter Plagiocephalus (nur PG betreffend)
Sonographischer Ausschluss einer prämaturen Schädelnahtsynostose (nur PG betreffend)

Tabelle 2: Probandenübersicht

Gruppe	Geschlecht		Gesamt
	Weiblich	Männlich	
PG	4	9	13
SMO (prä+post)	2	11	13
KG	9	4	13

2.2.1 Postnatale somatische Daten

Um die körperliche Entwicklung und Reife objektiv einschätzen zu können, wurden das Gestationsalter und somatische, postnatale Körpermaße als charakteristische Merkmale hinzugezogen. Sie dienen dazu, bereits intrauterine gestationsaltersspezifische Wachstumsstörungen festzustellen, die ein Hinweis auf spätere Entwicklungsstörungen sein können. Gemäß der Einteilung nach Voigt (2001) sind die anthropometrischen Daten in Tabelle 3 bis Tabelle 5 dargestellt. Hypotrophe und hypertrophe Werte sind markiert. Um die Daten auswerten zu können, wurden alle Geburtsmaße der Probanden in standardisierte geschlechtsspezifische Wachstumskurven, sogenannte Perzentilkurven eingezeichnet. Nach Voigt (2001) werden die Körpermaße geschlechtsspezifisch eingetragen (Abbildung 4 bis Abbildung 9). Anhand der festgelegten Perzentilen ist schnell ersichtlich, welche Kinder bezüglich spezifischer somatischer Maße unter-, normal- oder überentwickelt sind. Als Parameter wurden hier das jeweils gestationsaltersabhängige Geburtsgewicht, Geburtslänge, und Geburtskopfumfang hinzugezogen. Die verwendeten Wachstumskurven entsprechen der 3., 10., 25., 50., 90. und 97. Perzentile. Werte, die unter der 10. Perzentile liegen, gelten als hypotroph. Eutrophe Werte befinden sich zwischen der 10. und der 90. Perzentile, wohingegen alle Werte oberhalb der 90. Perzentile als hypertroph definiert werden. Diese Einteilung wird bereits in der Literatur beschrieben (Voigt 2001).

Plagiocephalusgruppe (PG)

In der Plagiocephalusgruppe ist nach Eintragung der postnatalen somatischen Daten in die vorgegebenen definierten Perzentilkurven nach Voigt (2001) ersichtlich, dass die Kinder PG-AI, -BN zum Zeitpunkt der Geburt einen Kopfumfang oberhalb der 90. Perzentile haben. Der Geburtskopfumfang von Kind PG-BP hingegen ist unterhalb der 10. Perzentile (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9). Hinsichtlich des Geburtsgewichts ist das Kind PG-AV hypotroph und die Kinder PG-AZ und -BP hypertroph (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 5).

Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO)

Die Einordnung der postnatalen somatischen Daten der Probanden der SMO-Gruppe ergab, dass das Kind SMO-AF zum Zeitpunkt der Geburt einen Kopfumfang oberhalb der 90. Perzentile hat. Der Geburtskopfumfang von Kind SMO-AH hingegen ist unterhalb der 10. Perzentile (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9). Hinsichtlich des Geburtsgewichts sind die Kinder SMO-AI und -AL hypotroph und das Kind SMO-AK hypertroph (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 5). Die Geburtslänge betreffend sind die Kinder SMO-AB und -AF hypertroph und SMO-AJ hypotroph (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7).

Nicht beurteilt werden konnten hinsichtlich des Geburtskopfumfanges aufgrund fehlender Angaben die Kinder SMO-AG, -AI, -AK, -AL und -AM.

Kontrollgruppe (KG)

Innerhalb der KG-Gruppe fallen die Kinder KG-AN, -AP und -BH mit einem zum Zeitpunkt der Geburt verkleinerten Kopfumfang (> 90. Perzentile) auf (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9). Hinsichtlich des Geburtsgewichts sind die Kinder KG-AP und -AX hypotroph und das Kind KG-AM hypertroph (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 5).

Das Kind KG-BL konnte hinsichtlich des Geburtskopfumfanges aufgrund fehlender Angaben nicht beurteilt werden.

Tabelle 3: *Alter zum Zeitpunkt der Geburt, Lautaufnahme und des 3D-Scans, 3D-Scan-Daten sowie anthropometrische Daten zum Geburtszeitpunkt der PG-Gruppe.*

Gruppe	SEX	vSSW [w]	Laut-aufn. [d]	3D [d]	Zirkf [cm]	CI-Index [%]	GG [g]	GL [cm]	GKU [cm]
PG-AH	m	39	189	189	45,1	86,8	3350	51	36
PG-AI	m	38	181	172	42,2	92,8	3185	51	32,5
PG-AV	w	39	174	160	41,7	93,3	2690	49	34
PG-AZ	m	39	187	173	43,4	103	4115	54	35
PG-BA	m	41	202	188	44,3	95,8	3420	51	34,5
PG-BK	m	40	223	223	44,8	92,5	3740	54	37
PG-BN	w	40	175	175	42,4	98,5	3290	52	32
PG-BO	m	39	181	167	44,5	97,9	3380	50	35
PG-BP	m	37	176	190	44,1	85,3	3730	51	37
PG-BR	m	41	204	212	46	96	3440	51	35
PG-BT	w	37	204	190	44,7	100,7	3530	51	34
PG-BU	m	39	180	170	42,6	79,2	3435	53	34,5
PG-BZ	w	37	203	203	44,8	85,4	2425	47	34

Erklärung:

vSSW: vollendete Schwangerschaftswoche

Zirkf.: Zirkumferenz des Kopfes (aus 3D-Daten)

CI-Index: Cephalic-Index (aus 3D-Daten)

GG: Geburtsgewicht

GL: Geburtslänge

GKU: Geburtskopfumfang

k.A.: keine Angaben

hypertrophe/hypotrophe Werte

Tabelle 4: *Alter zum Zeitpunkt der Geburt, Lautaufnahme und des 3D-Scans, 3D-Scan-Daten sowie anthropometrische Daten zum Geburtszeitpunkt der SMO-Gruppe.*

Gruppe	S E X	vSSW [w]	Laut- aufn. [d] prä-OP / post-OP	3D [d]	Zirkf [cm]	CI- Index [%]	GG [g]	GL [cm]	GKU [cm]
SMO_AB	m	36	194 372	190	47	67,1	2730	55	33
SMO_AD	m	39	225 237	225	47	68,6	3500	54	35
SMO_AE	w	40	191 197	191	46	65,9	3370	49	35
SMO_AF	m	39	230 407	230	49	69,1	3820	55	37
SMO_AG	w	34	223 263 265	223	45	67,1	2210	46	k.A.
SMO_AH	m	38	194 241	194	45	64,5	2970	49	30
SMO_AI	m	32	163 216	163	45	64,3	1310	40	k.A.
SMO_AJ	m	38	214 374	214	46	68,3	2945	48	34
SMO_AK	m	40	226 278	226	47	71,0	4250	55	k.A.
SMO_AL	m	40	185 253	185	49	65,5	3060	52	k.A.
SMO_AM	m	29	299 353	299	47	67,4	1225	40	k.A.
SMO_AQ	m	38	171 232	171	46	67,5	3280	53	36
SMO_AR	m	40	190 246	190	48	64,4	3290	50	37

Erklärung:

vSSW: vollendete Schwangerschaftswoche

Zirkf.: Zirkumferenz des Kopfes (aus 3D-Daten)

CI-Index: Cephalic-Index (aus 3D-Daten)

GG: Geburtsgewicht

GL: Geburtslänge

GKU: Geburtskopfumfang

k.A.: keine Angaben

hypertrophe/ hypotrophe Werte

Tabelle 5: *Alter zum Zeitpunkt der Geburt, Lautaufnahme und des 3D-Scans, 3D-Scan-Daten sowie anthropometrische Daten zum Geburtszeitpunkt der KG-Gruppe.*

Gruppe	S E X	vSSW [w]	Laut- aufn. [d]	3D [d]	Zirkf [cm]	CI- Index [%]	GG [g]	GL [cm]	GKU [cm]
KG_AB	w	37	199	199	44	78,4	2940	48	33
KG_AF	w	39	187	205	44	77,7	2950	48	34
KG_AG	w	39	250	204	45	85	3820	51	36
KG_AH	w	37	224	195	42	88	3130	49	34
KG_AJ	m	40	174	189	47	72,8	3780	52	36
KG_AM	w	39	193	194	44	82,4	4035	51	36
KG_AN	m	39	207	207	43	87,5	3395	51	33
KG_AP	w	39	196	196	42	85,9	2645	46	32
KG_AT	m	35	207	193	43	79,2	2660	48	32
KG_AU	m	41	193	187	44	86	3170	51	35
KG_AX	w	39	211	211	44	86	2625	48	34
KG_BH	w	41	191	191	43	84,1	3265	49	33
KG_BL	m	37	195	195	46	88,9	3240	52	k.A.

Erklärung:

vSSW: vollendete Schwangerschaftswoche

Zirkf.: Zirkumferenz des Kopfes (aus 3D-Daten)

CI-Index: Cephalic-Index (aus 3D-Daten)

GG: Geburtsgewicht

GL: Geburtslänge

GKU: Geburtskopfumfang

k.A.: keine Angaben

hypertrophe/ hypotrophe Werte

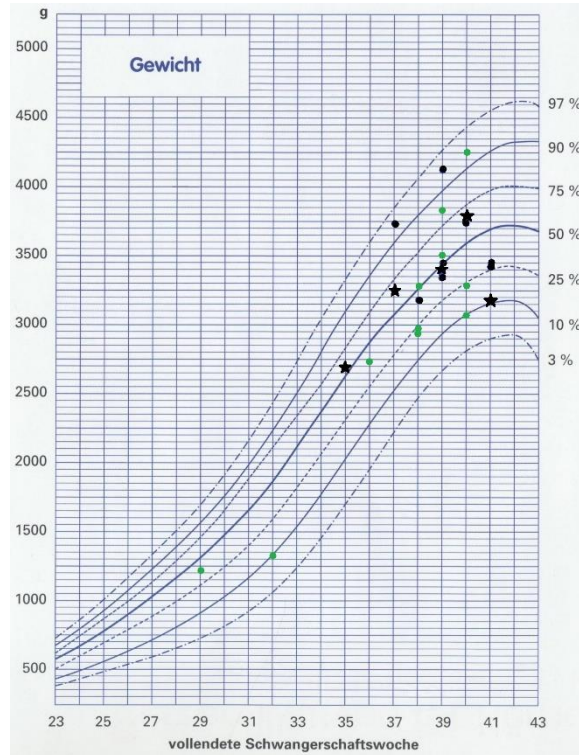


Abbildung 4: Einordnung der männlichen Probanden in Perzentilkurven für das Geburtsgewicht [g]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe

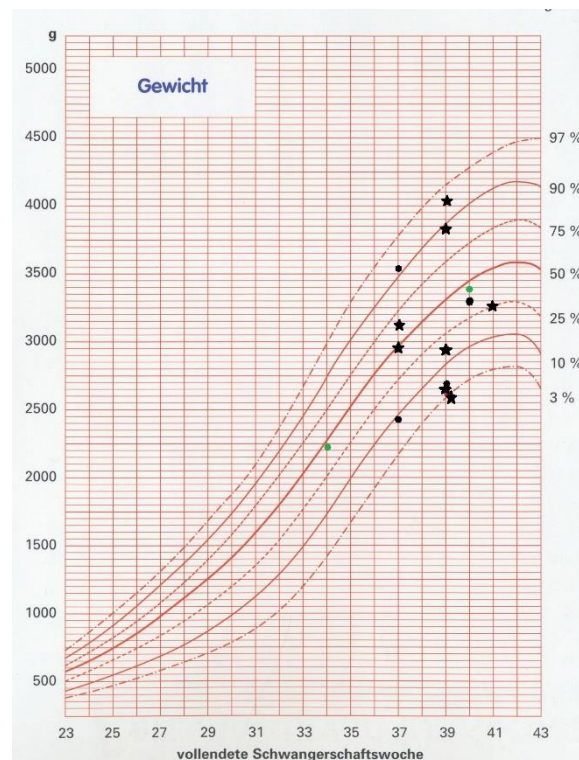


Abbildung 5: Einordnung der weiblichen Probanden in Perzentilkurven für das Geburtsgewicht [g]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe

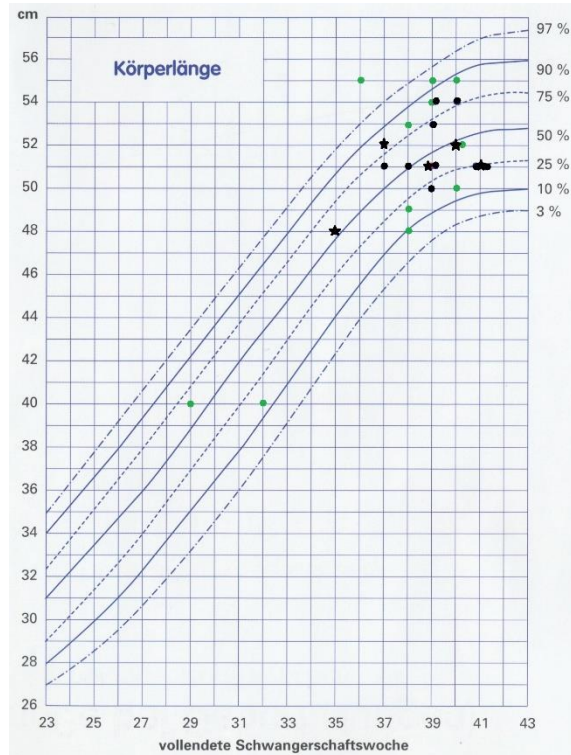


Abbildung 6: Einordnung der männlichen Probanden in Perzentilkurven für die Geburtslänge [cm]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe

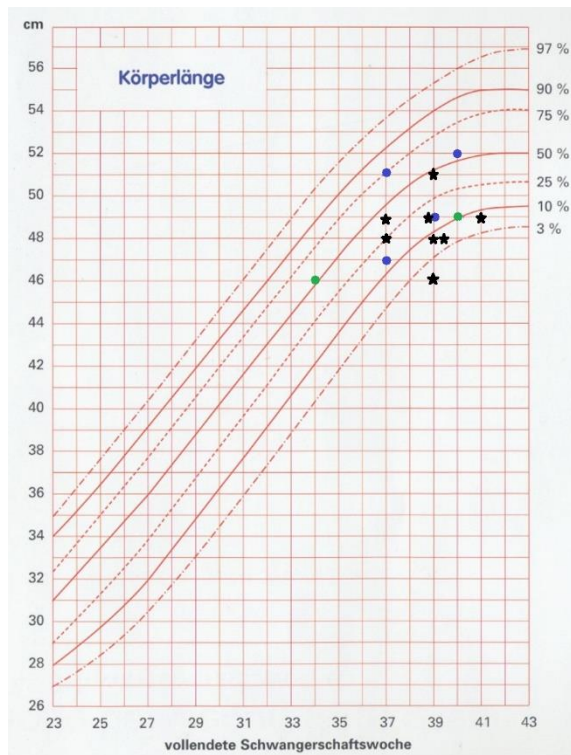


Abbildung 7: Einordnung der weiblichen Probanden in Perzentilkurven für die Geburtslänge [cm]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe

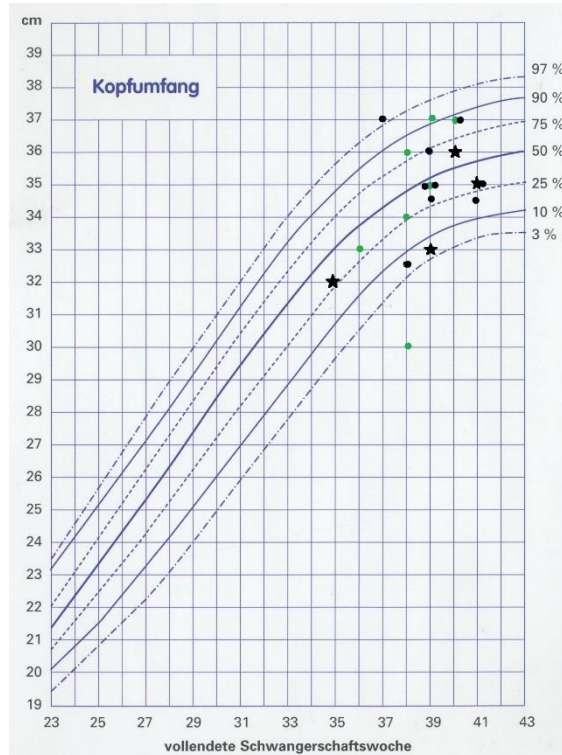


Abbildung 8: Einordnung der männlichen Probanden in Perzentilkurven für den Geburtskopfumfang [cm]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe

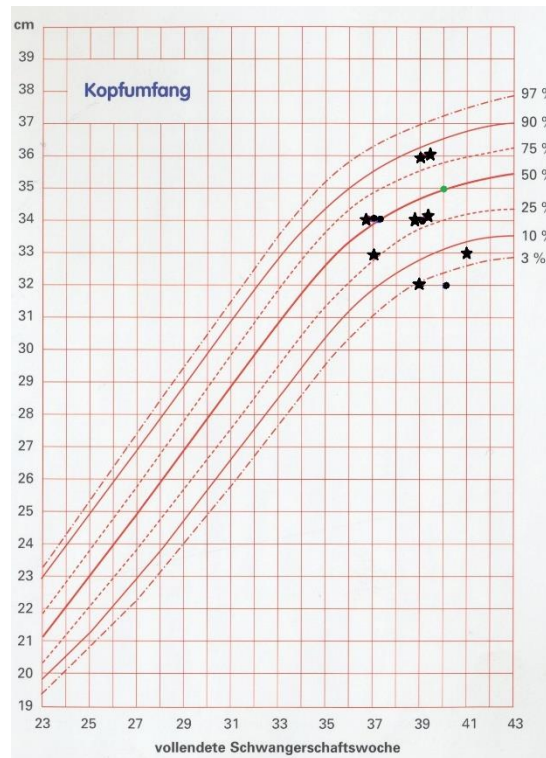


Abbildung 9: Einordnung der weiblichen Probanden in Perzentilkurven für den Geburtskopfumfang [cm]. Stern: KG-Gruppe, blau: PG-Gruppe, grün: SMO-Gruppe

2.3 3D-Bildgebung und –Analyse

Um die Schädelform eines Säuglings in Bezug auf Asymmetrien und Deformitäten exakt charakterisieren zu können, steht dem CFCW ein lichtoptischer 3D-Scanner (3dMD®, Atlanta, GA, USA) zur Verfügung. Dieser kann die Weichteildaten der Säuglingsschädel nach dem Prinzip der Stereophotogrammetrie erfassen, die daraufhin anhand der 3D-Software Cranioform Analytics 3.0 (Cranioform®, Alpnach, Schweiz) ausgewertet werden. Es ist eine non-invasive Methode und es kommt keine radioaktive Strahlung zum Einsatz. Diese bedeutenden Vorteile der 3D-Scan-Technik sprechen für eine standardisierte Verwendung dieser Methode bei klinischen Messungen der Kopfform, vor allem bei Kindern (Meyer-Marcotty et al. 2014, Nkenke et al. 2003, Ras et al. 1995). Bei den PG-Kindern wurde der 3D-Scan ca. 1-2 Wochen vor Beginn der Helmtherapie durchgeführt (Meyer-Marcotty et al. 2012). Dazu scannen fünf zueinander synchronisierte Kameras im 360°-Winkel auf Basis des stereophotogrammetrischen Prinzips den Kopf des Kindes (Abbildung 10). Die verarbeiteten Daten werden in eine Datenbank aufgenommen. Für weitere Erläuterungen zur 3D-Scan-Methode verweise ich auf Meyer-Marcotty et al. (2012).

Die resultierten 3D-Daten wurden der Autorin freundlicherweise durch Mitarbeiter des CFCW zur Verfügung gestellt.



Abbildung 10: Positionierung des Säuglings beim 3D-Scan (Abbildung freundlicherweise durch CFCW-Mitarbeiter zur Verfügung gestellt)

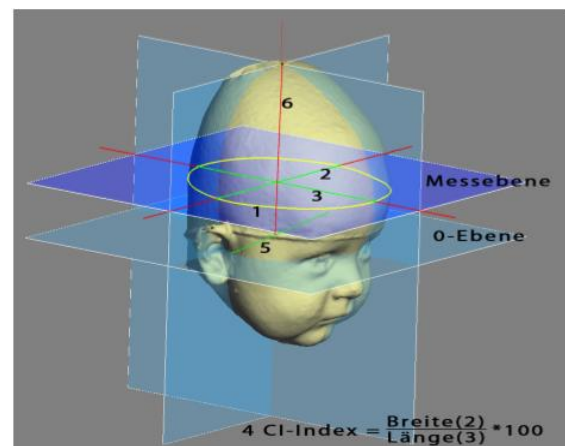


Abbildung 11: 3D-Scan-Daten: 1= Zirkumferenz, 2= Breite, 3= Länge, 4= CI-Index, 5= CBW, 6= Vertexhöhe nach Meyer-Marcotty et al, 2012. (3D-Scan-Daten freundlicherweise durch CFCW-Mitarbeiter zur Verfügung gestellt)

Skaphocephalus / Sagittalnahtsynostose

Kinder mit einer Sagittalnahtsynostose weisen nach Untersuchung anhand des 3-D-Scans im Vergleich zu den gesunden Kindern der Kontrollgruppe stark veränderte Kopfmaße auf. Diese sind eine vergrößerte Zirkumferenz und sagittale Länge. Verkleinert hingegen sind die maximale Breite und der CI-Index, auch Breiten-Längen-Index (BLI) (Barritt et al. 1981, Fisher et al. 2007) genannt. Dieser wird wie folgt berechnet (Meyer-Marcotty et al. 2014):

$$CI - Index [\%] = \frac{\text{maximale Breite auf Höhe der Messebene [cm]}}{\text{maximale Länge auf Höhe der Messebene [cm]}} \times 100$$

Plagiocephalus

Das klinische Erscheinungsbild eines lagerungsbedingten Plagiocephalus stellt sich unter anderem durch vergrößerte Werte bezüglich CI-Index und maximaler Breite und kleinere Werte der maximalen Längen im Vergleich zu Kindern der Kontrollgruppe dar.

Für genauere Ergebnisdarstellungen siehe Kapitel 3.1.1 bis 3.1.4.

Die im Folgenden dargestellten Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14 verdeutlichen die unterschiedlichen Schädelformen in lateraler, frontaler und kranialer Sicht anhand der erhobenen 3-D-Scans, die der Autorin freundlicherweise von den CFCW-Projektleitern zur Verfügung gestellt wurden.

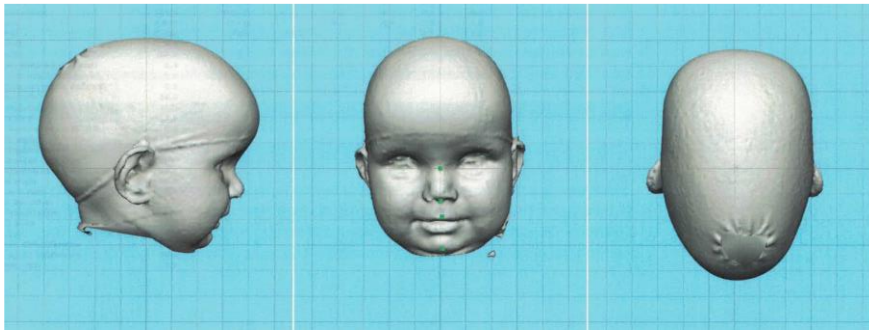


Abbildung 12: Laterale, frontale und kraniale Ansicht der 3D-Scans des Kindes SMO_AE. Alter zum Scanzeitpunkt: 191 Tage (von CFCW-Projektleitern zur Verfügung gestellt)

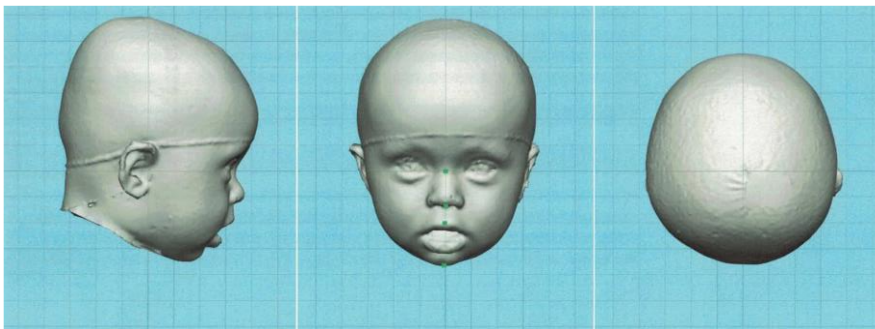


Abbildung 13: Laterale, frontale und kraniale Ansicht der 3D-Scans des Kindes KG_BL. Alter zum Scanzeitpunkt: 195 Tage (von CFCW-Projektleitern zur Verfügung gestellt)

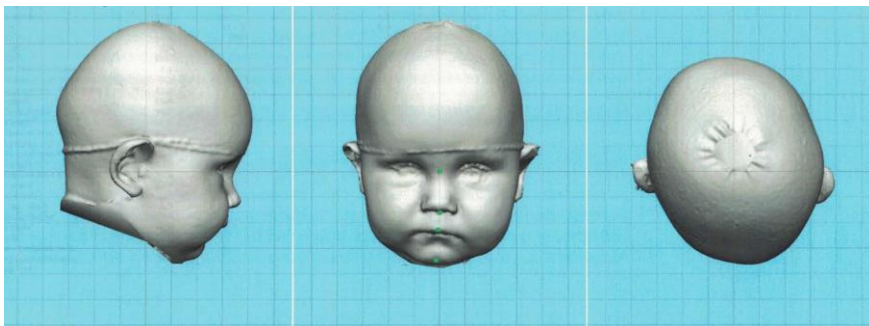


Abbildung 14: Laterale, frontale und kraniale Ansicht der 3D-Scans des Kindes PG_BP. Alter zum Scanzeitpunkt: 190 Tage (von CFCW-Projektleitern zur Verfügung gestellt)

2.4 Vokalisationsrepertoire

Die vorliegenden Lautaufnahmen der Kinder lagen im Archiv des ZVES der Poliklinik für Kieferorthopädie teils in vorverarbeiteter digitaler Form, teils als Rohdaten vor.

Die Aufnahmen fanden in einem abgeschirmten und umgebungslautfreien Raum der Poliklinik für Kieferorthopädie statt und wurden von Frau Sandra Habel oder wissenschaftlichen Mitarbeitern des ZVES durchgeführt. Die spontan geäußerten Vokalisationen entstanden in einer spielerischen Situation. Im Rahmen dieser Arbeit wurden 2836 kindliche Laute analysiert.

Die Gruppe der Kinder mit diagnostizierten Sagittalnahtsynostosen umfasst sowohl prä-operative als auch post-operative Daten. In der vorliegenden Arbeit wird im Rahmen der quantitativen und qualitativen Lautanalyse zwischen den prä- und post-operativen Lautaufnahmen unterschieden, um eventuelle Auffälligkeiten der Sprachentwicklung in Abhängigkeit von der vorgenommenen Operation und des Alters zu erkennen. Bezüglich des Aufnahmealters gibt es innerhalb der SMO-post-Gruppe große Schwankungen, die auf der Variabilität der individuell festgelegten Operationstermine beruhen.

Tabelle 6 bis Tabelle 9 verdeutlichen das Alter zum Untersuchungszeitpunkt und die Anzahl der Lautaufnahmen (Vokalisationen) der Kinder in ihren jeweiligen Gruppen.

Tabelle 6: *Alter bei Aufnahmezeitpunkt und Anzahl der Lautaufnahmen der PG-Gruppe*

Proband	Alter bei Lautaufnahme [d]	Anzahl der Lautaufnahmen
PG_AH	189	36
PG_AI	181	70
PG_AV	174	74
PG_AZ	187	47
PG_BA	202	44
PG_BK	223	39
PG_BN	175	64
PG_BO	181	50
PG_BP	176	60
PG_BR	204	65
PG_BT	204	86
PG_BU	180	52
PG_BZ	203	45

Tabelle 7: *Alter bei Aufnahmezeitpunkt und Anzahl der Lautaufnahmen der KG-Gruppe*

Proband	Alter bei Lautaufnahme [d]	Anzahl der Lautaufnahmen
KG_AB	199	46
KG_AF	187	69
KG_AG	250	22
KG_AH	224	11
KG_AJ	174	65
KG_AM	193	125
KG_AN	207	84
KG_AP	196	63
KG_AT	207	57
KG_AU	193	55
KG_AX	211	51
KG_BH	191	52
KG_BL	195	56

Tabelle 8: *Alter bei Aufnahmezeitpunkt und Anzahl der Lautaufnahmen der SMO-Gruppe (prä-operativ)*

Proband	Alter bei Lautaufnahme [d]	Anzahl der Lautaufnahmen
SMO_AB	194	25
SMO_AD	225	67
SMO_AE	191	33
SMO_AF	230	14
SMO_AG	223	38
SMO_AH	194	47
SMO_AI	163	19
SMO_AJ	214	42
SMO_AK	226	35
SMO_AL	185	47
SMO_AM	299	33
SMO_AQ	171	17
SMO_AR	190	45

Tabelle 9: *Alter bei Aufnahmezeitpunkt und Anzahl der Lautaufnahmen der SMO-Gruppe (post-operativ)*

Proband	Alter bei Lautaufnahme [d]	Anzahl der Lautaufnahmen
SMO_AB	372	82
SMO_AD	237	170
SMO_AE	197	36
SMO_AF	407	96
SMO_AG	263	28
SMO_AG	265	33
SMO_AH	241	80
SMO_AI	216	65
SMO_AJ	374	44
SMO_AK	278	48
SMO_AL	253	50
SMO_AM	353	62
SMO_AQ	232	50
SMO_AR	246	42

2.5 Datenaufbereitung

Die Laute der PG-Gruppe und der KG-Gruppe lagen im Archiv des ZVES bereits in vorverarbeiteter Form als Frequenzspektren mit zugehörigen Melodiedaten vor. Die Rohdaten der SMO-Gruppe wurden von der Autorin selbst gemeinsam mit einem weiteren Doktoranden (Kunick 2017) nach standardisierten Verfahren archiviert.

Hierzu wurden die Originalaufnahmen mit Hilfe des Sprachanalysesystems Computer Speech Laboratory 4400 (CSL) der Firma KAY/PENTAX (USA) eingelesen. Alle Bearbeitungsschritte inklusive Datum, Uhrzeit und eventuelle Bemerkungen wurden diesbezüglich in einem Digitalisierungsprotokoll aufgezeichnet. Zusätzlich wurden die Lautäußerungen segmentiert, codiert und als Einzelvokalisation abgespeichert. Unter einer Einzelvokalisation versteht man eine Lautäußerung während einer Expirationsphase. Die nachfolgende Inspiration wurde ebenfalls erfasst, ohne im Weiteren ausgewertet zu werden. Vegetative Laute, wie Husten, Räuspern oder Inspirationsgeräusche wurden hier nicht berücksichtigt. Ebenso wurden bei der Aufnahme übersteuerte Laute nicht verwendet.

Das Programm CSL berechnet ein Frequenzspektrum, für die vorliegende Analyse ein Schmalbandspektrogramm. In der vorliegenden Arbeit gibt die Abszisse die Zeit in Sekunden, die Ordinate das Frequenzspektrum im Bereich von 0-4 kHz an. Somit werden die Grundfrequenz (entspricht der Melodie „F₀“) und Harmonische (entsprechen einer Reihe von Frequenzlinien, die ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz sind) in einem Koordinatensystem visualisiert. Die einzelnen Grauwertstufen charakterisieren dabei die Intensität einzelner Frequenzbänder, wobei Schwarz für die höchste Energiedichte steht. Die im Spektrogramm aufgezeigten Parameter (Signaldauer, die enthaltenen Frequenzen und deren Intensität) visualisieren somit jeden einzelnen Laut. Dabei sind spektrale Lauteigenschaften (Subharmonische, Rauschbanden oder Frequenzsprünge) grafisch gut dargestellt und schnell erkennbar. Abbildung 15 zeigt ein solches Schmalbandspektrogramm. Zusätzlich werden Melodie-/ Intensitätsdiagramme mit Hilfe des Programms CDAP erstellt, worauf die Melodie als blaue, gepunktete Linie und die Intensität als lila Linie erkennbar ist (Abbildung 16). Die Achsenbeschriftungen sind in englischer Sprache.

Einige Frequenzspektren wurden mit Hilfe der PRAAT-Software Version 5.3.03 (Boersma/ Weenink, 2011) zusätzlich kontrolliert und gegebenenfalls wurde der Verlauf der Melodie manuell neu berechnet.

Darüber hinaus sind im Spektrogramm Formanten erkennbar, die die Konzentration akustischer Energie im Vokaltrakt veranschaulichen. Diese sind für Vokale typisch.

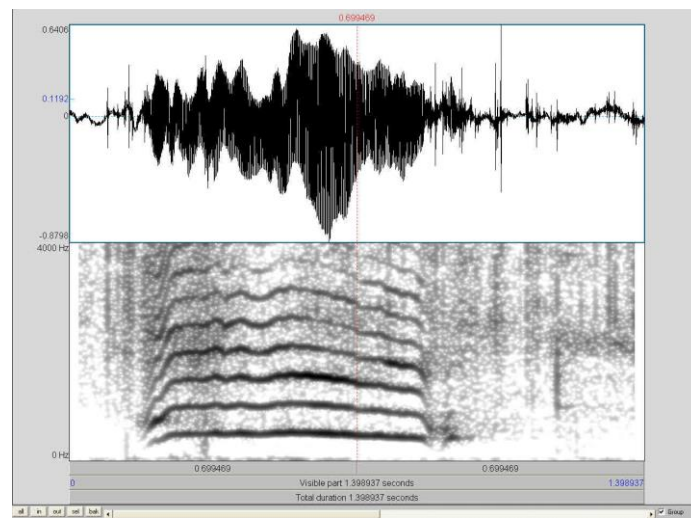


Abbildung 15: Schmalbandspektrogramm im PRAAT-Ausgabefenster (Eigene Darstellung)

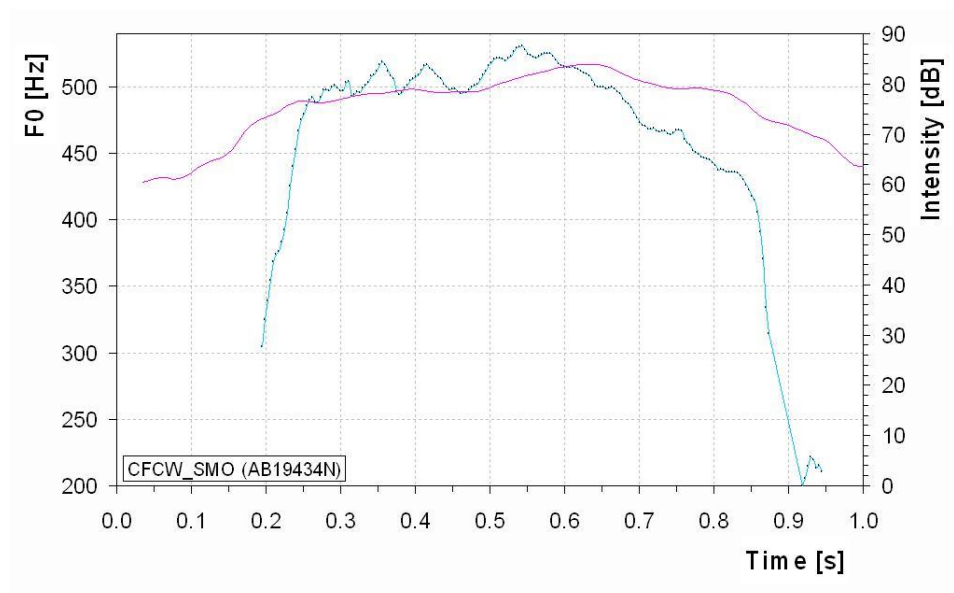


Abbildung 16: Melodie-/ Intensitätsdiagramm des in Abbildung 15 dargestellten Komfortlautes. (Eigene Darstellung)

2.6 Datenanalyse

Insgesamt wurden 2836 repräsentative Einzelvokalisationen ausgewertet. Diese setzen sich zusammen aus 732 Lauten aus der Plagiocephalusgruppe, 1348 Lauten aus der Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO-prä: 462, SMO-post: 886) und 756 Lauten aus der Kontrollgruppe. Somit wurden pro Kind durchschnittlich 97 Laute zur Analyse verwendet. Für die qualitative Babbelanalyse reduziert sich die Gesamtzahl der Laute auf 2480 (87%), da einige Laute nicht den Babbelkategorien zugeordnet werden konnten. Lediglich Komfortvokalisationen, also Lautäußerungen während einer spielerischen Situation, die zudem den Babbelkategorien eindeutig entsprechen, wurden analysiert.

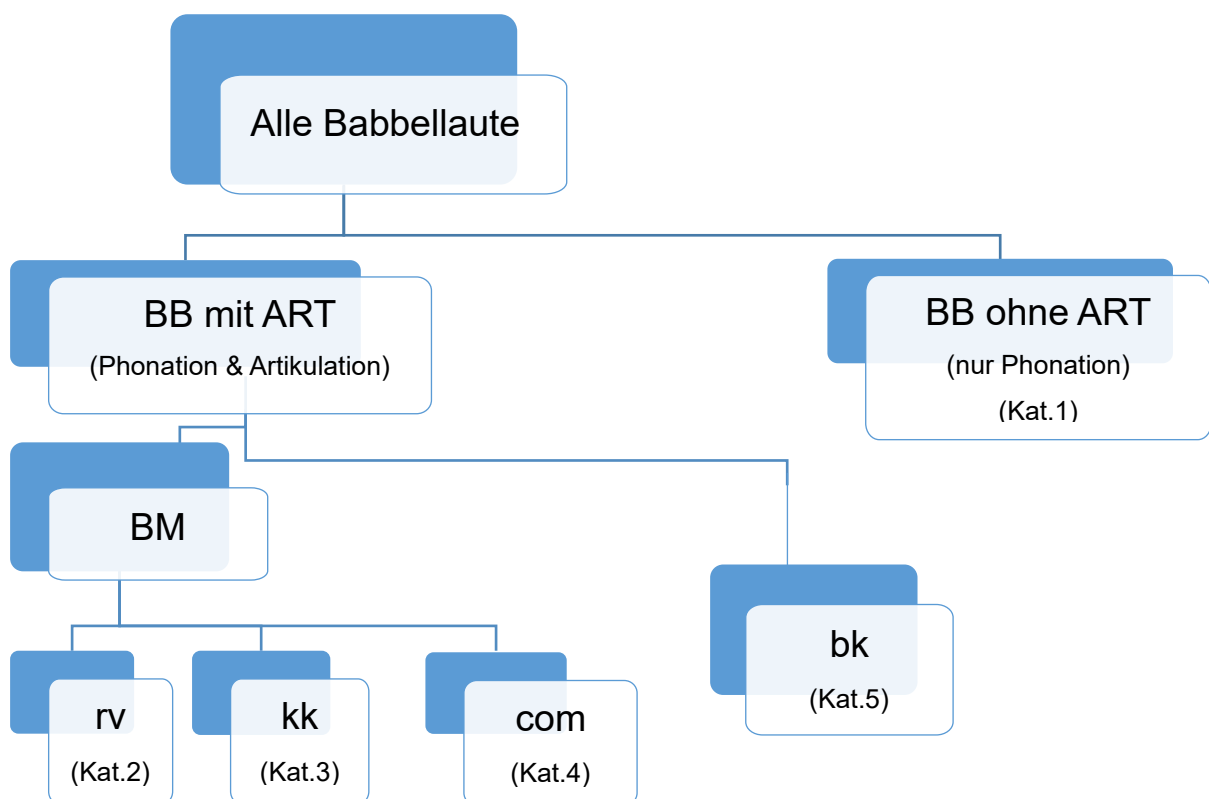
Die spezifische Analyse wurde hier mit dem Programm CDAP (Cry-Data-Analysis-Program, pw-Project) durchgeführt. Dieses verknüpft die berechneten spektralen und melodischen Eigenschaften miteinander und vereint sie in einem Datensatz, der mit Hilfe der CDAP-Module QSS und BOMA analysiert werden kann. Hier wurden die Laute zum einen nach phonatorischen und artikulatorischen Merkmalen kategorisiert und zum anderen quantitativ anhand melodischer und spektraler Eigenschaften untersucht. Diese Daten wurden daraufhin nach der im Kapitel 2.6.1 bis 2.6.3 beschriebenen Vorgehensweise ausgewertet.

2.6.1 Qualitative Babbelanalyse: Kategorienbildung anhand phonatorischer und artikulatorischer Merkmale

Um den kindlichen Entwicklungsstand in Bezug auf artikulatorische und phonatorische Charakteristika einzuschätzen, wurde in dieser Arbeit eine Artikulationsanalyse anhand der Säuglingsvokalisationen vorgenommen. Dazu wurde die im Rahmen des gleichen Projektes von Brenner (2015) erarbeitete Klassifikation auch hier, allerdings in leicht veränderter Form, verwendet: Es wurde auf eine Unterteilung der Kategorien „rv“, „kk“ und „com“ (vgl. Abbildung 17), die in der Arbeit von Brenner (2015) die Auftrittshäufigkeit der jeweiligen Artikulationen pro Laut beschreibt, verzichtet.

Jeder einzelne Komfortlaut wurde analysiert und nachfolgend in eine von fünf Kategorien eingeordnet. Kategorie eins umfasst Babbellaute ohne Artikulation (nur Phonation). Die Kategorien zwei bis fünf beinhalten Babbellaute mit phonatorischen und artikulatorischen Aktivitäten (marginales und kanonisches Babbeln). Die Einordnung erfolgte anhand auditiver Einschätzungen und den im Frequenzspektrogramm identifizierbaren Klangeigenschaften. Die Kategorienzuordnung erfolgte manuell mit Hilfe der vorgesehenen Maske des QSS-Moduls des CDAP-Programms.

Abbildung 17 zeigt die Kategorisierungskriterien anhand eines Schaubildes.



Erklärung:

BB: Babbeln

ART: Artikulation

BM: Marginales Babbeln

bk: Kanonisches Babbeln

rv: Resonanzveränderung

kk: Konsonant

com: Kombination aus Konsonant (kk) und Resonanzveränderung (rv)

Abbildung 17: Kategorisierung aller Babbellaute anhand artikulatorischen und phonatorischen Elementen (Eigene Darstellung)

Kategorie 1: Babbellaute ohne Artikulation

- Bei diesen Lauten deutet nichts auf intentionale artikulatorische Resonanzen hin. Im Frequenzspektrogramm sind keine Veränderungen der Resonanzfrequenzen sichtbar. Lediglich durch die Geometrie des Vokaltraktes gegebene Resonanzen werden dargestellt.

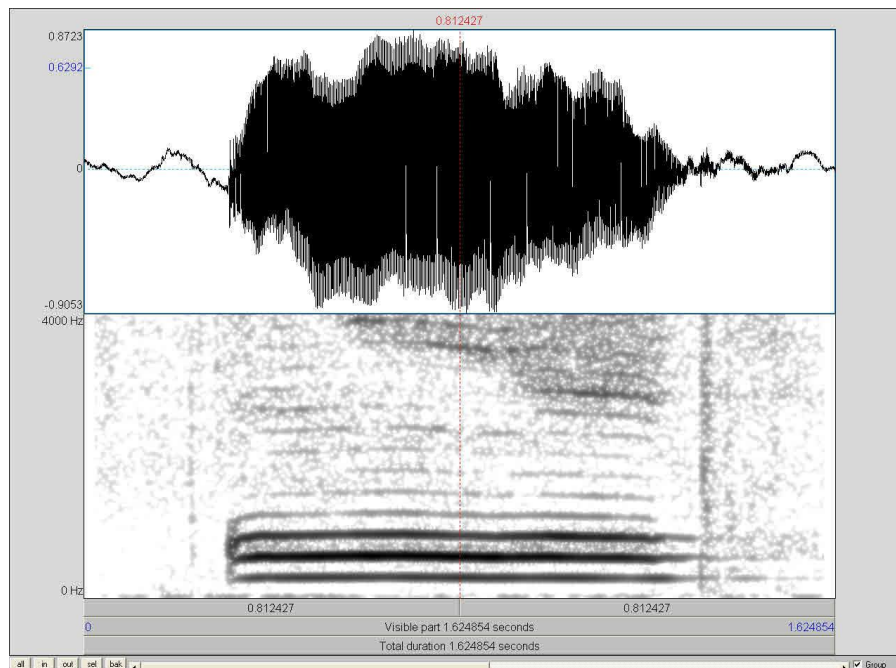


Abbildung 18: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Babbellautes ohne Artikulation im Alter von 194 Tagen

Kategorie 2: Babbellaute mit Artikulation und mindestens einer Resonanzveränderung

- Die in diese Kategorie eingeordneten Vokalisationen enthalten mindestens eine Resonanzveränderung des Vokaltraktes, die zu auditiv wahrnehmbaren Vokalveränderungen („vowel babbling“) führen. Dies geschieht durch Kiefer- oder Velumbewegungen. Im Frequenzspektrogramm ist dies durch veränderte Intensitäten einzelner Harmonischer sichtbar

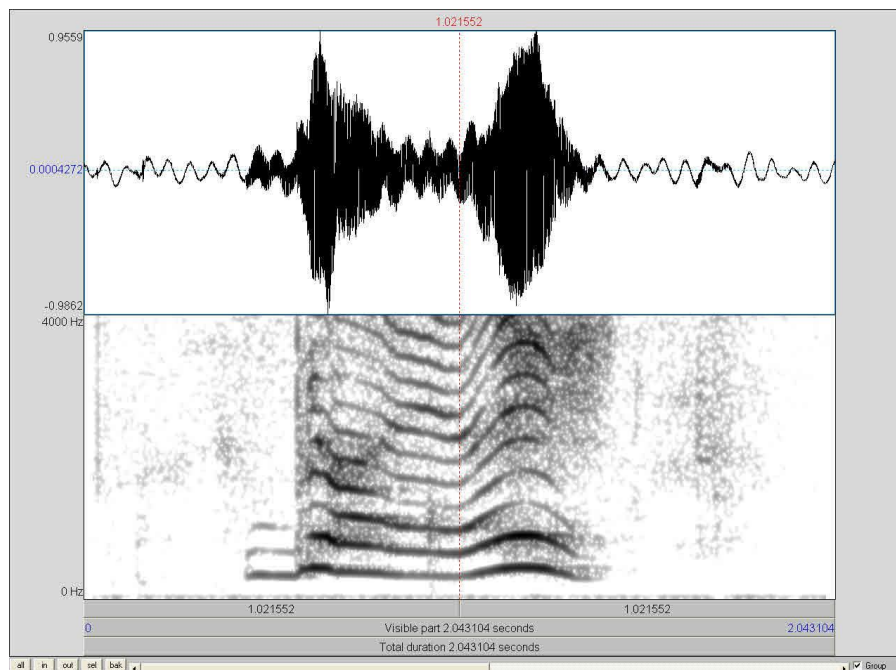


Abbildung 19: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Babbellautes mit zwei Resonanzveränderungen im Alter von 374 Tagen

Kategorie 3: Babbellaute mit Artikulation und mindestens einem Konsonant-ähnlichen Element

- Diese Kategorie beinhaltet Lautäußerungen, die mindestens ein Konsonant-ähnliches Element enthalten. Zudem können sie entweder ein Vokal-ähnliches Element beinhalten oder aus reinen Konsonant-ähnlichen Äußerungen bestehen. Sie bilden somit silbenähnliche Laute, die sich gegenüber echten Silben vor allem durch längere Formantübergangszeiten unterscheiden (Oller 2000). Im Frequenzspektrogramm werden die Konsonanten durch kurze, pulsartige Banden deutlich.

Viele hintereinander folgende Konsonant-ähnliche Elemente wie „rrrr“ werden ebenfalls in Kategorie 3 eingeteilt (Abbildung 20).

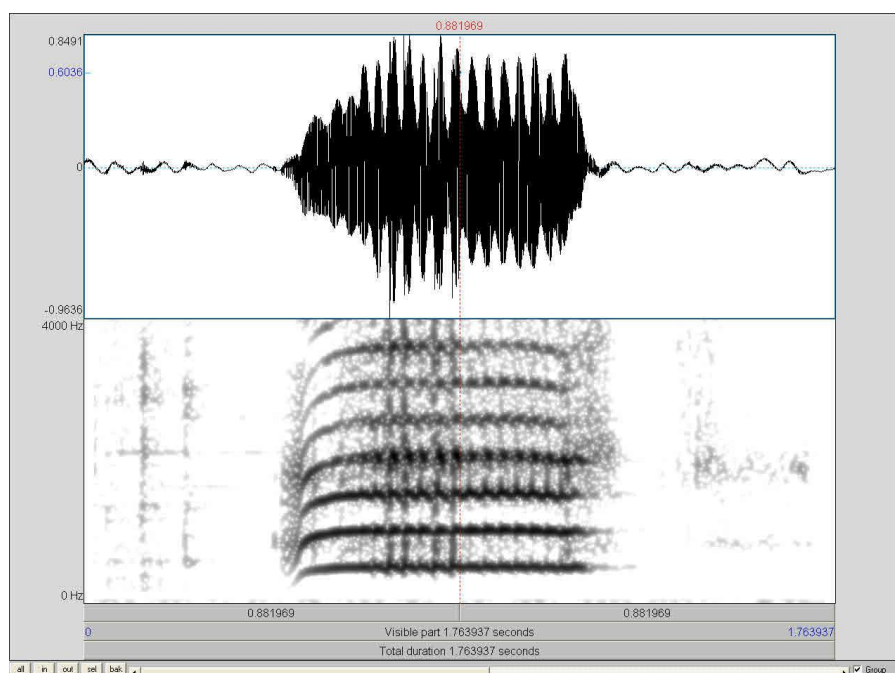


Abbildung 20: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Babbellautes [r] mit konsonantähnlichem Element im Alter von 374 Tagen

Kategorie 4: Babbellaute mit Artikulation und mindestens einem Konsonant-ähnlichem Element sowie mindestens einer Resonanzveränderung

- Diese Kategorie ist als „Kombination“ definiert. Die ihr zugeordneten Laute beinhalten sowohl Konsonant-ähnliche Elemente als auch vokalische Resonanzveränderungen, d.h. mindestens zwei Vokal-ähnliche Elemente. Auch hier werden nur silben-ähnliche Laute gebildet. Diese haben im Vergleich zu echten, kanonischen Silben längere Formantübergangszeiten (Oller 2000).

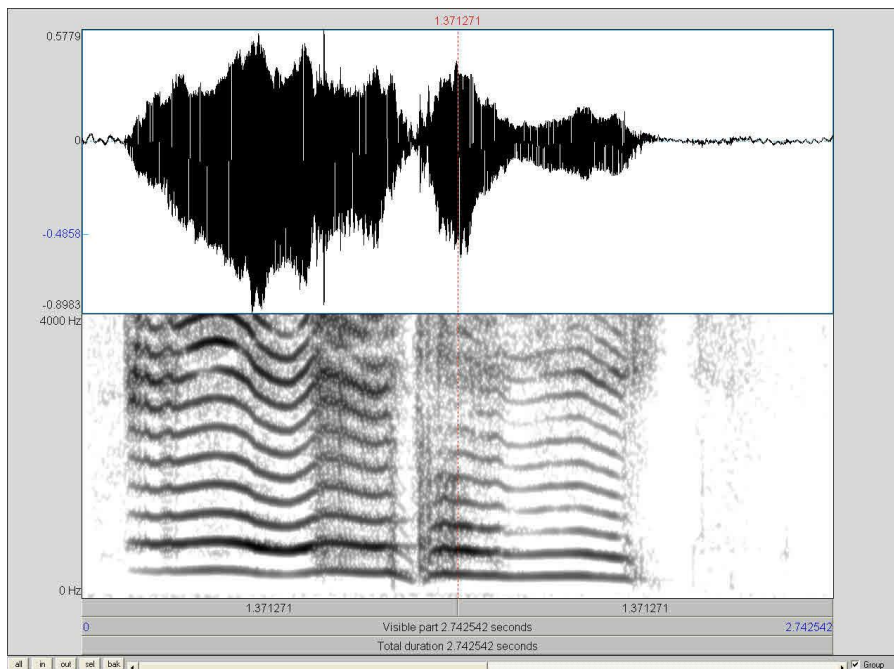


Abbildung 21: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Babbellautes mit konsonantähnlichem Element und Resonanzveränderung im Alter von 237 Tagen

Kategorie 5: Kanonische Babbellaute

- Die hier eingeordneten Laute enthalten kanonische Silben, d.h. sie sind aufeinanderfolgende Konsonant-Vokal-Kombinationen. Sie zeichnen sich laut Oller (2000) durch eine Formantübergangszeit kleiner als 120 ms aus. Alle dieser Kategorie zugeordneten Babbellaute wurden in PRAAT in Bezug auf die Formantübergangszeit manuell ausgemessen.

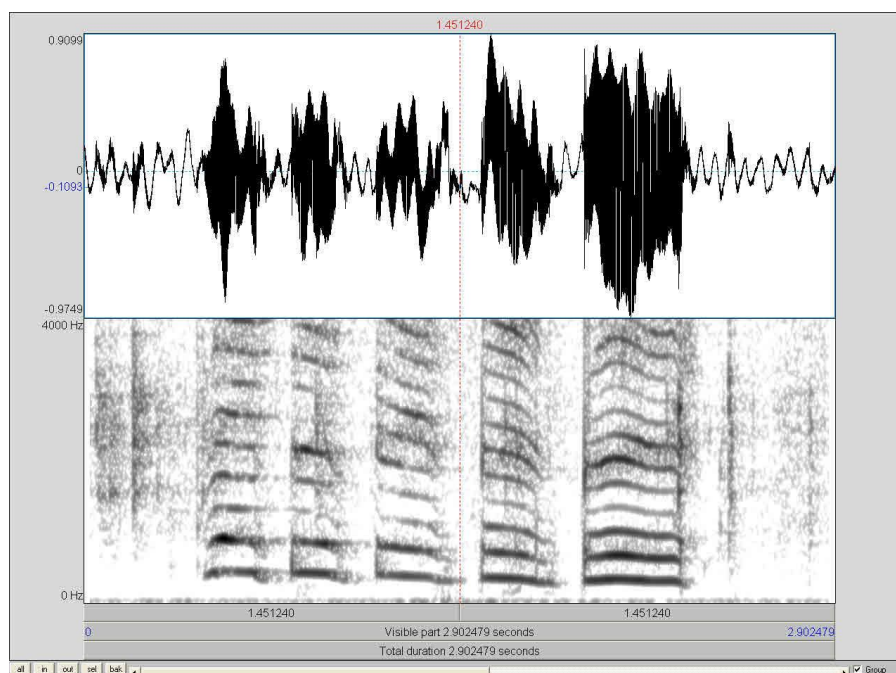


Abbildung 22: *Schmalband-Frequenzspektrogramm eines kanonischen Babbellautes im Alter von 374 Tagen*

2.6.2 Klassifizierung anhand der Melodiestructur

Ein von Wermke (2002) erarbeitetes Grundprinzip der Vorsprachlichen Diagnostik umfasst eine detaillierte Klassifizierung der Melodie von Säuglingslauten anhand spektraler und melodischer Aspekte. In der vorliegenden Arbeit wurde es vereinfacht verwendet. Dazu wurden Einzelvokalisationen, die sich aus einer Expirationsphase mit Lautbildung und einer nachfolgenden Inspiration (nicht weiter untersucht) zusammensetzen, analysiert. Hierbei sind zum einen Kurzlaute, „KL“ (<300 ms) und zum anderen Melodiebögen, „1B“ (>300 ms) charakterisiert (Abbildung 23). Ein Melodiebogen ist in Komfortvokalisationen durch einen Hub von mindestens zwei Halbtönen definiert. Zudem kann dieser einen Anlaut und/oder Endlaut beinhalten. Diese sind definiert als zusätzliche Frequenzwellen kürzer als 150 ms. Zwischen der Anzahl der Bögen, die ein wichtiges Entwicklungskriterium im Alter von zwei bis drei Monaten ist (Wermke et al. 2007), wird in der vorliegenden Arbeit nicht unterschieden.

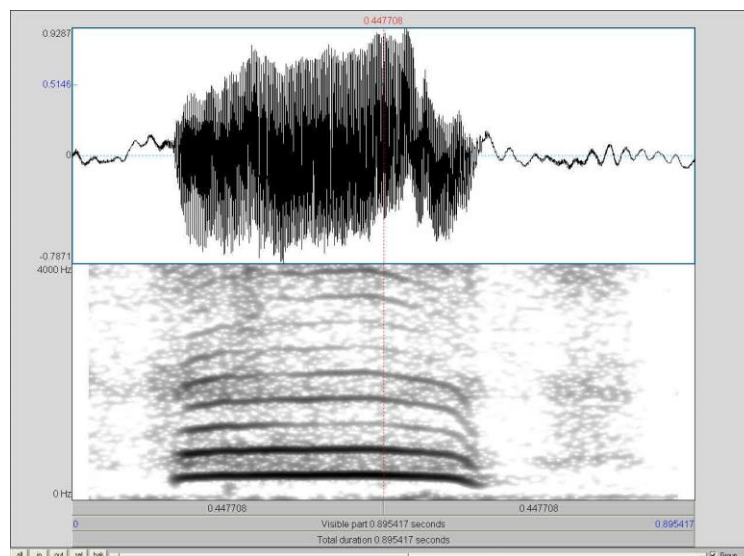


Abbildung 23: Schmalband-Frequenzspektrogramm eines Melodiebogens mit zugehörigen Obertönen (PRAAT)

Die hier analysierten Melodien wurden in unsegmentierte- und segmentierte Strukturen unterteilt (UV vs. SV). Diese Kategorisierung wurde mit Hilfe der Melodie-/Intensitätsdiagramme interaktiv bestimmt. Eine segmentierte Vokalisation (SV) ist definiert als ein Laut mit Unterbrechung der Melodie, also einer Pause. Diese Pausen entstehen durch eine Art „glottalen Schwingungsstopp“. Hierbei setzen die

Schwingungen der Stimmlippen für einen Moment aus. Darüber hinaus wurden die Pausen als „vollständig“ oder „unvollständig“ erfasst. Unvollständige Pausen sind im Spektrogramm insofern erkennbar, dass im Bereich der Pausen noch Strukturen von Harmonischen bzw. Rauschbanden zu vernehmen sind. Vollständige Pausen hingegen zeichnen sich durch ein deutliches Fehlen jeglicher Frequenzlinien oder Rauschbanden aus. Ebenfalls ist auditiv keine Lautbildung wahrnehmbar.

Ist also eine Pause vorhanden, wurde die Melodie eines Einzellautes in Abhängigkeit von der Pausenanzahl kategorisiert: „1S“ steht für eine Pause, „2S“ steht für zwei Pausen usw. Dabei können auch Kurzlautelemente Teil der Melodie sein, beispielsweise *KL-Pause-Bogen* oder *Bogen-Pause-KL*. Zudem wurde bei der Vorsprachlichen Diagnostik eine zusätzliche, mit „komplexe Segmentierungen“ (KS) benannte Gruppe, definiert. Solche Melodiestructuren umfassen ebenfalls nur eine Pause, jedoch ist auf mindestens einer Seite der Pause die Melodie komplex, d.h. sie besteht aus mehreren Bögen. Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26 zeigen Beispiele für die oben genannten Kategorien.

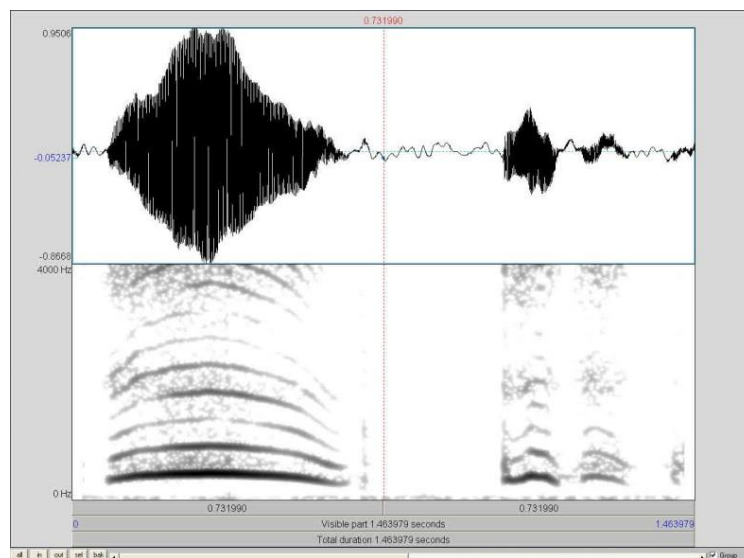


Abbildung 24: Schmalband-Frequenzspektrogramm einer segmentierten Vokalisation mit zwei Pausen: die erste Pause ist vollständig, die zweite unvollständig (PRAAT).

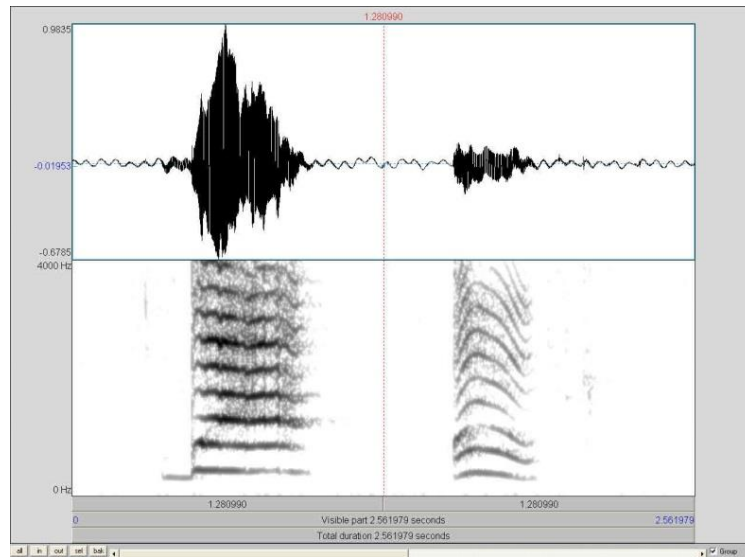


Abbildung 25: Schmalband-Frequenzspektrogramm einer segmentierten Vokalisation mit vollständiger Pause (PRAAT)

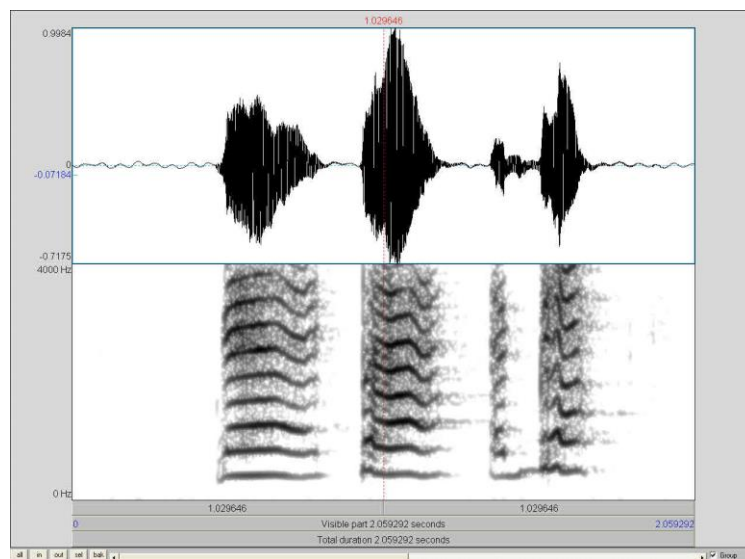


Abbildung 26: Schmalband-Frequenzspektrogramm einer segmentierten Vokalisation mit drei vollständigen Pausen (PRAAT)

2.6.3 Quantitative Analyse melodischer und zeitlicher Parameter

Im Rahmen der „Stimmdiagnostik“ sind zusätzlich rhythmische und prosodische Eigenschaften des Komfortlautes weitere wichtige Analyseparameter. Hierzu zählen Eigenschaften der mittleren Grundfrequenz F_0 , der relative Vokalisationshub (F_{\max}/F_{\min}), das Frequenzmaximum und das Frequenzminimum. Zusätzlich wurde ein Pausenindex berechnet, der den Anteil der Pausen an der Gesamtlänge des Lautes beschreibt. Einen ebenfalls wichtigen Parameter stellt die Vokalisationslänge dar. Hierbei wurde zwischen segmentierten (SV) und unsegmentierten Vokalisationen (UV) unterschieden. Im Fall der Stimmdiagnostik beschreibt die Frequenz die Schwingungen der Stimmlippen pro Zeiteinheit.

Die oben genannten Werte wurden von dem CDAP-Modul „EFA“ berechnet, nachdem die Messbereiche manuell durch Setzen eines Cursors bestimmt wurden. Hierfür wurden Anfang und Ende der Melodie bzw. der Pausen markiert. An- und Endlaute wurden separat vermessen, außer bei Kurzlauten (<300ms). Die An- und Endwellen wurden in der vorliegenden Arbeit jedoch in der Auswertung nicht separat berücksichtigt, sondern in die gesamte Lautlänge integriert.

Aufgrund von Algorithmus-Artefakten können die errechneten Melodien zum Teil spikeartige Werte enthalten, die mit Hilfe sogenannter Spikefilter eliminiert wurden. Außerdem wurden die Vokalisationen teilweise manuell nachbearbeitet um potenzielle Fehler der automatischen Routine zur F_0 -Berechnung zu korrigieren.

Insgesamt wurden nach diesem Prinzip 2836 Einzelvokalisationen von 39 Probanden vermessen und automatisch in einer Excel-Tabelle gespeichert.

In Tabelle 10 sind die untersuchten Parameter und Messgrößen zusammengefasst.

Tabelle 10: *Verwendete Parameter im Rahmen einer quantitativen Melodieanalyse von Einzellauten*

Parameter	Erläuterung
F0	Grundfrequenz
Fmax	höchster ermittelter Wert der Grundfrequenz [Hz]
Fmin	niedrigster ermittelter Wert der Grundfrequenz [Hz]
Pausenindex	Pausenanteil an Gesamt-Lautlänge [%]
relativer Hub	Quotient aus Fmax und Fmin
Länge_SV	Lautlänge segmentierter Vokalisationen [ms]
Länge_UV	Lautlänge unsegmentierter Vokalisationen [ms]

2.7 Statistische Analyse

Alle erhobenen Daten wurden zur weiteren Auswertung zunächst in Microsoft Excel 2007 und 2010 gespeichert und anschließend in SPSS® Statistics (IBM®, Ehningen, Deutschland – Version 22.0 für Windows) exportiert und statistisch analysiert.

In der vorliegenden Arbeit wurde sowohl von unabhängigen als auch abhängigen Stichproben ausgegangen. Der Vergleich der prä- und postoperativen Vokalisationen umfasste abhängige Werte und setzte somit Testungen für abhängige Stichproben voraus.

Die Auswertung der zugrundeliegenden Daten erfolgte kindbasiert. Dementsprechend wurden von jedem Kind alle erhobenen Werte zusammengefasst und gemittelt, sodass jedes Kind aus jeder Gruppe pro Variable einen Durchschnittswert aufweist. Daraufhin wurde der Gruppenvergleich durchgeführt.

Zu Beginn wurden von den auszuwertenden Daten deskriptive Statistiken angefertigt, um eine Übersicht über die Datenverteilung zu erlangen. Die grafischen Darstellungen erfolgten anhand von Boxplots. Diese sind wie folgt aufgebaut: Die Box beinhaltet den Interquartilbereich, d.h. alle Daten, die zwischen der 25%-Perzentile (untere Begrenzung) und 75%-Perzentile (obere Begrenzung) liegen. Die Linie innerhalb der Box beschreibt den Medianwert. Die zwei Antennen, sogenannte Whisker, symbolisieren Minimum und Maximum ohne Berücksichtigung der Ausreißer und Extremwerte. Ausreißer werden durch Kreise dargestellt. Diese liegen mindestens 1,5 Boxlängen vom Minimum bzw. Maximum entfernt. Ein Stern steht für einen extremen Ausreißer-Wert, der mehr als 3 Boxlängen von diesen Minima bzw. Maxima entfernt liegt.

Im weiteren Vorgehen wurde mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests jede Testgröße zuerst auf Normalverteilung überprüft. Ab einem Signifikanzniveau von $p > 0,05$ liegt formal eine hinreichende Normalverteilung vor, die eine weitere Auswertung anhand parametrischer Tests erlaubt. Bei mehr als zwei Stichproben wird die einfaktorielle Varianzanalyse (Einweg-ANOVA) durchgeführt. Voraussetzung hierfür ist u.a. eine Varianzhomogenität, die mit Hilfe des Levene-Tests geprüft wird. Ist der p-Wert kleiner als 0,05, liegt jedoch keine Varianzhomogenität vor. In diesem Fall weicht man auf den Welch-Test aus. Weitere Bedingungen für die Einweg-ANOVA sind

unabhängige Stichproben und Normalverteilung. Ist das gegeben, wird auf Signifikanz überprüft (Signifikanzniveau $p=0,05$). Anhand eines zusätzlichen Post-Hoc-Tests, hier Tukey-HSD, werden die genauen Orte der signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Faktorstufen deutlich.

Liegt jedoch keine Normalverteilung vor ($p < 0,05$), muss ein nicht-parametrischer Test hinzugezogen werden. In diesem Fall gilt der Kruskal-Wallis-Test für mehr als zwei Stichproben als Standard. Das Signifikanzniveau liegt auch hier bei $p=0,05$.

Bei zwei Stichproben wurden die Mittelwerte anhand des T-Tests miteinander verglichen. Hier sind die T-Tests für unabhängige und für abhängige Stichproben zu unterscheiden. Bei nicht ausreichender Normalverteilung wurde der Wilcoxon-Test angewendet.

Da bei vereinzelt Variablen keine hinreichende Normalverteilung vorlag, wurden die Werte logarithmiert und die Datenverteilung erneut auf Normalverteilung getestet. Durch das Logarithmieren konnten die Daten teilweise in annähernd normalverteilte Werte transformiert werden. Dadurch ist eine Verwendung der dementsprechenden parametrischen Tests möglich. War nach Logarithmieren trotzdem keine hinreichende Normalverteilung gegeben, wurden die statistischen Testungen mit den ursprünglichen Daten weitergeführt.

3 Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt 2836 Einzellaute bearbeitet, analysiert und statistisch ausgewertet. Diese stammen von 39 Kindern, die jeweils nach ihren spezifischen Merkmalen in drei Gruppen eingeteilt wurden (siehe Kap. 2.2).

3.1 Gruppencharakterisierung und Vergleich der untersuchten Probanden anhand postnataler 3D-Kopfdaten

Zur Verdeutlichung der Gruppencharakteristika wurden die Probanden anhand der im Gesamtprojekt erhobenen 3D-Kopfdaten miteinander verglichen. Hierfür gelten das Breiten-Längen-Verhältnis (CI-Index), die Zirkumferenz, die maximale Kopflänge und die maximale Kopfbreite als aussagekräftige Messdaten (Barritt et al. 1981, Fisher et al. 2007).

3.1.1 Analyse des CI-Index

Das Breiten-Längen-Verhältnis des Kopfes, auch CI-Index (Cephalic-Index) genannt, ist eine charakteristische Messgröße zur Feststellung unterschiedlicher Schädelformen (Meyer-Marcotty et al. 2012). Er wurde für alle Probanden mit Hilfe der 3D-Scandaten berechnet. Alle drei Gruppen erfüllen das Kriterium einer hinreichenden Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test: $p > 0,05$) und unterscheiden sich signifikant voneinander (Welch-Test: $p < 0,05$). In Tabelle 11 sind die Gruppenmittelwerte, in Abbildung 27 die Verteilungseigenschaften innerhalb der Gruppen für den CI-Index berichtet bzw. dargestellt. Die SMO-Gruppe zeigt einen vergleichsweise geringen CI-Index.

3 Ergebnisse

Tabelle 11: Deskriptive Statistik des CI-Index [%]

Gruppe	N	Min [%]	Max[%]	MW [%]	Median [%]	SD [%]	NV
PG	13	79,2	103,0	92,9	93,3	6,9	ja
SMO	13	64,3	71,0	67,0	67,1	2,0	ja
KG	13	72,8	88,9	83,2	85,0	4,8	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO: Sagittalnahtsynostosegruppe

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

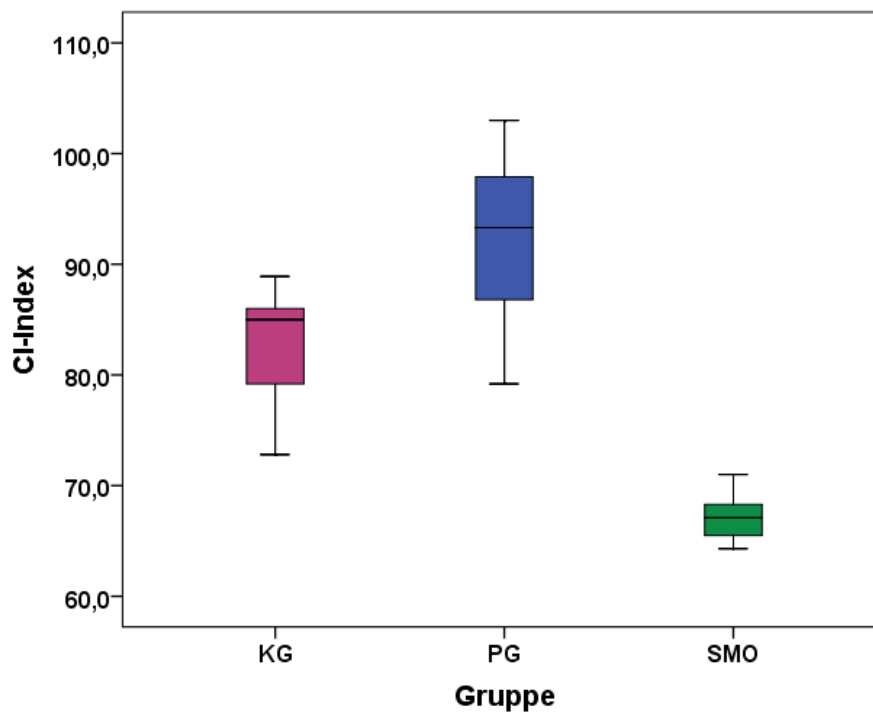


Abbildung 27: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Werte des CI-Index [%] zwischen der Kontrollgruppe (KG), der Plagiocephalusgruppe (PG) und der Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO)

3.1.2 Analyse der Zirkumferenz

Die Zirkumferenzwerte sind ebenfalls normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test: $p > 0,05$) und zeigen signifikante Gruppenunterschiede (ANOVA $p < 0,001$), jedoch nur zwischen den Gruppen SMO und PG bzw. SMO und KG (Tabelle 12, Abbildung 28). Dementsprechend liegen zwischen der PG- und der KG-Gruppe keine signifikanten Unterschiede vor. Das wird durch den Tukey-HSD-Test bestätigt. Beim Ausreißer in der KG-Gruppe handelt es sich um das Kind KG_AJ mit einer Zirkumferenz von 47,0 cm.

Tabelle 12: Deskriptive Statistik der Zirkumferenz [cm]

Gruppe	N	Min [cm]	Max [cm]	MW [cm]	Median [cm]	SD [cm]	NV
PG	13	41,7	46,0	43,9	44,3	1,3	ja
SMO	13	44,6	48,9	46,6	46,7	1,3	ja
KG	13	41,7	47,0	43,9	43,9	1,5	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO: Sagittalnahtsynostosegruppe

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

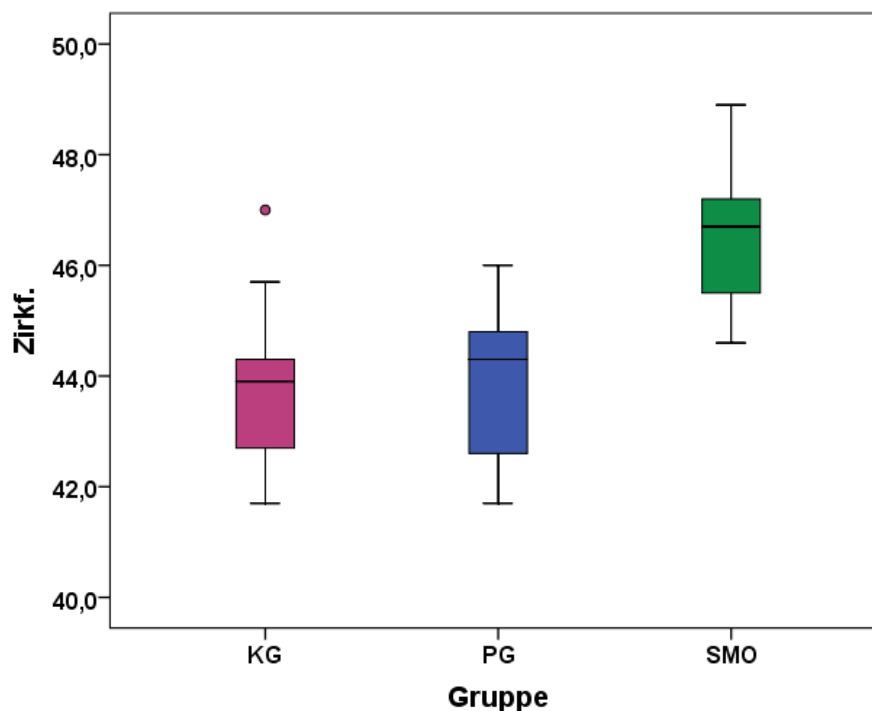


Abbildung 28: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Werte der Zirkumferenz [cm] zwischen der Kontrollgruppe (KG), der Plagiocephalusgruppe (PG) und der Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO)

3.1.3 Analyse der Maximalen Kopfbreite

Auch die erhobenen Werte der kindlichen Kopfbreiten sind laut Shapiro-Wilk-Test mit einem p-Wert über 0,05 in allen drei Gruppen hinreichend normalverteilt. Die Mittelwerte (Tabelle 13) liegen bei 11,5 cm (SMO), 12,5 cm (KG) und 13,3 cm (PG) und unterscheiden sich nach Auswertung durch ANOVA signifikant ($p < 0,001$). Der Post-Hoc-Test Tukey-HSD belegt zudem eine signifikante Unterscheidung zwischen allen drei Gruppen. Somit besitzen die Probanden der PG-Gruppe den breitesten Schädel, während die Probanden der SMO-Gruppe den schmalsten Schädel aufweisen (Abbildung 29). Diese Ergebnisse decken sich mit den anderen hier ausgewerteten somatischen Daten.

Tabelle 13: Deskriptive Statistik der maximalen Kopfbreite [cm]

Gruppe	N	Min [cm]	Max [cm]	MW [cm]	Median[cm]	SD [cm]	NV
PG	13	11,8	14,3	13,3	13,2	0,7	ja
SMO	13	10,9	12,4	11,5	11,6	0,4	ja
KG	13	11,8	13,6	12,5	12,5	0,5	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO: Sagittalnahtsynostosegruppe

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

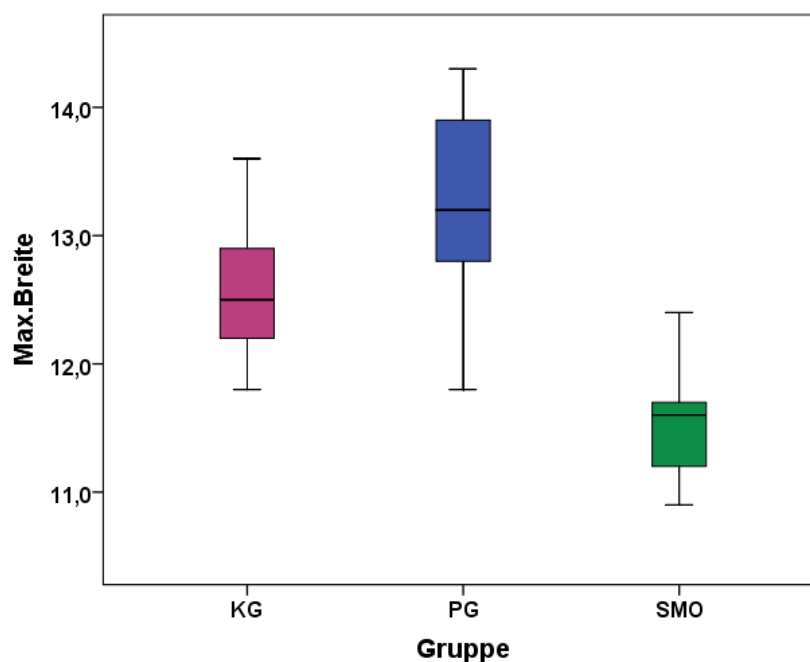


Abbildung 29: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Werte der max. Kopfbreite [cm] zwischen der Kontrollgruppe (KG), der Plagiocephalusgruppe (PG) und der Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO)

3.1.4 Analyse der Maximalen Kopflänge

Auch bei der maximalen Kopflänge liegen die Mittelwerte (Tabelle 14) weit auseinander und es sind signifikante Unterschiede zwischen allen drei Gruppen festzustellen (ANOVA: $p < 0,001$). Es liegen normalverteilte Daten vor. Jede Gruppe unterscheidet sich somit laut Tukey-HSD-Test von den jeweils beiden anderen. Das Kind KG_AJ fällt mit einer extrem großen Kopflänge (16,9 cm) im Boxplot-Diagramm (Abbildung 30) auf.

Tabelle 14: Deskriptive Statistik der maximalen Kopflänge [cm]

Gruppe	N	Min [cm]	Max [cm]	MW [cm]	Median[cm]	SD [cm]	NV
PG	13	13,5	15,2	14,4	14,1	0,6	ja
SMO	13	16,5	18,1	17,1	16,9	0,5	ja
KG	13	14,2	16,9	15,1	15,1	0,7	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO: Sagittalnahtsynostosegruppe

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

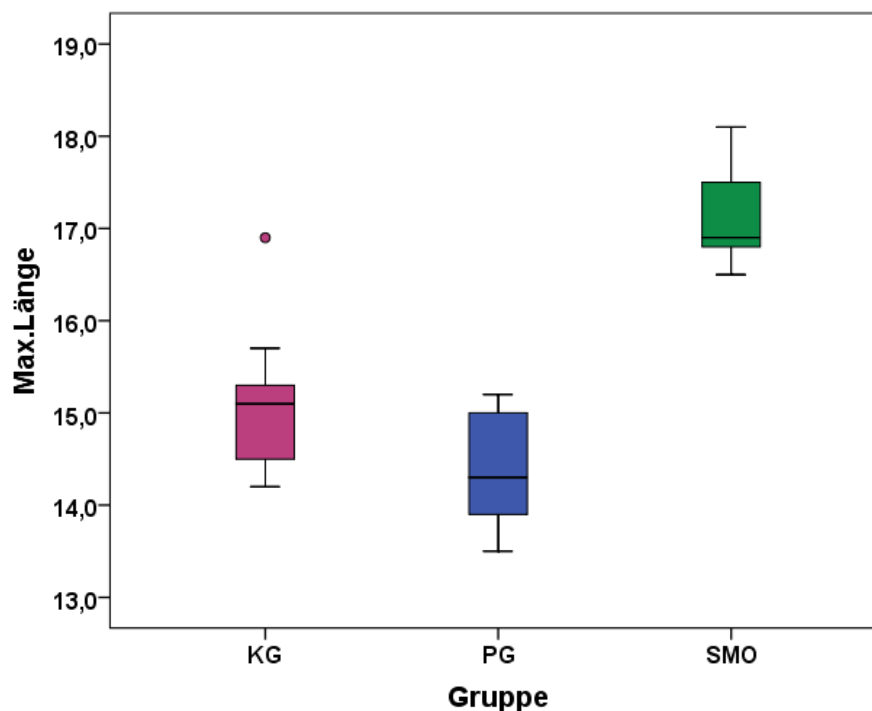


Abbildung 30: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Werte der max. Kopflänge [cm] zwischen der Kontrollgruppe (KG), der Plagiocephalusgruppe (PG) und der Sagittalnahtsynostosegruppe (SMO)

3.2 Babbelanalyse

Die qualitative Strukturanalyse der kindlichen Vokalisationen erfolgte im Rahmen dieser Arbeit in Anlehnung an eine Vorarbeit bei Probanden mit Plagiocephalus im gleichen Projekt (Brenner 2015) (Kapitel 2.6.1).

Abbildung 31 zeigt eine Häufigkeitsverteilung der ermittelten Kategorien im gesamten Lautrepertoire der Kinder unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit. „BB“ steht für einfaches Babbeln, also Laute ohne Artikulation. „BM“ bedeutet Marginales Babbeln, das für Laute mit primitiver, erster Artikulation definiert ist. Diese haben den größten Anteil an allen ausgewerteten Vokalisationen. „BK“ entspricht dem reiferen, kanonischen Babbeln, das am Gesamtrepertoire der Babbellaute altersentsprechend den geringsten Anteil trägt.

Abbildung 32 zeigt die zugrundeliegende, gruppenspezifische Altersverteilung der Probanden am Tag der Lautaufnahme. In Tabelle 15 sind die zugehörigen Daten aufgeschlüsselt.

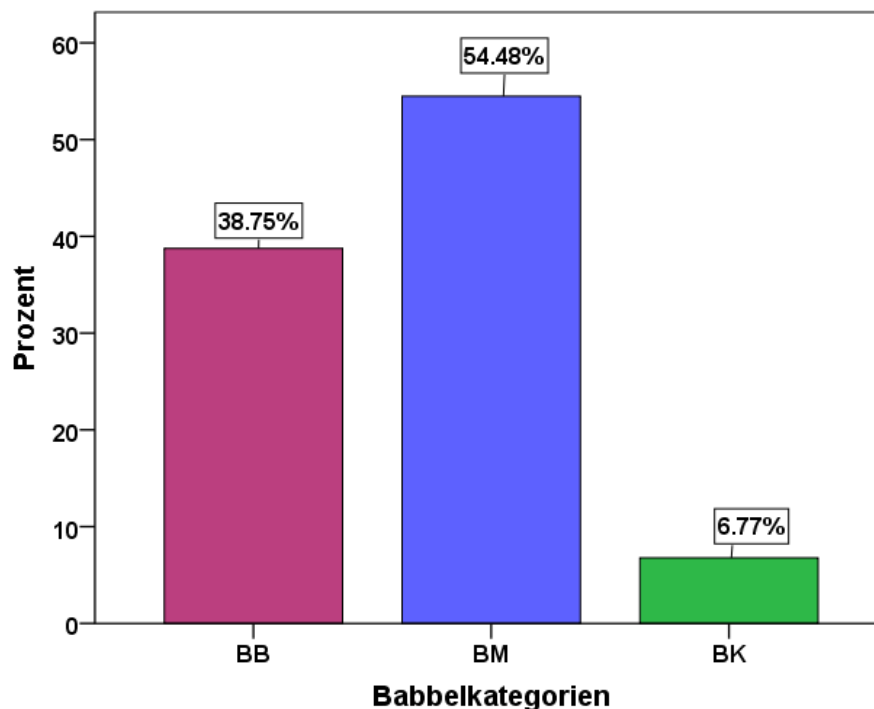


Abbildung 31: Häufigkeitsverteilung der ermittelten Kategorien im gesamten Lautrepertoire der Kinder unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit

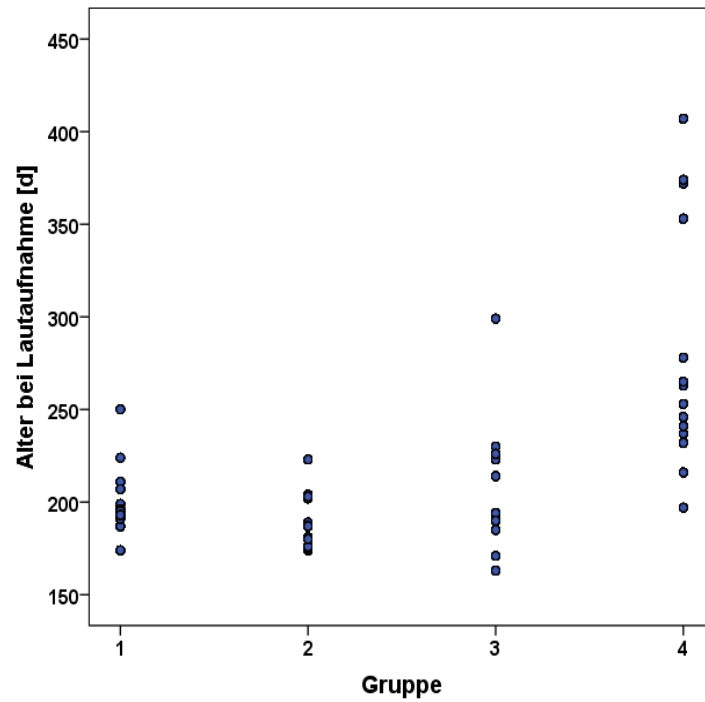


Abbildung 32: Gruppenspezifisches Alter der Probanden bei Lautaufnahme (Gruppe 1: KG, Gruppe 2: PG, Gruppe 3: SMO-prä, Gruppe 4: SMO-post)

Tabelle 15: Deskriptive Statistik des Alters der Probanden bei Lautaufnahme [d]

Gruppe	N	Min [d]	Max [d]	MW [d]	SD [d]
KG	13	174	250	197,4	13,8
PG	13	174	223	189,4	14,2
SMO-prä	13	163	299	211,6	32,5
SMO-post	13	197	407	289,3	68,8

3.2.1 Gruppenspezifische Auftrittshäufigkeit der Kategorien

Im Folgenden wird die Verteilung der Vokalisationen gruppenabhängig dargestellt. Wie bereits in Kapitel 2.6.1 erklärt, sind dazu Babbellaute mit Artikulation und Babbellaute ohne Artikulation voneinander zu unterscheiden. Diese bilden zusammen das gesamte aufgezeichnete Lautrepertoire (100%). Aus diesem Grund sind im Folgenden nur die Analyseergebnisse der Babbellaute mit Artikulation graphisch dargestellt. Diese sind darüber hinaus in einzelne Lautkategorien eingeteilt (vgl. Kap. 2.6.1). Die jeweiligen Anteile sind ebenfalls nachstehend tabellarisch aufgeführt.

Vergleich der Gruppen KG, PG und SMO-prä

Auf einen Vergleich mit den post-operativen SMO-Werten wird in diesem Analyseschritt aufgrund der Altersunterschiede (vgl. Abbildung 32 und Tabelle 15) verzichtet. Dieser wird später gesondert betrachtet.

Abbildung 33 zeigt die gruppenspezifische prozentuale Auftrittshäufigkeit von Babbellauten mit Artikulation am gesamten Lautrepertoire. Die KG-Gruppe besitzt mit 76,3% den höchsten Median, fällt jedoch mit drei Ausreißern auf: Die Kinder KG_AF (23,2 %), KG_AP (32,2 %) und KG_AT (31,6 %) weisen sehr niedrige Auftrittshäufigkeiten der Babbellaute mit Artikulation auf. Die PG-Gruppe weist bei einem Median von 55,7% eine große Streuung auf, während die prä-operativen Werte der SMO-Gruppe zwischen einem Minimalwert von 35,0% und dem Maximum von 85,4% liegen. Tabelle 16 beinhaltet die Resultate der zugehörigen deskriptiven Statistik.

Die Häufigkeitswerte sind in allen drei Gruppen hinreichend normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test $p > 0,05$) und weisen keine signifikanten Unterschiede auf (ANOVA $p=0,288$).

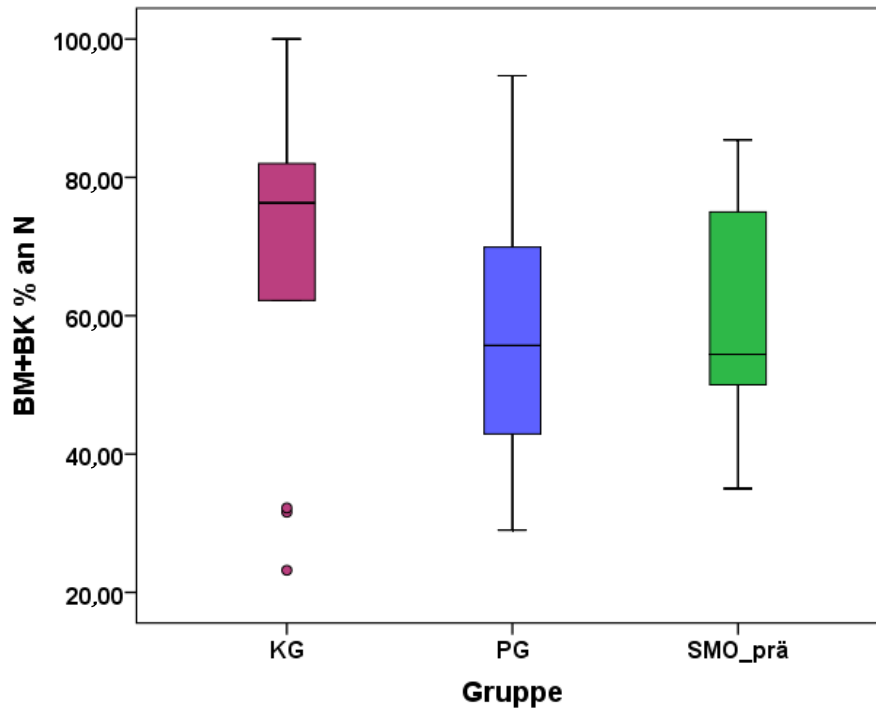


Abbildung 33: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe

Tabelle 16: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe

Gruppe	N	Median [%]	Min [%]	Max [%]	MW [%]	SD [%]	NV
KG	13	76,3	23,2	100,0	68,9	26,1	Ja
PG	13	55,7	29,0	94,7	56,2	18,6	Ja
SMO-prä	13	54,4	35,0	85,4	59,6	17,2	Ja

Die gruppenspezifische Zusammensetzung der Babbellaute mit Artikulation aus den unterteilten Kategorien ist in Tabelle 17 und in Abbildung 34 bis Abbildung 36 verdeutlicht. Sowohl in der KG-, als auch in der PG-Gruppe stellt die Kategorie „rv“ mit Mittelwerten von 40,3% (KG) bzw. 50,2% (PG) den größten Anteil dar. Innerhalb der SMO-prä-Gruppe dominieren jedoch deutlich die der Kategorie „kk“ zugeordneten Laute (Mittelwert 77,8%).

Tabelle 17: *Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeiten der Babelkategorien rv, kk, com und bk der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe*

Gruppe	Kat.	N	Median [%]	Min [%]	Max[%]	MW [%]	SD [%]
KG	rv	13	45,0	0,0	82,1	40,3	26,6
	kk	13	30,0	0,0	72,7	28,4	20,2
	com	13	7,0	0,0	26,7	8,6	7,6
	bk	13	10,0	0,0	100,0	22,7	35,5
PG	rv	13	48,0	18,8	92,3	50,2	23,5
	kk	13	25,6	7,7	62,5	33,0	22,1
	com	13	9,8	0,0	36,0	11,5	9,4
	bk	13	0,0	0,0	59,4	5,3	16,4
SMO-prä	rv	13	12,9	0,0	25,0	13,2	9,7
	kk	13	77,8	50,0	100,0	78,3	15,1
	com	13	0,0	0,0	12,9	3,8	5,1
	bk	13	0,0	0,0	40,0	4,7	11,6

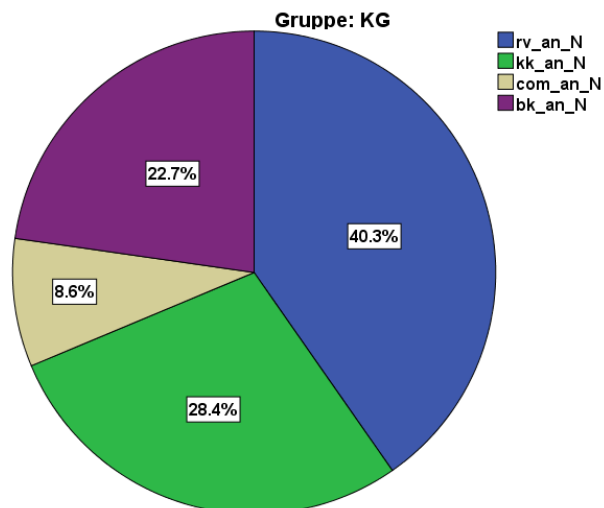


Abbildung 34: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der KG-Gruppe

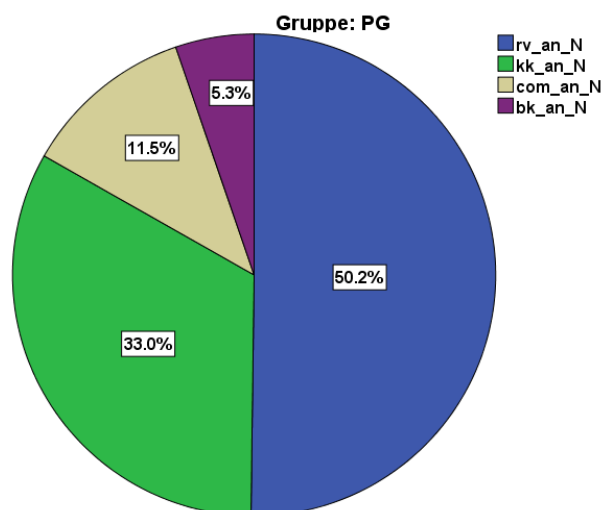


Abbildung 35: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der PG-Gruppe

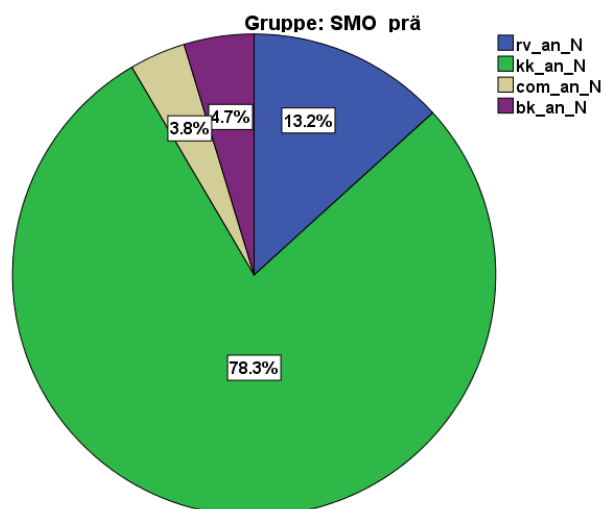


Abbildung 36: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der SMO-prä-Gruppe

Geschlechtsspezifischer Vergleich der Gruppen KG, PG und SMO-prä

Um die Gruppen geschlechterspezifisch zu analysieren, werden zuerst die männlichen Probanden der Gruppen KG, PG und SMO-prä miteinander verglichen. Auch hier werden die SMO-post Werte aufgrund der Altersunterschiede vorerst nicht betrachtet (vgl. Abbildung 32 und Tabelle 15).

Abbildung 37 verdeutlicht einen hohen Prozentanteil der Babbellaute mit Artikulation am gesamten Lautrepertoire innerhalb der männlichen Probanden der KG-Gruppe (Median 76,3%). Die männlichen Säuglinge der PG-Gruppe weisen einen mittelwertigen Prozentanteil von 55,7% (Median) auf, die der SMO-prä-Gruppe einen Median von 54,4%. Sowohl in der KG-Gruppe, als auch in der PG-Gruppe fällt jeweils ein Ausreißer mit einem Minimalwert von 31,6% (KG_AT) bzw. einem Maximalwert von 94,7% (PG_BK) auf. In Tabelle 18 sind die entsprechenden Ergebnisse der deskriptiven Statistik aufgezeigt.

Die Häufigkeitswerte weisen in allen drei Gruppen eine hinreichende Normalverteilung auf (Shapiro-Wilk-Test $p > 0,05$) und unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (ANOVA $p = 0,448$).

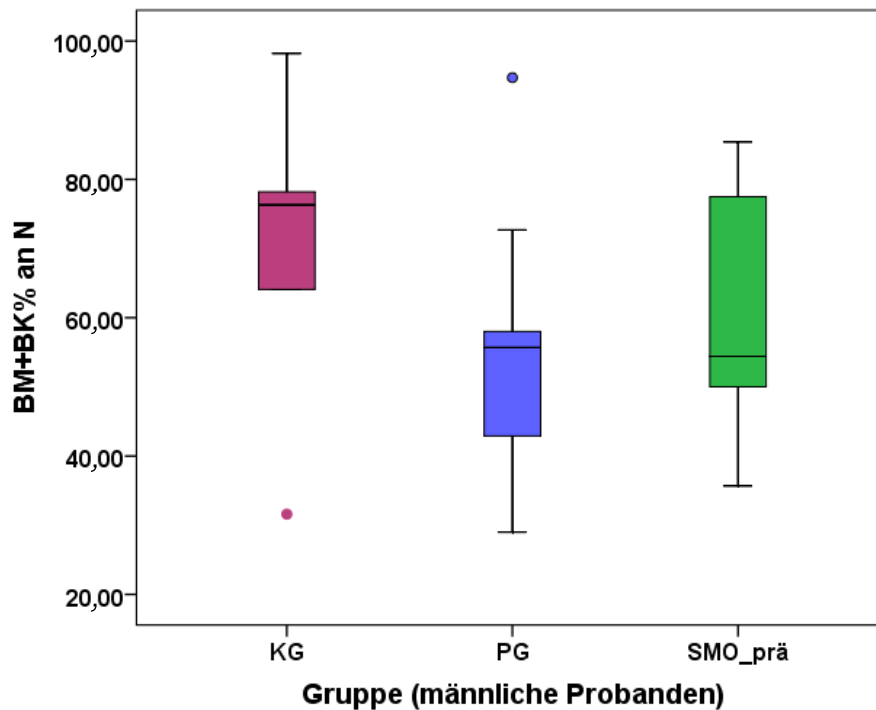


Abbildung 37: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe

Tabelle 18: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe

Gruppe	N	Median [%]	Min [%]	Max [%]	MW [%]	SD [%]	NV
KG	5	76,3	31,6	98,2	69,7	24,6	Ja
PG	9	55,7	29,0	94,7	55,8	19,0	Ja
SMO-prä	11	54,4	35,7	85,4	61,1	16,8	Ja

Tabelle 19 beinhaltet die gruppenspezifischen Häufigkeitswerte der männlichen Säuglinge. Der Anteil an „rv“-Lauten ist in der PG-Gruppe am höchsten (Mittelwert 55,9%). Bezüglich der Kategorie „kk“ imponieren die prä-operativen Laute der SMO-Probanden mit dem im Gruppenvergleich höchsten Mittelwert von 74,9%. Bei den Kombinationen („com“) weisen die Gruppen KG und PG die höchsten Zahlen auf (Mittelwert KG= 12,4%, PG = 11,1%). Abbildung 38 bis Abbildung 40 veranschaulichen die Daten jeweils in einem Kreisdiagramm.

Tabelle 19: *Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeiten der Babelkategorien rv, kk, com und bk der männlichen Probanden der KG-, PG- und SMO-prä-Gruppe*

Gruppe	Kat.	N	Median [%]	Min [%]	Max [%]	MW [%]	SD [%]
KG	rv	5	39,0	9,1	60,5	38,9	20,0
	kk	5	36,2	20,0	72,7	41,1	20,1
	com	5	12,1	1,8	26,7	12,4	9,4
	bk	5	2,3	0,0	19,0	7,5	9,4
PG	rv	9	64,1	18,8	92,3	55,9	26,1
	kk	9	16,0	7,7	62,5	25,4	20,9
	com	9	8,0	0,0	36,0	11,1	10,5
	bk	9	0,0	0,0	59,4	7,6	19,5
SMO-prä	rv	11	17,1	0,0	25,0	15,1	9,2
	kk	11	75,0	50,0	100,0	74,9	13,8
	com	11	2,9	0,0	12,9	4,4	5,3
	bk	11	0,0	0,0	40,0	5,5	12,5

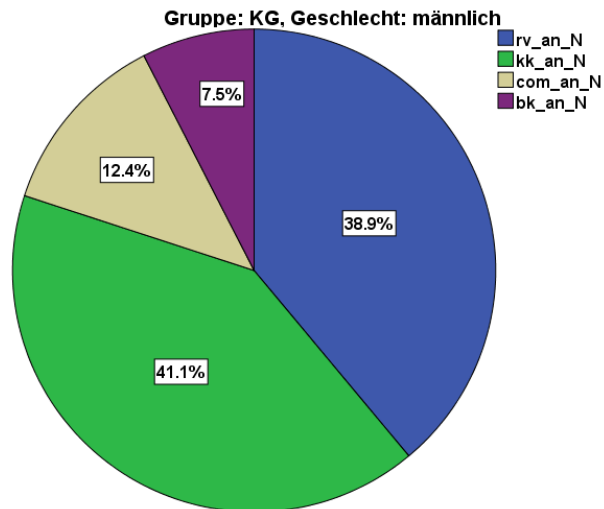


Abbildung 38: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der KG-Gruppe

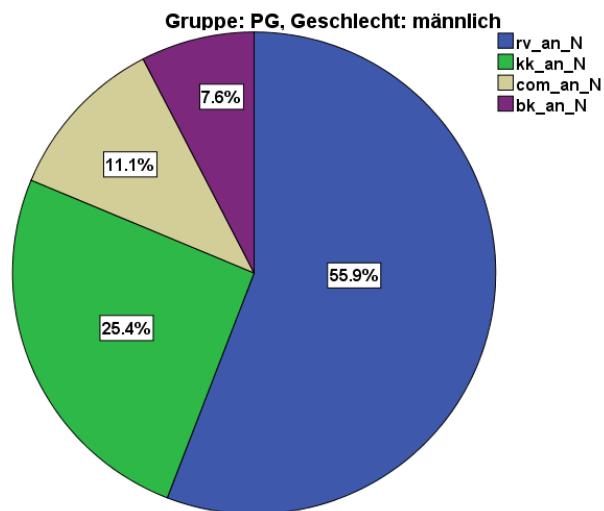


Abbildung 39: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der PG-Gruppe

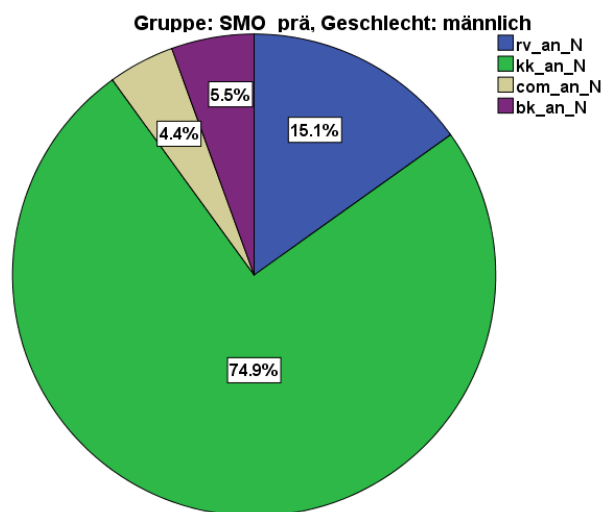


Abbildung 40: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der SMO-prä-Gruppe

Geschlechtsspezifischer Vergleich der Gruppen KG und PG

Betrachtet man das Probandenkollektiv, fällt vor allem innerhalb der SMO-Gruppe ein starkes geschlechterspezifisches Ungleichgewicht zu Gunsten der männlichen Säuglinge auf (vgl. Tabelle 2). Dementsprechend besteht der weibliche Anteil der SMO-Gruppe lediglich aus zwei Säuglingen. Aus diesem Grund erübrigt sich, zumindest die SMO-Gruppe betreffend, ein statistischer Vergleich einer rein weiblichen Gruppeneinteilung. Jedoch wird der Vollständigkeit halber ein Vergleich der weiblichen Probanden der KG-Gruppe und der PG-Gruppe im Folgenden dargestellt. Abbildung 41 zeigt diesbezüglich eine große Streuung der prozentualen Häufigkeitswerte von Babbellauten mit Artikulation innerhalb der KG-Gruppe auf (Interquartilbereich 55,8%). Die Streuung der PG-Gruppe hingegen umfasst lediglich eine Streuungsspannweite von 38,7%. Die Mediane liegen bei 74,1% (KG) und 57,7% (PG). Die entsprechenden Daten der deskriptiven Statistik sind in Tabelle 20 zusammengefasst.

Die Häufigkeitswerte sind bei beiden Gruppen ausreichend normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test $p > 0,05$) und unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (T-Test $p = 0,492$).

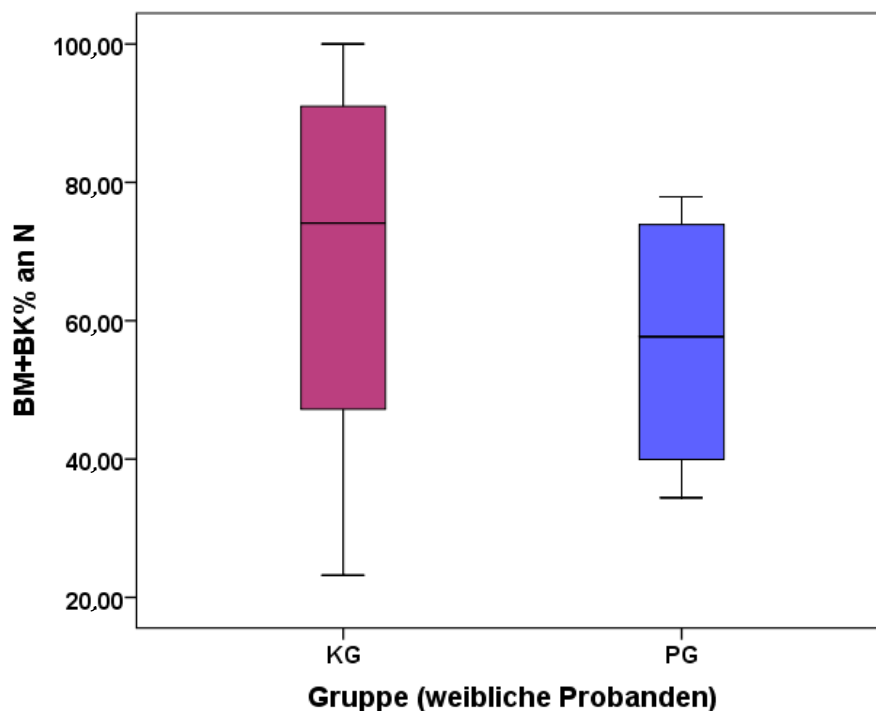


Abbildung 41: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der weiblichen Probanden der KG- und PG-Gruppe

Tabelle 20: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der weiblichen Probanden der KG- und PG-Gruppe

Gruppe	N	Median [%]	Min [%]	Max [%]	MW [%]	SD [%]	NV
KG	8	74,1	23,2	100,0	68,5	28,7	Ja
PG	4	57,7	34,4	77,9	56,9	20,4	Ja

In Tabelle 21 und anhand Abbildung 42 und Abbildung 43 kann man folgende Daten ablesen: Innerhalb der KG-Gruppe dominieren bei den weiblichen Probanden mit einem Mittelwert von 41,2% deutlich die „rv“-Vokalisationen. Die „kk“-Elemente machen lediglich einen Anteil von 20,5% (Mittelwert) aus, die „com“-Laute haben einen noch geringeren Anteil mit einem Mittelwert von 6,2%.

Die weiblichen Probanden der PG-Gruppe hingegen bilden hauptsächlich konsonanten-ähnliche Elemente („kk“). Dies belegt ein Mittelwert von 50,1%. Folglich treten die „rv“-Laute am zweithäufigsten auf (Mittelwert 37,5%).

Tabelle 21: Deskriptive Statistik der Auftrittshäufigkeiten der Babbelkategorien rv, kk, com und bk der weiblichen Probanden der KG- und PG-Gruppe

Gruppe	Kat.	N	Median [%]	Min [%]	Max [%]	MW [%]	SD [%]
KG	rv	8	47,5	0,0	82,1	41,2	31,3
	kk	8	19,0	0,0	50,0	20,5	16,9
	com	8	5,0	0,0	15,0	6,2	5,6
	bk	8	13,7	0,0	100,0	32,2	42,9
PG	rv	4	35,1	29,9	50,0	37,5	8,8
	kk	4	57,4	27,3	58,2	50,1	15,2
	com	4	10,9	5,3	22,7	12,4	7,4
	bk	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

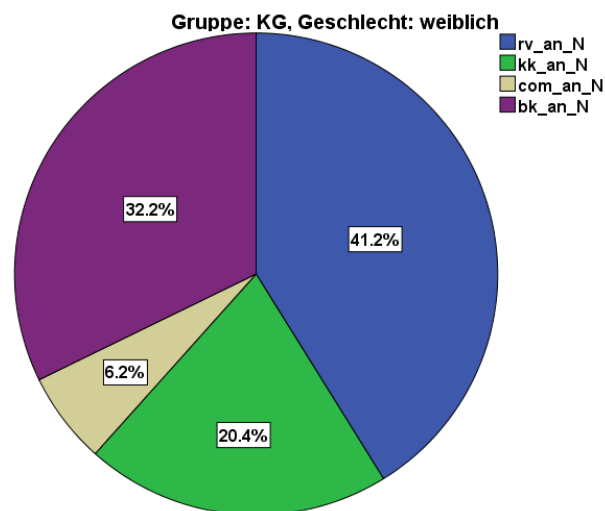


Abbildung 42: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der weiblichen Probanden der KG-Gruppe

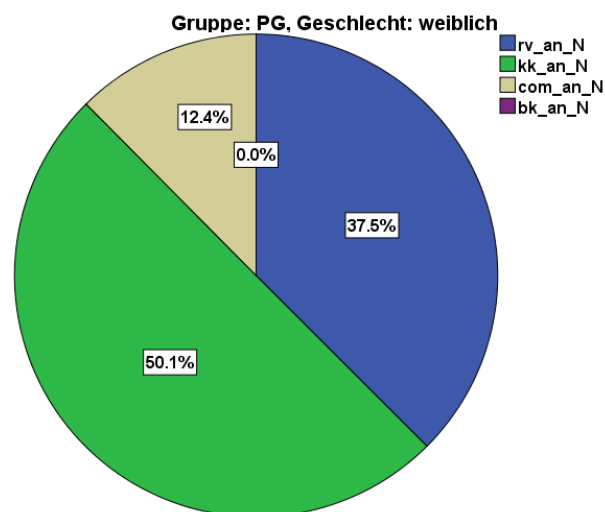


Abbildung 43: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der weiblichen Probanden der PG-Gruppe

Vergleich der prä- und post-operativen Daten der SMO-Gruppe

Auch hier erfolgt aufgrund der geringen Anzahl an weiblichen Probanden (N=2) keine rein weibliche statistische Analyse. Es wird eine geschlechtsunspezifische Auswertung aller Probanden vorgenommen.

In Abbildung 44 ist erkennbar, dass der Anteil an Babbellauten mit Artikulation am gesamten Lautrepertoire bezüglich der prä-operativen Daten einen Median von 54,4% aufweist. Die post-operativen Auftrittshäufigkeiten ergeben einen Median von 63,8%. Tabelle 22 gibt die Resultate der zugehörigen deskriptiven Statistik wieder.

Die Werte der Auftrittshäufigkeiten sind in beiden Gruppen normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test $p > 0,05$) und unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (T-Test für gepaarte Stichproben $p = 0,838$).

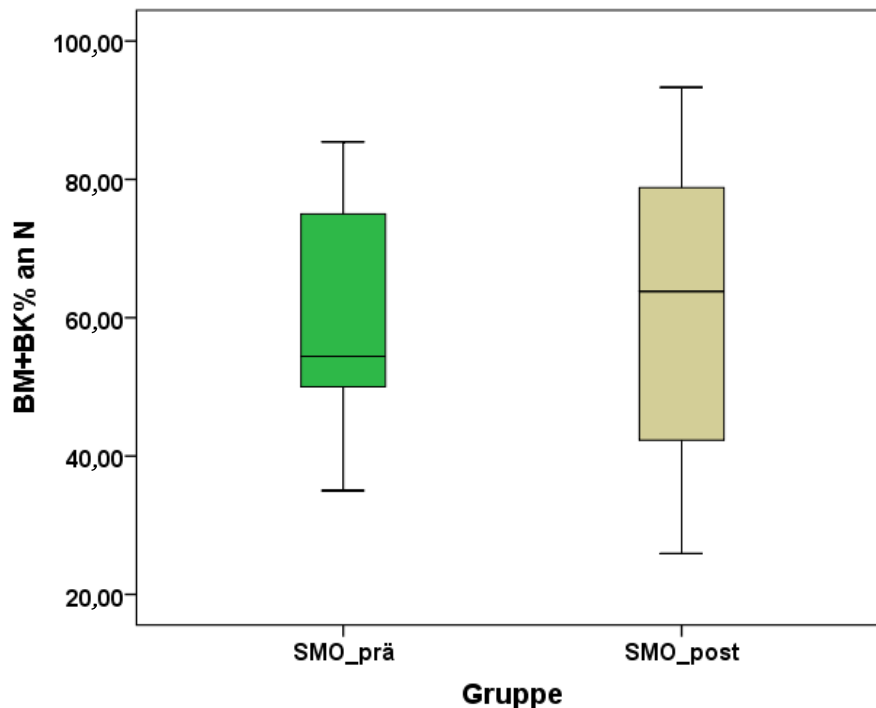


Abbildung 44: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der prä- und post-operativen Werte der SMO-Gruppe

Tabelle 22: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe

Gruppe	N	Median [%]	Min [%]	Max [%]	MW [%]	SD [%]	NV
SMO-prä	13	54,4	35,0	85,4	59,6	17,2	Ja
SMO-post	13	63,8	25,9	93,3	61,2	22,8	Ja

Die Probanden der SMO-Gruppe weisen eine starke Dominanz der „kk“-Vokalisationen auf. Sowohl die prä-operativen-, als auch die post-operativen „rv“-Werte beanspruchen den zweitgrößten Anteil am gesamten Lautrepertoire. Jedoch verschiebt sich zum postoperativen Aufnahmezeitpunkt das Gleichgewicht zu Gunsten der Kategorien „com“ und „bk“, die mit 8,1% bzw. 8,4% somit höher liegen, als noch vor der operativen Therapie (vgl. Abbildung 45 und Abbildung 46).

Tabelle 23: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeiten der Babelkategorien rv, kk, com und bk der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe

Gruppe	Kat.	N	Median [%]	Min [%]	Max [%]	MW [%]	SD [%]
SMO-prä	rv	13	12,9	0,0	25,0	13,2	9,7
	kk	13	77,8	50,0	100,0	78,3	15,1
	com	13	0,0	0,0	12,9	3,8	5,1
	bk	13	0,0	0,0	40,0	4,7	11,6
SMO-post	rv	13	10,5	0,0	33,3	11,4	10,0
	kk	13	75,0	42,9	100,0	72,1	17,0
	com	13	9,1	0,0	26,7	8,2	7,5
	bk	13	0,0	0,0	44,4	8,4	14,4

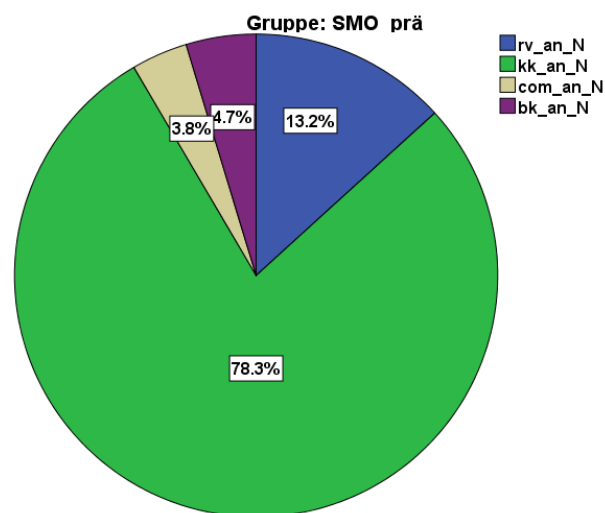


Abbildung 45: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der SMO-prä-Gruppe

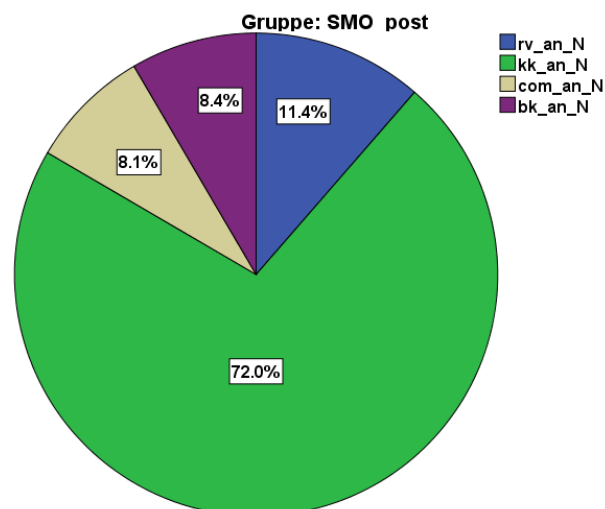


Abbildung 46: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der SMO-post-Gruppe

Geschlechtsspezifischer Vergleich der prä- und post-operativen Daten der SMO-Gruppe

Nachstehend werden die prozentualen Anteile der Babbelkategorien am gesamten Lautrepertoire geschlechtsspezifisch beleuchtet. Hierbei reduziert sich die statistische Analyse wie bereits oben erläutert, auf den männlichen Anteil der Probanden.

Dementsprechend zeigt Abbildung 47 einen höheren Medianwert (54,4%) der prozentualen Häufigkeit von Babbellauten mit Artikulation bei den SMO-prä-Werten als bei den SMO-post-Werten (Median = 57,7%). Die Streuung der ermittelten Daten ist jedoch hinsichtlich der postoperativen Häufigkeiten mit einem Interquartilbereich von 41,6% deutlich größer (prä-operativer Interquartilbereich = 30,0%). Die übrigen Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind in Tabelle 24 dargestellt.

Die Häufigkeiten der prä-operativen und der post-operativen Werte sind normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test $p > 0,05$) und unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (T-Test für gepaarte Stichproben $p = 0,595$).

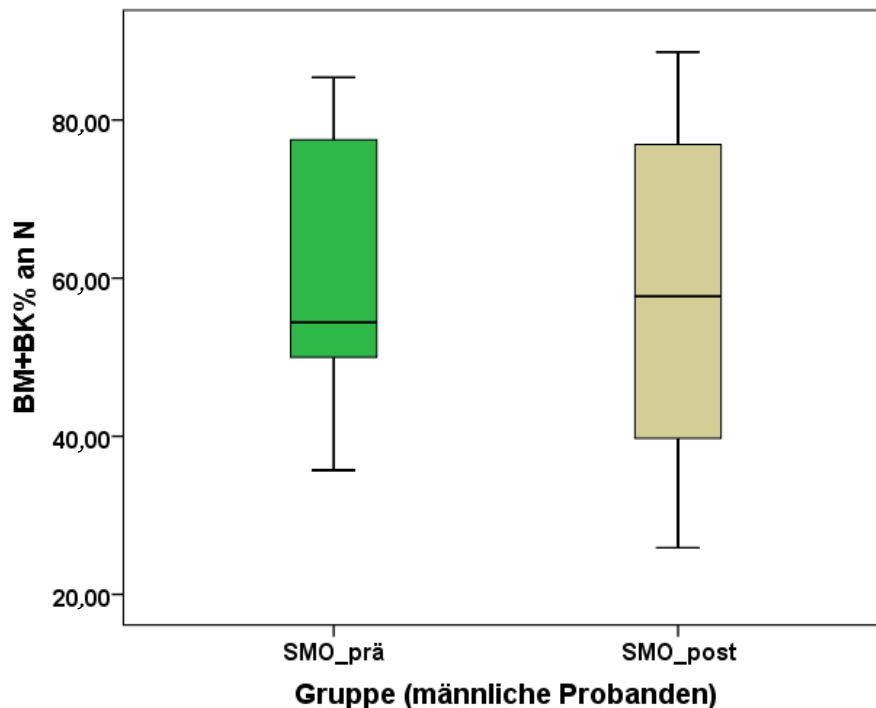


Abbildung 47: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der prä- und post-operativen Werte der männlichen Probanden der SMO-Gruppe

Tabelle 24: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation der prä- und post-operativen Werte der männlichen Probanden der SMO-Gruppe

Gruppe	N	Median [%]	Min [%]	Max [%]	MW [%]	SD [%]	NV
SMO-prä	11	54,4	35,7	85,4	61,1	16,8	Ja
SMO-post	11	57,7	25,9	88,6	56,9	21,9	Ja

In Tabelle 25 wird ersichtlich, dass die „rv“-Anteile aller Laute in beiden Gruppen gering sind (Mediane: SMO-prä= 17,1%, SMO-post= 10,5%). Ebenso Vokalisationen der Kategorie „com“ sind mit Medianwerten von 2,9% (SMO-prä) bzw. 9,5% (SMO-post) nur gering vorhanden. In beiden Gruppen dominiert die prozentuale Häufigkeit an „kk“-Lauten, wobei diesbezüglich die SMO-prä-Gruppe einen deutlich höheren Anteil vorweist (Median 75,0%).

Tabelle 25: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Auftrittshäufigkeiten der Babbelkategorien rv, kk, com und bk der prä- und postoperativen Werte der männlichen Probanden der SMO-Gruppe

Gruppe	Kat.	N	Median [%]	Min [%]	Max [%]	MW [%]	SD [%]
SMO-prä	rv	11	17,1	0,0	25,0	15,1	9,2
	kk	11	75,0	50,0	100,0	74,9	13,8
	com	11	2,9	0,0	12,9	4,4	5,3
	bk	11	0,0	0,0	40,0	5,5	12,5
SMO-post	rv	11	10,5	2,6	33,3	12,5	10,3
	kk	11	71,1	42,9	87,2	67,9	14,8
	com	11	9,5	0,0	26,7	9,6	7,2
	bk	11	0,0	0,0	44,4	10,0	15,2

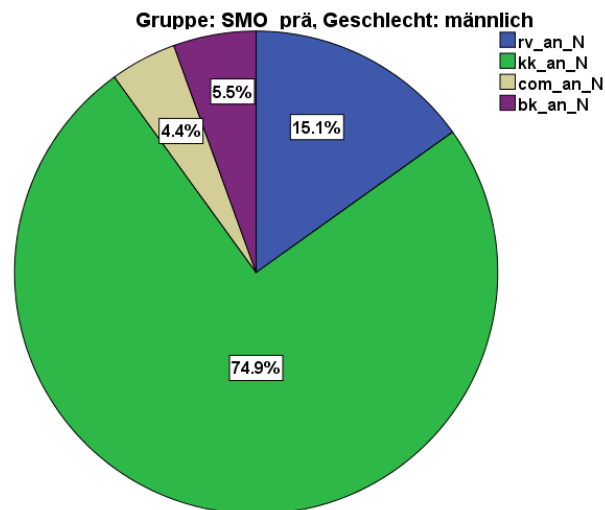


Abbildung 48: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der SMO-prä-Gruppe

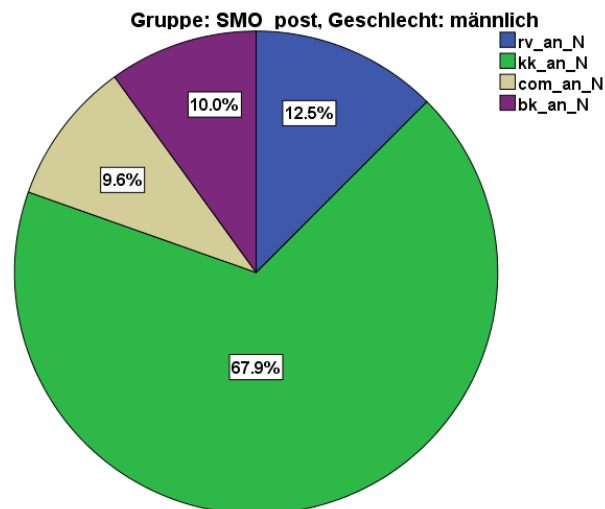


Abbildung 49: Relative Häufigkeit der Artikulationskategorien aller Babbellaute mit Artikulation der männlichen Probanden der SMO-post-Gruppe

3.2.2 Konsonantenrepertoire der postoperativen SMO-Laute

Um die Häufigkeiten der von den Probanden gebildeten Konsonanten auswerten zu können, wurden diese nach Konsonantenkategorien aufgeschlüsselt. Da die SMO-Kinder zum postoperativen Zeitpunkt den höchsten Altersdurchschnitt aller hier analysierten Kinder aufweisen (7. – 13. Monat, MW 289,3 Tage), wird hier lediglich das Konsonantenrepertoire der SMO-post-Gruppe graphisch dargestellt. Das höhere Alter und ein damit einhergehendes größeres Aufkommen von kanonischen Babblern erlaubt einen Vergleich mit gleichaltrigen Kontrollkindern (7. – 13. Monat) anhand der Arbeit von Pachtner (2016). Hierauf wird im Diskussionsteil (Kap.4.2) genauer eingegangen.

Aus Abbildung 50 geht hervor, dass Plosive mit 28,9% den größten Anteil am gesamten Konsonantenrepertoire haben. Die Nasalen sind mit 19,8% die zweithäufigsten Konsonantenarten. Frikative werden mit 8,6% von den SMO-Probanden zum postoperativen Zeitpunkt am wenigsten gebildet.

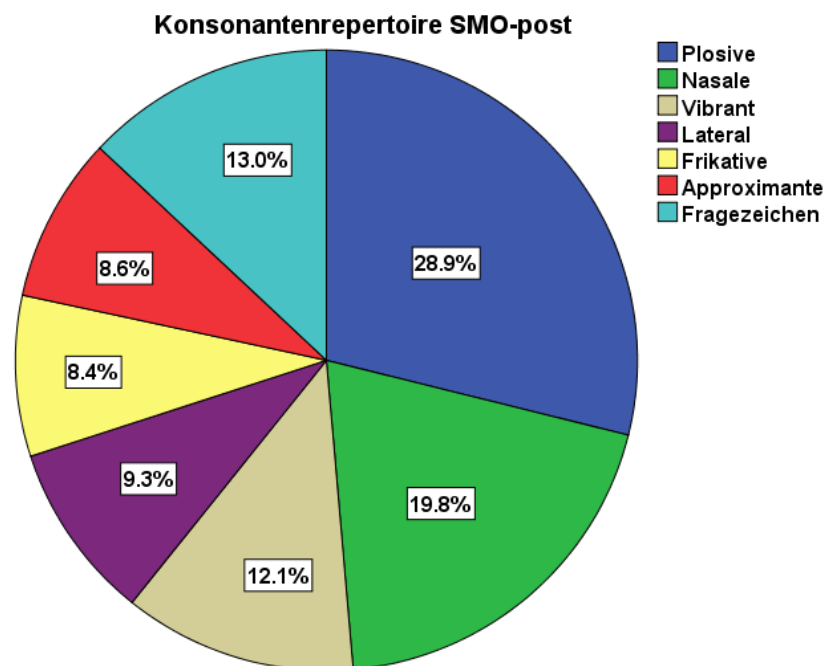


Abbildung 50: Konsonantenrepertoire der postoperativen Laute der SMO-Gruppe.
(„Fragezeichen“= Laute, die keinem der o.g. Kategorien zugeordnet werden konnten)

3.3 Analyse temporaler und grundfrequenzbasierter Vokalisationseigenschaften

Alle in dieser Arbeit ausgewerteten Komfortvokalisationen weisen charakteristische Eigenschaften auf, die bereits in Kapitel 2.6.1 beschrieben sind. Ihre temporalen und grundfrequenzbasierten Kenngrößen werden in diesem Kapitel dargestellt. Alle Messgrößen wurden über die Laute pro Kind gemittelt, so dass pro Kind ein durchschnittlicher Wert in die Analyse einging. Bei den temporalen Größen wurde pro Proband zwischen unsegmentierten Vokalisationen (UV) und segmentierten Vokalisationen (SV) unterschieden (vgl. Kap.2.6.2). Auf Unterteilung in Vokalisationen mit An- und Endlauten und ohne An- und Endlauten wurde in der vorliegenden Arbeit verzichtet. Kurzlaute (KL, <300ms) wurden ebenfalls nicht gesondert bewertet. Die Gruppeneinteilung erfasst innerhalb der SMO-Gruppe die prä-operativen und die post-operativen Vokalisationen getrennt. Die statistischen Vergleiche wurden zuerst zwischen den Gruppen KG, PG und SMO-prä gezogen. Die prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe wurden demnach aufgrund des Altersunterschiedes und der Stichprobenabhängigkeit gesondert miteinander verglichen.

3.3.1 Analyse der Vokalisationslängen

Die Lautlängen aller Komfortvokalisationen eines Kindes werden zuerst in unsegmentierte und segmentierte Vokalisationen (UV vs. SV) unterteilt. In der KG-Gruppe gibt es ein Kind, das im Beobachtungsfenster keine segmentierten Laute produziert hat (KG_AH). Somit verringert sich hier die Stichprobenanzahl auf 12. An- und Endlaute werden in die Messung mit einbezogen und nicht gesondert analysiert (vgl. Kap.2.6.2). Somit reflektiert die Messgröße die gesamte Lautlänge.

Der Shapiro-Wilk-Test beweist eine hinreichende Normalverteilung der Untersuchungsdaten in allen Gruppen bei den segmentierten Vokalisationen (SV) ($p > 0,05$). Da jedoch die unsegmentierten Vokalisationen (UV) keine hinreichende Normalverteilung aufzeigen (Shapiro-Wilk-Test: KG $p = 0,001$; SMO-post $p = 0,004$), wurden die erhobenen Messdaten der unsegmentierten Vokalisationen logarithmiert und erneut auf Normalverteilung getestet. In diesem Fall weisen die Gruppen KG,

PG und SMO-prä eine log-Normalverteilung auf (Shapiro-Wilk-Test: $p > 0,05$). Die postoperativen Werte der SMO-Gruppe erreichen jedoch trotz Logarithmieren keine ausreichende Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test: $p = 0,04$). Aufgrund der logarithmischen Transformation wurden parametrische Tests für die Untersuchung von Gruppenunterschieden verwendet. Der Vergleich der prä- und postoperativen Werte erfolgte anhand des nicht-parametrischen Wilcoxon-Tests.

Vokalisationslängen der unsegmentierten Vokalisationen

Nach Logarithmieren der Lautlängen zeigt sich eine hinreichende log-Normalverteilung der Häufigkeiten in den Gruppen KG, PG und SMO-prä (Shapiro-Wilk-Test $p > 0,05$). Die nachfolgende ANOVA-Testung zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ($p = 0,710$). Das bestätigt auch ein Blick auf die Boxplots mit Medianen, die nur maximal 81,0 ms voneinander abweichen (Messgenauigkeit ± 10 ms). Kind PG_BA zeigt mit einem Wert von 2,47 logms = 297 ms einen extrem niedrigen Wert auf, der in Abbildung 51 als Ausreißer dargestellt ist. Ebenfalls auffällig ist Kind KG_AG mit einer Lautlänge von 2185 ms = 3,34 logms. Dieser Wert ist ebenfalls in Abbildung 51 ersichtlich. Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 27 zeigt die Ergebnisse der deskriptiven Statistik der unsegmentierten Vokalisationen der SMO-Gruppe. Die prä- und postoperativen Werte weisen keine hinreichende Normalverteilung auf (Shapiro-Wilk-test: $p > 0,05$). Der nicht-parametrische Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben ergibt keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,463$). Unter den SMO-post-Werten fällt ein Extremwert auf: Kind SMO_AL bildet mit 1514,00 ms auffällig lange unsegmentierte Vokalisationen (vgl. Abbildung 52).

3 Ergebnisse

Tabelle 26: Deskriptive Statistik zum Vergleich der logarithmierten Lautlängen unsegmentierter Vokalisationen

Gruppe	N	Min [logms]	Max [logms]	MW [logms]	Median [logms]	SD [logms]	Log-NV
KG	13	2,51	3,34	2,82	2,84	0,22	ja
PG	13	2,47	3,05	2,82	2,81	0,15	ja
SMO-prä	13	2,43	3,11	2,77	2,86	0,20	ja

Erklärung:

KG: Kontrollgruppe

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

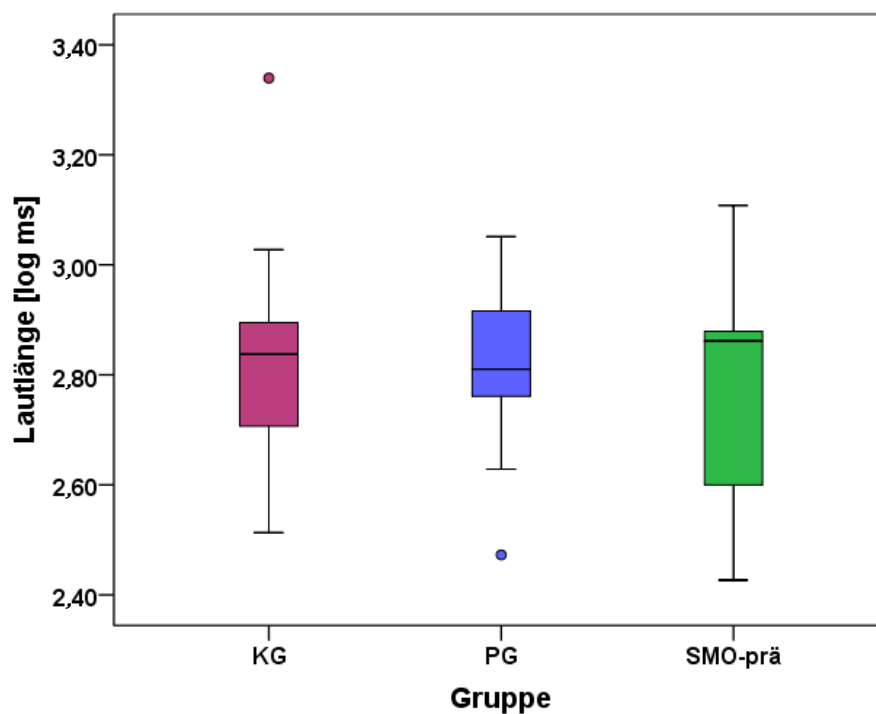


Abbildung 51: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der log-Lautlängen unsegmentierter Vokalisationen der Gruppen KG, PG und SMO-prä

3 Ergebnisse

Tabelle 27: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Lautlängen unsegmentierter Vokalisationen

Gruppe	N	Min [ms]	Max [ms]	MW [ms]	Median [ms]	SD [ms]	NV
SMO-prä	13	267,00	1282,00	638,31	727,00	279,40	ja
SMO-post	13	452,00	1514,00	727,38	588,00	309,32	nein

Erklärung:

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

SMO-post: Sagittalnahtsynostosegruppe post-operativ

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

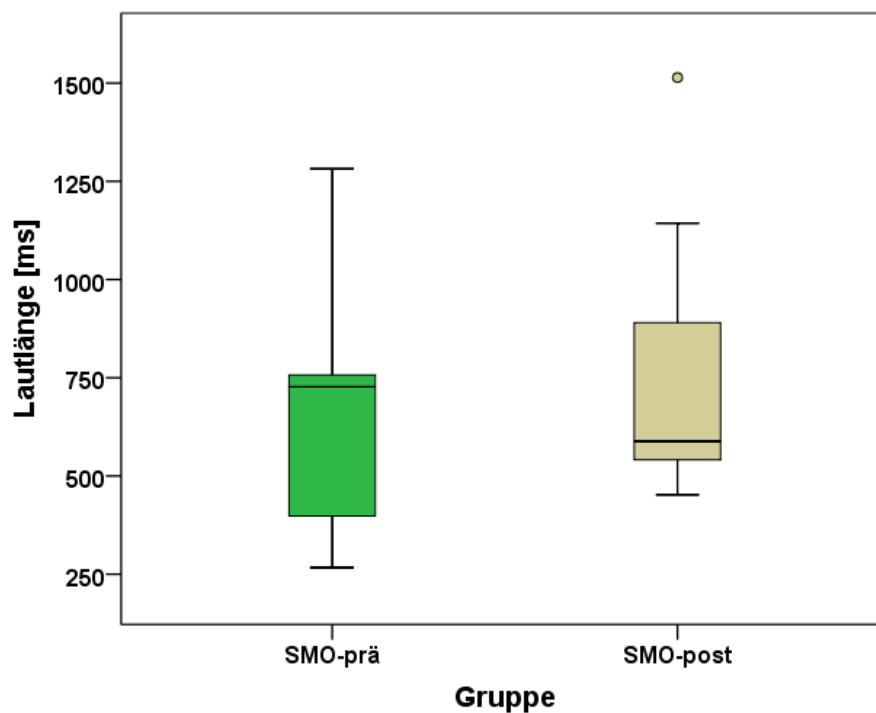


Abbildung 52: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Lautlängen unsegmentierter Vokalisationen der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe

Vokalisationslängen der segmentierten Vokalisationen

Segmentierte Vokalisationen setzen sich zusammen aus den eigentlichen Melodiebögen und vollständigen oder auch unvollständigen Pausen zwischen den Bogenstrukturen eines Lautes (vgl. Kap.2.6.2). Die Pausen werden in die Messung der Vokalisationslänge mit einbezogen, da sie Bestandteil der rhythmischen Struktur sind.

Die verwendeten Werte sind alle hinreichend normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test: KG $p=0,712$; PG $p=0,783$; SMO-prä $p=0,397$). Die Stichprobenanzahl ist aufgrund nicht beobachteter segmentierter Vokalisationen bei Kind KG_AH in der KG-Gruppe um eins verringert. Die Mediane liegen mit Werten von 1403,5 ms (KG), 1297,0 ms (PG) und 1072,0 ms (SMO-prä) nicht weit auseinander (Abbildung 53). Die ANOVA-Testung bestätigt keine signifikanten Gruppenunterschiede ($p=0,762$).

Die Häufigkeit der Lautlängen segmentierter Vokalisationen sind innerhalb der SMO-Gruppe hinreichend normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test $p>0,05$). Der T-Test für abhängige Stichproben ergab einen p-Wert von 0,030 und beweist somit signifikante Unterschiede zwischen den prä- und postoperativen Werten. In Abbildung 54 ist ein um 394 ms höherer Median der postoperativen Daten im Vergleich zu den präoperativen Werten erkennbar.

3 Ergebnisse

Tabelle 28: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Lautlängen segmentierter Vokalisationen

Gruppe	N	Min [ms]	Max [ms]	MW [ms]	Median [ms]	SD [ms]	NV
KG	12	744,00	2423,00	1466,67	1403,50	514,36	ja
PG	13	654,00	2181,00	1376,62	1297,00	459,47	ja
SMO-prä	13	486,00	2310,00	1316,85	1072,00	548,12	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

SMO-post: Sagittalnahtsynostosegruppe post-operativ

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

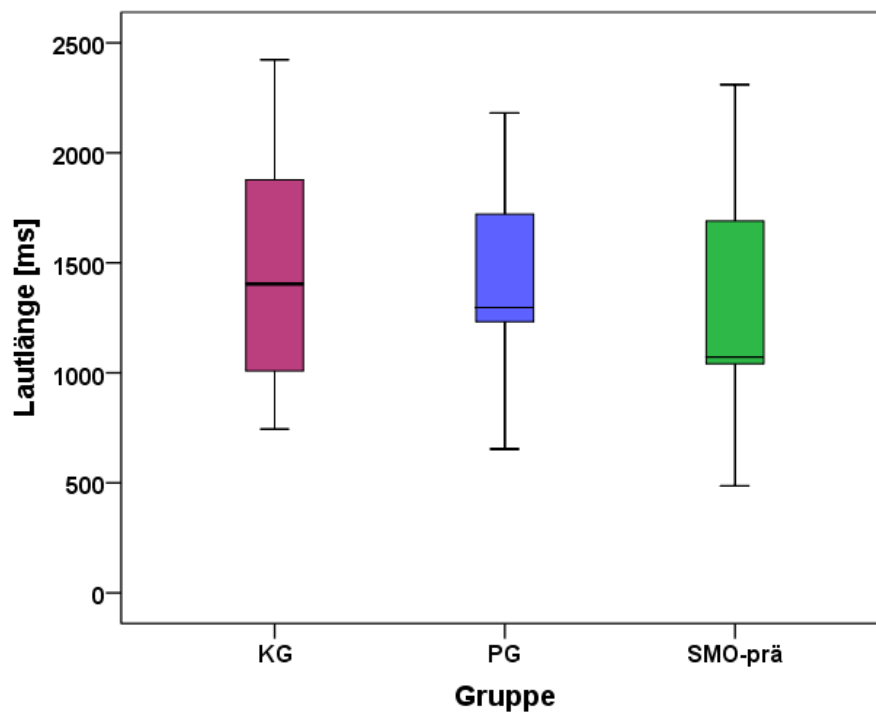


Abbildung 53: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Lautlängen segmentierter Vokalisationen der Gruppen KG, PG und SMO-prä

Tabelle 29: Deskriptive Statistik zum Vergleich der Lautlängen segmentierter Vokalisationen

Gruppe	N	Min [ms]	Max [ms]	MW [ms]	Median [ms]	SD [ms]	NV
SMO-prä	13	486,00	2310,00	1316,85	1072,00	548,12	ja
SMO-post	13	877,00	2625,00	1616,38	1466,00	571,54	ja

Erklärung:

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

SMO-post: Sagittalnahtsynostosegruppe post-operativ

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

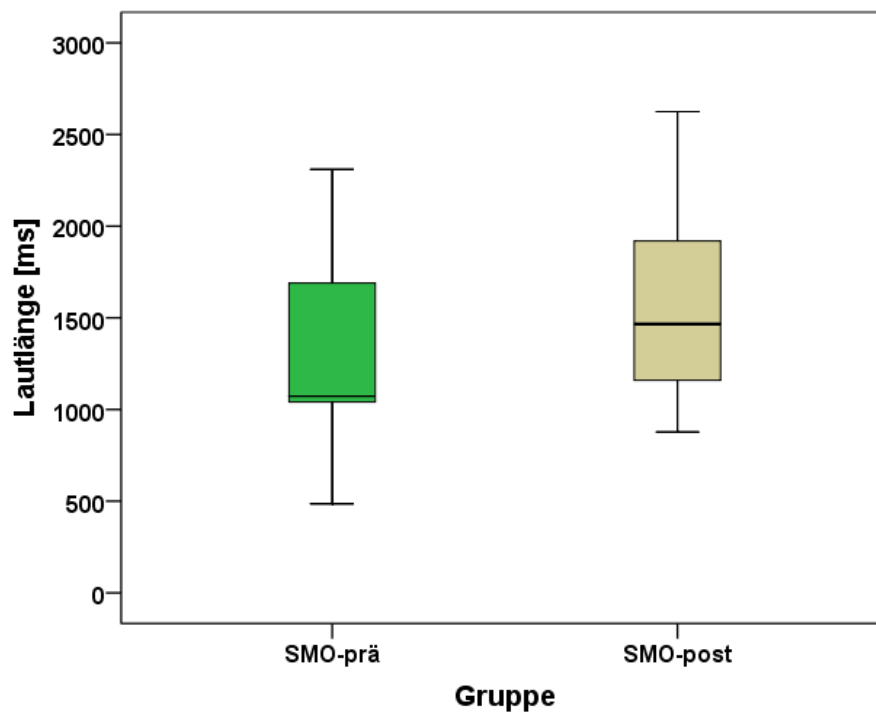


Abbildung 54: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Lautlängen segmentierter Vokalisationen der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe

3.3.2 Analyse des Pausenindex segmentierter Vokalisationen

Der Pausenindex beschreibt den Anteil der Pausenlänge an der Gesamtlautlänge der segmentierten Vokalisation. Da in der KG-Gruppe ein Kind vorkommt, das keine segmentierten Laute gebildet hat, wurde dies als fehlender Wert definiert und nicht in die Mittelwertvergleichsanalyse mit einbezogen. Somit verringert sich die Stichprobenanzahl in der KG-Gruppe auf 12. Die Werte der KG-Gruppe sind nicht hinreichend normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test: $p=0,029$). Durch Logarithmieren der Werte wird eine hinreichende Normalverteilung aller Werte erreicht (Shapiro-Wilk-Test: $p>0,05$). Die ANOVA-Testung lieferte signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen KG, PG und SMO-prä ($p=0,009$). Durch die graphische Darstellung des Boxplot-Diagramms (Abbildung 55) wird deutlich, dass die präoperativen Laute der Probanden SMO-Gruppe mit einem Median von $0,97 \log\% = 9,24\%$ einen durchschnittlich signifikant größeren Pausenindex aufweisen als die Probanden der Gruppen KG (Median: $0,64 \log\% = 4,23\%$) und PG (Median: $0,71 \log\% = 5,15\%$). Der post-Hoc Test nach Tukey bestätigt dieses Ergebnis. In der PG-Gruppe fällt ein Ausreißer-Wert auf: Proband PG_BU weist mit $-0,47 \log\% = 0,34\%$ nur sehr wenig bzw. kurze Pausen in seinen Vokalisationen auf.

Hinsichtlich der SMO-Gruppe unterscheiden sich die Werte des durchschnittlichen Pausenindex zwischen prä- und postoperativem Aufnahmezeitpunkt nicht signifikant (T-Test für abhängige Stichproben: $p= 0,065$). Dennoch fallen im Boxplot-Diagramm (Abbildung 56) tendenziell geringere postoperative Prozentwerte auf, die durch eine große Streuung der Daten ausgeglichen werden.

3 Ergebnisse

Tabelle 30: Deskriptive Statistik zum Vergleich der logarithmierten Werte des durchschnittlichen Pausenindex

Gruppe	N	Min [log%]	Max [log%]	MW [log%]	Median [log%]	SD [log%]	NV
KG	12	0,31	1,26	0,69	0,64	0,29	ja
PG	13	-0,47	1,15	0,57	0,71	0,45	ja
SMO-prä	13	0,63	1,23	0,98	0,97	0,21	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

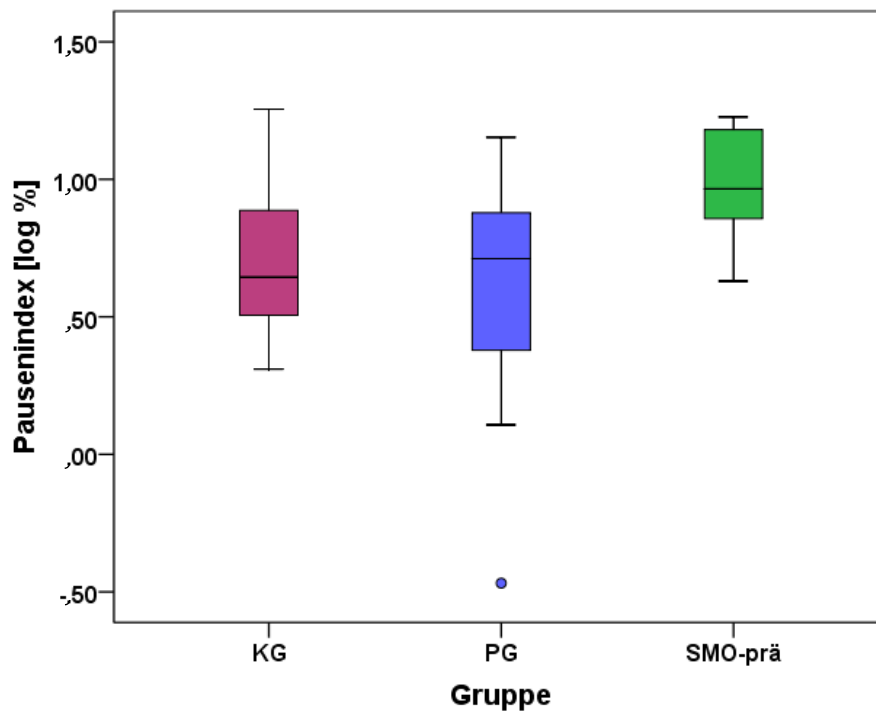


Abbildung 55: Boxplot-Diagramm zum Vergleich des Pausenindex der Gruppen KG, PG und SMO-prä

3 Ergebnisse

Tabelle 31: Deskriptive Statistik der Werte des durchschnittlichen Pausenindex

Gruppe	N	Min [%]	Max [%]	MW [%]	Median [%]	SD [%]	NV
SMO-prä	13	4,26	16,86	10,59	9,24	4,60	ja
SMO-post	13	2,38	14,90	7,24	6,92	4,03	ja

Erklärung:

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

SMO-post: Sagittalnahtsynostosegruppe post-operativ

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

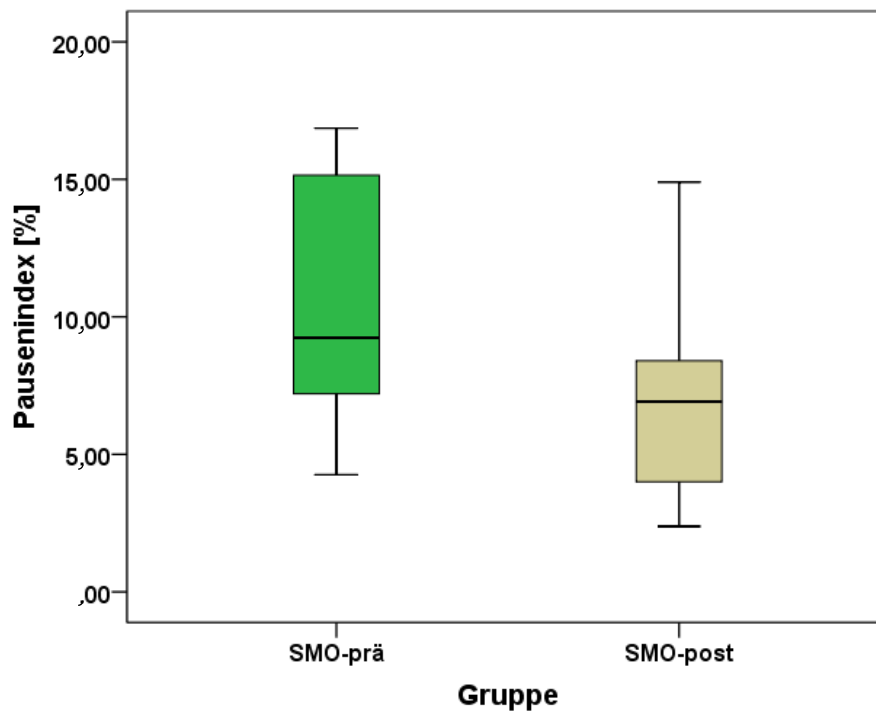


Abbildung 56: Boxplot-Diagramm zum Vergleich des Pausenindex der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe

3.3.3 Analyse der mittleren Grundfrequenz, der F0-Maxima und F0-Minima und des relativen Hubs

In diesem Kapitel wird zuerst die durchschnittliche mittlere Grundfrequenz (F0) ausgewertet und darüber hinaus weitere Eigenschaften beschrieben. Maxima (Fmax) und Minima (Fmin) weisen die Mittelwerte der Melodieminima und -maxima auf. Der relative Hub ist definiert als der Quotient aus Fmax und Fmin. An- und Endlaute werden nicht gesondert berücksichtigt, sondern gehen als Teil des gesamten Lautes in die quantitative Analyse mit ein.

Mittlere Grundfrequenz (F0)

Die Auswertung der mittleren Grundfrequenz zeigt laut Shapiro-Wilk-Test mit einem p-Wert von 0,013 keine hinreichende Normalverteilung in der KG-Gruppe. Durch Logarithmieren der Daten kann eine hinreichende Normalverteilung erreicht werden (Shapiro-Wilk-Test $p > 0,05$). In Abbildung 57 fallen zwei Kinder der KG-Gruppe mit erhöhten Grundfrequenzwerten auf (KG_AB: 592 Hz = 2,77 logHz; KG_AX: 650 Hz = 2,81 logHz). Die Mittelwertanalyse der logarithmierten Grundfrequenzwerte ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen KG, PG und SMO-prä (ANOVA $p = 0,629$).

Die prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe besitzen eine hinreichende Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test: $p > 0,05$). Die prä-operativen Daten umfassen Frequenzbereiche zwischen 295 Hz und 632 Hz. Die postoperativen Laute hingegen besitzen mit einem Maximum von 438 Hz und einem Minimum von 334 Hz eine wesentlich kleinere Streuung der Grundfrequenzwerte. Anhand des T-Tests für abhängige Stichproben bestehen signifikante Unterschiede zwischen den prä- und postoperativen Werten der SMO-Gruppe ($p = 0,047$).

3 Ergebnisse

Tabelle 32: Deskriptive Statistik der logarithmierten mittleren Grundfrequenzwerte (F0)

Gruppe	N	Min [Hz]	Max [Hz]	MW [Hz]	Median [Hz]	SD [Hz]	NV
KG	13	2,50	2,81	2,61	2,59	0,09	ja
PG	13	2,51	2,67	2,60	2,59	0,05	ja
SMO-prä	13	2,47	2,80	2,64	2,63	0,10	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

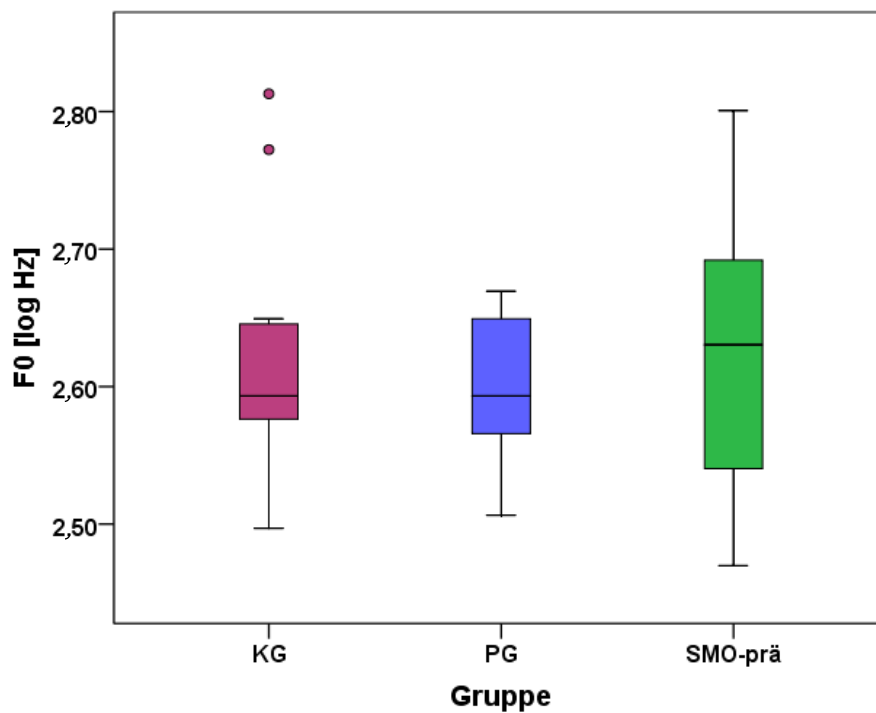


Abbildung 57: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der mittleren Grundfrequenz (F0) der Gruppen KG, PG und SMO-prä

Tabelle 33: Deskriptive Statistik der mittleren Grundfrequenzwerte (F0)

Gruppe	N	Min [Hz]	Max [Hz]	MW [Hz]	Median [Hz]	SD [Hz]	NV
SMO-prä	13	295	632	438	427	106	ja
SMO-post	13	334	438	380	379	31	ja

Erklärung:

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

SMO-post: Sagittalnahtsynostosegruppe post-operativ

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

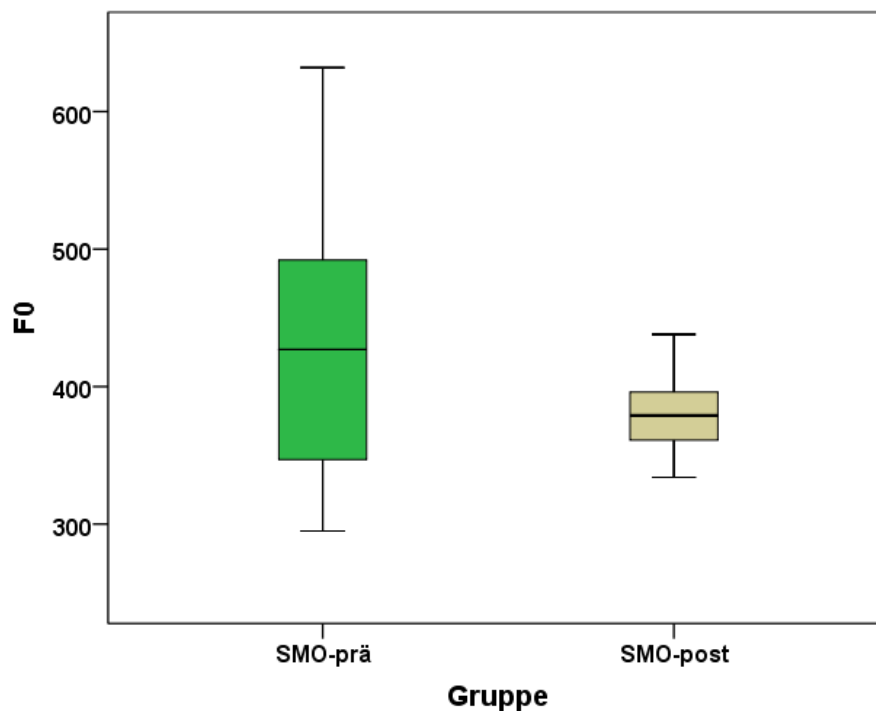


Abbildung 58: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der mittleren Grundfrequenz (F0) der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe

Maximalwerte der Grundfrequenz (Fmax)

In Tabelle 34 sind die ausgewerteten Daten der deskriptiven Analyse zu den Maximalwerten (Fmax) der Grundfrequenz aufgezeigt. Die Fmax-Werte der KG-Gruppe sind laut Shapiro-Wilk-Test mit einem p-Wert von 0,010 nicht hinreichend normalverteilt. Ein Logarithmieren der Daten für den Vergleich zwischen den Gruppen KG, PG und SMO-prä ermöglicht eine statistische Auswertung mit normalverteilten Daten. Die ANOVA-Testung belegt, dass sich die Gruppen nicht signifikant unterscheiden ($p=0,883$). In Abbildung 59 sind zwei extreme Werte in der KG-Gruppe erkennbar: KG_AB mit einem Fmax-Wert von $2,87 \log\text{Hz} = 746 \text{ Hz}$ und KG_AX mit einem Fmax-Wert von $2,91 \log\text{Hz} = 821 \text{ Hz}$.

Die Maximalwerte der Grundfrequenz weisen zu den präoperativen Aufnahmezeitpunkten der SMO-Probanden eine größere Streuung auf, als zu den Aufnahmezeitpunkten nach der operativen Therapie, wie man sehr gut im Boxplot-Diagramm (Abbildung 60) erkennen kann. Der T-Test für abhängige Stichproben ergibt einen p-Wert von 0,074. Somit existiert kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Aufnahmezeitpunkten.

3 Ergebnisse

Tabelle 34: Deskriptive Statistik der logarithmierten Maximalwerte der Grundfrequenz (Fmax)

Gruppe	N	Min [logHz]	Max [logHz]	MW [logHz]	Median [logHz]	SD [logHz]	NV
KG	13	2,54	2,91	2,69	2,67	0,10	Ja
PG	13	2,60	2,76	2,69	2,68	0,60	Ja
SMO-prä	13	2,53	2,92	2,71	2,69	0,13	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

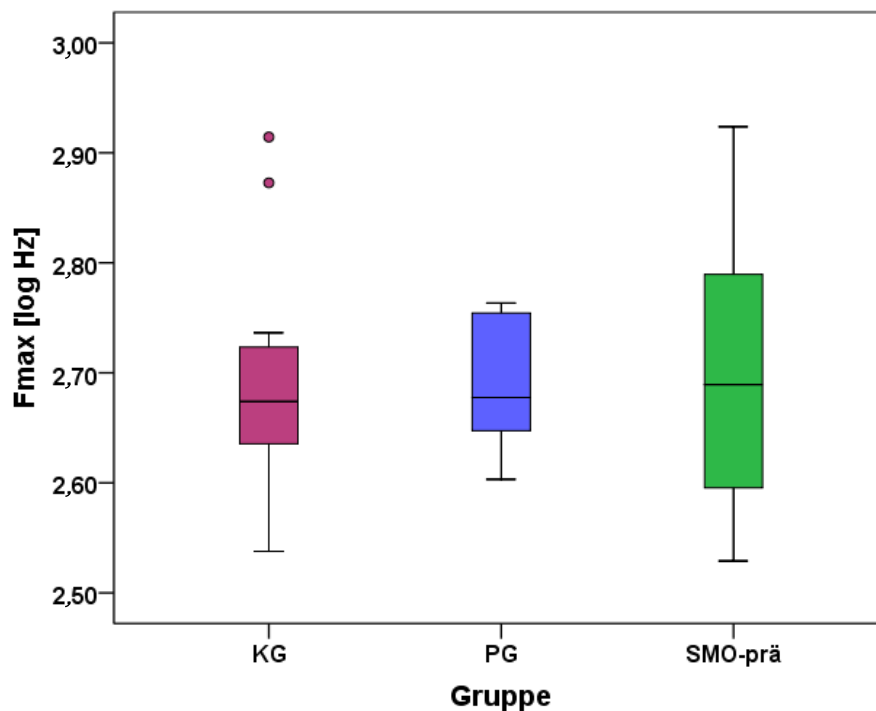


Abbildung 59: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Maximalwerte der Grundfrequenz (Fmax) der Gruppen KG, PG und SMO-prä

3 Ergebnisse

Tabelle 35: Deskriptive Statistik der Maximalwerte der Grundfrequenz (Fmax)

Gruppe	N	Min [Hz]	Max [Hz]	MW [Hz]	Median [Hz]	SD [Hz]	NV
SMO-prä	13	338	839	531	489	160	ja
SMO-post	13	385	517	454	444	44	ja

Erklärung:

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

SMO-post: Sagittalnahtsynostosegruppe post-operativ

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

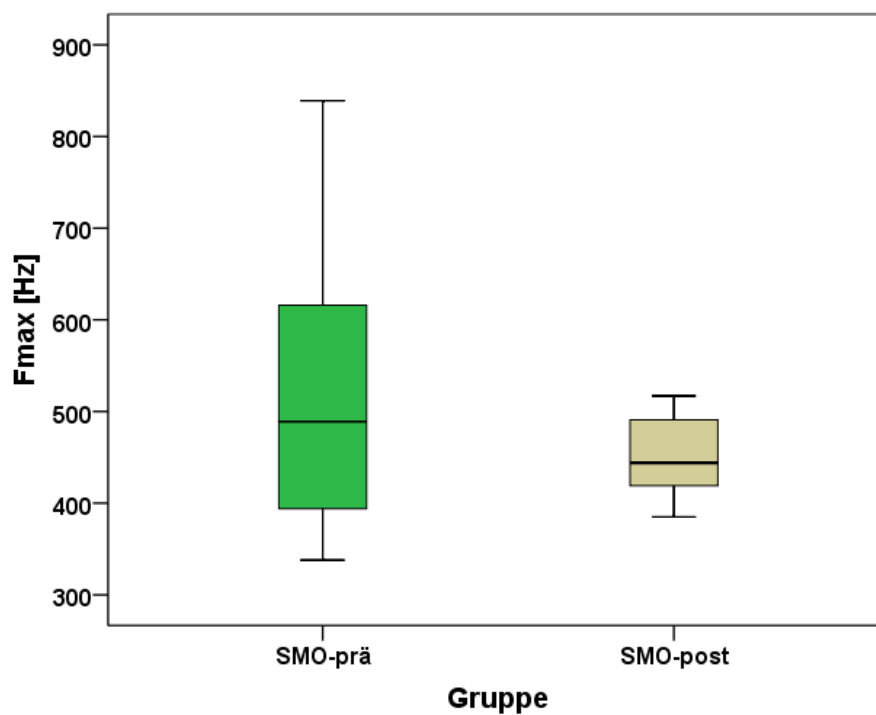


Abbildung 60: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Maximalwerte der Grundfrequenz (Fmax) der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe

Minimalwerte der Grundfrequenz (Fmin)

Die Minimalwerte (Fmin) der Grundfrequenz sind in allen Gruppen hinreichend normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test $p > 0,05$). Im Vergleich der Gruppen KG, PG und SMO-prä zeigt die ANOVA-Untersuchung mit einem p-Wert von 0,213, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten gibt. Der nachfolgend durchgeführte Post-Hoc-Test Tukey-HSD bestätigt dieses Ergebnis. Die KG-Gruppe beinhaltet drei extreme Werte (KG_AB: 415 Hz, KG_AX: 492 Hz, KG_BL: 227 Hz). Ebenso in der PG-Gruppe sticht ein Kind heraus (PG_BP: 246 Hz).

Ebenfalls der Vergleich zwischen den prä- und postoperativen Werten der SMO-Gruppe ergibt keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Minimalwerte der Grundfrequenz. Der T-Test für abhängige Stichproben ergibt hier einen Wert von $p = 0,098$. In Abbildung 62 ist ein Ausreißer sichtbar: Kind SMO_AM weist im Vergleich zum durchschnittlichen Mittelwert von 308 Hz leicht erhöhte Fmin-Werte auf (360 Hz).

Tabelle 36: Deskriptive Statistik der Minimalwerte der Grundfrequenz (Fmin)

Gruppe	N	Min [Hz]	Max [Hz]	MW [Hz]	Median [Hz]	SD [Hz]	NV
KG	13	227	492	327	319	69	ja
PG	13	246	345	303	309	28	ja
SMO-prä	13	263	413	340	326	53	ja
SMO-post	13	267	360	311	308	26	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

SMO-post: Sagittalnahtsynostosegruppe post-operativ

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

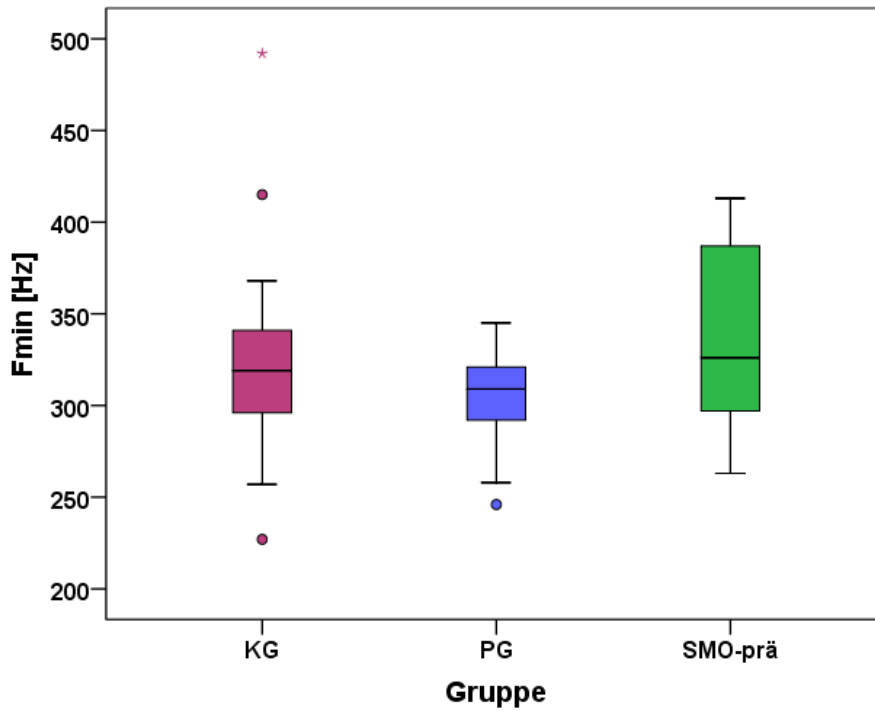


Abbildung 61: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Minimalwerte der Grundfrequenz (Fmin) der Gruppen KG, PG und SMO-prä

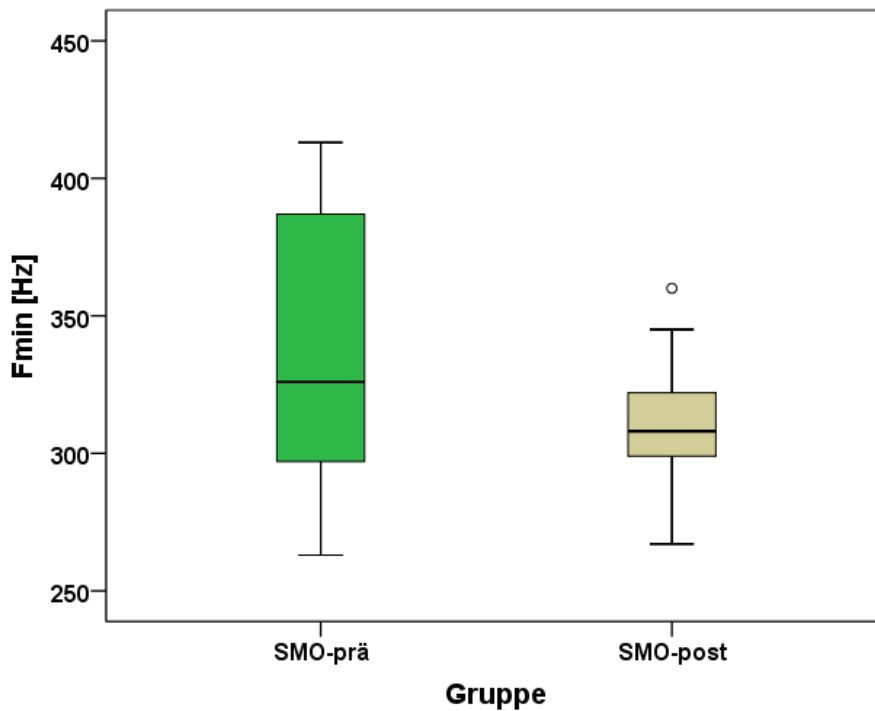


Abbildung 62: Boxplot-Diagramm zum Vergleich der Minimalwerte der Grundfrequenz (Fmin) der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe

Relativer Hub der Grundfrequenz

Der relative Hub ist definiert als der Quotient aus F_{\max} und F_{\min} . Er stellt die Frequenzmodulations-Amplitude (FM-Amplitude) einer Melodie dar. Die Häufigkeiten der berechneten Werte in den jeweiligen Gruppen sind alle hinreichend normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test $p > 0,05$). Die Mediane liegen im Vergleich der Gruppen KG, PG und SMO-prä bei 1,69 (KG), 1,64 (PG) und 1,48 (SMO-prä). Die Mittelwertvergleiche anhand der ANOVA-Testung zeigen keine Signifikanz zwischen allen drei Gruppen ($p = 0,401$).

Auch die post-operativen Hub-Werte unterscheiden sich nicht signifikant von den prä-operativen Daten. Das ergibt sich aus der Anwendung des T-Tests für abhängige Stichproben. Der p -Wert liegt hier bei 0,305.

Tabelle 37: *Deskriptive Statistik des relativen Hubs der Grundfrequenz*

Gruppe	N	Min	Max	Mittelwert	Median	Standardabweichung	NV
KG	13	1,26	1,93	1,61	1,69	0,22	ja
PG	13	1,47	1,96	1,69	1,64	0,17	ja
SMO-prä	13	1,29	2,08	1,57	1,49	0,25	ja
SMO-post	13	1,24	1,72	1,50	1,55	0,14	ja

Erklärung:

PG: Plagiocephalusgruppe

SMO-prä: Sagittalnahtsynostosegruppe prä-operativ

SMO-post: Sagittalnahtsynostosegruppe post-operativ

KG: Kontrollgruppe

NV: Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test mit $p > 0,05$

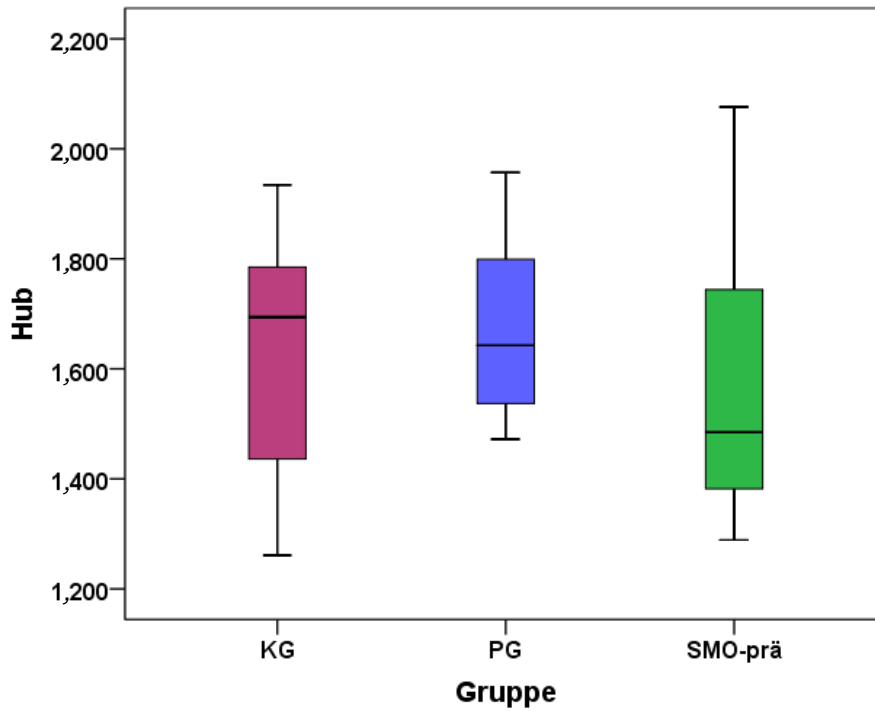


Abbildung 63: Boxplot-Diagramm zum Vergleich des relativen Hubs der Grundfrequenz der Gruppen KG, PG und SMO-prä

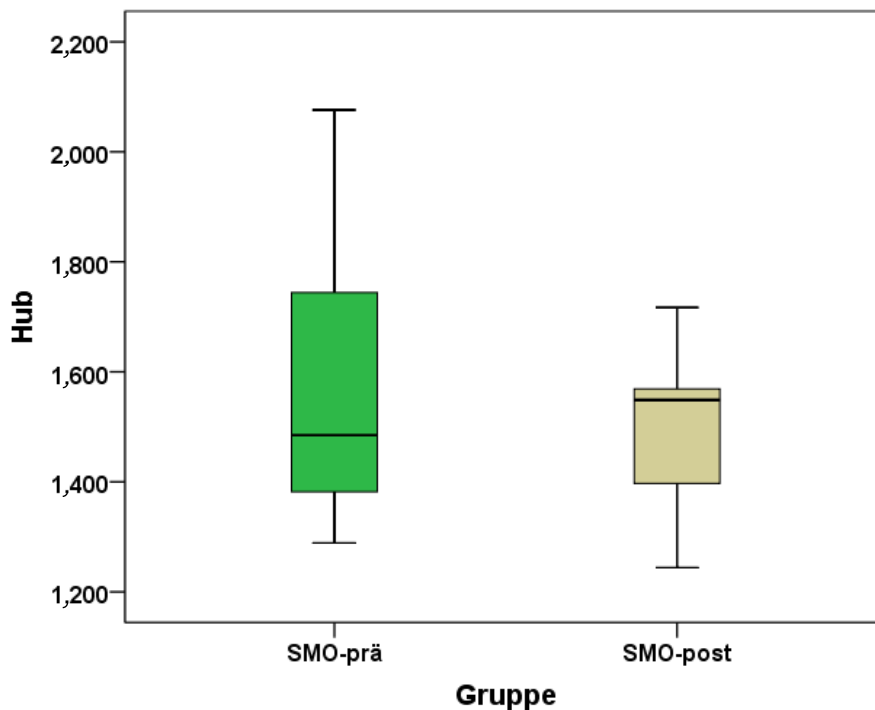


Abbildung 64: Boxplot-Diagramm zum Vergleich des relativen Hubs der Grundfrequenz der prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe

4 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, die frühe vorsprachliche Entwicklung von Säuglingen mit isolierter Sagittalnahtsynostose zu untersuchen und mit der vorsprachlichen Entwicklung von Kindern mit einer anderen Form der kraniofazialen Anomalien, dem lagerungsbedingtem Plagiocephalus, zu vergleichen. Im Rahmen dessen wurde erstmals ein direkter Vergleich zwischen prä- und post-operativen Lautäußerungen bei Sagittalnahtsynostosen vorgenommen. Quantitative und qualitative Analysen ausgewählter Komfortvokalisationen sollten Hinweise auf eventuelle Entwicklungsdefizite der betroffenen Probanden liefern. Alle Ergebnisse wurden einer unauffälligen Kontrollgruppe gegenübergestellt.

Ein Vergleich zu ähnlichen Arbeiten mit Bezug auf Untersuchungen akustischer Eigenschaften von Kindern mit isolierter Sagittalnahtsynostose oder lagerungsbedingtem Plagiocephalus sind aufgrund weit verbreiteter methodischer Defizite oder variierender Parameter nur schwer möglich (vgl. Kap.1.2). Lediglich projektinterne Untersuchungen (Brenner 2015, Hasenberg 2015, Kunick 2017) beinhalten ähnliche Vorgehensweisen und können vergleichend hinzugezogen werden. Für das kanonische Babbeln kann auf die Arbeit von Pachtner (2016) Bezug genommen werden, die erstmals systematisch Analysen von Kanonischen Babbellauten deutschsprachiger Kinder durchgeführt hat.

Vor allem vorsprachliche Analysen von Kindern mit isolierter Sagittalnahtsynostose unter Berücksichtigung der Entwicklung nach operativer Therapie, liegen nach meinen Recherchen zum bisherigen Zeitpunkt in dieser Form noch nicht vor. Somit wurde in der vorliegenden Arbeit erstmals ein Vergleich zwischen Kindern mit unterschiedlichen Schädelasymmetrien in Bezug auf deren vorsprachlichen Entwicklungen im zweiten Lebenshalbjahr vorgenommen.

Die im gleichen CFCW-Projekt erstellten Arbeiten (Günzel 2014, Hasenberg 2015) untersuchten bereits stimmphysiologische Lauteigenschaften von Kindern mit Lagerungsplagiocephalus im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Die Arbeit von Kunick (2017) umfasst eine quantitative Lautanalyse von Kindern mit isolierter Sagittalnahtsynostose, jedoch ohne Berücksichtigung der postoperativen

Entwicklung. Diese Ergebnisse wurden ebenfalls mit denen unauffälliger Probanden verglichen. Im Rahmen der genannten Arbeiten ergaben sich sowohl bei allen kindbasierten Messgrößen bezüglich der Grundfrequenz als auch hinsichtlich kognitiver und motorischer Entwicklungstests (Bayley, PDI, MDI) keine signifikanten Unterschiede zwischen den zugrundeliegenden Probandengruppen.

Brenner (2015) befasste sich erstmals mit Untersuchungen artikulatorischer Vokalisationsmerkmale. Hier lieferte ein erster Vergleich zwischen Kindern mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus und einer unauffälligen Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Entwicklungsstandes der Artikulation auf dem Weg zum Sprechen. Diese Arbeit bereitete die Grundlage für nachfolgende Analysen kindlicher Babbellaute von Säuglingen mit Schädelasymmetrien in der vorliegenden Arbeit.

4.1 Diskussion der 3D-Analyse

Um die Einordnung der Probanden nach den klinischen Erscheinungsformen der Schädel und damit der typischen Gruppencharakteristika zu kontrollieren und zu verifizieren, wurde die 3D-Analyse als non-invasives Verfahren ausgewählt. Die dreidimensionale Stereophotogrammetrie gilt durch ihre Verlässlichkeit und Strahlungsfreiheit als etabliertes bildgebendes Verfahren (Meyer-Marcotty et al. 2014). Diese Untersuchung unterstützt somit die reine Diagnosestellung nach klinischen Merkmalen (Linz et al. 2014).

Messgrößen, die das Längen- und Breitenverhältnis des Säuglingsschädels beschreiben, haben sich laut Barritt et al. (1981) zur Einordnung von Sagittalnahtsynostosen bewährt. Die vorliegende Arbeit unterstreicht dies: Die Kinder der SMO-Gruppe weisen einen signifikant geringeren CI-Index auf, als die Kontrollkinder. Die Kinder mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus hingegen haben einen signifikant höheren CI-Index im Vergleich zur Kontrollgruppe. Dies bestätigt somit die Gruppeneinteilung nach den zugrundeliegenden Kopfformen.

Die Resultate der Parameter maximale Kopflänge und maximale Kopfbreite untermauern die Ergebnisse des CI-Index. Demzufolge unterscheiden sich alle drei

Gruppen signifikant bezüglich ihrer Kopfformen. Die signifikante Verkleinerung der maximalen Breite bei Sagittalnahtsynostosen beschreiben Delashaw et al. (1991) als Verringerung des bitemporalen Durchmessers. Bezüglich der maximalen Kopflänge fällt das Kind KG_AJ mit einem hohen Wert von 16,9 cm auf. Dies könnte auf eine sehr deutliche Form einer Sagittalnahtsynostose mit ausgeprägt langem Schädel hindeuten. Da sich der Ausreißer aber nicht in den Messgrößen der maximalen Kopfbreite bzw. CI-Index widerspiegelt, scheint die Kopflänge durch eine verhältnismäßige Kopfbreite ausgeglichen zu werden. Hinsichtlich des CI-Index fällt das Kind KG_AJ ebenfalls nicht auf und ist daher als unauffälliges Kind in der Kontrollgruppe korrekt eingeordnet.

Die Zirkumferenz der kindlichen Schädel zeigt in der SMO-Gruppe signifikant höhere Werte im Vergleich zu den Gruppen PG und KG. Auch hier fällt das Kind KG_AJ wiederum durch einen erhöhten Wert auf, der durch eine – in der vorhergehenden Analyse bereits beschriebene – große maximale Kopflänge bedingt ist. Hinsichtlich der postnatalen somatischen Daten ist das Kind KG_AJ jedoch unauffällig.

Die hier untersuchten Probanden repräsentieren damit typische Vertreter der drei Gruppen und rechtfertigen den Gruppenvergleich trotz geringer Stichprobengröße.

4.2 Diskussion der Babbelanalyse

Neben grundfrequenzbasierten, stimmphysiologischen Parametern bei der Untersuchung von Komfortvokalisationen, gelten Messgrößen, die phonetische Eigenschaften intentionaler Babbellaute erfassen, als mögliche frühzeitige Anzeiger sprachlicher Entwicklungsstörungen (Fasolo et al. 2008).

Zudem ist die Auswertung artikulatorischer Kompetenzen ein Indikator für den Entwicklungsstand des Säuglings (Oller et al. 2013). Die Entwicklung der Babbellaute folgt einer schon von Oller (2000) benannten Reihenfolge. Diesbezüglich werden zuerst Vokale erzeugt, die durch Bewegungen der Zunge im Vokaltrakt gebildet werden. Konsonanten verlangen eine präzisere Kontrolle des Vokaltraktes und werden zu Beginn der Babbelphase seltener und unsicherer beherrscht. Mit ansteigendem Alter spielen die Säuglinge mit ihren Resonanzmöglichkeiten, d.h. sie können ihre bereits erlernten sprachlichen Fähigkeiten beliebig kombinieren (Wermke 2013). Die fehlende Ausprägung dieser artikulatorischen Fähigkeiten während der Babbelphase liefert ein weiteres Indiz für entwicklungspezifische Defizite bei Unterschieden zwischen den Probandengruppen.

Die vorliegende Babbelanalyse zeigt, dass sich sowohl die Säuglinge mit isolierter Sagittalnahtsynostose als auch die Kinder mit Lagerungsplagiocephalus bezüglich artikulatorischer und phonatorischer Eigenschaften von der Kontrollgruppe nicht signifikant unterscheiden. Dies betrifft alle hier untersuchten Artikulationskategorien. Dennoch wurde beobachtet, dass die KG-Probanden zum Untersuchungszeitpunkt tendenziell mehr Anteile von BM und BK an ihrem gesamten Lautrepertoire haben als PG und SMO-prä. Zudem zeigen die Untersuchungen, dass die SMO-prä-Kinder tendenziell mehr Artikulationen der Kategorie „kk“ bilden als die Kinder der Gruppen PG und KG. Zwar sind diese Unterschiede, vermutlich aufgrund der geringen Stichprobenanzahl und hoher Variabilität der Messgrenzen, nicht statistisch signifikant, so haben sie dennoch Relevanz für spätere prognostische Aussagen. Aus diesem Grund sind nachfolgende Untersuchungen nötig, um individuelle Prognosen und Behandlungsmöglichkeiten genauer bestimmen zu können.

Auch die geschlechtsspezifischen Vergleiche der Auftrittshäufigkeit der Babbellaute mit Artikulation zwischen allen Gruppen weisen keine signifikanten Unterschiede auf.

Wie erwartet, kommen entsprechend dem Entwicklungsmodell nach Oller (2000) und typisch für das vorliegende Alter der Probanden mehrere Artikulationskategorien im gesamten Lautrepertoire vor. Marginale Babblers hatten erwartungsgemäß hier den größten Anteil. Auch ein beobachtetes erstes Vorkommen von kanonischen Babbellauten ist altersentsprechend. Erste kanonische Vokalisationen treten bei gesunden, normalhörenden Kindern zwischen dem sechsten und siebten Lebensmonat auf (Oller et al. 2013, Pachtner 2016).

Brenner (2015) fand ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen unauffälligen Kontrollkindern bezüglich der Artikulationskategorien und Säuglingen mit Lagerungsplagiocephalus. Wie in der vorliegenden Arbeit, fand auch sie eine vermehrte Auftrittshäufigkeit von rein vokalbasierten Lauten (rv) in den Gruppen KG und PG. Ergänzend zu Brenners Resultaten (Brenner 2015) ergeben die geschlechtsspezifischen Untersuchungen hier einige zusätzliche Unterschiede: Unter Berücksichtigung, dass das Vorkommen von kanonischen Babbellauten bereits das Erreichen einer fortgeschrittenen sprachlichen Entwicklungsstufe darstellt (Oller et al. 2013), schneiden die Mädchen der KG-Gruppe hier besser ab. Sie haben einen deutlich höheren Anteil an kanonischen Babblern als die männlichen Probanden. Die Mädchen der PG-Gruppe weisen hingegen noch gar keine kanonischen Babbellaute auf. Dies könnte zum einen methodenbedingt sein, denn die Aufnahmen basieren immer nur auf einem „Fenster“ der Entwicklung, auch wenn die Elternfragebögen bestätigen, dass die jeweils repräsentativen Komfortvokalisationen des Kindes erfasst werden. Zum anderen könnte dies auch hormonelle Ursachen haben, wie eine neuere Arbeit von Quast et al. (2016) impliziert.

Im Hinblick auf die Entwicklung der Kinder mit operierter isolierter Sagittalnahtsynostose fallen ebenfalls Unterschiede bezüglich der prozentualen Anteile der jeweiligen Unterkategorien auf. Der im Vergleich zu der KG- und PG-Gruppe ohnehin schon sehr hohe präoperative Anteil an konsonant-ähnlichen Elementen in der SMO-Gruppe (SMO-prä: 78,3%, KG: 28,4%, PG: 33,0%) verringert sich zum postoperativen Untersuchungszeitpunkt zu Gunsten der Kategorien „com“ und „bk“. Diese sind per definitionem nach Oller (2000) in der sprachlichen Entwicklung bereits fortgeschrittene Artikulationen. Die hohen „bk“- und „com“-Anteile könnten hier im fortgeschrittenen Alter der Kinder zum postoperativen

Untersuchungszeitpunkt begründet sein. Auch die „rv“-Laute nehmen zwischen SMO-prä und SMO-post ab. Die Kategorien „com“ und „bk“ steigen dabei von 3,8% bzw. 4,7% auf 8,1% bzw. 8,4%. Die geschlechtsspezifischen Untersuchungen stützen dieses Ergebnis. Bei aller Vorsicht aufgrund der kleinen Stichprobe könnten sich hier Anzeichen für eine Entwicklungsbesonderheit in der SMO-Gruppe andeuten, die man bei dem derzeitigen Kenntnisstand nur schwer interpretieren kann. Holen die SMO-Kinder eventuell erst nach der Operation auf? Dies kann nur durch einen Vergleich mit Kindern mit isolierten Sagittalnahtsynostosen, die keine operative Therapie erhalten, festgestellt werden. Eine solche Untersuchung ist am ZVES bereits in Arbeit (Karakullukcu 2016). In Anbetracht der oben genannten Ergebnisse ist unter Berücksichtigung des Alters eine positive Entwicklung der SMO-Kinder von den prä- zu den postoperativen Untersuchungszeitpunkten zu beobachten.

Hinsichtlich der Auswertung der relativen Häufigkeiten der Konsonantenarten bei den postoperativen Vokalisationen der SMO-Kinder lässt sich folgende Interpretation ableiten: Plosive besitzen vor den Nasalen den größten Anteil am gesamten Konsonantenrepertoire. Diese Ergebnisse decken sich mit der Arbeit von Pachtner (2016). Sie untersuchte unter anderem die Verteilung der Konsonantenarten von ausschließlich kanonischen Babbellauten unauffälliger Kontrollkinder ohne Schädeldeformitäten. Auch ihre Arbeit belegt eine Dominanz der Plosive, dicht gefolgt von den Nasalen in kindlichen Komfortvokalisationen dieses Alters. Das gleiche Alter der von ihr untersuchten Probanden und der hier analysierten SMO-post-Laute (7.-13. Monat) erlaubt den Vergleich der Konsonantenverteilungen beider Gruppen.

4.2.1 Extremwerte der Messgrößen in der Kontrollgruppe

Bezüglich der Anteile der Babbellaute mit Artikulation fällt die KG-Gruppe zwar durch einen um 20,6% höheren Median zur PG-Gruppe (21,9% zur SMO-prä-Gruppe) auf, erreicht jedoch keine statistische Signifikanz. Dies ist möglicherweise bedingt durch die vorhandenen Ausreißerwerte der Probanden KG-AT, -AP und -AF mit sehr niedrigen prozentualen Anteilen von Babbellauten mit Artikulation am gesamten

Lautrepertoire. Die Auswahl der KG-Probanden basierte auf dem Alter und der Anzahl der Lautaufnahmen, sodass ein Auftreten starker Ausreißer, wie hier der Fall, zunächst auf die hohe Variabilität der Messgrößen hindeutet.

Allerdings sind zwei dieser Kinder (KG-AF, -AP) laut Auswertung der postnatalen somatischen Daten hypotroph (KG-AF bezüglich der Geburtslänge, KG-AP bezüglich der Geburtslänge und dem Geburtsgewicht). Da aber auch andere Kinder der Gruppe (KG-AN, -AX und -BH) in den Geburtsmaßen hypotroph waren und keine geringeren Anteile an Babbellauten mit Artikulation aufweisen, scheint kein direkter Zusammenhang zwischen postnatalen somatischen Daten und artikulatorischer Kompetenz zu bestehen. Vielmehr könnte hier wiederum ein Einfluss von Sexualhormonen in der frühen postnatalen Phase (Minipubertät) indirekt wirken, da es Zusammenhänge zwischen dem Körperwachstum und Hormonkonzentrationen im Serum zu geben scheint (Becker et al. 2015). Demzufolge wäre es möglicherweise sinnvoll, neben den somatischen Daten in nachfolgenden Arbeiten auch hormonelle Größen zu ermitteln. Die somatischen Klassifikationsschemata für Neugeborene haben zudem den Nachteil, dass es keine Korrekturfaktoren gibt, die die elterlichen Maße berücksichtigen. Folglich könnten einige der als „hypotroph“ eingestuften Kinder in Wahrheit lediglich pseudohypotroph sein, wenn die Eltern bereits körperlich eher klein gewachsen sind und damit eine genetische Disposition vorliegt.

4.3 Diskussion der temporalen und grundfrequenzbasierten Vokalisationsanalyse

Temporale Merkmale, wie Laut- und Pausenlängen, besitzen indikativen Charakter hinsichtlich laryngealer und neurophysiologischer Dysfunktionen. Veränderte Vokalisationslängen oder Segmentierungspausen innerhalb einer Expirationsphase weisen auf eine defizitäre zentrale Zeitorganisation bei der Lautproduktion hin. Demzufolge können aus der temporalen Organisation der Lautproduktion Rückschlüsse auf die hirneurophysiologische Reife bzw. Funktion gezogen werden (Benasich & Tallal 2002, Koivisto et al. 1970, Lester et al. 1991, Michelsson 1971, Wasz-Hockert et al. 1971).

Die grundfrequenzbasierte Lautanalyse betrachtet die basalen melodischen Eigenschaften einer Vokalisation. Diese reflektieren als Ursprung der Lautproduktion alle zugrundeliegenden neurophysiologischen Mechanismen (LaGasse et al. 2005, Michelsson 1971, Sirvio & Michelsson 1976). Somit eignen sich die melodisch-rhythmischen Eigenschaften der Laute ideal zur Überprüfung der Grundmechanismen für die spätere Sprachkompetenz eines Kindes (Michelsson et al. 1977, Wermke 1987, Wermke 2002). Vorsprachliche Entwicklungsstörungen spiegeln sich in einer defizitären respiratorisch-laryngealen Aktivität wider (Wermke 2002). In der vorliegenden Arbeit wurden hierfür die mittlere Grundfrequenz (F_0), die Grundfrequenzmaxima und – minima und der relative Frequenzhub als Messgrößen verwendet.

4.3.1 Temporale Parameter

Die Vokalisationslängen wurden differenziert nach unsegmentierten Lauten und solchen mit Segmentierungspausen ausgewertet. Durch diese Aufteilung konnte eine gesonderte Betrachtung der Lautlängen in Abhängigkeit zu vorhandenen Pausen innerhalb eines Lautes durchgeführt werden. Die segmentierten Laute aller Gruppen waren wesentlich länger als die unsegmentierten Vokalisationen. Dies beruht jedoch größtenteils darauf, dass die vorhandenen Pausen innerhalb einer Expirationsphase auftreten und somit in der Länge des segmentierten Gesamtlautes eingebunden sind.

Innerhalb der Vokalisationslängen aus unsegmentierten Lauten unterscheiden sich die Gruppen KG, PG und SMO nicht signifikant voneinander. Bezüglich der Lautlängen der segmentierten Vokalisationen zeigten die Gruppen KG, PG und SMO-prä ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Die SMO-prä-Werte waren jedoch tendenziell kürzer. Zu diesem Ergebnis kommt auch Kunick (2017). Er stellte präoperative temporale Lautparameter von Kindern mit isolierter Sagittalnahtsynostose denen gleichaltriger und unauffälliger Kontrollkinder gegenüber.

Der Vergleich innerhalb der SMO-Gruppe weist allerdings deutliche Unterschiede auf. Demnach sind die segmentierten Vokalisationslängen zu den postoperativen Aufnahmezeitpunkten signifikant länger als noch zu den präoperativen Untersuchungsterminen - trotz reduzierter postoperativer Pausenlänge. Begründet werden könnte dies durch das höhere Alter der Probanden zum postoperativen Aufnahmezeitpunkt. Untersuchungen an Kindern mit isolierten Sagittalnahtsynostosen ohne operative Therapie im Vergleich zu unauffälligen Kontrollkindern könnten helfen zu entscheiden, ob die postoperativen kürzeren segmentierten Vokalisationen ein Alterseffekt oder ein Gruppenspezifikum sind.

Zwei Kinder (KG_AG und PG_BA) fielen durch Extremwerte bei den unsegmentierten Vokalisationen auf. Diese Kinder waren jedoch in keiner anderen Eigenschaft, wie z.B. den postnatalen somatischen Daten oder den zugrundeliegenden Auswahlkriterien auffällig. Hierfür müssen andere, individuelle Einflussfaktoren verantwortlich sein.

Der errechnete Pausenindex gibt die prozentualen Pausenanteile an der Gesamtlänge einer segmentierten Vokalisation wider. Nach der vorliegenden Untersuchung zeigen sich bei den SMO-Probanden zu den präoperativen Aufnahmezeitpunkten signifikant mehr bzw. längere Segmentierungspausen als bei den Kindern der Gruppen KG und PG. Dies könnte zurückzuführen sein auf Besonderheiten in der Zeitorganisation in den der Lautproduktion zugrundeliegenden hirneurophysiologischen Mechanismen der SMO-Kinder zum präoperativen Zeitpunkt. Zum Beispiel haben Lester et al. (1991) Zusammenhänge zwischen neurophysiologischen Auffälligkeiten und veränderter Zeitorganisation bei der kindlichen Lautbildung festgestellt. Im weiteren Entwicklungsverlauf tendieren die

Werte des Pausenindex wieder nach unten und gleichen sich somit den Werten der Gruppen KG und PG an. Die postoperativen Laute enthalten wieder weniger Pausenanteile am Gesamtlaut. Für nachfolgende Arbeiten wäre ein Vergleich der postoperativen SMO-Pausenindex-Daten mit Werten einer gleichaltrigen Kontrollgruppe möglicherweise von klinischem Interesse.

4.3.2 Grundfrequenzbasierte Parameter

Wie bereits im Ergebnisteil beschrieben (Kap.3.3.3), gibt es signifikante Unterschiede im Vergleich der F0-Werte zwischen den prä- und postoperativen SMO-Daten. Die mittlere Grundfrequenz erreicht zu den postoperativen Aufnahmezeitpunkten signifikant geringere Werte als noch bei den präoperativen Testungen. Sowohl die Medianwerte als auch der Interquartilbereich sind hier verringert. Die präoperativen Werte unterscheiden sich jedoch im Vergleich zu den gleichaltrigen Probanden der KG- und PG-Gruppe faktisch nicht. Dennoch sind tendenziell höhere Mittelwerte und eine größere Variabilität der SMO-prä-Werte sichtbar (Abbildung 57). Postoperativ sinken die F0-Werte somit tiefer als die präoperativen SMO-, die KG- und PG-Werte. Weiterführende Studien sind notwendig, um zu testen, ob sich die postoperativen Werte der SMO-Kinder auch zu exakt gleichaltrigen Kontrollkindern signifikant unterscheiden. Aufgrund des höheren Alters der SMO-Kinder zum postoperativen Aufnahmezeitpunkt sind Vergleiche zu den etwas jüngeren, dem präoperativen Zeitpunkt entsprechend ausgewählten Kontrollkindern nur schwer möglich. Dies wären weitere Hinweise auf eventuell vorliegende Besonderheiten bei der Lautproduktion.

Sowohl die Maximal- als auch die Minimalwerte der Grundfrequenz aller hier untersuchten Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Dies spricht für gleich gut funktionierende neurophysiologische Mechanismen bei der Lautproduktion. Auffällig sind auch hier die tendenziell größeren Interquartilbereiche der SMO-prä-Daten, die sich zum postoperativen Zeitpunkt wieder verringern.

Bezüglich der Messgrößen F0, Fmin und Fmax fallen, sichtbar in den Boxplot-Diagrammen, Extremwerte auf (vgl. Abbildung 57, Abbildung 59, Abbildung 61). Hierauf wird in Kap.4.3.3 gesondert eingegangen.

Die Werte des relativen Hubs der Grundfrequenz weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen allen untersuchten Gruppen auf. Die SMO-prä-Werte tendieren allerdings zu geringeren Medianwerten (vgl. Abbildung 63). Postoperativ steigen die „Hubdaten“ der SMO-Gruppe etwas an und erreichen höhere Mittelwerte. Präoperativ wurden auch in der projektinternen Arbeit von Kunick (2017) keine signifikanten Hubdifferenzen gefunden. Auch hier wichen die Werte des relativen Hubs von Kindern mit isolierter Sagittalnahtsynostose und unauffälligen Kontrollkindern nicht signifikant voneinander ab, zeigten aber ebenfalls niedrigere Medianwerte.

Die hier beschriebenen Ergebnisse bezüglich der PG-Gruppe decken sich mit den Resultaten aus der projektinternen Arbeit von Hasenberg (2015). Sie verglich grundfrequenzbasierte Parameter, wie die mittlere Grundfrequenz und deren Maxima und Minima unauffälliger Kontrollkinder mit Säuglingen mit lagebedingtem Plagiocephalus. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in allen untersuchten Messgrößen zwischen den beiden Gruppen nachgewiesen werden. Ihre Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit überein. Auch hier wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen der PG- und der KG-Gruppe bezüglich oben genannter Messgrößen festgestellt. Die SMO-Gruppe wurde in der Arbeit von Hasenberg (2015) nicht untersucht.

Ob die postoperativ gemessenen, signifikant geringeren Grundfrequenzwerte der SMO-Gruppe im Vergleich zu den präoperativen Ergebnissen tatsächlich entwicklungsdiagnostische Relevanz haben oder nur Ausdruck bekannter Variabilität in der Sprachentwicklung sind, kann mit den vorliegenden Daten nicht beantwortet werden. Dazu sind weiterführende Studien mit größerem Stichprobenumfang nötig.

4.3.3 Grundfrequenzbasierte Extremwerte in der Kontrollgruppe

Bei den Ergebnissen der mittleren Grundfrequenz und deren Maximal- und Minimalwerte sind in der Kontrollgruppe jeweils zwei „hochfrequente Ausreißer“ zu beobachten (vgl. Abbildung 57, Abbildung 59, Abbildung 61). Die Probanden KG_AX und KG_AB zeichnen sich durch jeweils extrem hohe Werte aus. Zu interpretieren sind diese Befunde möglicherweise wie folgt: Die stark angestiegenen Parameter

werden bei jüngeren Säuglingen als Indikator für neurophysiologische Dysfunktionen und ein somit einhergehendes Risiko für nachfolgende sprachliche Entwicklungsdefizite angesehen (Michelsson et al. 1977, Sirvio & Michelsson 1976, Wasz-Hockert et al. 1971, Wermke 2002). Allerdings sind hochfrequente Babbellaute Bestandteil des Lautrepertoires ab dem zweiten Lebenshalbjahr (Pachtner 2016). Zwar waren das Geburtsgewicht und die Körperlänge des Kindes KG_AX gemäß der Einteilung nach Voigt (2001) (Kap.2.2.1) im hypotrophen Bereich, aber eine von Wermke & Robb (2010) veröffentlichte Studie zeigte, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen postnataler Hypotrophie und einer gesteigerten mittleren Grundfrequenz zu geben scheint. Dieses Postulat wird zusätzlich dadurch gestützt, dass alle anderen hypotrophen Kinder der Kontrollgruppe (KG_AF, KG_AN, KG_AP, KG_BH) keine auffällig hochfrequenten Vokalisationen aufzeigten. Ferner liegen die postnatalen somatischen Daten des Kindes KG_AB mit ebenfalls hochfrequenten Extremwerten nicht im hypotrophen Bereich.

Bezüglich der Grundfrequenzminima gibt es in jeder Gruppe einen weiteren Extremwert (vgl. Abbildung 61 und Abbildung 62). KG_BL und PG_BP fallen durch sehr niedrige Werte auf. Während KG_BL keine weiteren Auffälligkeiten zeigt, liegt PG_BP laut der Einteilung nach Voigt (2001) (Kap.2.2.1) im hypertrophen Bereich. Das Kind SMO_AM weist zum postoperativen Untersuchungszeitpunkt stark erhöhte Fmin-Werte auf. Trotz einem prätermen Geburtstermin (29. vSSW) sind die postnatalen gestationsaltersrelevanten somatischen Daten hier im Normbereich angesiedelt. Im Hinblick auf die vorausgegangenen Auswahlkriterien konnten bei diesen Kindern keine zusätzlichen Auffälligkeiten festgestellt werden. Um zu klären, ob die abweichenden Fmin-Werte ein Hinweis auf sprachliche Dysfunktionen liefern, könnten hier weitere Nachuntersuchungen aufschlussreich sein. Auch hier könnten hormonelle Faktoren (Östrogensensitivität des Larynx) eine Rolle spielen. Die Forschung steht hier allerdings noch am Anfang.

Alle Ergebnisse zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit Hinweise darauf geben, dass die präoperativen Lautäußerungen der SMO-Säuglinge darauf hindeuten könnten, dass sich diese Säuglinge von den PG- und KG-Kindern unterscheiden. Die KG- und PG-Kinder weisen hingegen keine

Anzeichen vorsprachlicher Entwicklungsunterschiede auf. Die Besonderheiten der SMO-Kinder scheinen sich postoperativ relativ schnell den „Normwerten“, soweit vorhanden, der Kontrollgruppe anzugleichen. Hier sind die Ergebnisse der Vergleiche der Kinder mit isolierten Sagittalnahtsynostosen mit und ohne operative Therapie im Projekt abzuwarten, die noch nicht vorliegen.

Diese Resultate könnten Hinweise darauf geben, dass ein potenzieller Zusammenhang zwischen einer isolierten Sagittalnahtsynostose zum präoperativen Zeitpunkt und vorsprachlichen Entwicklungsbesonderheiten besteht. Verlässlichere Aussagen diesbezüglich können jedoch erst nach weiterführenden wissenschaftlichen Studien erfolgen.

5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden vorsprachliche Fähigkeiten von Kindern mit isolierten Sagittalnahtsynostosen zu einem prä- und postoperativen Zeitpunkt untersucht. Diese wurden präoperativ mit Säuglingen mit lagerungsbedingtem Plagiocephalus und einer gleichaltrigen Kontrollgruppe verglichen.

Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes „Dreidimensionale stereophotogrammetrische Diagnostik des Schädels und Evaluierung der Therapie bei Kindern mit kraniofazialen Fehlbildungen“ des CFCW des Universitätsklinikums Würzburg.

Grundlage zur Annahme von Entwicklungsdefiziten waren vorausgehende Studien, die postulierten, dass kraniofaziale Fehlbildungen zu neurophysiologischen Entwicklungsstörungen und somit Einschränkungen in Motorik, Kognition und Sprache führen können (Boltshauser et al. 2003, Chieffo et al. 2010, Korpilahti et al. 2012, Shipster et al. 2003, Virtanen et al. 1999). Vorangegangene projektinterne Untersuchungen konnten bisher jedoch keine signifikanten Unterschiede von Säuglingen mit Lagerungsplagiocephalus bzw. isolierten Sagittalnahtsynostosen bezüglich der vorsprachlichen Leistungen zu unauffälligen Kontrollkindern nachweisen. Die vorliegende Arbeit bestätigt diese Ergebnisse.

Zur vorsprachlichen Entwicklung von Kindern mit isolierten Sagittalnahtsynostosen im prä- / postoperativen Vergleich gab es bisher keine Untersuchung. Daher wurden in der vorliegenden Arbeit akustische Eigenschaften von Komfortvokalisationen dieser Probanden analysiert. Sowohl artikulatorische Fähigkeiten, als auch grundfrequenzbasierte und temporale Stimmleistungen dienten in den Untersuchungen als Messgrößen.

Im SignalanalySELabor des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) konnten insgesamt 2836 Vokalisationen von 39 Kindern (13 Kinder pro Gruppe) ausgewertet werden. Die Laute der Kinder mit isolierter Sagittalnahtsynostose wurden zu einem prä- und postoperativen Zeitpunkt analysiert. Die ausgewählten Messgrößen wurden mittels standardisierter Verfahren

der Vorsprachlichen Diagnostik und mit Hilfe am ZVES implementierter Computersoftware (CSL, PRAAT, CDAP) ausgewertet.

Die Ergebnisse der Babelanalyse zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Allerdings fanden sich signifikante prä-/ postoperative-Unterschiede in der SMO-Gruppe:

Die postoperativen Lautlängen segmentierter Vokalisationen der SMO-Probanden waren länger als die präoperativen und zeigten einen deutlich kleineren Pausenindex.

Zudem unterschieden sich die prä- und postoperativen Werte der SMO-Gruppe bezüglich der mittleren Grundfrequenz signifikant voneinander: Postoperativ waren deutlich geringere mittlere Grundfrequenzen feststellbar. Die Unterschiede zwischen den prä- und postoperativen Daten werden als entwicklungsbedingte Effekte interpretiert, solange keine Vergleiche zu Kindern mit Sagittalnahtsynostosen ohne operative Therapie vorliegen.

Die vorliegende Studie liefert Argumente für notwendige weiterführende Untersuchungen unter Einbeziehung von Kindern mit isolierten Sagittalnahtsynostosen ohne operative Therapie. Erst danach lassen sich Entwicklungseffekte von potenziellen Entwicklungsstörungen unterscheiden. Zusätzlich sind dazu auch Langzeitstudien erforderlich, die die Sprachkompetenz der Kinder im Alter von zwei bis fünf Jahren erfassen.

6 Literaturverzeichnis

Abels, H. (2014). Sprachkompetenz und motorische Fähigkeiten von Säuglingen mit lagerungsbedingtem Plagiozephalus und Helmtherapie im Alter von sechs und zwölf Monaten im Vergleich zu gleichaltrigen unauffälligen Säuglingen. Unveröffentlichte Dissertation. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

Alden, TD, Lin, KY, Jane, JA. (1999). Mechanisms of premature closure of cranial sutures. *Child's nervous system : ChNS : official journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery* **15**: 670-675.

Argenta, LC, David, LR, Wilson, JA, Bell, WO. (1996). An increase in infant cranial deformity with supine sleeping position. *The Journal of craniofacial surgery* **7**: 5-11.

Arnaud, E, Renier, D, Marchac, D. (1995). Prognosis for mental function in scaphocephaly. *Journal of neurosurgery* **83**: 476-479.

Barritt, J, Brooksbank, M, Simpson, D. (1981). Scaphocephaly: aesthetic and psychosocial considerations. *Developmental medicine and child neurology* **23**: 183-191.

Becker, M, Oehler, K, Partsch, CJ, Ulmen, U, Schmutzler, R, Cammann, H, Hesse, V. (2015). Hormonal 'minipuberty' influences the somatic development of boys but not of girls up to the age of 6 years. *Clin Endocrinol (Oxf)* **83**: 694-701.

Benasich, AA, Tallal, P. (2002). Infant discrimination of rapid auditory cues predicts later language impairment. *Behavioural brain research* **136**: 31-49.

Boltshauser, E, Ludwig, S, Dietrich, F, Landolt, MA. (2003). Sagittal craniosynostosis: cognitive development, behaviour, and quality of life in unoperated children. *Neuropediatrics* **34**: 293-300.

Branch, LG, Kesty, K, Krebs, E, Wright, L, Leger, S, David, LR. (2015). Deformational plagiocephaly and craniosynostosis: trends in diagnosis and treatment after the "back to sleep" campaign. *The Journal of craniofacial surgery* **26**: 147-150.

Brenner, LC. (2015). Untersuchung artikulatorischer Fertigkeiten vor Beginn der Wortproduktion-Ein Vergleich zwischen gesunden Säuglingen mit und ohne lagerungsbedingtem Plagiozephalus im Alter von fünf bis sieben Monaten. *Dissertationsschrift Julius-Maximilians-Universität-Würzburg, Würzburg Kieferorthopädie.*

Bronfin, DR. (2001). Misshapen heads in babies: position or pathology? *The Ochsner journal* **3**: 191-199.

Chieffo, D, Tamburrini, G, Massimi, L, Di Giovanni, S, Giansanti, C, Caldarelli, M, Di Rocco, C. (2010). Long-term neuropsychological development in single-suture craniosynostosis treated early. *Journal of neurosurgery Pediatrics* **5**: 232-237.

- Collett, BR, Gray, KE, Starr, JR, Heike, CL, Cunningham, ML, Speltz, ML. (2013).** Development at age 36 months in children with deformational plagiocephaly. *Pediatrics* **131**: e109-115.
- Collett, BR, Starr, JR, Kartin, D, Heike, CL, Berg, J, Cunningham, ML, Speltz, ML. (2011).** Development in toddlers with and without deformational plagiocephaly. *Archives of pediatrics & adolescent medicine* **165**: 653-658.
- Coussens, AK, Hughes, IP, Wilkinson, CR, Morris, CP, Anderson, PJ, Powell, BC, van Daal, A. (2008).** Identification of genes differentially expressed by prematurely fused human sutures using a novel in vivo - in vitro approach. *Differentiation; research in biological diversity* **76**: 531-545.
- Delashaw, JB, Persing, JA, Jane, JA. (1991).** Cranial deformation in craniosynostosis. A new explanation. *Neurosurg Clin N Am* **2**: 611-620.
- Ellenbogen, RG, Gruss, JS, Cunningham, ML. (2000).** Update on craniofacial surgery: the differential diagnosis of lambdoid synostosis/posterior plagiocephaly. *Clinical neurosurgery* **47**: 303-318.
- Fasolo, M, Majorano, M, D'Odorico, L. (2008).** Babbling and first words in children with slow expressive development. *Clinical linguistics & phonetics* **22**: 83-94.
- Fisher, M, Collmann, H, Darge, K. (2007).** Radiographic changes in nonoperated isolated sagittal suture synostosis. *Rofo, 179(4)*, 406-411.
- Freudlsperger, C, Castrillón-Oberndorfer, G., Hoffmann, J., Engel, M. (2013).** Isolierte, nichtsyndromale Kraniosynostosen. Aktuelle Diagnostik- und Therapiekonzepte. Elektronischer Sonderdruck. *Der MKG-Chirurg*. 301-313.
- Gerszten, PC, Gerszten, E. (1995).** Intentional cranial deformation: a disappearing form of self-mutilation. *Neurosurgery* **37**: 374-381; discussion 381-372.
- Graham, JM, Jr., Badura, RJ, Smith, DW. (1980).** Coronal craniostenosis: fetal head constraint as one possible cause. *Pediatrics* **65**: 995-999.
- Günzel, H. (2014).** Analyse und Vergleich akustischer Eigenschaften von Komfortvokalisationen von Säuglingen mit Lagerungsplagiocephalus und gesunden Säuglingen im Alter von fünf bis sieben Monaten. *Dissertationsschrift Julius-Maximilians-Universität-Würzburg, Würzburg Kieferorthopädie*.
- Hasenberg, A. (2015).** Untersuchung akustischer Eigenschaften von Komfortvokalisationen – Ein Vergleich zwischen gesunden Säuglingen mit und ohne lagerungsbedingtem Plagiozephalus im Alter von 4 - 7 Monaten. *Dissertationsschrift Julius-Maximilians-Universität-Würzburg, Würzburg Kieferorthopädie*.
- Heikel, HJ. (1918).** *Altertümer aus dem Tale des Talas in Turkestan*. Société Finno-Ougrienne, Helsinki.
- Hukki, J, Saarinen, P, Kangasniemi, M. (2008).** Single suture craniosynostosis: diagnosis and imaging. *Frontiers of oral biology* **12**: 79-90.

- Hutchison, BL, Hutchison, LA, Thompson, JM, Mitchell, EA. (2004).** Plagiocephaly and brachycephaly in the first two years of life: a prospective cohort study. *Pediatrics* **114**: 970-980.
- Hutchison, BL, Thompson, JM, Mitchell, EA. (2003).** Determinants of nonsynostotic plagiocephaly: a case-control study. *Pediatrics* **112**: e316.
- Kane, AA, Lo, LJ, Vannier, MW, Marsh, JL. (1996).** Mandibular dysmorphology in unicoronal synostosis and plagiocephaly without synostosis. *The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association* **33**: 418-423.
- Kapp-Simon, KA, Speltz, ML, Cunningham, ML, Patel, PK, Tomita, T. (2007).** Neurodevelopment of children with single suture craniosynostosis: a review. *Child's nervous system : ChNS : official journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery* **23**: 269-281.
- Karakullukcu, R. (2016).** Dissertation in Vorbereitung. *Julius-Maximilians-Universität-Würzburg, Würzburg Kieferorthopädie.*
- Knight, SJ, Anderson, VA, Spencer-Smith, MM, Da Costa, AC. (2014).** Neurodevelopmental outcomes in infants and children with single-suture craniosynostosis: a systematic review. *Developmental neuropsychology* **39**: 159-186.
- Koivisto, M, Wasz-Hockert, O, Vuorenkoski, V, Partanen, T, Lind, J. (1970).** Cry studies in neonatal hyperbilirubinemia. *Acta paediatrica Scandinavica Supplement* **206**: Suppl 206:226+.
- Kordestani, RK, Patel, S, Bard, DE, Gurwitsch, R, Panchal, J. (2006).** Neurodevelopmental delays in children with deformational plagiocephaly. *Plastic and reconstructive surgery* **117**: 207-218; discussion 219-220.
- Korpilahti, P, Saarinen, P, Hukki, J. (2012).** Deficient language acquisition in children with single suture craniosynostosis and deformational posterior plagiocephaly. *Child's nervous system : ChNS : official journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery* **28**: 419-425.
- Kunick, A. (2017).** Untersuchung vorsprachlicher, kognitiver und motorischer Fähigkeiten von Säuglingen mit isolierter Sagittalnahtsynostose im Alter von 5 bis 7 Monaten im Vergleich zu gleichaltrigen gesunden Säuglingen. *Julius-Maximilians-Universität-Würzburg, Würzburg Kieferorthopädie.*
- LaGasse, LL, Neal, AR, Lester, BM. (2005).** Assessment of infant cry: acoustic cry analysis and parental perception. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* **11**: 83-93.
- Lajeunie, E, Crimmins, DW, Arnaud, E, Renier, D. (2005).** Genetic considerations in nonsyndromic midline craniosynostoses: a study of twins and their families. *Journal of neurosurgery* **103**: 353-356.
- Lajeunie, E, Le Merrer, M, Bonaiti-Pellie, C, Marchac, D, Renier, D. (1996).** Genetic study of scaphocephaly. *American journal of medical genetics* **62**: 282-285.

Lana-Elola, E, Rice, R, Grigoriadis, AE, Rice, DP. (2007). Cell fate specification during calvarial bone and suture development. *Developmental biology* **311**: 335-346.

Lekovic, GP, Baker, B, Lekovic, JM, Preul, MC. (2007). New World cranial deformation practices: historical implications for pathophysiology of cognitive impairment in deformational plagiocephaly. *Neurosurgery* **60**: 1137-1146; discussion 1146-1137.

Lester, BM. (1987). Developmental outcome prediction from acoustic cry analysis in term and preterm infants. *Pediatrics* **80**: 529-534.

Lester, BM, Corwin, MJ, Sepkoski, C, Seifer, R, Peucker, M, McLaughlin, S, Golub, HL. (1991). Neurobehavioral syndromes in cocaine-exposed newborn infants. *Child development* **62**: 694-705.

Linz, C, Meyer-Marcotty, P, Bohm, H, Muller-Richter, U, Jager, B, Hartmann, S, Reichert, C, Kochel, J, Schweitzer, T. (2014). 3D stereophotogrammetric analysis of operative effects after broad median craniectomy in premature sagittal craniosynostosis. *Child's nervous system : ChNS : official journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery* **30**: 313-318.

Magge, SN, Westerveld, M, Pruzinsky, T, Persing, JA. (2002). Long-term neuropsychological effects of sagittal craniosynostosis on child development. *The Journal of craniofacial surgery* **13**: 99-104.

Mampe, B, Friederici, AD, Christophe, A, Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current biology : CB* **19**: 1994-1997.

Manfredi, C, Bocchi, L, Orlandi, S, Calisti, M, Spaccaterra, L, Donzelli, GP. (2008). Non-invasive distress evaluation in preterm newborn infants. *Conference proceedings : Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Annual Conference 2008*: 2908-2911.

Meyer-Marcotty, P, Bohm, H, Linz, C, Kochel, J, Stellzig-Eisenhauer, A, Schweitzer, T. (2014). Three-dimensional analysis of cranial growth from 6 to 12 months of age. *European journal of orthodontics* **36**: 489-496.

Meyer-Marcotty, P, Bohm, H, Linz, C, Kunz, F, Keil, N, Stellzig-Eisenhauer, A, Schweitzer, T. (2012). Head orthosis therapy in infants with unilateral positional plagiocephaly: an interdisciplinary approach to broadening the range of orthodontic treatment. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie* **73**: 151-165.

Michelsson, K. (1971). Cry analyses of symptomless low birth weight neonates and of asphyxiated newborn infants. *Acta paediatrica Scandinavica Supplement* **216**: 1-45.

Michelsson, K, Michelsson, O. (1999). Phonation in the newborn, infant cry. *International journal of pediatric otorhinolaryngology* **49 Suppl 1**: S297-301.

Michelsson, K, Sirvio, P, Wasz-Hockert, O. (1977). Sound spectrographic cry analysis of infants with bacterial meningitis. *Developmental medicine and child neurology* **19**: 309-315.

Miller, RI, Clarren, SK. (2000). Long-term developmental outcomes in patients with deformational plagiocephaly. *Pediatrics* **105**: E26.

Mulliken, JB, Vander Woude, DL, Hansen, M, LaBrie, RA, Scott, RM. (1999). Analysis of posterior plagiocephaly: deformational versus synostotic. *Plastic and reconstructive surgery* **103**: 371-380.

Netherway, DJ, Abbott, AH, Gulamhuseinwala, N, McGlaughlin, KL, Anderson, PJ, Townsend, GC, David, DJ. (2006). Three-dimensional computed tomography cephalometry of plagiocephaly: asymmetry and shape analysis. *The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association* **43**: 201-210.

Nkenke, E, Benz, M, Maier, T, Wiltfang, J, Holbach, LM, Kramer, M, Hausler, G, Neukam, FW. (2003). Relative en- and exophthalmometry in zygomatic fractures comparing optical non-contact, non-ionizing 3D imaging to the Hertel instrument and computed tomography. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* **31**: 362-368.

Oller, DK. (2000). *The emergence of the speech capacity.* Mahwah, NJ, Lawrence. Erlbaum Associates Publishers.

Oller, DK, Buder, EH, Ramsdell, HL, Warlaumont, AS, Chorna, L, Bakeman, R. (2013). Functional flexibility of infant vocalization and the emergence of language. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **110**: 6318-6323.

Oller, DK, Eilers, RE, Neal, AR, Cobo-Lewis, AB. (1998). Late onset canonical babbling: a possible early marker of abnormal development. *American journal of mental retardation : AJMR* **103**: 249-263.

Pachtner, S. (2016). Quantitative Charakterisierung akustischer und phonetischer Eigenschaften kanonischer Babblers von gesunden Kindern mit deutscher Umgebungssprache. *Dissertationsschrift Julius-Maximilians-Universität-Würzburg, Würzburg Philosophische Fakultät II (eingereicht).*

Panchal, J, Amirshaybani, H, Gurwitch, R, Cook, V, Francel, P, Neas, B, Levine, N. (2001). Neurodevelopment in children with single-suture craniosynostosis and plagiocephaly without synostosis. *Plastic and reconstructive surgery* **108**: 1492-1498; discussion 1499-1500.

Peitsch, WK, Keefer, CH, LaBrie, RA, Mulliken, JB. (2002). Incidence of cranial asymmetry in healthy newborns. *Pediatrics* **110**: e72.

- Persing, JA. (2001).** *Neurodevelopment in Children with Single-Suture Craniosynostosis and Plagiocephaly without Synostosis by Jayesh Panchal, M.B.B.S., F.R.C.S., M.B.A., Hamid mirsheybani, M.D., Robin Gurwitch, Ph.D., Vicki Cook, M.Ed., Paul Francel, M.D., Ph.D., Barbara Neas, Ph.D. Norman Levine, M.D. Plastic and reconstructive surgery, 108 (6), S. 1499– 1500.*
- Plank, LH, Giavedoni, B, Lombardo, JR, Geil, MD, Reisner, A. (2006).** Comparison of infant head shape changes in deformational plagiocephaly following treatment with a cranial remolding orthosis using a noninvasive laser shape digitizer. *The Journal of craniofacial surgery* **17**: 1084-1091.
- Quast, A, Hesse, V, Hain, J, Wermke, P, Wermke, K. (2016).** Baby babbling at five months linked to sex hormone levels in early infancy. *Infant Behav Dev* **44**: 1-10.
- Raes, J, Michelsson, K, Dehaen, F, Despontin, M. (1982).** Cry analysis in infants with infectious and congenital disorders of the larynx. *International journal of pediatric otorhinolaryngology* **4**: 157-169.
- Ras, F, Habets, LL, van Ginkel, FC, Prahl-Andersen, B. (1995).** Method for quantifying facial asymmetry in three dimensions using stereophotogrammetry. *The Angle orthodontist* **65**: 233-239.
- Rautava, L, Lempinen, A, Ojala, S, Parkkola, R, Rikalainen, H, Lapinleimu, H, Haataja, L, Lehtonen, L, Group, PS. (2007).** Acoustic quality of cry in very-low-birth-weight infants at the age of 1 1/2 years. *Early human development* **83**: 5-12.
- Renier, D, Lajeunie, E, Arnaud, E, Marchac, D. (2000).** Management of craniosynostoses. *Child's nervous system : ChNS : official journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery* **16**: 645-658.
- Robinson, S, Proctor, M. (2009).** Diagnosis and management of deformational plagiocephaly. *Journal of neurosurgery Pediatrics* **3**: 284-295.
- Runefors, P, Arnbjornsson, E, Elander, G, Michelsson, K. (2000).** Newborn infants' cry after heel-prick: analysis with sound spectrogram. *Acta paediatrica* **89**: 68-72.
- Schweitzer, T, Bohm, H, Linz, C, Jager, B, Gerstl, L, Kunz, F, Stellzig-Eisenhauer, A, Ernestus, RI, Krauss, J, Meyer-Marcotty, P. (2013).** Three-dimensional analysis of positional plagiocephaly before and after molding helmet therapy in comparison to normal head growth. *Child's nervous system : ChNS : official journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery* **29**: 1155-1161.
- Schwenzer, N, Ehrenfeld, M. (2011).** *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag* **4**.
- Shamji, MF, Fric-Shamji, EC, Merchant, P, Vassilyadi, M. (2012).** Cosmetic and cognitive outcomes of positional plagiocephaly treatment. *Clinical and investigative medicine Medecine clinique et experimentale* **35**: E266.

Shipster, C, Hearst, D, Somerville, A, Stackhouse, J, Hayward, R, Wade, A. (2003). Speech, language, and cognitive development in children with isolated sagittal synostosis. *Developmental medicine and child neurology* **45**: 34-43.

Sirvio, P, Michelsson, K. (1976). Sound-spectrographic cry analysis of normal and abnormal newborn infants. A review and a recommendation for standardization of the cry characteristics. *Folia phoniatica* **28**: 161-173.

Speltz, ML, Collett, BR, Stott-Miller, M, Starr, JR, Heike, C, Wolfram-Aduan, AM, King, D, Cunningham, ML. (2010). Case-control study of neurodevelopment in deformational plagiocephaly. *Pediatrics* **125**: e537-542.

Speltz, ML, Endriga, MC, Mouradian, WE. (1997). Presurgical and postsurgical mental and psychomotor development of infants with sagittal synostosis. *The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association* **34**: 374-379.

Speltz, ML, Kapp-Simon, KA, Cunningham, M, Marsh, J, Dawson, G. (2004). Single-suture craniosynostosis: a review of neurobehavioral research and theory. *Journal of pediatric psychology* **29**: 651-668.

Starr, JR, Kapp-Simon, KA, Cloonan, YK, Collett, BR, Craddock, MM, Buono, L, Cunningham, ML, Speltz, ML. (2007). Presurgical and postsurgical assessment of the neurodevelopment of infants with single-suture craniosynostosis: comparison with controls. *Journal of neurosurgery* **107**: 103-110.

Steinbok, P, Lam, D, Singh, S, Mortenson, PA, Singhal, A. (2007). Long-term outcome of infants with positional occipital plagiocephaly. *Child's nervous system : ChNS : official journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery* **23**: 1275-1283.

Thompson, DN, Malcolm, GP, Jones, BM, Harkness, WJ, Hayward, RD. (1995). Intracranial pressure in single-suture craniosynostosis. *Pediatric neurosurgery* **22**: 235-240.

Ursitti, F, Fadda, T, Papetti, L, Pagnoni, M, Nicita, F, Iannetti, G, Spalice, A. (2011). Evaluation and management of nonsyndromic craniosynostosis. *Acta paediatrica* **100**: 1185-1194.

van Vlimmeren, LA, van der Graaf, Y, Boere-Boonekamp, MM, L'Hoir, MP, Helders, PJ, Engelbert, RH. (2007). Risk factors for deformational plagiocephaly at birth and at 7 weeks of age: a prospective cohort study. *Pediatrics* **119**: e408-418.

Virchow, R. (1851). Über den Cretinismus, namentlich in Franken und über pathologische Schädelformen. *Verh Phys Med Ges, Bd II*.

Virtanen, R, Korhonen, T, Fagerholm, J, Viljanto, J. (1999). Neurocognitive sequelae of scaphocephaly. *Pediatrics* **103**: 791-795.

- Voigt, M, Friese, K., Pawlowski, P., Schneider, R.W., P. und Wermke, K. (2001).** Analyse des Neugeborenenkollektivs der Jahre 1995 - 1997 der Bundesrepublik Deutschland, 6. Mitteilung: Unterschiede in der Geburtsgewichtsklassifikation in den einzelnen Bundesländern unter Zugrundelegung einer einheitlichen Normwertkurve für Deutschland (unter Berücksichtigung anthropometrischer Merkmale der Mütter). *Analyse des Neugeborenenkollektivs der Bundesrepublik Deutschland Geburtshilfe und Frauenheilkunde* 61(3): . 700-706.
- Wasz-Hockert, O, Koivisto, M, Vuorenkoski, V, Partanen, TJ, Lind, J. (1971).** Spectrographic analysis of pain cry in hyperbilirubinemia. *Biology of the neonate* 17: 260-271.
- Watson, GH. (1971).** Relation between side of plagiocephaly, dislocation of hip, scoliosis, bat ears, and sternomastoid tumours. *Archives of disease in childhood* 46: 203-210.
- Wermke, K. (1987).** Begründung und Nachweis der Eignung des Säuglingsschreies als Indikator für zentralnervöse Funktionsstörungen des Neugeborenen - Fallstudien unter Einsatz eines speziellen Computerverfahrens. *Dissertation. Humboldt-Universität Berlin.*
- Wermke, K. (2002).** Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten Zwillingen in den ersten 5 Lebensmonaten. *Habilitationsschrift Humboldt-Universität zu Berlin.*
- Wermke, K, Birr, M, Voelter, C, Shehata-Dieler, W, Jurkutat, A, Wermke, P, Stellzig-Eisenhauer, A. (2011).** Cry melody in 2-month-old infants with and without clefts. *The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association* 48: 321-330.
- Wermke, K, Leising, D, Stellzig-Eisenhauer, A. (2007).** Relation of melody complexity in infants' cries to language outcome in the second year of life: a longitudinal study. *Clinical linguistics & phonetics* 21: 961-973.
- Wermke, K, Mende, W. (2011).** From emotion to notion. The importance of melody. *In: Decety (Hg.): Handbook of Social Neuroscience: Oxford University Press, S. 624–648.*
- Wermke, K, Robb, MP. (2010).** Fundamental frequency of neonatal crying: does body size matter? *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation* 24: 388-394.
- Wermke, KP, S.; Lamm, B.; Voit, V.; Hain, J.; Kärtner, J.; Keller, H. (2013).** Acoustic properties of comfort sounds of 3-month-old Cameroonian (Nso) and German infants. . *Speech, Language and Hearing* 16(3): 149-162.
- White, CD. (1996).** Sutural effects of fronto-occipital cranial modification. *Am J Phys Anthropol* 100: 397-410.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen Personen bedanken, die das Entstehen dieser Arbeit mit möglich gemacht haben.

Mein besonderer Dank geht an Frau Prof. Dr. Kathleen Wermke, Leiterin des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen. Ihrer kompetenten Betreuung, ihren konstruktiven Anregungen bei methodischen Fragen und insbesondere ihren fachlich wertvollen Ratschlägen verdanke ich das Gelingen dieser Arbeit. Hiermit möchte ich mich zudem für das Vertrauen in mich, eine erfolgreiche Erarbeitung der Thematik zu leisten, bei ihr herzlich bedanken.

Weiterhin spreche ich meinen Dank aus an Prof. Dr. Angelika Stellzig-Eisenhauer, Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie Würzburg, für die Möglichkeit der Mitarbeit am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen.

Für die Zweitkorrektur meiner Arbeit geht mein herzlicher Dank an PD Dr. Tilmann Schweitzer, Oberarzt der pädiatrischen Neurochirurgie und Leiter des interdisziplinären Forschungsprojektes „Dreidimensionale stereophotogrammetrische Diagnostik des Schädels und Evaluierung der Therapie bei Kindern mit kraniofazialen Fehlbildungen“. In diesem Zusammenhang gilt mein Dank ebenfalls den weiteren Projektleitern Dr. Dr. Hartmut Böhm, Prof. Dr. Philipp Meyer-Marcotty, PD Dr. Dr. Christian Linz sowie allen Mitarbeitern des Craniofazialen Zentrums Würzburg für die Bereitstellung von Materialien und Daten. Die wissenschaftliche Mitarbeiterin Frau Sandra Habel war bei der Bereitstellung von Daten und Informationen stets sehr engagiert und entgegenkommend. Dafür danke ich ihr sehr.

Ein besonderer Dank geht auch an Herrn Peter Wermke für die unermüdliche Hilfestellung bei der Datenanalyse und computertechnischen Fragen.

Mein innigster Dank gilt meinen Eltern Henk und Hilde Vink, meiner Schwester Wiebke und meinem besten Freund und Partner Henry Kölsch. Alle Arbeit und jede Minute im Labor und am PC wäre ohne ihre geduldige und aufmunternde Art nicht so gut zu bewältigen gewesen. Sie haben mich zu jeder Zeit bedingungslos unterstützt und motiviert. Für diese Hilfe und das Vertrauen in mich bin ich ihnen zutiefst dankbar.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name: Frederike Vink

Schulische Laufbahn

1996 - 2000 Grundschule Bad Laasphe-Feudingen
2000 - 2009 Gymnasium Schloss Wittgenstein, Bad Laasphe
2009: Abitur mit Latinum

Akademische Laufbahn

10/2009 - 11/2014 Studium der Zahnmedizin an der Julius-Maximilians-
Universität Würzburg

Berufliche Laufbahn

27/11/2014 Erteilung der zahnärztlichen Approbation
04/2015 - 12/2015 Assistenz Zahnärztin in Aachen
12/2015 - 12/2016 Assistenz Zahnärztin in Bad Laasphe-Feudingen
01/2017 – 05/2018 Assistenz Zahnärztin in Eschweiler
Ab 05/ 2018 Angestellte Zahnärztin in Frechen
01/02/16 - 15/03/16 Mitwirken an zahnärztlichem Hilfsprojekt Recife, Brasilien