Aus der Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie
der Medizinischen Fakultät Berlin Charité - Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Die quantitative Untersuchung des motorischen Systems (Q-Motor) bei Kindern mit orofazialer Dysfunktion

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Friederike Büttner
aus Magdeburg

Datum der Promotion: 14.09.2018

Zusammenfassung

Hintergrund: Eine orofaziale Dysfunktion (OFD) liegt vor, wenn ein funktionelles Ungleichgewicht im orofazialen System zu Veränderungen führt, wodurch Artikulation (Sprechen), Kauen, Schlucken und Atmen betroffen sein können [1], [2]. Es wird angenommen, dass darüber hinaus ein Zusammenhang zwischen den orofazialen und feinmotorischen Fähigkeiten sowie dem Rhythmusgefühl besteht [3], [4]. Da bisher noch kein einheitliches standardisiertes diagnostisches Vorgehen zur Erfassung von orofazialen Dysfunktionen im deutschsprachigen Raum existiert, wäre es erstrebenswert, die Symptome der OFD objektiv zu erfassen und daran im Verlauf den Therapieerfolg beurteilen zu können [5], [6].

Ziel: In der vorliegenden Arbeit wird die quantitative Messung des motorischen Systems (Q-Motor) bei Kindern mit und ohne OFD durchgeführt.

Methodik: Bei 30 Versuchs- (8,5 ± 2,3 Jahre) und 30 Kontrollpersonen (9,6 ± 2,2 Jahre) erfolgte eine ausführliche Diagnostik nach einem etablierten und standardisiertem Verfahren zur Erfassung orofazialer Funktionen [7]. Die Messung Q-Motor schloss sich bei allen Teilnehmern an. Für die statistische Analyse der Daten wurde das Signifikanz-Niveau auf $p \leq 0{,}05$ festgelegt und der Exakte Test nach Fisher, Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, die lineare Regression und der Spearmans Rangkorrelationskoeffizient angewendet. Die Messwerte wurden in Streu- und Balkendiagrammen oder Boxplots dargestellt.

Ergebnisse: Insgesamt unterscheiden sich Versuchs- und Kontrollgruppe in allen Messungen. Bei der Messung der Zungenprotrusionskraft (ZPK) (0,5 N) sind die Ergebnisse der Parameter *Kraftvariabilität* ($p = 0{,}009$), *Präzision* ($p \pm 10\ \% = 0{,}043$, $\pm 20\ \% = 0{,}015$, $\pm 50\ \% = 0{,}005$), *Ausdauer* (p bei Ausdauer $< 20\ \% = 0{,}005$, $< 50\ \% = 0{,}037$) und *Kontaktzeit* ($p = 0{,}005$) statistisch signifikant different. Im Gegensatz dazu kann bei der Messung der ZPK (0,25 N) nur bei dem Resultat des Parameters *Präzision ± 50 %* ($p = 0{,}039$) signifikant zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe differenziert werden. Beim Speeded Tapping unterscheiden sich Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Ergebnisse der Parameter *Tap Dauer* ($p = 0{,}001$), *Tap Kraft* ($p = 0{,}003$), *Variationskoeffizient der Tap Kraft* ($p = 0{,}004$) sowie *Frequenz* ($p = 0{,}047$) signifikant. Beim Metronome Tapping ist dies bei den Ergebnissen der Parameter Δ *Inter Onset Interval* ($p = 0{,}001$), die Δ *Inter Peak Interval* ($p < 0{,}001$), das *Inter Tap Interval* ($p < 0{,}001$), die Δ *Mid Tap Interval* ($p = 0{,}001$) und der *Frequenz* ($p = 0{,}08$) der Fall. Bei den Fingertap-Versuchen kann ein Einfluss der Symptome auf einzelne Messparameter nachgewiesen und die Korrelation der Messergebnisse der Q-Motor-Messung mit dem Schweregrad der OFD gezeigt werden.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse der Q-Motor-Messung zeigen, dass Kinder mit OFD

ihre Zungenkraft im Vergleich zu gesunden Kindern signifikant schlechter steuern können, größere Schwierigkeiten haben ihre Zeigefinger beim schnellen Tippen zu koordinieren und ein deutlich schlechter ausgeprägtes Rhythmusgefühl aufweisen. Der Einsatz der Q-Motor-Messung könnte im klinischen Alltag Zugewinn sein.

Abstract

Background: Oro-facial dysfunctions (OFD) consist of muscular imbalances which can affect orofacial functions like articulation (speaking), swallowing, chewing and breathing [1], [2]. Furthermore, it is assumed that OFD is connected to the fine motor skills of the hand and the sense of rhythm [3], [4]. To date, no standardized diagnostic procedure to record orofacial functions exists in the German-speaking area and none of the multiple approaches have proven to be effective for all patients. Therefore, a special need exists to objectively investigate the symptoms of OFD and, thereby, to be able to control therapy success [5], [6].

Purpose: The purpose of this study was to perform the quantitative measurement of the motor function (q-motor) on children with and without OFD.

Methods: 30 test persons (8,5 ± 2,3 years) and 30 control persons (9,6 ± 2,2 years) were examined using established and standardized clinical diagnostics to record their orofacial functions [7]. Afterwards the q-motor-measurement was performed on all children. Statistical significance was accepted at the level of $p \leq 0{,}05$. Fisher's Exact Test, the Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, linear regression and Spearman's rank correlation coefficient were used to analyse the data and results were presented in bar- and scatter diagrams as well as boxplots.

Results: The two groups differed in all tasks of the q-motor-measurement. The results of the measurement of the tongue-protrusion-force (TPF) (0.5 N) discriminated significantly between children with and without OFD for the parameters *coefficient of variation (COV) TPF* ($p = 0.009$), *precision* ($p \pm 10\ \% = 0.043$, $\pm 20\ \% = 0.015$, $\pm 50\ \% = 0.005$), *endurance* ($p < 20\ \% = 0.005$, $< 50\ \% = 0.037$) and *contact time* ($p = 0.005$). At TPF (0.25 N) only the parameter of *precision ± 50 %* ($p = 0.039$) shows a significant difference between the patients and the control group. The two groups also differed significantly at the speeded tapping task for the parameters *tap duration* ($p = 0.001$), *tap force* ($p = 0.003$), *COV tap force* ($p = 0.004$) and *frequency* ($p = 0.047$). Patients and control group also varied for the parameters Δ *inter onset interval* ($p = 0.001$), Δ *inter peak interval* ($p < 0.001$), *inter tap interval* ($p < 0.001$), Δ *mid tap interval* ($p = 0.001$) and *frequency* ($p = 0.08$) at the metronome tapping task. Furthermore particular symptoms influenced the results of individual parameters of the finger-tapping tasks. The severity of OFD correlated with the results of the q-motor-measurement.

Conclusion: Significantly lower results of the q-motor-measurement were obtained in children with OFD for the TPF-task (0.5 N). Their abilities to coordinate their tongue's power, their index finger for speeded tapping and their capacity to reproduce rhythms during the

metronome tapping task are significantly lower. The knowledge of these findings can positively influence the prospective diagnosis and therapy control for patients with OFD.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung . . . 2
Abstract . . . 4

Abbildungen **8**

Tabellen **10**
Abkürzungsverzeichnis . . . 11

1 Einleitung **12**
1.1 Sprache und Sprechen . . . 12
1.2 Sprachentwicklungsstörungen . . . 15
1.3 Definition der orofazialen Dysfunktion (OFD) . . . 17
1.4 Ursachen der OFD . . . 18
1.5 Symptome der OFD . . . 19
1.6 Diagnostik . . . 23
1.6.1 Standardisierte Diagnosebögen . . . 23
1.6.2 Ausführliche Diagnostik einer OFD . . . 24
1.7 Therapieansätze der OFD . . . 26
1.8 Übergeordnete Zusammenhänge der Motorik in Hinblick auf das Vorliegen einer Sprach- und Sprechstörung . . . 27
1.9 Herleitung der Fragestellung . . . 28
1.9.1 Bisheriger Forschungsstand . . . 28
1.9.2 Fragestellung und Hypothesen . . . 30

2 Methoden **32**
2.1 Darstellung der Stichprobe . . . 32
2.2 Erhebung des OFD-Befundes und Prüfung der Einschlusskriterien . . . 33
2.3 Ablauf der Messung „Q-Motor“ . . . 35
2.4 Auswertung der Daten . . . 42

3 Ergebnisse **43**
3.1 Deskriptive Statistik der Stichprobe . . . 43
3.2 Messung der isometrischen Zungenprotrusionskraft (ZPK): „Tongue Low“ (0,25 N) und „Tongue High“ (0,5 N) . . . 45
3.2.1 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Ergebnisse der Messung der isometrischen ZPK . . . 45
3.2.2 Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Messung der isometrischen ZPK und Symptomen der OFD . . . 52
3.2.3 Korrelation des Schweregrades der OFD mit den Ergebnissen der Messung der isometrischen ZPK . . . 53

3.3 Fingertap-Versuche: Speeded- und Metronome Tapping 56
3.3.1 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Ergebnisse der Fingertap-Versuche 56
3.3.2 Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Fingertap-Versuche und Symptomen der OFD 62
3.3.3 Korrelation des Schweregrades der OFD mit den Ergebnissen der Fingertap-Versuche 63

4 Diskussion **68**
4.1 Einführende Worte zur Diskussion 68
4.2 Stichprobe 68
4.2.1 Stichprobenumfang 68
4.2.2 Intelligenz und Hörvermögen der Probanden 69
4.2.3 Altersverteilung 69
4.2.4 Verteilung des Geschlechts 70
4.2.5 Verteilung der Händigkeit 70
4.2.6 Summenscore 71
4.2.7 Zusammenfassung der Diskussion zur Stichprobe 71
4.3 Statistik 71
4.4 Messung der isometrischen Zungenprotrusionskraft 72
4.4.1 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Ergebnisse der Messung der isometrischen ZPK 72
4.4.2 Korrelation des Schweregrades der OFD mit den Ergebnissen der Messung der isometrischen ZPK 75
4.5 Fingertap-Versuche 78
4.5.1 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Ergebnisse der Fingertap-Versuche 78
4.5.2 Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Fingertap-Versuche und Symptomen der OFD 83
4.5.3 Korrelation des Schweregrades der OFD mit den Ergebnissen der Fingertap-Versuche 85
4.6 Begrenzungen der Studie 86

5 Zusammenfassung der Diskussion und Ausblick **88**
5.1 Zusammenfassung der Diskussion 88
5.2 Ausblick 89

6 Anhang **90**
6.1 Eidesstattliche Versicherung 90
6.2 Anteilserklärung 91
6.3 Lebenslauf 92

Literaturverzeichnis **93**

Abbildungen

1.1 Querschnitt des Mund- und Rachenraums 12
1.2 Anatomie der Glottis 13
1.3 Brodmann-Areale 14
1.4 Symptomenkomplex bei orofazialer Dysfunktion 20
1.5 Facies adenoidea 23
1.6 Prüfkörper für die orale Stereognose 26
1.7 Lippenwaage 26

2.1 Foto des Versuchsaufbaus zur Messung der isometrischen ZPK 35
2.2 Gezeichneter Versuchsaufbau zur Messung der isometrischen ZPK 38
2.3 Auswertung der Zungenkraft 39
2.4 Darstellung des Parameters „Präzision“ (Tongue High, 0,5 N) 39
2.5 Darstellung des Parameters „Ausdauer“ (Tongue High, 0,5 N) 40
2.6 Gezeichneter Versuchsaufbau der Fingertap-Versuche 40
2.7 Auswertung des Versuchs „Speeded Tapping“ 41
2.8 Auswertung des Versuchs „Metronome Tapping“ 41

3.1 Boxplot Summenscore 44
3.2 Boxplot Präzision ± 50 % (Tongue Low) 45
3.3 Boxplot Ausdauer < 10 % (Tongue High) 48
3.4 Boxplot Ausdauer < 20 % (Tongue High) 48
3.5 Boxplot Ausdauer < 50 % (Tongue High) 49
3.6 Boxplot Präzision ± 10 % (Tongue High) 49
3.7 Boxplot Präzision ± 20 % (Tongue High) 50
3.8 Boxplot Präzision ± 50 % (Tongue High) 50
3.9 Boxplot Kraftvariabilität (Tongue High) 51
3.10 Boxplot Kontaktzeit (Tongue High) 51
3.11 Korrelation zwischen Summenscore und Präzision ± 20 % (Tongue High) . . 54
3.12 Korrelation zwischen Summenscore und Präzision ± 50 % (Tongue High) . . 55
3.13 Korrelation zwischen Summenscore und Ausdauer < 50 % (Tongue High) . . 55
3.14 Boxplot Tap Kraft (Speeded Tapping) 57
3.15 Boxplot Frequenz (Speeded Tapping) 58
3.16 Boxplot Tap Dauer (Speeded Tapping) 58
3.17 Boxplot COV TK (Speeded Tapping) 59
3.18 Boxplot Δ Inter Onset Interval (Metronome Tapping) 59
3.19 Boxplot Δ Inter Peak Interval (Metronome Tapping) 60
3.20 Boxplot Frequenz (Metronome Tapping) 60
3.21 Boxplot COV Tap Kraft (Metronome Tapping) 61
3.22 Boxplot Mid Tap Interval (Metronome Tapping) 61
3.23 Korrelation zwischen Summenscore und Frequenz (Speeded Tapping) 64
3.24 Korrelation zwischen Summenscore und Mid Tap Interval (Speeded Tapping) 65

3.25 Korrelation zwischen Summenscore und Tap Dauer (Speeded Tapping) . . . 65
3.26 Korrelation zwischen Summenscore und Δ Inter Onset Interval (Metronome Tapping) . . . 66
3.27 Korrelation zwischen Summenscore und Δ Inter Peak Interval (Metronome Tapping) . . . 66
3.28 Korrelation zwischen Summenscore und Δ Mid Tap Interval (Metronome Tapping) . . . 67

Tabellen

3.1 Kennzahlen der Stichprobe nach Geschlecht, Alter, Händigkeit sowie nach dem Summenscore der Ausprägung der OFD-Symptome dargestellt 44
3.2 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe bei der Messung „Tongue Low“ (0,25 N) sowie die Darstellung der Mediane und Quartile für Kinder mit OFD und Kontrollen 46
3.3 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe bei der Messung „Tongue High“ (0,5 N) sowie die Darstellung der Mediane und Quartile für Kinder mit OFD und Kontrollen 47
3.4 Untersuchung des Einflusses einzelner Funktionen von Lippen und Zunge auf die Kontaktzeit, Ausdauer sowie die Präzision bei der Q-Messung „Tongue High“ (0,5 N) 52
3.5 Korrelation des Summenscores mit den Messergebnissen „Tongue Low“ (0,25 N) und „Tongue High“ (0,5 N) 53
3.6 Ergebnisse der Figertapversuche: Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe 56
3.7 Kennzahlen der Fingertapversuche: Mediane und Quartile 57
3.8 Untersuchung des Einflusses einzelner Symptome auf die Ergebnisse der Messung „Speeded Tapping“ 62
3.9 Untersuchung des Einflusses einzelner Symptome auf die Ergebnisse der Messung „Metronome Tapping“ 63
3.10 Korrelation des Summenscores mit den Messergebnissen der Fingertappversuche 64

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
ASHA	American Speech-Language-Hearing Association
CAS	Childhood Apraxia of Speech, Sprechapraxie
COV	coefficient of variation, Variationskoeffizient
CPM	Coloured Progressive Matrices, nonverbaler Intelligenztest
IQ	Intelligenzquotient
KP	Kontrollperson, gesund
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
N.	Nervus
NOT-S	Nordic Orofacial Test-Screening
OFD	Orofaziale Dysfunktion
OMES	Orofacial Myofunctional Evaluation with Scores
PNS	Peripheres Nervensystem
PISA	Programme for International Student Assessment, Programm zur internationalen Schülerbewertung
p-Wert	probability-value, Wahrscheinlichkeit
Q-Motor	Quantitative Messung des motorischen Systems
r	Korrelationskoeffizient
SD	Standardabweichung
SES	Sprachentwicklungsstörung
tap	Fingertippen
TOME	Traditional Orofacial Myofunctional Evaluation
TPK	tongue protrusion force
V.	Vena
VP	Versuchsperson, Person mit OFD
ZNS	Zentrales Nervensystem
ZPK	Zungenprotrusionskraft

1 Einleitung

1.1 Sprache und Sprechen

Die Sprache ist die wichtigste Form der zwischenmenschlichen Kommunikation. Das Erlernen der Sprache nimmt einen langen Zeitraum ein und stellt bei Kindern einen wichtigen Meilenstein in ihrer Entwicklung dar [8]. Damit das Erlernen der Sprache möglich ist, müssen verschiedene genetische Voraussetzungen wie die Anlage und Ausbildung der Stimm- und Sprechorgane, des peripheren und zentralen Gehörs und die Fähigkeit der neuronalen Vernetzung während des Lernprozesses erfüllt sein. Das Lernen der Sprache ist darüber hinaus von zahlreichen externen Faktoren, wie zum Beispiel von der Zuwendung der Bezugspersonen zum Kind abhängig. All dies ist eine Erklärung für die hohe Variabilität der normalen Sprachentwicklung bei Kindern [9].

Phonation und Artikulation

Sprache kann in verschiedene Teilbereiche untergliedert werden. Sie setzt sich sowohl aus der grob- und feinmotorischen, als auch der auditiven und visuellen Verarbeitung zusammen und enthält kognitive, verbale und emotionale Anteile [10]. Der Sprache untergeordnet ist das „Sprechen“, was die Fähigkeit bezeichnet, in einer Sprache formulierte Gedanken durch hörbare Wörter mit Hilfe der Sprech- und Stimmorgane auszudrücken.

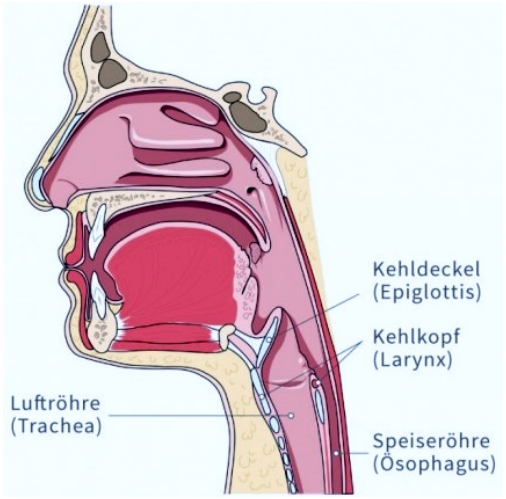

Abb. 1.1: Querschnitt des Mund- und Rachenraums: Position des Layrynx [11]

Durch Schallerzeugung im Kehlkopf entsteht die Stimme. Fließt der Ausatemstrom der Lunge durch den Kehlkopf, passiert er die Stimmlippen. Diese bestehen aus dem Ligamentum (Lig.) vocale und dem Musculus (M.) vocalis, welche von Mukosa überzogen sind. Sie bilden mit den Stellknorpeln des Kehlkopfes die Glottis. Befinden sich die Stimmlippen in Phonationsstellung, bedeutet dies, dass sie locker aneinander liegen und somit die Glottis verschließen (Abb. 1.1 und 1.2).

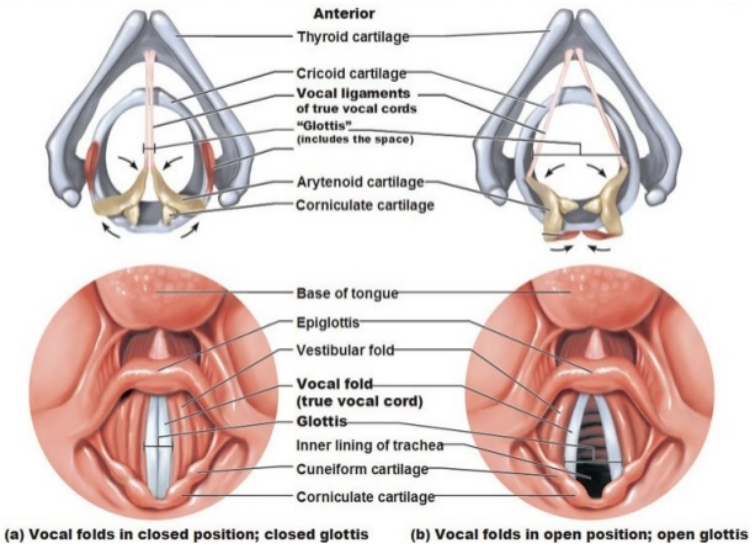

Abb. 1.2: Anatomie der Glottis mit geschlossenen (a) und offenen (b) Stimmlippen [11]

Werden die Stimmlippen durch die ausströmende Luft in Schwingung versetzt, erreicht die Luft stoßweise den Resonanzraum, bestehend aus Rachen-, Nasen- und Mundhöhle, wodurch auch die Luft im Mundraum in Schwingung versetzt wird und ein Klang entsteht. Durch die Bewegung der Zunge sowie dem Zusammenspiel von Lippen, Zunge und Stimmlippen wird der Klang zu einzelnen Lauten geformt. Dieser Vorgang wird als Artikulation bezeichnet [12], [13].

Die Repräsentation von Sprache im Gehirn und Besonderheiten der Sprechmotorik

Um Wörter zu artikulieren, werden die genau vorgegebenen Bewegungen der Sprechorgane durch das motorische Sprachzentrum, der Broca-Region (Area 44 und 45 nach Brodmann, Abb. 1.3), im präfrontalen Kortex gesteuert. Die Kontrolle des Sprechens erfolgt vornehmlich durch das Hören, wobei die Integration der Informationen durch das Hören und die Sprachproduktion im Hör-Sprach-Kreis beschrieben wird: Die Schallwelle wird im Innenohr in einen elektrischen Reiz umgewandelt und kann nun im zentralen Nervensystem (ZNS) weiterverarbeitet werden. Diese neuronale Erregung gelangt über die zentrale Hörbahn zur sensorischen Sprachregion (Wernicke-Region, Area 22 nach Brodmann), um dem Gehörten dort durch Integration von Psyche und Intelligenz auch eine Bedeutung beizumessen [10], [14], [15].

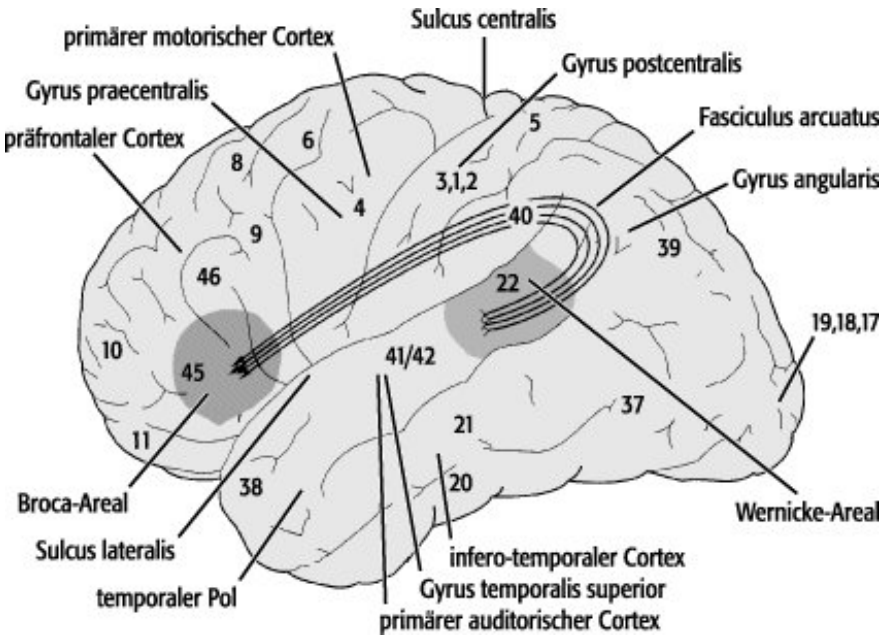

Abb. 1.3: Brodmann-Areale, die an der Sprachproduktion und -verarbeitung beteiligt sind [16]

Eine Besonderheit der Repräsentation der Sprache im Gehirn ist die Lokalisation des Sprachzentrums. Im Gehirn wird jeweils die kontralaterale Körperhälfte repräsentiert und die motorische Steuerung erfolgt ebenfalls nach diesem Prinzip. Dies bedeutet zum Beispiel, dass in der linken Großhirnhemisphäre die Informationen und Anweisungen für die rechte Hand generiert werden. Im Gegensatz dazu ist das motorische Sprechzentrum (Broca-Areal) mehrheitlich nur in einer Gehirnhälfte lokalisiert, obwohl die sprachproduzierenden Organe symmetrisch in beiden Körperhälften liegen. So befindet sich bei Rechtshändern das Sprechzentrum meist in der linken Hemisphäre des Großhirns, so dass bei Sprechbewegungen der linke motorische Kortex, die Basalganglien der linken Gehirnhälfte und das rechte Cerebellum aktiv sind [17], [18]. Eine weiterer Besonderheit der Sprechmotorik ist, dass diese sich von allen anderen motorischen Systemen des Körpers, vor allem denen der Gliedmaßen, hinsichtlich der Variabilität von Muskelfasertypen, Geschwindigkeit und Präzision der Bewegungen sowie ihrer hohen Ermüdungsresistenz unterscheidet. Dabei sind verschiedene Muskelklassen an der Sprachproduktion beteiligt: die Kaumuskeln, der M. orbicularis oris und die Konstriktoren des Pharynx und des Velopharynx, die in- und extrinsischen Muskeln der Zunge, die Muskulatur des Larynx und Atemmuskulatur [17].

Das Erlernen der Sprache

Der Erwerb der Sprache ist ein lang andauernder Prozess, der schon vor der Geburt beginnt und sehr wichtige Grundkompetenzen bereits in den ersten vier Lebensjahren erlernt werden. Eine Erweiterung auf allen sprachlichen Ebenen erfolgt bis zur Pubertät [12].

1.2 Sprachentwicklungsstörungen

Störungen der Sprachentwicklung und Kognition treten bei Kindergartenkindern in Deutschland im Alter von drei bis sechs Jahren mit einer Prävalenz von 3,6 bis 15 % je nach Definition und Datenerhebung auf [19], [20]. Die Inzidenz von Sprachentwicklungsstörungen liegt bei 9,7 % [21]. Bei der Einschätzung der Sprachentwicklung müssen die allgemeine motorische, neurokognitive und orofaziale Entwicklung sowie die Kau- und Schluckfunktion berücksichtigt werden. Sprachliche Auffälligkeiten müssen laut Definition inhaltliche und zeitliche Abweichungen auf mindestens zwei linguistischen Ebenen aufweisen. Zu den vier linguistischen Ebenen zählen die phonetisch-phonologische, semantisch-lexikalische, syntaktisch-morphologische Ebene und die pragmatisch-kommunikative Ebene [22].

Die sprachliche Beeinträchtigung kann neben den linguistischen Ebenen auch auf verschiedenen kommunikativen Ebenen vorliegen. Dabei wird zwischen einer rezeptiven, expressiven oder gemischt rezeptiv-expressiven Störung unterschieden [9], [23].

Im deutschsprachigen Raum werden Sprachentwicklungsstörungen (SES) nach der aktuellen S2k-Leitlinie der Fachgesellschaften und Berufsverbände „Diagnostik von Sprachentwicklungsstörungen (SES) unter Berücksichtigung umschriebener Sprachentwicklungsstörungen (USES)“ (16.12.2011) [24] wie folgt unterteilt:

1. **Primäre Sprachentwicklungsstörung (SES) = spezifische SES (SSES) = umschriebene SES (USES):**

   Bei der primären SES handelt es sich um eine Beeinträchtigung des Spracherwerbs sowie des Aufbaus eines sprachlichen Regelsystems, welche nicht dem Altersdurchschnitt entsprechen. Die allgemeine Entwicklung sowie die nonverbale Intelligenz sind jedoch altersentsprechend. Der Begriff der USES wird ab dem 3. Lebensjahr verwendet. Es liegen keine Defizite in der sensorischen, organischen, mentalen oder sozial-emotionalen Entwicklung vor. Es gibt jedoch Hinweise, dass genetische Faktoren eine erhebliche Rolle für das Vorliegen einer primären SES spielen und so wird angenommen, dass bestimmte Genorte (16q und 19q) im Zusammenhang mit dem Auftreten einer primären SES stehen können [12], [25]. Tritt vor dem dritten Geburtstag bei Kindern eine Abweichung der Sprachentwicklung von mehr als sechs Monaten von der Altersnorm auf, wird von einer „Sprachentwicklungsverzögerung“ (SEV) gesprochen. Diese kann in eine SES übergehen.

2. **Sekundäre SES:**

   Die sekundäre SES kann im Gegensatz zur primären SES auf eine bestimmte Ursache zurückgeführt werden. So kann die sekundäre SES als Folge von frühkindlichen Hörstörungen, einer Intelligenzminderung oder anderen sensorischen Beeinträchtigungen durch weitere Sinnesbehinderungen (z.B. Blindheit) sowie Mehrfachbehinderungen auftreten. Neben syndromalen Erkrankungen werden auch tiefgreifende Entwicklungs-

störungen und Störungen der sozialen Funktion (z.B. elektiver Mutismus) als Grund für das Vorliegen einer sekundären SES genannt. Ebenfalls können neben den oben aufgeführten Ursachen ungünstige genetische Faktoren, wie Spontanmutationen auf den für die Sprache kritischen Genabschnitten und biologische Risiken wie Frühgeburtlichkeit, niedriges Geburtsgewicht, perinatale Komplikationen sowie rezidivierende Ohrentzündungen eine sekundäre SES bedingen [26].

3. Andere Störungen des Sprech- und Spracherwerbs:

a) Umschriebene Entwicklungsstörungen der motorischen Funktion

i. Artikulationsstörung

Bei einer Artikulationsstörung ist die Artikulation isoliert betroffen. Dies ist oftmals auch bei Kindern mit orofazialer Dysfunktion (OFD) der Fall (siehe Kapitel 1.3).

ii. Orofaziale Störung (zum Beispiel OFD) (siehe Kapitel 1.3)

iii. Sprechapraxie im Kindesalter/ verbale Entwicklungsdyspraxie/ orofaziale Dyspraxie

Unter Sprechapraxie im Kindesalter versteht man eine zentralmotorische Störung des Sprechens. Das heißt, die motorischen Sprechbewegungen werden nicht ausgeführt, obwohl die sprechmotorischen Werkzeuge intakt sind. Bei der verbalen Entwicklungsdyspraxie soll eine Planungsstörung der willkürlichen Artikulationsbewegungen vorliegen. Es wird angenommen, dass die willkürliche Umsetzung der Artikulation nicht möglich ist. Reflektorische Bewegungen der Zunge laufen jedoch problemlos ab [12]. Die Nomenklatur ist im deutschsprachigen Raum bisher uneinheitlich.

b) Des Weiteren werden Redeflussstörungen (Stottern, Poltern) ebenfalls zu den Sprech- und Sprachstörungen gezählt, auf die hier nicht weiter eingegangen wird [24].

Zu den klassischen Symptomen der SES zählen drei Leitsymptome: 1. Artikulationsstörung (Dyslalie; phonetisch - phonologische Störung), 2. Dysgrammatismus und 3. Wortschatzarmut [12]. Die Unfähigkeit bestimmte Phoneme zu bilden, definiert die phonetische Störung. Bei der phonologischen Störung liegt eine fehlerhafte Lautauswahl, bzw. Lautsequenzierung vor. So kann die Funktion der Phoneme so weit verändert sein, dass Wörter nicht mehr differenziert werden können, wobei häufig eine motorische Störung Ursache für die beeinträchtigte Bildung ist [9], [12], [24].

Andere Störungen, die den Sprech-und Spracherwerb beeinflussen, sind von USES und sekundären SES abzugrenzen, können jedoch mit ihnen assoziiert sein. Dazu zählt auch die

umschriebene Entwicklungsstörung der orofazialen, also mundmotorischen Funktion (OFD).

1.3 Definition der orofazialen Dysfunktion (OFD)

Das orofaziale System umfasst alle Muskeln und Organe oberhalb der Glottis, die an der Laut- bzw. Sprachbildung beteiligt sind [12], [27]. Neben der Sprache gehören zu den orofazialen Funktionen des Menschen die emotionale und nonverbale Kommunikation, die Bildung des bestehenden Gesichtsausdrucks sowie die vitalen Funktionen wie Atmen, Kauen und Schlucken. Diesen einzelnen Aufgaben liegen komplexe motorische Abläufe zu Grunde, welche vom ZNS und vom neuromuskulären System koordiniert werden [1].

Eine OFD liegt vor, wenn ein Ungleichgewicht im orofazialen System zu morphologischen oder funktionellen Veränderungen führt.

Ein muskuläres Gleichgewicht und das harmonische Zusammenspiel von Muskeln, Knochen und Zähnen im Kopf-Hals-Bereich bilden die Basis für eine koordinierte Motorik im orofazialen System und eine ungestörte Sprach- und Sprechentwicklung. Ist diese Integrität während des Wachstums gestört, kommt es zu einem muskulären Ungleichgewicht im Mund-, Gesichts-, Hals- und Nackenbereich. Dies kann zu Störungen von Bewegungsabläufen sowie Zahn-, Knochen- und Gelenkfehlstellungen führen. Zusätzlich kann eine Störung in der Bewegungsplanung vorliegen, was zu dyspraktischen Bewegungsanteilen oder einer orofazialen Dyspraxie führen kann [28]. Dadurch können sowohl die Kraft als auch die Koordination der Muskeln, die das Sprechen, Kauen und Schlucken ermöglichen, vermindert sein und das klinische Bild einer OFD hervorrufen [12].

Die gesamte Sprech- und Sprachproduktion ist das Ergebnis eines komplexen motorischen Vorgangs. Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen haben häufig ebenfalls Probleme bei anderen motorischen Leistungen [29]. So können auch bei Kindern mit OFD nicht nur die motorische Koordination der Gesichtsmuskeln und der Zunge, sondern oftmals ebenso die Feinmotorik, Sensibilität und Kraftentwicklung der Hände und Finger betroffen sein [12].

Besonders große Schwierigkeiten haben Kinder mit OFD bei der Artikulation und der altersentsprechenden Bildung von Phonemen, was durch Koordinationsschwierigkeiten der Zunge sowie der eingeschränkten Sensomotorik der sprech- und stimmbildenden Organe verursacht werden soll [6], [12]. Da die Ausbildung des Lautinventars erschwert ist, wird häufig das gesamte Sprachsystem beeinträchtigt, so dass eine Aussprachestörung häufig im Zusammenhang mit einer Sprachentwicklungsstörung auftritt, die mehr als nur die phonetisch-phonologische Ebene betrifft. Dies kann in eine schwere Kommunikationsstörung münden, sodass betroffene Kinder nahezu unverständlich sprechen. Kinder mit OFD haben oftmals große Probleme beim Kauen und beim Schlucken [5], [12] (siehe ebenfalls Kap. 1.7).

Angaben zur Prävalenz der OFD im Kindesalter schwanken von 60,6 % bei 3041 untersuchten deutschen Kindern mit Milch- und Wechselgebiss mit einem Altersdurchschnitt von 4,5 Jahren [30] und 19,8 % in einer weiteren Studie bei 102 untersuchten Kindern in Deutschland

im Alter von fünf bis sieben Jahren [31].

Neben den funktionellen Einschränkungen, die im Alltag durch erschwerte Kommunikation, Schwierigkeiten beim Kauen sowie Schlucken des produzierten Speichels und der Nahrung sehr behindernd sein können, kann eine OFD von den Betroffenen auch als ästhetisches und emotional beeinflussendes Problem wahrgenommen werden [1], [2]. Es ist bekannt, dass Kinder mit SES auch als Erwachsene sprachliche Auffälligkeiten zeigen und weniger erfolgreich im Schul- und Berufsleben sind als Personen ohne Sprech- und Sprachstörungen [32]. Wenn man davon ausgeht, dass eine bestimmte Anzahl an Kindern mit SES eine große Schnittmenge mit Kindern mit OFD hat, scheint es von großer Bedeutung zu sein, eine OFD rechtzeitig zu diagnostizieren, um sie frühzeitig und möglichst gezielt zu therapieren. Nur auf diesem Weg können die funktionelle Harmonisierung von kraniofazialem Wachstum, Körperhaltung und Dentitionsentwicklung sowie optimale Bedingungen für den Spracherwerb und damit für die spätere Schul- und Berufsausbildung erreicht werden [5], [6].

1.4 Ursachen der OFD

Für orofaziale Dysfunktionen konnte bislang keine monokausale Ursache nachgewiesen werden. Zudem liegen keine eindeutigen Forschungsergebnisse zu den Risikofaktoren für das Auftreten einer OFD vor [28], [33]. Eine OFD kann sowohl ohne Ursache als primäre, spezifische OFD auftreten als auch sekundär, als Folge von Syndromen oder Bewegungsstörungen.

Bei einer primären OFD, welche nicht auf eine sensorische oder organische Ursache zurückgeführt werden kann, zählen jedoch genetische Veränderungen zu der wahrscheinlichsten Ursache, welche zu den sprechmotorischen Veränderungen führen können. So konnte in verschiedenen Studien, beispielsweise bei einer Familie in Großbritannien (KE-Familie) und einigen Einzelindividuen mit einer heterozygoten Missense-Mutation im FOXP2-Gen, welches auf Chromosom 7 liegt, eine genetische Ursache für das Vorliegen einer OFD gezeigt werden [34].

Treten orofaziale Dysfunktionen sekundär auf, können beim Vorliegen von Syndromen wie Down Syndrom, Myasthenia gravis oder Moebius-Syndrom (eine angeborene Facialisparese durch eine Fehlbildung von Zellen im Hirnstamm) die Integrität aus muskulärer Funktion und Knochenwachstum eingeschränkt sein und Veränderungen der Gebissmorphologie beobachtet werden [12].

Ebenso können Fehlbildungen und zentrale oder periphere Bewegungsstörungen das Auftreten einer sekundären OFD bedingen. Beispiele für Fehlbildungen, welche die Sprechmotorik der betroffenen Personen beeinflussen können, sind das Vorliegen von einer Lippen-Kiefer-Gaumenspalte, Zahnfehlstellungs- und Kieferanomalien oder Zungenveränderungen. Zu den zentralen Bewegungsstörungen zählen die infantile Zerebralparese, der Hydrozephalus, Hirntumoren, zentrale Paresen und systemische Erkrankungen wie Stoffwechselstörungen (z.B. Galaktosämie). Zudem können sich auch periphere Paresen oder Myopathien auf die

Sprechmotorik auswirken [5], [12], [20], [27], [35].

Daneben existieren verschiedene Faktoren, die das Auftreten einer OFD begünstigen können: Frühgeburtlichkeit und ein Geburtsgewicht unter 1500 g, ein falsch erlerntes, bzw. persistierendes infantiles Schluckmuster (siehe Kapitel 1.5), unphysiologische Kopf- und Körperhaltung, Mundatmung, Makroglossie, Ankyloglossie, Hypertrophie der adenoiden Vegetationen und Tonsillenhypertrophie, Störungen der sensorisch-taktilen Kontrolle, orale Habits und nicht altersentsprechende Nahrung lassen das Auftreten einer OFD in der weiteren Entwicklung des Kindes wahrscheinlicher werden [12], [20].

In einer weiteren Studie wurden funktionelle MRT-Untersuchungen des Gehirns durchgeführt und es konnten strukturelle Abweichungen im linken supramarginalen Gyrus des Lobus parietalis (Area 40 nach Brodmann) bei Kindern mit Sprechstörungen festgestellt werden [28]. Dies lässt vermuten, dass die Integration von sensomotorischen und auditiven Informationen und somit auch die sensomotorische Feedbackschleife gestört ist. So könnte es zur fehlerhaften Integration von Informationen kommen, die für die Sprachproduktion relevant sind. Zudem wurde gezeigt, dass bei Kindern mit Sprech- und Sprachstörungen das Volumen dieser Area 40 verändert ist. Erstmals wurde damit eine strukturelle Veränderung des Gehirns als mögliche Ursache einer Sprach- oder Sprechstörung benannt [28]. Hier liegt die Vermutung nahe, dass ähnliche Veränderungen auch bei Kindern mit OFD vorzufinden sein könnten, da eine SES von einer OFD grundsätzlich abzugrenzen ist, jedoch mit dieser assoziiert sein kann [9].

1.5 Symptome der OFD

Das orofaziale System bildet durch das Zusammenwirken seiner Bestandteile (Gesichts- und Mundmuskulatur, Zunge, Kieferknochen und Zähne) eine funktionelle Einheit, deren einzelne Komponenten sich in der Entwicklung gegenseitig beeinflussen. Dementsprechend ist das Wachstum der Kieferknochen auch von äußeren Einflüssen abhängig: Durch das Kauen fester Nahrung wird der Knochen stärker mineralisiert und die entgegengesetzt wirkenden Kräfte von Wangen-, Lippen- und Zungenmuskulatur bedingen die Position der Zähne. Daher ist für eine normale Entwicklung des Gebisses der Tonus der Wangen-, Lippen- und Zungenmuskulatur entscheidend, da auch der physiologische Aufbau der Mundhöhle und eine normale Zahnposition wichtige Voraussetzungen für den störungsfreien Ablauf der Funktionen, wie zum Beispiel Schlucken und Sprechen, sind [6]. Störungen in einer oder mehreren Komponenten führen zu den klassischen Symptomen einer OFD, die im Folgenden näher erklärt werden (Abb. 1.4).

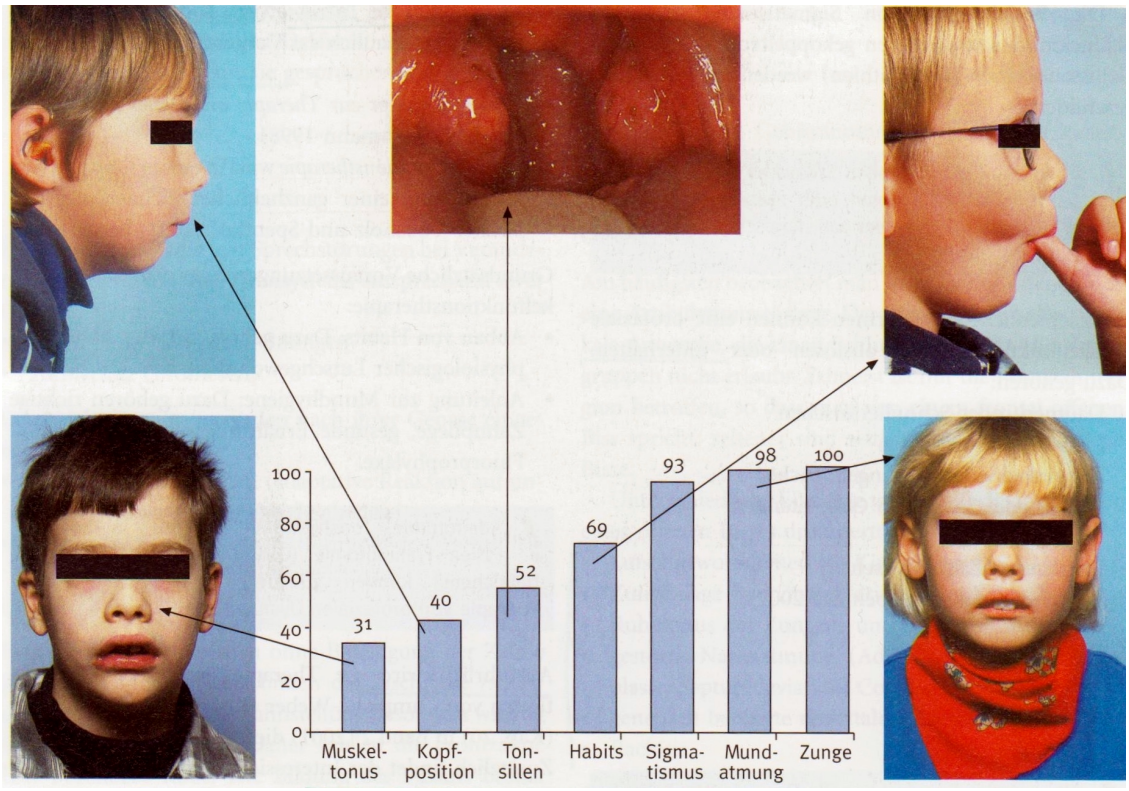

Abb. 1.4: Symptomenkomplex bei orofazialer Dysfunktion [36]

1. **Habituelle Mundatmung und Sigmatismus**

   Die habituelle Mundatmung kommt in 98 % bei Kindern mit OFD vor [12]. Meist geht die Mundatmung auf einen zu geringen Muskeltonus im Lippen- und Mundbereich zurück und wird nicht selten durch eine behinderte Nasenatmung (siehe unten) hervorgerufen. Dadurch wird ebenfalls das Wachstum des Unterkiefers beeinflusst und es kann sich ein sogenannter „offener Biss“ entwickeln. Hier ist der Schlussbisskontakt der vorderen Zahnreihen nicht mehr gewährleistet, woraus wiederum ein Sigmatismus (Zischlautstörung, „Lispeln“) resultieren kann, welcher bei 93 % der Patienten mit OFD vorliegt. Da die Schneidezahnreihen zu weit voneinander entfernt sind, ist die Bildung des „s“-Lautes nicht mehr möglich, denn dabei muss die Zunge den geschlossenen Schneidezähnen anliegen [6], [12].

2. **Verminderte Kaufunktion**

   Durch die Kaufunktion werden das alveoläre Wachstum stimuliert und die Knochenmineralisation gefördert. So ist altersgerechte, feste Nahrung ein wichtiger Bestandteil für die gesunde Entwicklung des Kiefers und der Zähne. Kinder mit einem geringeren Muskeltonus vermeiden feste Nahrung und behindern somit die regelhafte Entwicklung des Kiefers, der Zähne und die Ausbildung der Kaumuskulatur [6].

3. **Zungendysfunktion und motorische Sprechstörung**

Bei der physiologischen Zungenruhelage befindet sich der vordere Zungenteil hinter den oberen Schneidezähnen am harten Gaumen, wobei die Zunge in der Mundhöhle „schwebt“. Der M. mentalis ist entspannt, die Lippen und Zähne liegen locker aufeinander und es besteht eine korrekte Nasenatmung [12]. Bei Kindern mit OFD ist eine Zungendysfunktion typisch. Neben dem sogenannten „Zungenstoß“ (tongue thrust: die Zunge schiebt sich beim Schlucken zwischen die Schneidezähne) sind abweichende Zungenbewegungen und eine veränderte Zungenruhelage zu beobachten [6]. So können viele Stellungsanomalien der Zähne, wie ein offener Biss und eine habituelle Mundatmung, auf einer Dysfunktion der Zunge beruhen, da nun kein funktionelles Gleichgewicht mehr vorhanden ist. Die Zunge ist auch beim Schluckvorgang von zentraler Bedeutung und so liegt bei Kindern mit OFD ein unphysiologisches, „infantiles Schluckmuster“ (siehe unten) vor, welches aus dem Zungenstoß resultiert [6], [12]. Hinzu kommt, dass sich die fehlende motorische und sensible Kontrolle der Zunge auch auf die motorische Komponente des Sprechens im Sinne einer Artikulationsstörung niederschlägt. Diese kann sich im Auslassen, Vertauschen und in Veränderungen von Sprachlauten äußern [37] (siehe Kapitel 1.1 und 1.2).

4. Unphysiologisches, „infantiles“ Schluckmuster

Normalerweise wird der zerkleinerte und eingespeichelte Biss willkürlich in der Mitte der Zunge an den harten Gaumen befördert (Bolusbildung) und bei geschlossen Lippen und okkludierten Zähnen durch sie in Richtung des Rachens gepresst. Anschließend erfolgt das unwillkürliche Schlucken und die Nahrung wird aus dem Pharynx über den Ösophagus in den Magen transportiert. Auf Grund der Zungendysfunktion bei Patienten mit OFD liegt häufig ein persistierendes „infantiles“ Schluckmuster vor. Hierbei wird die Zunge während des Schluckens gegen oder zwischen die Zähne vorverlagert. Bis zum vierten Lebensjahr kann dies noch physiologisch vorkommen, da anterior-posteriore Zungenbewegungen zum Saugen notwendig sind. Liegt das „infantile“ Schluckmuster auch nach dem vierten Lebensjahr noch vor, unterscheidet man zwischen dem interdentalen, bzw. addentalen Schluckmuster, bei dem die Zunge nach vorn zwischen, bzw. an die vordere Zahnfront gepresst wird, von dem seitlichen interdentalen Schluckmuster, bei dem die Zunge zwischen die seitlichen Zähne gedrückt wird. Dieser Vorgang wird auch als Zungenpressen oder Zungenstoß (tongue thrust) bezeichnet [12]. Oftmals sind dabei die Zahnreihen geöffnet, wenn während des Schluckens keine Anspannung der Mm. masseter und temporalis zu tasten sind. Ein hyperaktiver M. mentalis ist ebenfalls häufig nachzuweisen [27].

5. Orale Habits

Unter oralen Habits versteht man Angewohnheiten wie zum Beispiel Nägelkauen, Lippenbeißen oder -saugen, Daumen- oder Fingerlutschen, Zungen- und Stiftbeißen, Zähneknirschen oder an Flasche oder Schnuller nuckeln, die das Wachstum des orofazialen

Systems beeinflussen können. Je nachdem wie ausgeprägt die oralen Habits vorliegen, können muskuläre Dysbalancen sowie Zahn- und Kieferfehlstellungen resultieren. Durch das Lutschen am Daumen kommt es beispielsweise zu einer veränderten Position der Frontzähne. Dies führt zu einem offenen Biss, woraus wiederum ein Sigmatismus und ein fehlender Mundschluss resultieren können [12], [38].

6. Orale Stereognose

Um gezielte Bewegungen mit der Zunge ausführen zu können, ist eine sensible Kontrolle der Bewegung notwendig. Durch diese sensibel-taktile Kontrolle der Zunge und deren Lage im Mundraum können Gegenstände durch die Zunge genauestens ertastet (orale Stereognose) und die zum Kauen benötigte Kraft richtig dosiert werden. Liegt eine Störung dieser Kontrolle vor, können Bewegungen der Zunge nicht normal koordiniert und Gegenstände im Mund nicht identifiziert werden [27]. So benötigen Kinder mit einer Störung der sensibel-taktilen Kontrolle oft mehr Zeit, um Prüfkörper im Mund mit der Zunge zu ertasten und erkennen weniger Formen als gesunde Kinder [39].

7. Geringer Muskeltonus

Ein grundsätzlich herabgesetzter Muskeltonus ist bei einem Drittel der Patienten mit OFD zu beobachten [12]. Für eine harmonische Entwicklung des orofazialen Systems ist auch die richtige Körperhaltung sowie eine gut ausgeprägte und symmetrisch wirkende Kraft der Kopf- und Nackenmuskulatur notwendig. Eine muskuläre Hypotonie kann durch skelettale Fehlbildungen, neurogene Störungen, Bindegewebsanomalien oder Muskelerkrankungen hervorgerufen werden, wobei meist der gesamte Körper betroffen ist. Dadurch entstehen muskuläre Dysbalancen, die sowohl die Körperhaltung als auch die orofaziale Muskulatur betreffen können [2], [6]. So ist bei Kindern mit OFD oftmals die Muskulatur der Zunge in der Mitte schwächer und am Rand stärker ausgeprägt, wodurch man eine Wölbung nach Innen beobachten kann. Häufig liegt auch ein überaktiver Kinnmuskel vor, welcher die Lippenfunktion der unteren Lippe kompensatorisch verstärken soll („Nadelkissen“). Auch die mimische Muskulatur ist oft geringer tonisiert im Vergleich zu gesunden Kindern [2].

8. Hypertrophe Tonsillen und vergrößerte Adenoide

Hypertrophe Tonsillen und vergrößerte Adenoide lassen sich bei 52 % der Kinder mit OFD diagnostizieren [12]. Dieser Befund kann das Auftreten einer OFD begründen oder begünstigen, da Kinder auf Grund der vergrößerten Tonsillen und Adenoide häufiger durch den offenen Mund atmen. Die daraus resultierende unphysiologische habituelle Mundatmung führt wiederum zu Abweichungen von weiteren physiologischen orofazialen Funktionen: neben dem offenen Mund kommt es zu einer veränderten anterioren Zungenposition sowie einer Verlagerung des Os hyoideum nach vorn. Klinisch treten diese Veränderungen als „Facies adenoida“ in Erscheinung: Das Kind hat ein schmales,

blasses Gesicht und einen offenstehenden Mund [2] (Abb. 1.6). Außerdem schnarchen viele Kinder mit adenotonsillarer Hypertrophie und schlafen durch viele Unterbrechungen schlecht, wodurch sie tiefliegende Augen mit Augenringen aufweisen können. Es kann zu Apnoen im Schlaf kommen, welche tagsüber zu Müdigkeit und Konzentrationsschwierigkeiten führen [40]. Studien haben ergeben, dass Kinder, die schnarchen, sowohl mit als auch ohne Apnoen geringere kognitive Leistungen aufweisen [41].

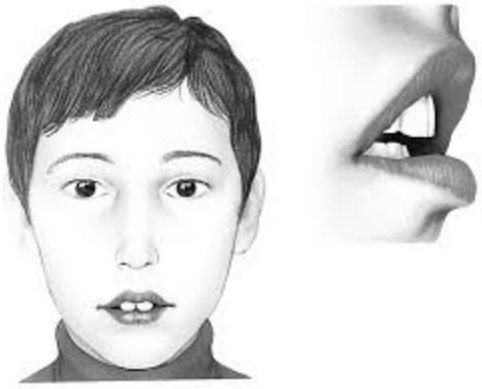

Abb. 1.5: Facies adenoidea [42]

1.6 Diagnostik

1.6.1 Standardisierte Diagnosebögen

Bisher wurde mehrfach versucht, die Durchführung der orofazialen Diagnostik mit Hilfe von standardisierten Diagnosebögen zu vereinheitlichen.

2007 und 2008 wurden zwei englisch-sprachige Diagnosebögen als Methode zum Screening von orofazialen Dysfunktionen wissenschaftlich evaluiert: Nordic Orofacial Test-Screening (NOT-S) und Orofacial Myofunctional Evaluation with Scores (OMES). In beiden Tests wurden die Symptome einer OFD in einer numerischen Skala festgehalten. Der Zusammenhang zwischen dem Vorliegen der Symptome und der richtigen Einschätzung der Ausprägung einer OFD konnte mit Hilfe der numerischen Skala gezeigt werden [1], [43]. Ein standardisiertes Verfahren zur Erfassung einer OFD wurde kürzlich aus der Klinik für Audiologie und Phoniatrie der Charité veröffentlicht [7].

Nach bisherigem Kenntnisstand existiert noch kein international einheitliches und validiertes Verfahren für die objektive Erhebung der Symptome bei OFD [5]. Die Beurteilung verschiedener orofazialer Schlüsselkompetenzen bleibt bisher subjektiv. Die OFD-Diagnostik wird von zahlreichen Berufsgruppen mit verschiedenen Schwerpunkten durchgeführt. So gibt es nur geringe Übereinstimmungen der Ergebnisse verschiedener Studien, welche die Beurteilung der Symptome einer OFD mit und ohne Screeningbogen untersucht haben [44], [45].

Daher wäre es sehr wünschenswert, einen Untersuchungsablauf zur Beurteilung der Zungenfunktion zu etablieren, durch den unabhängig vom Untersuchenden die Kernkompetenz orofazialer Bewegungen, die Bewegungen der Zunge, erfasst werden könnte.

Als erster Schritt in diese Richtung findet in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie der Charité zur Diagnostik einer SES und OFD ein standardisierter Untersuchungsablauf mit numerischer Einschätzung der Ausprägung einer OFD statt. Dieser Bogen wird zur Zeit hinsichtlich seiner Gütekriterien überprüft [7].

1.6.2 Ausführliche Diagnostik einer OFD

Zur Diagnostik der OFD werden auf Grund der Komplexität der orofazialen Funktionen verschiedene Fachbereiche mit einbezogen. So ist die Zusammenarbeit von Logopäden, Phoniatern, Hals-Nasen-Ohren-Ärzten, Kinderärzten sowie Zahnärzten und Kieferorthopäden für die Diagnosestellung, für den Erfolg der Therapie und das Behandlungsergebnis entscheidend. Der diagnostische Ablauf ist national und international nicht einheitlich. Im Folgenden wird der in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie der Charité seit Jahren verwendete, auf Expertenkonsensus und ausführlicher Literaturrecherche basierende, standardisierte Ablauf beschrieben [7]. Er setzt sich aus einer differenzierten Anamnese, der Inspektion des Patienten sowie der körperlichen Untersuchung zusammen. Anschließend erfolgt eine differenzierte Diagnostik der orofazialen Funktionen. Eine objektive Quantifizierung von Symptomen gelang bisher kaum [5], [6]. Die verschiedenen Berufsgruppen sind bestrebt, standardisierte Diagnosebögen einzuführen, um eine einheitliche Diagnostik zu ermöglichen. Diese Diagnosebögen sollten in einem übersichtlichen Format den Befund der Zunge und der übrigen Muskulatur, den Zahn- und Kieferstatus, die Ernährungsgewohnheiten, das Artikulationsvermögen und eine Beurteilung der Mund- und Nasenatmung beinhalten. Nur durch eine symptomorientierte Diagnose kann eine entsprechende Therapie eingeleitet werden [5].

1. **Anamnese**

   Eine ausführliche Anamnese ist besonders in Hinblick auf das Vorliegen von oralen Habits, die Ernährung, das Kauverhalten, etwaige Behandlungen durch Kieferorthopäden und Logopäden und bisherige Operationen (Adenektomie, Tonsillektomie) zu erheben [12]. Außerdem sollten die Meilensteine der kindlichen Entwicklung, insbesondere der sprachlichen- und motorischen Entwicklung, erfasst werden.

2. **Inspektion**

   Zunächst werden die Körperhaltung und der Körpertonus beurteilt. Die Atmung, die Lippen- und Zungenstellung in Ruhe, die Kieferstellung und der Stimmklang werden differenziert dokumentiert.

3. **Körperliche Untersuchung**

   Bei der körperlichen Untersuchung wird zuerst ein Hals-Nasen-Ohren-Spiegelbefund erhoben. Bei besonderer Fragestellung kann mit einem flexiblen Endoskop transnasal oder mit einer starren Optik transoral die Größe der adenoiden Vegetationen und der velopharyngeale Abstand beurteilt werden. Es können Okklusionsanomalien des Kiefers festgestellt und der Muskeltonus sowie die Koordination von Kopf- und Halsmuskulatur erfasst werden.

4. **Differenzierte OFD-Diagnostik**

   Anschließend werden der Sprachstand anhand der linguistischen Ebenen unter besonderer Berücksichtigung der Artikulation, die Zungen- und Lippenfunktion sowie die Zungenbewegung beim Schlucken mittels Lippenhalter überprüft [40]. Normalerweise verändern sich die Lippen beim Schlucken nicht. Auffällig sind geöffnete oder stark zusammengepresste Lippen. Der normale Schluckvorgang wird palpatorisch durch die Hyoid-Larynx-Elevation getestet. Durch das Einsehen des kompletten Mundvorhofs kann anteriores und seitliches interdentales Schlucken dokumentiert werden (Abb.1.6) [12]. Darüber hinaus sollten verschiedene diagnostische Hilfsmittel, wie zum Beispiel die Payne-Technik (siehe unten), Prüfkörper für die orale Stereognose und Messgeräte für die Muskelkraft der Lippen und Zunge zur differenzierten Diagnostik der OFD angewendet werden. Da die Mundhöhle beim Schluckvorgang nicht einsehbar ist, bedient man sich einer indirekten Methode, der sogenannten Payne-Technik, um die Zungenbewegung beim Schlucken beurteilen zu können. Mit Hilfe der Payne-Technik kann eine pathologische Zungenfehlstellung beim Schlucken dargestellt werden. Hierbei wird fluoreszierende Farbe auf die Zungenspitze aufgetragen. Der Patient schluckt und anschließend werden die Kontaktpunkte der Zunge mit der enoralen Umgebung mittels einer UV-Lampe sichtbar gemacht. Die Farbe gelangt durch die Zungenbewegung an die Stellen im Mund, an der die Zunge am meisten Druck ausgeübt hat. Auf diesem

Weg kann für den Untersuchenden die Zungenbewegung der Patienten nachvollzogen und beurteilt werden [12]. Die orale Stereognose wird durch das Erkennen von neun Prüfkörpern (Krone, Stern, Kreuz, Rechteck, Mond, Acht, Stäbchen, Kringel und Ei) nur mit Hilfe der Zunge geprüft.

Abb. 1.6: 9 Prüfkörper zur Untersuchung der oralen Stereognose [46]

Diese Gegenstände werden auf die Zunge gelegt und vom Patienten mit geschlossenem Mund mit der Zunge ertastet. Als visuelle Unterstützung erhalten die Kinder bei Problemen mit der Benennung Bilder der Prüfkörper [39]. Des Weiteren wird die Lippenkraft mit einer Federwaage mit Faden und Knopf gemessen, in dem der Knopf mit den Lippen umschlossen wird und der Untersucher daran zieht, bis die Lippen sprengen (Abb. 1.7). So erhält man Messwerte der größtmöglich aufgebrachten Lippenkraft in Kilogramm. Werte zwischen 1,5 und 2,5 kg gelten als physiologisch, niedrigere Werte sind oft bei Kindern mit OFD zu beobachten. Allerdings beruhen diese auf Erfahrungswerten und wurden bisher wissenschaftlich nicht überprüft [12], [47].

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die im standardisierten Untersuchungsablauf nicht vorgesehen ist, die Kraft der Muskulatur im Gesichts- und Mundbereich mit Hilfe eines Myometers zu messen. So können Werte von der Lippenpress- und Zungenstoßkraft und der Masseterstärke erhoben werden. Es liegen jedoch keine einheitlichen Werte vor, um eine quantitative Aussage über die Muskelfunktion zu erhalten [48].

Abb. 1.7: Die Lippenwaage zur Messung der Lippenkraft [46]

1.7 Therapieansätze der OFD

Die Therapie der OFD umfasst zunächst die Behebung möglicher Ursachen. So sollte zu Beginn die Therapie von Begleit- oder ursächlichen Erkrankungen, wie z.B. eine adenotonsillare Hypertrophie, erfolgen. Fehlstellungen von Zähnen und Kiefer werden zuvor, während

und/oder nach der gezielten Therapie der OFD im engen Austausch mit dem Kieferorthopäden begonnen [2], [40], [6].

Bisher steht der muskuläre Aufbau und die Verbesserung der orofazialen Funktionen mit gezielten Übungen im Mittelpunkt der Therapie. Dafür wurden zumeist von Logopäden verschiedene Konzepte und Trainingsmodelle entwickelt. Dazu gehören die orofaziale Regulationstherapie nach Castillo-Morales [49], das Heidelberger Gruppenkonzept für myofunktionelle Störungen (GRUMS) [27], die logopädisch orientierte orofaziale Therapie (LOOFT) [27], die myofunktionelle Therapie [2] sowie das Wiener Konzept zur Therapie orofazialer Dysfunktionen [27]. Neben der Etablierung eines kompletten Lippenschlusses sowie der Nasenatmung und der physiologischen Zungenruhelage gelten für das Gelingen einer Therapie ebenso der Abbau von Habits, das motorische Training des gesamten Körpers, die Verbesserung der sensiblen Fähigkeiten sowie die Anleitung zur Mundhygiene als bedeutsam [6], [12].

Allerdings gibt es bisher kein allseits anerkanntes, validiertes Behandlungskonzept [50], [51]. Welche Art der Therapie angewendet wird, ist sowohl vom Alter des Kindes, der Ausprägung der OFD als auch der Kenntnis des behandelnden Therapeuten abhängig.

1.8 Übergeordnete Zusammenhänge der Motorik in Hinblick auf das Vorliegen einer Sprach- und Sprechstörung

Besonders die ersten Lebensjahre sind durch intensives motorisches Lernen - sowohl des Sprechens und der Sprache als auch der Koordination und die Präzision von reflektorischen zu willkürlichen Bewegungen gekennzeichnet [12]. So dienen diese ersten Bewegungen und Laute der frühen Kommunikation mit der Umgebung. Dabei steht neben der orofazialen Motorik die Feinmotorik der Hände im Mittelpunkt. Kinder erfühlen und untersuchen mit ihren Händen ihre Umgebung. Später unterstreicht die Bewegung der Hände das Gesprochene und fließt in die Kommunikation vor allem dann mit ein, wenn Kinder durch Sprache allein nicht ihren Willen äußern können. Darum werden die Hände als weiteres „Sprachorgan“ angesehen [52].

Die große Bedeutung der motorischen Fähigkeiten des orofazialen Bereichs und der Hände wird nochmals deutlich, wenn man beachtet, dass die Hand auf einem Drittel des gesamten motorischen Kortex repräsentiert wird. Dieses Areal liegt in unmittelbarer Nähe zum motorischen Sprachzentrum und es gibt zahlreiche Überlappungen der neuroanatomischen Strukturen von Sprache und Handbewegungen [53].

Da beobachtet wurde, dass Kinder mit Sprech- und Sprachstörungen ebenfalls Defizite in ihrer Entwicklung von fein- und grobmotorischen Fähigkeiten aufweisen, ist die Frage nach einem Zusammenhang zwischen der Entwicklung von Sprache und Motorik Gegenstand zahl-

reicher Forschungsprojekte. So haben Kinder mit Schwierigkeiten bei der Sprachproduktion in motorischen Tests ebenfalls schlechter abgeschnitten [29]. In weiteren Studien konnte mit Hilfe funktioneller MRT-Aufnahmen des Gehirns beim Hören eines gesprochenen und dem Lesen eines geschriebenen Wortes sowie beim Finger-Tapping gezeigt werden, dass die neuronale Aktivität bei Kindern mit Sprach- und Sprechstörungen signifikant verminderte bzw. erhöhte Aktivitäten in bestimmten Hirnregionen aufweist. Die erhöhte Aktivität könnte auf eine verminderte Fähigkeit, neuronale Aktivitäten aufgabenbezogen zu unterdrücken, hinweisen [3], [54].

Zudem wurden rhythmische und musikalische Fähigkeiten bei Kindern, welche Sprech- und Sprachstörungen aufwiesen, untersucht. Es wurden Defizite in der zeitlichen Abfolge des Bewegungsablaufs sowie in der Wahrnehmung und Reproduktion eines vorgegebenen Rhythmus festgestellt [4], [55]. Da auch die Sprache und das Sprechen auf rhythmischen Abfolgen beruhen und ein unrhythmisches, dysprosodisches Sprechen als eine der entscheidenden Auffälligkeiten bei Sprachentwicklungsstörungen in den amerikanischen Leitlinien (ASHA 2007 [50]) gewertet wird, könnte dies ein Hinweis darauf sein, dass für Sprech- und Sprachstörungen bei Kindern die Schwierigkeit, einen Rhythmus zu erfassen, mit ursächlich ist.

1.9 Herleitung der Fragestellung

1.9.1 Bisheriger Forschungsstand

Bisher liegen kaum Forschungsergebnisse zur objektiven quantitativen Erfassung von Symptomen einer OFD vor [5], [6], [37], [50]. Ein Grund dafür könnte die fehlende akademische Ausbildung von Logopäden sein. Als Berufsgruppe intervenieren sie therapeutisch, führen jedoch verstärkt erst seit Beginn der Akademisierung im Jahr 2009 Untersuchungen nach wissenschaftlichen Kriterien durch. Bei der Untersuchung evidenzbasierter Methoden zur Diagnostik und Therapie von OFD sehen Fachgesellschaften wie die American Speech-Language-Hearing Assoziation (ASHA) und die Deutsche Gesellschaft der Kieferorthopäden (DGKO) einen hohen Forschungsbedarf [56], [57].

In den letzten Jahren wurde bei der Untersuchung, Diagnostik und Therapie der OFD der Einschätzung der Muskelkraft der Zunge große Bedeutung beigemessen, da der Zunge eine zentrale Rolle bei der Artikulation und beim Kauen und Schlucken zukommt. So wurden bisher verschiedene Messmethoden untersucht, um die Zungenkraft korrekt zu bestimmen.

In einer Studie wurde mit Hilfe eines Myometers, welches speziell für die Kieferorthopädie entwickelt worden ist, die Muskelkraft der Lippe und Zunge gemessen [48]. Untersucht wurde, ob es Unterschiede im Lippen- und Zungendruck abhängig von Geschlecht, Alter, Angle-Klassifikation (Einteilung von Zahnfehlstellungen durch die Beziehung der Sechsjahrmolaren zueinander), Okklusion und oralen Habits gab. Bei 107 Patienten (63 weiblich, 44

männlich) zwischen sieben und 45 Jahren, die kieferorthopädisch behandelt wurden, erfolgte die Messung des Lippen- und Zungendrucks mit Hilfe des Myometers. Signifikante Unterschiede gab es beim *Lippendruck* sowohl zwischen Frauen und Männern, wobei Männer einen höheren Lippendruck aufwiesen, als auch bei Kindern mit oralen Habits, die einen geringeren Lippendruck als die Vergleichsgruppe zeigten. Im Gegensatz dazu gab es keine signifikanten Unterschiede des *Zungendrucks* im Vergleich zwischen Frauen, Männern und Kindern mit und ohne orale Habits. In dieser Studie wurden jedoch nicht explizit Kinder mit OFD mit gesunden Kindern verglichen.

Ähnliche Ergebnisse zeigte die Untersuchung in einer weiteren Studie [58]. Von insgesamt 107 Probanden wiesen 24 Patienten mit Zungenfehlfunktion, wie der interdentalen Vorverlagerung der Zunge beim Schlucken, geringere Maximalkräfte der Zunge auf. Es zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede der Maximalkräfte der Zunge im Vergleich zu denen der Kontrollpersonen.

In einer dritten Studie [59] wurden Messungen von Zungenmaximalkräften von 15 gesunden Kindern, Erwachsenen und alten Menschen durchgeführt. Mit einem neu entwickelten Messgerät wurden Werte von jeweils fünf Personen je Altersgruppe erhoben. Dabei konnte gezeigt werden, dass es signifikante Unterschiede der Durchschnitts- und Maximalkräfte zwischen Kindern und Erwachsenen gibt. Es wurde eine Zungenprotrusionskraft bei Kindern zwischen acht und zwölf Jahren von 10,36 N gemessen. Erwachsene Personen im Alter von 19 bis 53 Jahren erreichten eine maximale Zungenprotrusionskraft von 22,84 N und alte Menschen zwischen 73 und 87 Jahren von 16,17 N.

In den ersten beiden Studien wurde die Zungenkraft jeweils bei Kindern mit und ohne orale Habits untersucht. Hierbei konnte jedoch kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Zungendrucks nachgewiesen werden. In keiner der drei vorgestellten Studien wurden Kinder mit den in Deutschland nach Expertenkonsensus üblichen Kriterien einer OFD untersucht. Bei der dritten Studie wurde ein neues Messgerät eingeführt und bei gesunden Probanden unterschiedlichen Alters getestet. Insofern kann hiermit keine quantitative Aussage über den Zungendruck und die Zungenkraft bei Kindern mit OFD getroffen werden.

Ein neues Gerät zur Evaluation motorischer Funktionen wurde in der Neurologie eingeführt und bei verschiedenen neurologischen Krankheiten, die mit frühen feinmotorischen Ausfällen, unter anderem mit verminderter Zungenkraft einhergehen, getestet. Die Messung heißt *„Q-Motor“* und bedeutet: „Quantitative Untersuchung des motorischen Systems“. Dabei handelt es sich um ein Instrument, an dessen Oberfläche die Kraft mit Hilfe eines Kraftmessfühlers registriert und am Computer in Daten umgewandelt wird [60].

Sowohl bei Patienten mit Multipler Systematrophie, Chorea Huntington und Multipler Sklerose wird Q-Motor in Studien zur Quantifizierung der Feinmotorik und Kraft mit Hilfe von Messungen der Fingerbewegungen, der Zungenkraft und der Füße getestet. Bei allen untersuchten neurologischen Krankheitsbildern sind signifikante Unterschiede der Muskelkraft der Zunge im Vergleich zu Gesunden gezeigt worden [60], [61].

Bei Patienten mit Chorea Huntington wurde die isometrische Kraft während anhaltender Zungenprotrusion mit dem Kraftmessfühler aufgezeichnet, wobei nachgewiesen werden konnte, dass Defizite in der isometrischen Zungenprotrusionskraft (ZPK) und Kraftkoordination mit zunehmendem Krankheitsgrad zunehmen. Außerdem zeigen die Ergebnisse, dass die Variabilität der Zungenkraft sensitiv genug ist, um motorische Defizite als Zeichen eines Symptomprogresses objektiv auch in frühen Krankheitsstadien zu erfassen, in denen die Symptome bei der klinischen Untersuchung noch unauffällig waren [61]. Das Verfahren Q-Motor könnte daher auch für die Quantifizierung der ZPK eingesetzt werden und zu einem Erkenntnisgewinn hinsichtlich motorischer Kompetenzen bei Kindern mit OFD führen.

1.9.2 Fragestellung und Hypothesen

Kommunikation ist ein menschliches Grundbedürfnis. Sie führt Menschen zusammen, befähigt zum sozialen Austausch und ist ausschlaggebend für das subjektive Befinden. Menschen benutzen dabei die Sprache als System der Verständigung [8].

Ist die Sprech- oder Sprachfähigkeit, wie etwa beim Vorliegen einer OFD, stark beeinträchtigt, ist auch die Kommunikationsfähigkeit jener Menschen erheblich eingeschränkt. Dies kann sich schädlich auf die kognitive, sozial-emotionale Entwicklung, die schulische Laufbahn sowie die Lebensqualität auswirken und zum Ausschluss aus dem Freundeskreis, der Gesellschaft oder dem Beruf führen [8]. Kompetenzen in der verbalen Kommunikation sind heute, mit steigender Tendenz in den nächsten Jahren, in über 80 % der Berufe erforderlich [12]. Daneben beeinflussen sprachliche Kompetenzen die schulischen Leistungen und diese wiederum die berufliche Laufbahn. Seit PISA (Programe for International Student Assessment) ist die frühzeitige Sprachförderung in den Mittelpunkt des gesellschaftlichen Interesses gerückt. Denn von der Sprachkompetenz im Vorschulalter ist unter anderem der Schriftspracherwerb (sekundärer Spracherwerb) abhängig [62]. So wurden in diesem Zusammenhang Konzepte der Sprachförderung im Kindergartenalter zur sprachlichen Bildung und Verbesserung der Chancengleichheit in allen Bundesländern eingeführt [63]. Daneben werden in allen Bundesländern Sprachscreenings durchgeführt, um frühzeitig im Falle einer nicht altersgerechten Sprachentwicklung eine Diagnose zu stellen. Nur so kann rechtzeitig eine Therapie eingeleitet, Unterstützung gewährleistet und bis zur Einschulung eine altersgerechte Sprachentwicklung angestrebt werden [8]. In diesem Zusammenhang sollte auch eine orofaziale Dysfunktion bei Kindern frühzeitig, möglichst standardisiert und nach objektiven Kriterien diagnostiziert werden. Des Weiteren können die feinmotorischen Kompetenzen der Hand eine zusätzliche Aussage im Zusammenhang mit dem Vorliegen einer OFD aufweisen [4], [29].

Auf Grund des aktuellen Forschungsstandes und der klinischen Bedeutung einer OFD werden folgende drei Fragestellungen dieser Untersuchung hauptsächlich zu Grunde liegen:

1. Unterscheidet sich die isometrische Zungenprotrusionskraft (ZPK) bei der Q-Motor-

Messung von Kindern mit OFD und Kontrollpersonen?

2. Unterscheiden sich die feinmotorischen Fähigkeiten beim Fingertapping bei Kindern mit OFD und Kontrollpersonen?

3. Haben Kinder mit OFD und Kontrollpersonen unterschiedliche Fähigkeiten, einen Rhythmus wiederzugeben?

   Des Weiteren wird betrachtet:

4. Beeinflussen die Lippen- und Zungenfunktionen bei Kindern mit OFD und Kontrollpersonen die Ergebnisse der Q-Motor Messung?

5. Korreliert der Schweregrad der OFD mit den Ergebnissen der Q-Motor-Messung?

Daraus leiten sich folgende Hypothesen ab:

1. Kinder mit OFD und Kontrollpersonen weisen bei der Q-Motor-Messung unterschiedliche isometrische Zungenprotrusionskräfte auf.

2. Kinder mit OFD und Kontrollpersonen unterscheiden sich bei der Q-Motor-Messung hinsichtlich ihrer feinmotorischen Kompetenzen beim Fingertapping.

3. Kindern mit OFD und Kontrollpersonen haben unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeiten, einen Rhythmus zu imitieren.

4. Die Ergebnisse der Messung Q-Motor werden durch die Lippen- und Zungenfunktion der Personen mit OFD und Kontrollpersonen beeinflusst.

5. Der Schweregrad der OFD korreliert mit dem Ergebnis der Q-Motor-Messung.

2 Methoden

2.1 Darstellung der Stichprobe

Für die Q-Motor-Messung bei Kindern mit OFD und Kontrollprobanden wurden insgesamt 60 Kinder im Alter von sechs bis 15 Jahren untersucht.

Die Einschlusskriterien der Studie waren:

1. Kinder im Alter von sechs bis 15 Jahren mit der Diagnose einer OFD ohne bekannte Ursache für die Versuchsgruppe
2. Kinder im Alter von sechs bis 15 Jahren mit unauffälliger orofazialer Funktion für die Kontrollgruppe

Ausschlusskriterien der Studie waren:

1. Ein nonverbaler Intelligenzquotient (IQ) mit einem Prozentrang <16, der mit dem Coloured-Progressive-Matrices-Test (CPM-Test) erhoben wurde [64]
2. Eine beidseitige Schwerhörigkeit mit einem Hörverlust von >20 dB über sechs Frequenzen zwischen 250 und 6000 Hz
3. Das Erkranken an mehr als drei Mittelohrentzündungen im letzten Jahr
4. Transistorisch evozierte otoakustische Emissionen mit einer Reproduzierbarkeit <60 %
5. Das Vorliegen von neurologischen Erkrankungen wie Muskeldystrophien, Zerebralparesen und Krampfanfälle
6. Psychiatrische Erkrankungen wie Autismus, Mutismus und kindliche Schizophrenie
7. Soziologische und emotionale Beeinträchtigungen wie zum Beispiel durch zurückliegende Misshandlungen oder Vernachlässigungen des Kindes
8. Die fehlende Einwilligung zur Studie

Abbruchkriterien, die zum Ausschluss des Studienteilnehmers aus der Studie führte, waren:

1. Der Widerruf der Einwilligung der Teilnehmer
2. Das nachträgliche Eintreten eines Ausschlusskriteriums
3. Die mangelnde Mitarbeit, wenn Anweisungen nicht befolgt wurden oder nicht befolgt werden konnten

Die an der Studie teilnehmenden Kinder kamen aus Berlin und Brandenburg. Kinder mit der Diagnose OFD wurden über die Hochschulambulanz der Klinik für Audiologie und Phoniatrie, der Abteilung Hören, Sprache, Stimme und Schlucken des Sozialpädiatrischen Zentrums der Charité am Campus Virchow-Klinikum sowie durch Aushänge in logopädischen Praxen in Berlin für die Studie gewonnen. Die gesunden Kinder der Kontrollgruppe wurden über Aushänge zur Teilnahme an der Studie informiert. Das Messgerät wurde freundlicherweise von NeuroCure/Cluster of Excellence in deren Räumlichkeiten zur Verfügung gestellt. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Charité Universitätsmedizin Berlin genehmigt (Ethikkommissions-Antragsnummer: EA2/145/10).

2.2 Erhebung des OFD-Befundes und Prüfung der Einschlusskriterien

Die Daten aller an der Studie teilnehmenden Probanden wurden anonymisiert und mit einer fortlaufenden Nummer versehen.

1. **Verdacht auf das Vorliegen einer OFD**

   Die Ergebnisse einer ausführlichen Anamnese durch eine/n Facharzt/-ärztin für Phoniatrie, Pädaudiologie und HNO, der Erhebung eines HNO-ärztlichen-Spiegelbefundes, der Einschätzung von Grob- und Feinmotorik durch Denver Entwicklungsskalen und der Auswertung altersentsprechender Elternfragebögen zur lebenspraktischen und sozial-emotionalen Entwicklung ihres Kindes (Wiener Entwicklungstest (WET) [65]) sowie der Sprachstanderhebung durch Logopäden nach dem Berliner Sprachscreening führten zu einem ersten Verdacht auf das Vorliegen einer OFD [66].

2. **Befunderhebung der orofazialen Funktionen**

   Die Befunderhebung der orofazialen Funktionen erfolgte durch eine staatlich geprüfte Logopädin mit Hilfe des Diagnosebogens der Klinik für Audiologie und Phoniatrie an der Charité - Universitätsmedizin Berlin. Eine OFD lag vor, wenn eine Artikulations- bzw. Sprachentwicklungsstörung nachgewiesen wurde sowie die im Expertenkonsensus spezifischen Bewegungen von Lippen und Zunge nicht oder vermindert ausgeführt werden konnten (Berliner orofaziales Screening, BoS [7]).

3. Summenscore der OFD-Symptome

Der Summenscore der OFD-Symptome setzt sich aus acht ausgewählten Funktionen von Lippen und Zunge zusammen, die im Expertenkonsensus bei OFD vermindert ausgeführt werden können [5], [12]. Er beinhaltet die Funktionsprüfung der Lippen (spitz und breit geformt, im Wechsel zwischen spitz und breit, Bildung eines „Fischmundes"). Des Weiteren wurde geprüft, ob die Zunge nach rechts und links bewegt werden kann, als Abfolge im Wechsel sowie nach unten und als kreisende Bewegung ums Lippenrot. Diese einzelnen Funktionen wurden mit Hilfe einer vierstufigen Skala mit den Werten von null („nicht möglich") bis drei („vollständig korrekt ausgeführt") bewertet. Damit einzelne fehlende Werte bei den untersuchten Personen nicht zur Verzerrung des Summenscores oder zum Ausschluss der Probanden führten, wurde jeweils der Mittelwert gebildet.

4. Hörtest

Das Hörvermögen der Probanden wurde durch das Erstellen eines Tonaudiogramms mit Hilfe eines Tonaudiometers überprüft. Dafür wurden den Probanden über einen Kopfhörer Töne in sechs verschiedenen Frequenzen (entspricht der Tonhöhe) vorgespielt. Dabei musste der Proband angeben, ab welchem Schalldruckpegel (dB) der Ton wahrgenommen wurde. Der Pegel, bei dem der Proband den Ton als erstes wahrgenommen hat, entspricht der Hörschwelle und wurde in das Audiogramm eingetragen.

5. Transistorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE)

Die TEOAEs dienen dem Nachweis einer normalen Funktion der äußeren Haarzellen im Innenohr. Durch einen Schallreiz kontrahieren die äußeren Haarzellen des Innenohrs jeweils in Abhängigkeit von der Stärke des Reizes, um diesen entweder zu verstärken oder abzuschwächen. Bei der Messung der TEOAEs wird durch eine Sonde ein Signal, welches als Klick-Geräusch wahrgenommen wird, in den äußeren Gehörgang abgegeben. Durch den Schalltransport ins Innenohr werden die äußeren Haarzellen gereizt und kontrahieren. Die Kontraktionen der äußeren Haarzellen erzeugen Geräusche, die durch ein Mikrophon aufgezeichnet werden.

6. Nonverbale Intelligenz

Der nonverbale Intelligenzquotient (IQ) der Studienteilnehmer wurde mit Hilfe des Coloured Progressive Matrices erfasst (Raven, 1938). Der Test erfolgt sprachfrei. Für Kinder zwischen vier und zwölf Jahren ist der CPM mit farbigen Bildern entwickelt worden und wird seit 2001 in revidierter Form angewendet. Der Test besteht aus drei Abschnitten mit jeweils zwölf Aufgaben. Die Kinder müssen bei jeder Aufgabe aus Bildern, bei denen ein Teil fehlt, das passende Teil aus sechs verschiedenen Antwortvorschlägen auswählen. Eine zeitliche Begrenzung liegt dabei nicht vor [64], [67].

2.3 Ablauf der Messung „Q-Motor“

Für die Q-Motor-Messung wurde für jeden Probanden ein Messprotokoll angefertigt. Zuerst wurde das Programm WinSCP (Open Source Software, Prag) im Computer gestartet, damit die erhobenen Daten gespeichert werden konnten. Insgesamt wurden zwei verschiedene Untersuchungen durchgeführt: Die Messung des isometrischen ZPK, mit den beiden verschiedenen Kraftgraden „Tongue Low (0,25 N)“ und „Tongue High (0,5 N)“ und der Fingertap-Versuch mit den Messungen „Speeded- und Metronome Tapping“.

1. **Beschreibung des Messgeräts**

   Der Kraftmessfühler (Mini-40; ATI Industrial Automation, Apex, NC, USA) besteht aus einer kreisrunden Oberfläche mit einem Durchmesser von 40 mm. Dieser Messfühler ist an einer justierbaren Halterung befestigt und wird für die Messungen mit austauschbarer Schutzfolie bedeckt. Der Messfühler ist mit einem Computer verbunden, auf dessen Bildschirm der Druck gegen den Messfühler als Linie aufgezeichnet wird und so dem visuellen Feedback dient (siehe Abbildung 2.1). Die aufgenommenen Daten werden auf dem Computer gespeichert und ausgewertet.

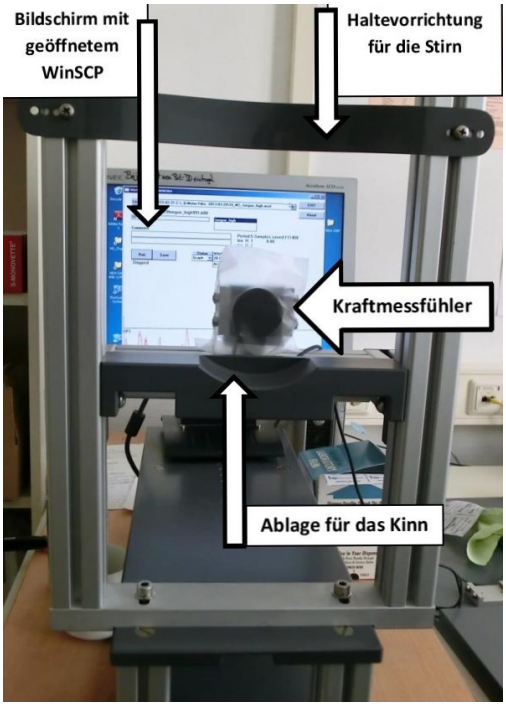

Abb. 2.1: Versuchsaufbau zur Messung der isometrischen Zungenprotrusionskraft

2. Die Messung der isometrischen ZPK

Für die Messung der isometrischen ZPK wurden die Probanden vor dem Messgerät so platziert, dass ihre Zunge frei schwebend geradeaus gegen den Messfühler drücken konnte, ohne dass die Zunge dabei auf der Unterlippe abgelegt werden durfte. Dazu wurde das Kinn auf einer waagerechten Ablage positioniert und der Kopf an eine Haltevorrichtung für die Stirn angelehnt (siehe Abbildung 2.2). Der aufrechte Sitz der Probanden wurde durch ein festes Sitzkissen und einen Fußhocker zum Abstellen der Füße unterstützt. Zudem wurden die Versuchsteilnehmer durchgehend von den Versuchsleitern motiviert, da die quantitative Messung des motorischen Systems sowie die Einschätzung der orofazialen Funktionen einen Zeitraum von ungefähr einer Stunde benötigte.

Nach der Vorbereitung konnte die eigentliche Messung beginnen: Auf dem Bildschirm verliefen zwei Linien, wobei die Probanden aufgefordert wurden, mit ihrer Zunge mit genau so viel Kraft gegen den Kraftmessfühler zu drücken, dass die rote Linie („Ist“ -Linie, Zungenkraft) die schwarze („Soll“-Linie, Zielkraft bei 0,25 N (Tongue Low) oder 0,5 N (Tongue High) möglichst kontinuierlich berührten. Die Aufzeichnung der Zungenprotrusionskräfte erfolgte jeweils vier mal hintereinander für 30 Sekunden mit einer kurzen Pause zwischen den einzelnen Messungen.

Dadurch wurde jeweils für beide Kraftgrade (0,25 und 0,5 N) Werte für folgende Kategorien ermittelt (siehe Abbildung 2.3):

a) *Durchschnitt* der ZPK [N]

b) *Median* der ZPK [N]

c) *Kraftvariabilität* (COV (Standardabweichung) ZPK) [%]

d) *Präzision* der ZPK (prozentualer Zeitanteil, in der die Zungenkraft innerhalb der Zielzone liegt: ± 10 % (0,225 N - 0,275 N, bzw. 0,45 N - 0,55 N), ± 20 % (0,2 N - 0,3 N, bzw. 0,4 N - 0,6 N) und ± 50 % (0,125 N - 0,375 N, bzw. 0,25 N - 0,75 N) der vorgegebenen Zielkraft, siehe Abb. 2.4)

e) *Ausdauer* (prozentualer Zeitanteil, in welcher die produzierte Zungenkraft unterhalb des minimalen Zielkraftlevels liegt: < 10 % ($<$ 0,225 N, bzw. $<$ 0,45 N), < 20 % ($<$ 0,2 N, bzw. $<$ 0,04 N) und < 50 % ($<$ 0,125 N, bzw. $<$ 0,25 N) der vorgegebenen Zielkraft, siehe Abb. 2.5)

f) *Kontaktzeit* [%] (prozentualer Zeitanteil, in welcher der Studienteilnehmer den Sensor mit der Zunge berührt; normal = 100 %) [68].

3. **Speeded Tapping (schnelles Fingertippen)**

Die Probanden wurden aufgefordert, in zwei voneinander getrennten Messungen jeweils mit ihrem Zeigefinger der rechten und der linken Hand so schnell wie möglich (hohe Frequenz) und so stark wie möglich (hohe Amplitude) auf den Sensor des Kraftmessfühlers zu tippen. Es wurden jeweils fünf Messungen für 15 Sekunden aufgezeichnet.

Für die Messung „Speeded Tapping“ wurde der Logarithmus der Standardabweichung jeder Messung und jeder Zeitspanne gebildet. Durch diesen Schritt kann die Regelmäßigkeit des Speeded Tappings besser beurteilt werden. Anschließend wurde der Durchschnittswert der fünf Messungen je Proband gebildet (siehe Abbildung 2.7). Folgende Parameter wurden ausgewertet:

a) *IOI (Inter Onset Interval, Tap-Beginn-Intervall)* = Zeitintervall zwischen dem Tap-Beginn und dem darauffolgendem Tap [s], welches weitestgehend der Frequenz entspricht

b) *IPI (Inter Peak Interval, Tap-Gipfel-Intervall)* = Zeitintervall zwischen einem Tap-Maximum und dem darauffolgendem Tap-Maximum [s]

c) *ITI (Inter Tap Interval, Tap-Enden-Intervall)* = Zeitintervall zwischen dem Tap-Ende bis zum Beginn des folgenden Taps [s]

d) *TK (Tap Kraft)* = maximale Kraft des einzelnen Taps [N], der Amplitude entsprechend

e) *COV TK* = Variationskoeffizient der Kraft eines einzelnen Taps [%] bzw. der Variabilität der Amplitude

f) *Tap Dauer* = Dauer eines Taps [s]

g) *MTI (Mid Tap Interval, Mittel-Tap-Intervall)* = Zeitintervall zwischen zwei Zeitpunkten, die sich genau in der Mitte zwischen Beginn und Ende eines Taps befinden [s]

h) *Frequenz* = Tap Frequenz [Hz], das IOI bezogen auf eine Sekunde

4. **Metronome Tapping (rhythmisches Fingertippen)**

Die Probanden hörten fünf Sekunden zehn rhythmische Pieptöne, in deren Rhythmus sie zeitgleich mit Erklingen des Tons auf den Sensor des Kraftmessfühlers mit dem Zeigefinger tippen sollten. Auch hier wurden jeweils Messungen mit der rechten und linken Hand durchgeführt. Nach zehn Tönen war der Ton nicht mehr zu hören und die Probanden sollten für zehn Sekunden weiter im gleichen Rhythmus tippen. Es wurden drei unterschiedliche Rhythmen für jeweils 15 Sekunden gemessen.

Bei der Auswertung der Messung „Metronome Tapping“ wurde der Logarithmus der Standardabweichung jeder Messung vom vorgegeben Rhythmus errechnet und folgende Parameter erfasst (siehe Abbildung 2.8):

a) Δ *IOI (Inter Onset Interval, Tap-Beginn-Intervall)* = Abweichung des IOS vom vorgegebenen Rhythmus [s]

b) Δ *IPI (Inter Peak Interval, Tap-Gipfel-Intervall)* = Abweichung des IPI vom vorgegebenen Rhythmus [s]

c) Δ *MTI (Mid Tap Interval)* = Abweichung des MTI vom vorgegebenen Rhythmus [s]

d) *ITI (Inter Tap Interval, Tap-Enden-Intervall)* = Zeitintervall zwischen dem Tap-Ende bis zum Beginn des folgenden Taps [s],

e) *TK (Tap Kraft)* = maximale Kraft des einzelnen Taps [N], entspricht der Amplitude

f) *COV TK* = Variationskoeffizient der Kraft eines Taps [%], entspricht der Variabilität der Amplitude

g) *Tap Dauer* = Dauer eines Taps [s]

h) *Frequenz* = Tap Frequenz [Hz]

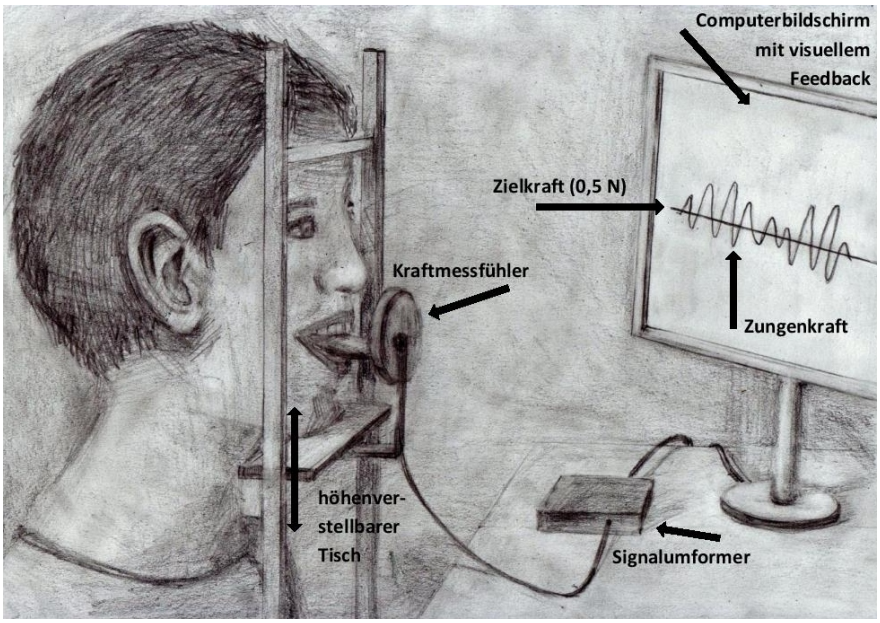

Abb. 2.2: Versuchsaufbau zur Messung der isometrischen ZPK. Der Proband sitzt in aufrechter Position vor der Messvorrichtung und drückt mit seiner Zunge geradeaus auf den Kraftmessfühler. Auf dem gegenüberliegenden Bildschirm sieht er die Zielkraft (waagerechte Linie), wobei er mit Hilfe des visuellen Feedbacks der eigenen Zungenkraft (undulierende Linie) die aufgewendete Kraft der Zunge richtig dosieren kann. Ziel ist es, dass die eigene Zungenkraft mit möglichst geringer Amplitudenhöhe um die Zielkraftlinie ausschlägt.

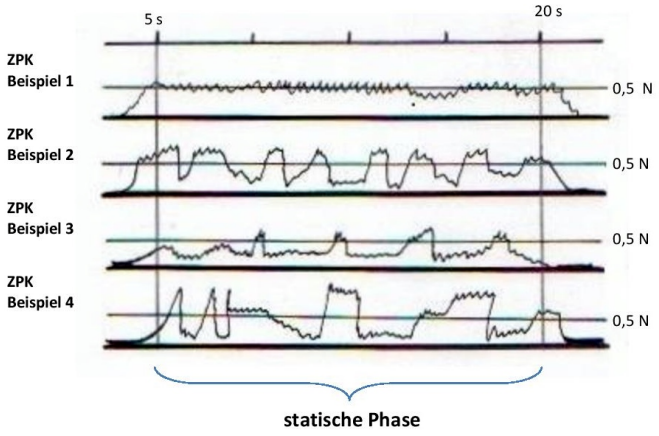

Abb. 2.3: Auswertung der Rohdaten der Zungenprotrusionskraft als Beispiel bei 0,5 N. Das Beispiel 1 zeigt eine optimale Umsetzung der Versuchsbeschreibung, denn der Proband schafft es, seine Zungenkraft so genau zu dosieren, dass die Linie der Zungenkraft mit einer sehr geringen Amplitude von der Zielkraftlinie abweicht. Im Gegensatz dazu gelingt es dem Proband beim Beispiel 4 nur sehr schlecht, seine Zungenkraft zu steuern, was sich in der großen Abweichung von der Zielkraftlinie widerspiegelt. Die Beispiele 2 und 3 zeigen mögliche Ergebnisvarianten der Messung der isometrischen ZPK. Angelehnt an Reilmann et al. [69]

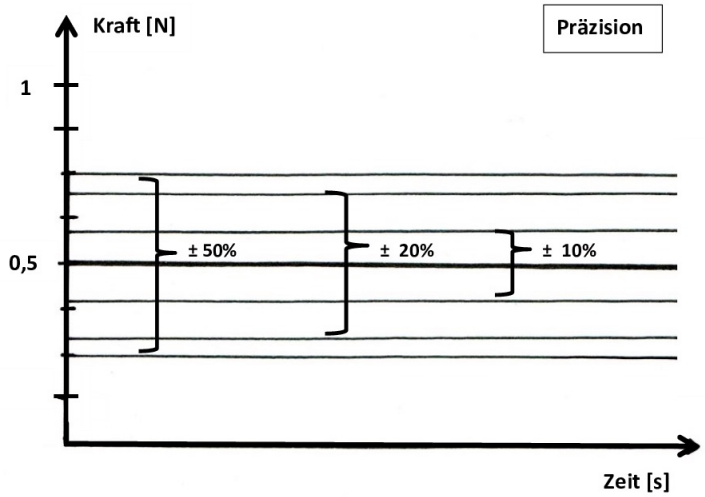

Abb. 2.4: Bei dem Parameter „Präzision“ der Messung Tongue High (0,5 N) wird die Zeit, in der die isometrische ZPK innerhalb des Zielkraftbereichs liegt, gemessen. Hierbei werden drei unterschiedliche Zielkraftlevel berücksichtigt: ± 10 %, ± 20 % und ± 50 % der vorgegebenen Zielkraft.

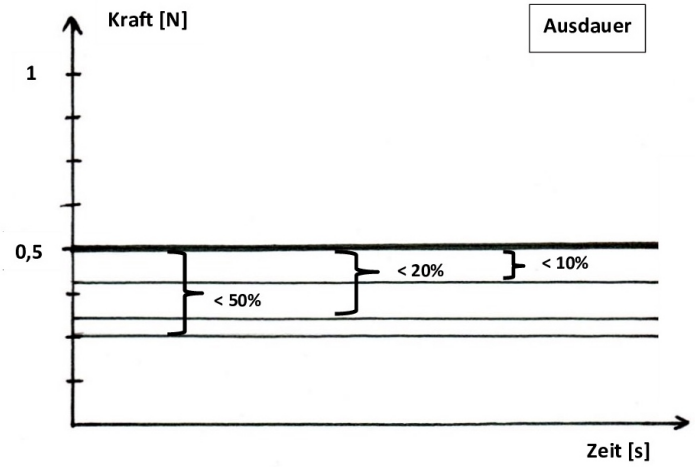

Abb. 2.5: Bei dem Parameter „Ausdauer“ der Messung Tongue High (0,5 N) wird die Zeit, in der die isometrische ZPK unterhalb der vorgegebenen Zielkraft liegt, gemessen. Hierbei werden drei unterschiedliche Kraftbereiche berücksichtigt: < 10 %, < 20 % und < 50 % der vorgegebenen Zielkraft.

Abb. 2.6: Versuchsaufbau zu den Fingertap-Versuchen (hier die rechte Hand): Der Proband wurde gebeten, seine Hand flach auf den Tisch abzulegen und nur mit dem vorderen Drittel seines Zeigefingers den waagerecht liegenden Kraftmessfühler zu berühren. Anschließend sollte nur der Zeigefinger in einer gleichmäßigen Bewegung auf und ab bewegt werden. Je nach Versuch sollten verschiedene Aufgaben umgesetzt werden.

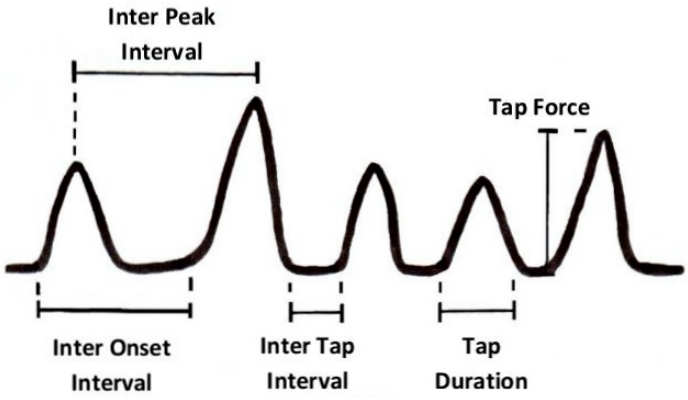

Abb. 2.7: Beispiel des „Speeded Tappings“, wobei das Inter Peak Interval (IPI) den Abstand zweier Tap-Maxima darstellt und mit der Tap Kraft (TK) die Amplitude eines Taps abgebildet wird. Die Tap Dauer ist ein Maß für die Dauer eines gesamten Taps, das Inter Onset Interval (IOI) beinhaltet die Dauer von Beginn eines Taps bis zum folgenden Tap sowie das Inter Tap Inteval (ITI), welches den Zeitraum zwischen zwei Taps misst.

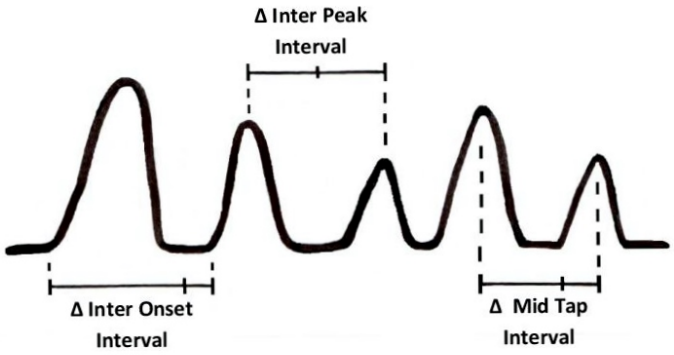

Abb. 2.8: Beispiel des „Metronome Tappings“. Neben den Parametern, die schon beim Speeded Tapping erhoben wurden, werden hierbei zusätzlich die Abweichungen der Parameter Inter Peak Interval (IPI), Inter Onset Interval (IOI) sowie Mid Tap Interval (MTI) vom gehörten rhythmischen Piepton dargestellt. Die zeitliche Abweichung vom Ton werden als Δ IOI, Δ IPI und Δ MTI bezeichnet.

2.4 Auswertung der Daten

Die Auswertung der Rohdaten erfolgte den Richtlinien der Ethikkomission und Datenschutzbeauftragten entsprechend anonymisiert. Alle interessierenden Daten der Probanden (z.B. Alter, Geschlecht und Symptome aus dem OFD-Befund sowie die Ergebnisse der Q-Motor-Messung) wurden für die statistische Auswertung in das Programm „SPSS“ 22.0® eingegeben. Dabei wurden folgende Abkürzungen verwendet: „Versuchsgruppe“ = VG = Kinder *mit OFD* sowie „Kontrollgruppe“ = KG = Kinder *ohne OFD*.

Die demographischen und klinischen Daten wurden als Durchschnittswerte verwendet und als Mediane und Quartile präsentiert (siehe Ergebnisteil).

Um den Einfluss von Altersgruppen, Geschlecht und der Händigkeit auf diese beiden Gruppen zu überprüfen, wurde der Exakte Test nach Fisher angewendet.

Zum Vergleich der Daten von Versuchs- und Kontrollgruppe wurde der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0{,}05$ festgelegt. Somit gelten alle p-Werte, welche $\leq 0{,}05$ sind, als signifikant.

Um den Einfluss einzelner Symptome auf das Ergebnis der Q-Motor-Messung zu untersuchen, wurde die lineare Regression bei abhängigen Stichproben durchgeführt.

Der Zusammenhang zwischen dem klinischen Schweregrad der Symptome einer OFD und Ergebnissen der Q-Motor-Messung wurde mittels Spearmans Rangkorrelationskoeffizient berechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik der Stichprobe

Insgesamt wurde bei 60 Kindern die Messung „Q-Motor“ durchgeführt (je 30 Versuchs- und 30 Kontrollpersonen).

Die OFD-Gruppe setzte sich aus sieben Mädchen und 23 Jungen mit OFD zusammen. Das Durchschnittsalter dieser Gruppe betrug 8,5 ± 2,3 Jahre (Standardabweichung = SD) (Median: 7,8 Jahre, Spannweite: 5,1 bis 14,9 Jahre). Die Kontrollgruppe bestand aus zwölf Mädchen und 18 Jungen, mit einem Durchschnittsalter von 9,6 ± 2,2 Jahren (SD) (Median: 9,3 Jahre, Spannweite: 5,8 bis 14,2 Jahre), die in ihrer orofazialen Funktion unauffällig waren (siehe Abb. 3.3).

In der OFD-Gruppe gab es 23 Rechtshänder, 6 Linkshänder und eine Person, bei der die Händigkeit zum Zeitpunkt der Messung noch nicht festgelegt war. Ebenso bestand die Kontrollgruppe aus einer Person mit noch nicht determinierter Händigkeit, sowie 22 Rechtshändern und sieben Linkshändern (siehe Abb. 3.4).

Die durchschnittlich erreichte Punktzahl des Summenscores zur Beurteilung des Schweregrades der OFD betrug bei der Versuchsgruppe 2,1 und bei der Kontrollgruppe 2,7 Punkte (siehe Abb. 3.5).

Die Kennzahlen der Stichprobe sind in der Tabelle 3.1 dargestellt.

Tab. 3.1: Kennzahlen der Stichprobe nach Geschlecht, Alter, Händigkeit sowie nach dem Summenscore der Ausprägung der OFD-Symptome dargestellt

Parameter	**Versuchsgruppe (OFD) n (%)**	**Kontrollgruppe n (%)**	**Exakter Fisher Test (p-Wert)**
Anzahl	30	30	
Geschlecht			0,267
weiblich	7 (23,3 %)	12 (40 %)	
männlich	23 (76,7 %)	18 (60 %))	
Alter [Jahre] (Durchschnitt)	8,5 ± 2,3 SD	9,6 ± 2,2 SD	0,062 (bezogen auf Altersgruppen)
Händigkeit			1,0
Rechtshänder	23 (76,7 %)	22 (73,3 %)	
Linkshänder	6 (20 %)	7 (23,3 %)	
nicht ausgeprägt	1 (3,3 %)	1 (3,3 %)	
Summenscore (Durchschnitt)	2,1 ± 0,5 SD	2,7 ± 0,2 SD	$< 0{,}001$*

$\alpha = 0{,}05$, * = signifikant, [68]

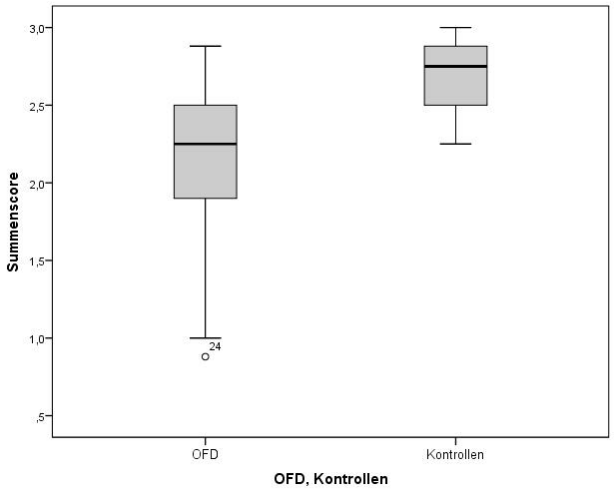

Abb. 3.1: Der Boxplot des Summenscores, welcher sich aus Symptomen der OFD zusammensetzt, zeigt, dass Kontrollpersonen durchschnittlich einen höheren Score erzielen und innerhalb der Gruppe nicht so stark divergieren, wie die Versuchsgruppe. Ein höherer Score geht mit einer besseren orofazialen Funktion einher ($p < 0{,}001$*).

3.2 Messung der isometrischen Zungenprotrusionskraft (ZPK): „Tongue Low“ (0,25 N) und „Tongue High“ (0,5 N)

3.2.1 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Ergebnisse der Messung der isometrischen ZPK

Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Messungen der isometrischen Zungenprotrusionskräfte von Versuchs- und Kontrollgruppe in den zwei verschiedenen Kraftgraden vorgestellt, wobei sich alle Messergebnisse zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe unterscheiden.

1. **Darstellung der Ergebnisse der Messung „Tongue Low“**

   Ein signifikanter Unterschied bei der Messung „Tongue Low“ (0,25 N) zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe besteht bei der *Präzision ± 50 %* (p = 0,039) (Tabelle 3.2). Dieser Unterschied wird im Boxplot (Abb. 3.2) graphisch dargestellt.

   Desweiteren besteht ein statistischer Zusammenhang bei der *Präzisizion* (p bei ± 10 % = 0,059, ± 20 % = 0,70). Bei den weiteren Messungen *(Durchschnittskraft, Kraftvariabilität, Kontaktzeit und Ausdauer)* können keine signifikanten Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe gezeigt werden (Tabelle 3.2).

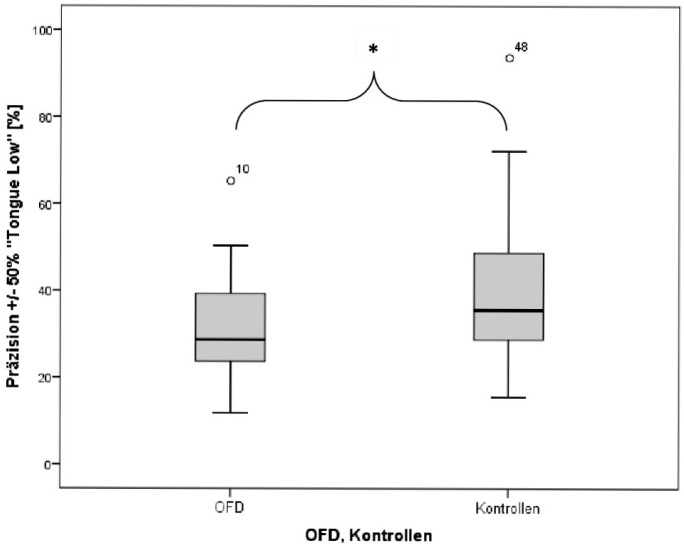

Abb. 3.2: Bei dem Parameter „Präzision ± 50 %“ (Tongue Low, 0,25 N) lag die VG im Vergleich zur KG mit ihrer ZPK signifikant (p = 0,039*) kürzer innerhalb des vorgegebenen Zielbereichs (0,125 N - 0,375 N). (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

Tab. 3.2: Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe bei der Messung „Tongue Low“ (0,25 N) sowie die Darstellung der Mediane und Quartile für Kinder mit OFD und Kontrollen

Parameter	**Sub-parameter**	**OFD vs Kontrollen (p-Wert)**	**OFD Median (Quartile)**	**Kontrollen Median (Quartile)**
Durchschnitt der ZPK [N]		0,216 1°	0,2 (0,12 - 0,23)	0,14 (0,1 - 0,21)
Median der ZPK [N]		0,088 1°	0,2 (0,13 - 0,24)	0,13 (0,1 - 0,2)
COV ZPK [%]		0,21 1°	151 (106 - 188)	117,24 (74,51 - 180,6)
Präzision [Zeitanteil, %]	± 10 %	0,059 1°	5,90 (4,39 - 7,12)	7,07 (5,15 - 11,03)
	± 20 %	0,07 1°	11,66 (9,01 - 14,66)	13,55 (10,96 - 21,26)
	± 50 %	0,039* 0,78°	28,72 (23,48 - 39,36)	35,51 (14,61 - 37,74)
Ausdauer [Zeitanteil, %]	< 10 %	0,141 1°	31,94 (22,14-41,69)	25,57 (14,61 - 37,74)
	< 20 %	0,246 1°	37,33 (26,39 - 48,32)	33,31 (18,87 - 43,96)
	< 50 %	0,895 1°	52,99 (39,11 - 63,73)	55,11 (32,06 - 61,98)
Kontaktzeit [%]		0,657 1°	52,19 (42,25 - 65,14)	51,66 (43,74 - 73,18)

°= Bonferroni-Korrektur, $\alpha = 0{,}05$, * = signifikant, [68]

2. Darstellung der Ergebnisse der Messung „Tongue High“ (0,5 N)

Bei der Messung „Tongue High“ (0,5 N) können bei den Parametern Kraftvariabilität, Präzision, Ausdauer und Kontaktzeit signifikante Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe gemessen werden. So unterscheidet sich die Versuchsgruppe mit p = 0,009 in der *Kraftvariabilität (COV ZPK)* signifikant von der Kontrollgruppe. Auch hinsichtlich der *Präzision*, dem prozentualen Zeitanteil, in der die Probanden mit ihrer Zungenkraft innerhalb der Zielzone (± 10 %, ± 20 % und ± 50 %) liegen, unterscheiden sich die Versuchs- und Kontrollgruppe signifikant (p bei Präzision ± 10 % = 0,043, bei ± 20 % = 0,015 und bei ± 50 % = 0,005). Ebenso verhält es sich bei der *Ausdauer*, d. h. die Versuchsgruppe liegt in einem höheren Zeitanteil mit ihrer produzierten Zungenkraft unterhalb des minimalen Kraftlevels (< 10 %, < 20 % und < 50 %). Hier unterscheiden sich die Ergebnisse der Versuchs- und Kontrollgruppe

Tab. 3.3: Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe bei der Messung „Tongue High“ (0,5 N) sowie die Darstellung der Mediane und Quartile für Kinder mit OFD und Kontrollen

Parameter	**Sub-parameter**	**OFD vs Kontrollen (p-Wert)**	**OFD Median (Quartile)**	**Kontrollen Median (Quartile)**
Durchschnitt der ZPK [N]		0,346 1°	0,29 (0,21- 0,31)	0,31 (0,24 - 0,37)
Median der ZPK [N]		0,346 1°	0,28 (0,23 - 0,31)	0,3 (0,24 - 0,35)
COV ZPK [%]		0,009* 0,18°	108,78 (72,4 - 136,68)	70 (50,7 - 95,21)
Präzision [Zeitanteil, %]	± 10 %	0,043* 0,86°	6,79 (4,9 - 10,56)	10,3 (6,43 - 14,49)
	± 20 %	0,015* 0,3°	12,88 (10,57 - 21,31)	21,27 (13,97 - 27,97)
	± 50 %	0,005* 0,1°	33,59 (30 - 49,71)	53,15 (40,18 - 67,98)
Ausdauer [Zeitanteil, %]	< 10 %	0,006* 0,12°	24,69 (15 - 34)	10,54 (6,63 - 20,34)
	< 20 %	0,005* 0,1°	34,36 (22,5 - 43,33)	16,56 (9,37 - 28,91)
	< 50 %	0,037* 0,74°	56,91 (42 - 64,67)	44,77 (29,37- 54,77)
Kontaktzeit [%]		0,005* 0,1°	52,19 (42,25 - 65,14)	83,44 (71,1 - 90,21)

°= Bonferroni-Korrektur, $\alpha = 0{,}05$, * = signifikant, [68]

ebenfalls signifikant (p bei Ausdauer < 10 % = 0,006, bei < 20 % = 0,005 und bei < 50 % = 0,037) voneinander. Auch bei der *Kontaktzeit*, dem prozentualen Zeitanteil, in der die Probanden den Messfühler berühren, schneidet die Versuchsgruppe signifikant schlechter ab als die Kontrollgruppe (p = 0,005). Hinsichtlich der Durchschnittskraft sowie dem Median der Zungenkraft besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Tabelle 3.3).

Die statistisch signifikanten Ergebnisse sind in den Abbildungen 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 und 3.10 als Boxplots dargestellt.

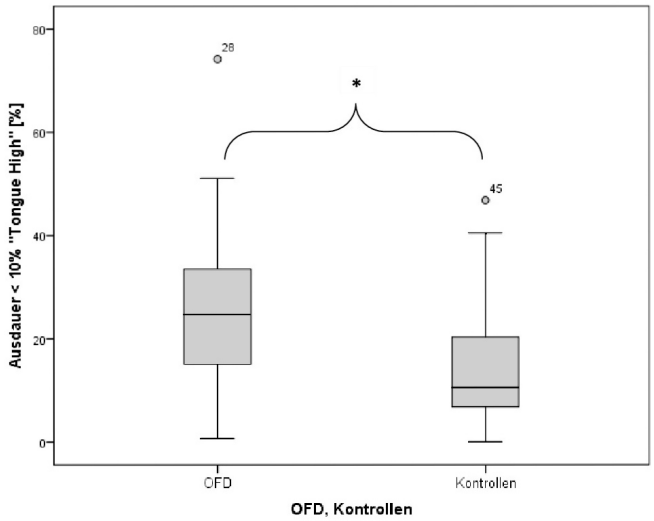

Abb. 3.3: Bei dem Parameter „Ausdauer $<$ 10 % “ (Tongue High, 0,5 N) liegt die VG im Vergleich zu der KG mit ihrer ZPK signifikant (p = 0,006*) häufiger unter dem minimalen Kraftlevel ($<$ 0,45 N). (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant), [68]

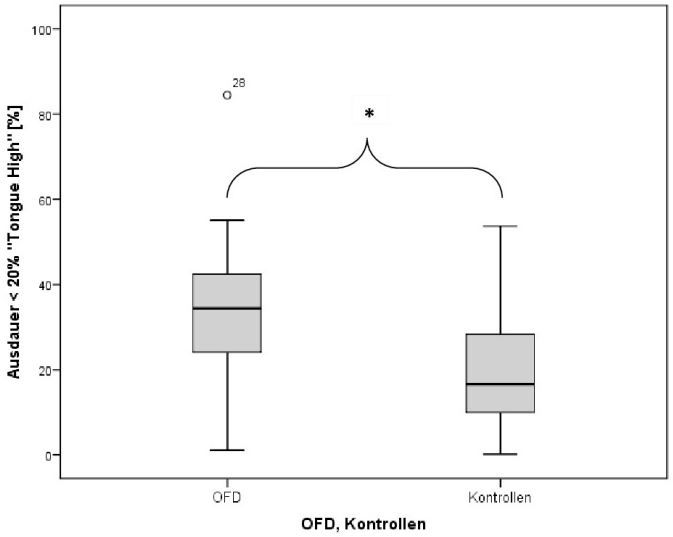

Abb. 3.4: Bei dem Parameter „Ausdauer $<$ 20 %“ (Tongue High, 0,5 N) liegt die VG im Vergleich zu der KG mit ihrer ZPK signifikant (p = 0,005*) häufiger unter dem minimalen Kraftlevel ($<$ 0,4 N). (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant), [68]

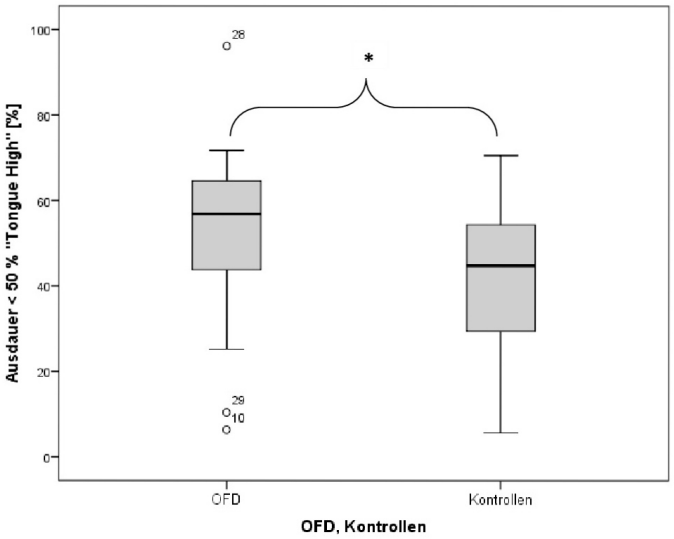

Abb. 3.5: Bei dem Parameter „Ausdauer $<$ 50 %“ (Tongue High, 0,5 N) liegt die VG im Vergleich zu der KG mit ihrer ZPK signifikant (p = 0,037*) häufiger unter dem minimalen Kraftlevel ($<$ 0,25 N). (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant), [68]

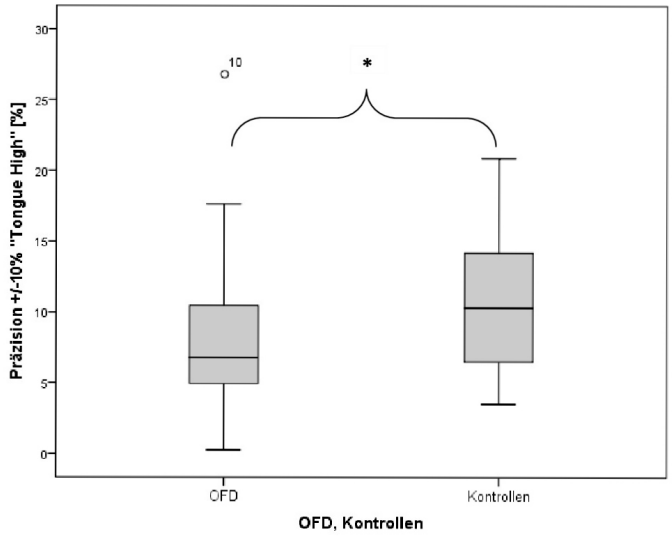

Abb. 3.6: Bei dem Parameter „Präzision $\pm$ 10 %“ (Tongue High, 0,5 N), liegt die VG im Vergleich zur KG mit ihrer ZPK signifikant (p = 0,043*) kürzer innerhalb des vorgegebenen Zielbereichs (0,45 N - 0,55 N).
(OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant), [68]

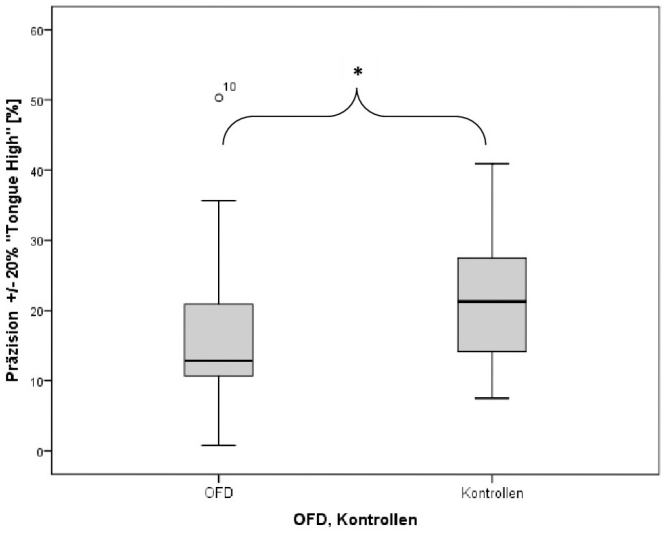

Abb. 3.7: Bei dem Parameter „Präzision ± 20 %“ (Tongue High, 0,5 N), liegt die VG im Vergleich zur KG mit ihrer ZPK signifikant (p = 0,015*) kürzer innerhalb des vorgegebenen Zielbereichs (0,4 N - 0,6 N).
(OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant), [68]

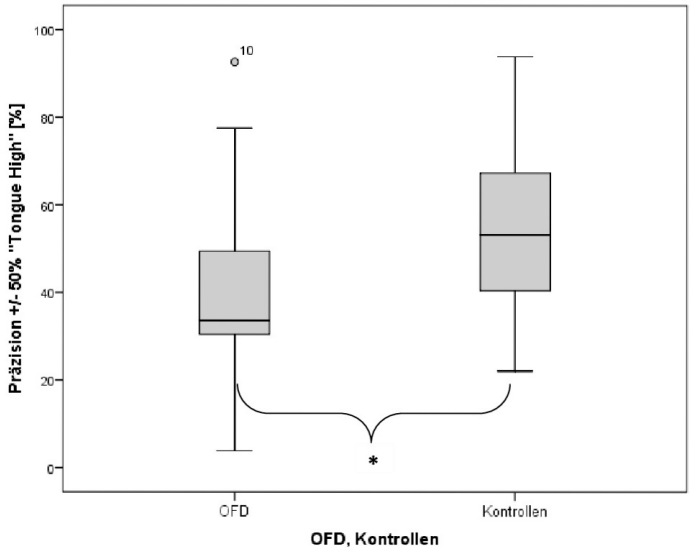

Abb. 3.8: Bei dem Parameter „Präzision ± 50 %“ (Tongue High, 0,5 N), liegt die VG im Vergleich zur KG mit ihrer ZPK signifikant (p = 0,005*) kürzer innerhalb des vorgegebenen Zielbereichs (0,25 N - 0,75 N).
(OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant), [68]

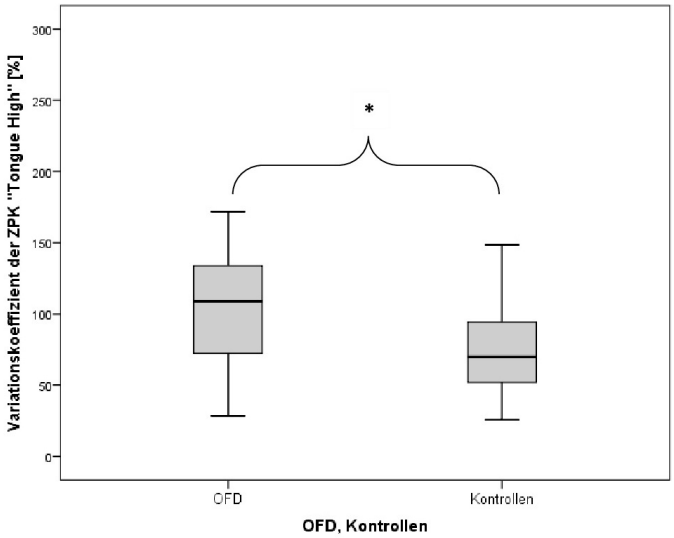

Abb. 3.9: Bei dem Parameter „Kraftvariabilität“ (COV ZPK) (Tongue High, 0,5 N) weicht die VG im Vergleich zur KG mit ihrer ZPK signifikant (p = 0,009*) stärker von der Durchschnittskraft ab. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant), [68]

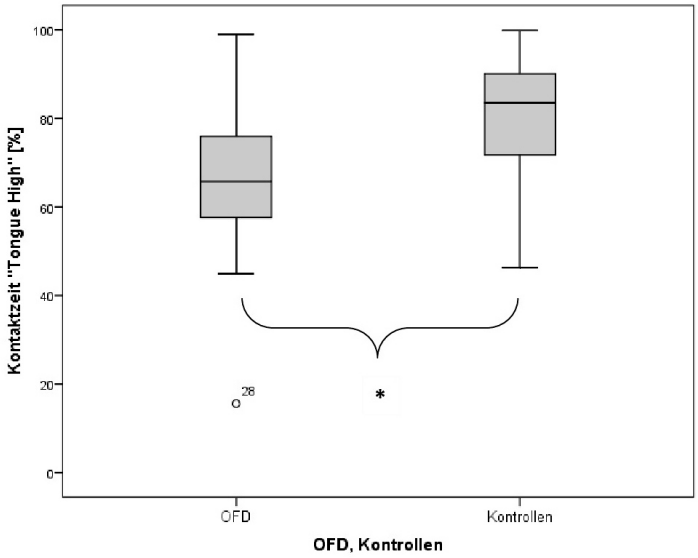

Abb. 3.10: Bei dem Parameter „Kontaktzeit“ (Tongue High, 0,5 N) weist die VG im Vergleich zur KG einen signifikant (p = 0,005*) niedrigeren prozentualen Zeitanteil von der Zunge am Kraftmessfühler auf. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant), [68]

3.2.2 Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Messung der isometrischen ZPK und Symptomen der OFD

Um den Einfluss von einzelnen Symptomen einer OFD auf das Ergebnis der Messung der isometrischen ZPK zu untersuchen, wurden acht Symptome, anhand derer nach Expertenkonsensus der Schweregrad einer OFD bestimmt werden kann, ausgewählt [7]. Diese Symptome (siehe Tabelle 3.4) setzen sich aus je vier Lippen- und vier Zungenbewegungen zusammen und wurden hinsichtlich ihres Einflusses auf das Ergebnis der drei Parameter (*„Kontaktzeit“*, *„Ausdauer < 20 %“* und *„Präzision ± 50 %“*) der Q-Motor-Messung untersucht. Diese drei Parameter der Q-Motor-Messung wurden ausgewählt, da hier ein signifikanter Unterschied zwischen Kindern mit und ohne OFD bei der Messung „Tongue High“ (0,5 N) nachgewiesen werden konnte. Ein signifikanter Einfluss von den Symptomen einer OFD auf die Parameter der Q-Motor-Messung läge vor, wenn der p-Wert einen Wert $\leq 0{,}05$ annimmt ($\alpha = 0{,}05$). Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 3.4 dargestellt.

Die drei Parameter *„Kontaktzeit“*, *„Ausdauer < 20 %“* sowie *„Präzision ± 50 %“* der Messung der isometrischen ZPK werden nicht durch ausgewählte Symptome einer OFD beeinflusst, da alle p-Werte größer als 0,05 sind.

Tab. 3.4: Untersuchung des Einflusses einzelner Funktionen von Lippen und Zunge auf die Kontaktzeit, Ausdauer sowie die Präzision bei der Q-Messung „Tongue High“ (0,5 N)

Symptome	**Kontaktzeit (p-Wert)**	**Ausdauer < 20 % (p-Wert)**	**Präzision ± 50 % (p-Wert)**
Lippen spitz	0,451	0,451	0,563
Lippen breit	0,216	0,216	0,436
Lippen breit/spitz im Wechsel	0,254	0,245	0,394
Fischmund	0,799	0,799	0,734
Zungenbewegung rechts/links	0,250	0,250	0,641
Zungenbewegung rechts/links im Wechsel	0,702	0,702	0,828
Zungenbewegung nach unten	0,238	0,238	0,108
Zunge kreist ums Lippenrot	0,487	0,487	0,405

$\alpha = 0{,}05$

3.2.3 Korrelation des Schweregrades der OFD mit den Ergebnissen der Messung der isometrischen ZPK

Um eine mögliche Korrelation zwischen den Ergebnissen der Messung der isometrischen ZPK sowie dem Schweregrad der OFD darzustellen, muss der Korrelationekoeffizient (r) betrachtet werden, welcher bei einer hohen Korrelation Werte nahe 1 und -1 annimmt. Die einzelnen Ergebnisse werden in der Tabelle 3.5 dargestellt.

Bei der Messung „Tongue Low“ (0,25 N) besteht eine positive, signifikante Korrelation bei dem Parameter *Präzision ± 50 %* (r = 0,273, p = 0,038) und positive, nicht signifikante Korrelationen bei den Parametern *Median der ZPK* (r = 0,228) und *Präzision ± 10 %, ± 20 %* (r = 0,25, r = 0,245). Die übrigen Parameter der Messung korrelieren nicht oder nur gering mit dem Schweregrad der OFD (siehe Tabelle 3.5).

Bei der Messung „Tongue High“ (0,5 N) besteht ebenfalls eine geringe signifikante Korrelation zwischen dem Summenscore und dem Parameter *Präzision ± 50 %* (r = 0,28, p = 0,039). Nicht signifikante, gering positive oder negative Korrelationen bestehen bei den Parametern *Kraftvariabilität* (r = - 0,237), *Präzision ±10 %, ±20 %* (r = - 0,237, r = 0,235) *Ausdauer < 10 %, < 20 % und < 50 %* (r = - 0,236, r = - 0,248, r = - 0,228) sowie *Kontaktzeit*
(r = 0,278). Der negative (indirekte) Zusammenhang entsteht durch das Maß der Ausdauer, denn je schlechter die orofaziale Funktion bzw. je geringer der Wert des Summenscores ist, desto mehr Zeit liegt die produzierte Zungenkraft unterhalb des minimalen Kraftlevels.

Tab. 3.5: Korrelation des Summenscores mit den Messergebnissen „Tongue Low“ (0,25 N) und „Tongue High“ (0,5 N)

Parameter	**Sub-parameter**	**Tongue Low**		**Tongue High**	
		r	p-Wert	r	p-Wert
Durchschnitt der ZPK [N]	-	- 0,164	0,219	0,022	0,871
Median der ZPK [N]	-	- 0,228	0,088	- 0,014	0,917
Kraftvariabilität [%]	-	- 0,166	0,213	- 0,237	0,082
Präzision [Zielkraft, %]	± 10 % ± 20 % ± 50 %	0,25 0,245 0,273	0,058 0,063 0,038*	- 0,237 0,235 0,28	0,082 0,084 0,039*
Ausdauer [Zeitanteil, %]	< 10 % < 20 % < 50 %	- 0,195 - 0,154 - 0,018	0,143 0,25 0,896	- 0,236 - 0,248 - 0,228	0,083 0,068 0,094
Kontaktzeit [%]	-	0,059	0,661	0,248	0,068

r = Korrelationskoeffizient, $\alpha = 0{,}05$, * = signifikant

Korrelationen von ausgewählten Parametern werden als Punktediagramme abgebildet (3.11, 3.12 und 3.13).

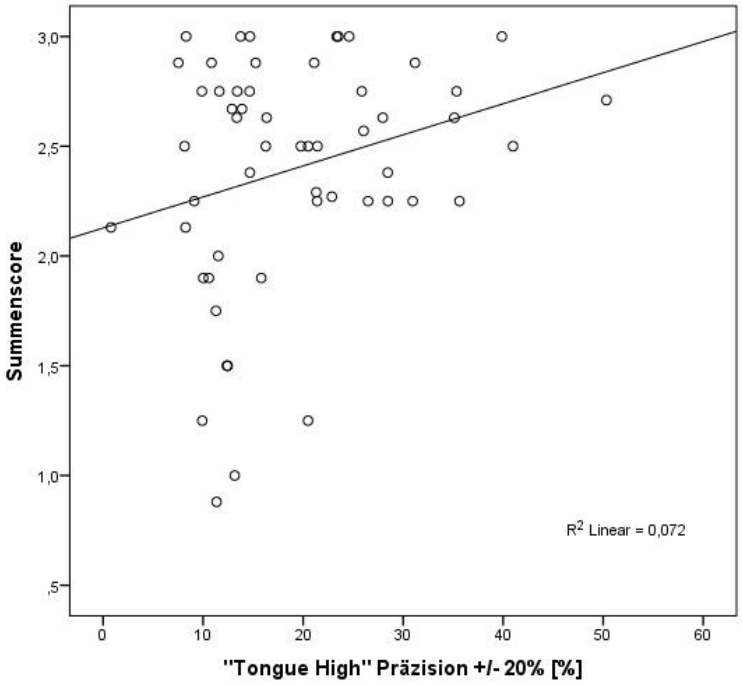

Abb. 3.11: Korrelation zwischen Summenscore und Präzision ± 20 % („Tongue High“, 0,5 N): Es liegt eine geringe, jedoch nicht signifikante Korrelation (r = 0,235, p = 0,084) zwischen dem Schweregrad der OFD sowie der Fähigkeit vor, die Zungenkraft innerhalb der Zielzone von ± 20 % zu halten.

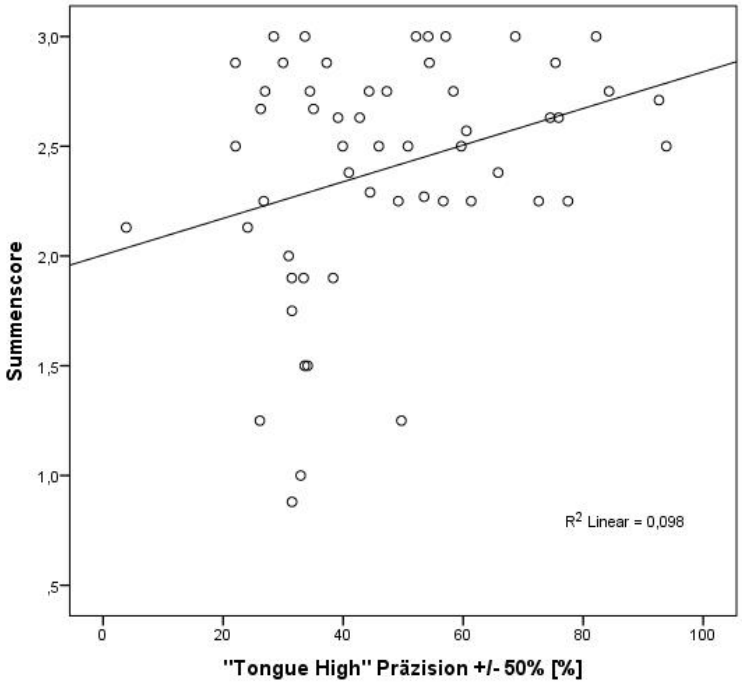

Abb. 3.12: Korrelation zwischen Summenscore und Präzision ± 50 % („Tongue High“, 0,5 N): Es liegt eine geringe, jedoch nicht signifikante Korrelation (r = 0,28, p = 0,039*) zwischen dem Schweregrad der OFD sowie der Fähigkeit vor, die Zungenkraft innerhalb der Zielzone von ± 50 % zu halten.

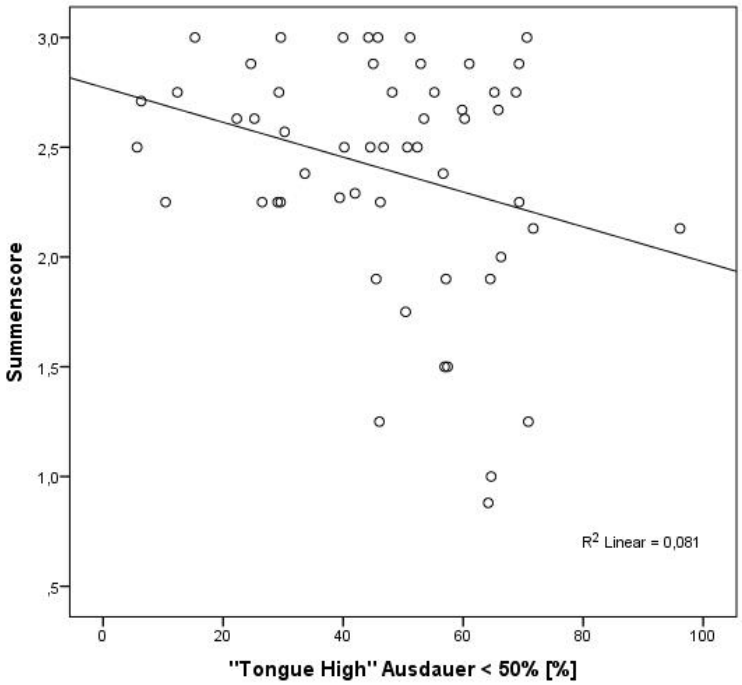

Abb. 3.13: Korrelation zwischen Summenscore und Ausdauer < 50 % („Tongue High“, 0,5 N): Es besteht ein geringer, negativer, nicht signifikanter Zusammenhang (r = - 0,228, p = 0,094) zwischen dem Schweregrad der OFD und dem Anteil der Zeit, in welcher die Zunge unterhalb des minimalen Kraftlevels liegt.

3.3 Fingertap-Versuche: Speeded- und Metronome Tapping

3.3.1 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Ergebnisse der Fingertap-Versuche

Da ein Zusammenhang zwischen orofazialen Bewegungen und der Feinmotorik der Hände nachgewiesen werden konnte [29], [52], wurden im Folgenden die feinmotorischen Fähigkeiten hinsichtlich der Geschwindigkeit (Speeded Tapping) und des Rhythmusgefühls (Metronome Tapping) von Versuchs- und Kontrollgruppe untersucht. Beim „Speeded Tapping“ zeigte sich dabei ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Parameter *Tap Dauer* (p = 0,001), *Tap Kraft (TK)* (p = 0,003), *COV TK* (p = 0,004) sowie *Frequenz* (p = 0,047). Bei den weiteren Parametern besteht ein statistischer Zusammenhang, der jedoch nicht signifikant ist (Tabelle 3.6).

Tab. 3.6: Ergebnisse der Figertapversuche: Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe

Parameter	**Speeded Tapping**		**Metronome Tapping**	
	p-Wert	**Bonferroni-Korrektur**	**p-Wert**	**Bonferroni-Korrektur**
IOI [s]	0,178	1		
IPI [s]	0,076	1		
MTI [s]	0,163	1		
Tap Dauer [s]	0,001*	0,016*	0,503	1
ITI [s]	0,805	1	< 0,001*	< 0,001*
Tap Kraft [N]	0,003*	0,048*	0,048*	0,768
COV TK [%]	0,004*	0,064	0,016*	0,256
Frequenz [Hz]	0,047*	0,752	0,005*	0,08
Δ IOI [s]			0,001*	0,016*
Δ MTI [s]			0,001*	0,016*
Δ IPI [s]			< 0,001*	< 0,001*

IOI = Inter Onset Interval, IPI = Inter Peak Interval, MTI = Mid Tap Interval, ITI = Inter Tap Interval, COV TK = Variationskoeffizient der Tap Kraft, Δ = Deviation, $\alpha = 0{,}05$, * = signifikant

Beim „Metronome Tapping“ unterschieden sich die beiden Gruppen statistisch signifikant in Hinblick auf die Δ *Inter Onset Interval* (p = 0,001), die Δ *Inter Peak Interval* (p = < 0,001), das *Inter Tap Interval* (p = < 0,001), die Δ *Mid Tap Interval* (p = 0,001) und der *Frequenz* (p = 0,08) (Tabelle 3.7). In den folgenden Abbildungen werden alle signifikanten Ergebnisse in Boxplots dargestellt (Abb.3.17, 3.14, 3.15, 3.16, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21 und 3.22).

Tab. 3.7: Kennzahlen der Fingertapversuche: Mediane und Quartile

Parameter	**Speeded Tapping**		**Metronome Tapping**	
	OFD Median (Quartile)	**Gesund Median (Quartile)**	**OFD Median (Quartile)**	**Gesund Median (Quartile)**
IOI [s]	0,28 (0,25 - 0,33)	0,27 (0,23 - 0,29)		
IPI [s]	0,28 (0,25 - 0,33)	0,27 (0,23 - 0,3)		
MTI [s]	0,28 (0,25 - 0,33)	0,28 (0,23 - 0,29)		
Tap Dauer [s]	0,13 (0,1 - 0,15)	0,1 (0,08 - 0,13)	0,17 (0,13 - 0,23)	0,17 (0,13 - 0,21)
ITI [s]	0,16 (0,13 - 0,2)	0,16 (0,14 - 0,18)	0,28 (0,22 - 0,31)	0,35 (0,3 - 0,37)
Tap Kraft [N]	1,22 (0,81 - 1,67)	0,75 (0,5 - 1,1)	1,09 (0,78 - 2,17)	1 (0,53 - 1,34)
COV TK [%]	49,71 (46,6 - 70)	44,85 (36,11 - 51,53)	39,1 (29,59 - 53,43)	30,46 (25,7 - 39,1)
Frequenz [Hz]	3,49 (3,16 - 4,1)	3,82 (3,45 - 4,41)	0,67 (0,61 - 0,77)	0,62 (0,6 - 0,65)
Δ IOI [s]			- 0,08 (- 0,13 - (- 0,04))	- 0,03 (- 0,06 - (- 0,01))
Δ MTI [s]			- 0,08 (- 0,013 - (- 0,04))	- 0,03 (- 0,05 - 0)
Δ IPI [s]			- 0,08 (- 0,13 - (- 0,04))	- 0,03 (- 0,05 - 0)

IOI = Inter Onset Interval, IPI = Inter Peak Interval, MTI = Mid Tap Interval,
ITI = Inter Tap Interval, COV TK = Variationskoeffizient der Tap Kraft, Δ = Deviation

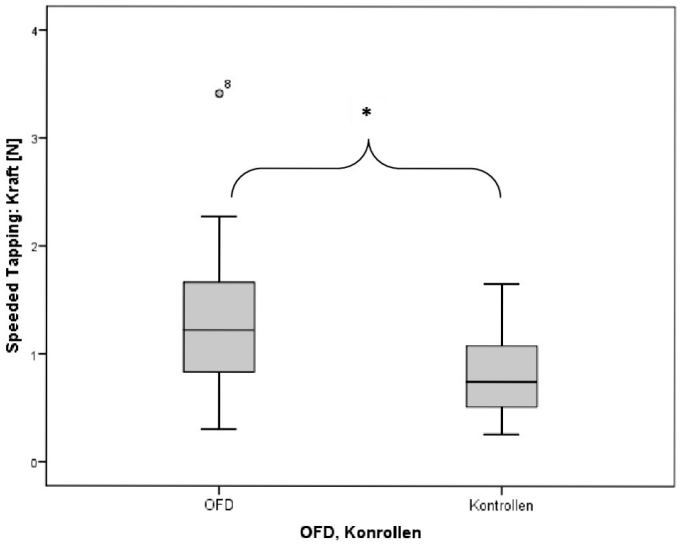

Abb. 3.14: Bei dem Parameter „Tap Kraft“ (Speeded Tapping) wendet die VG im Vergleich zur KG signifikant (p = 0,003*) mehr Kraft auf. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

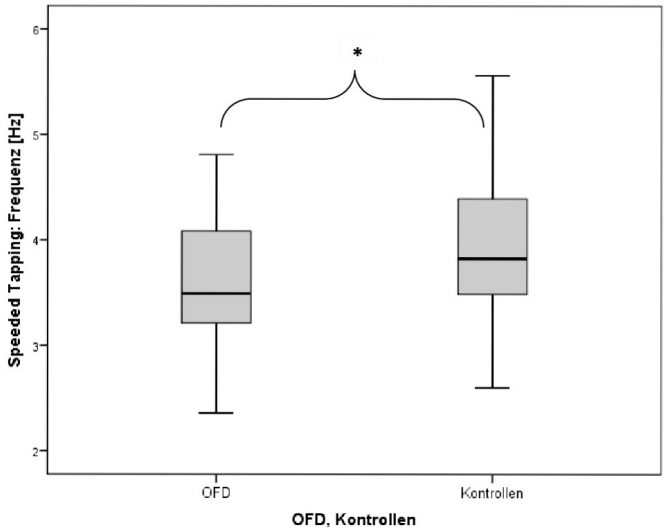

Abb. 3.15: Bei dem Parameter „Frequenz“ (Speeded Tapping) tippt die VG im Vergleich zur KG mit einer signifikant (p = 0,047*) niedrigeren Frequenz. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

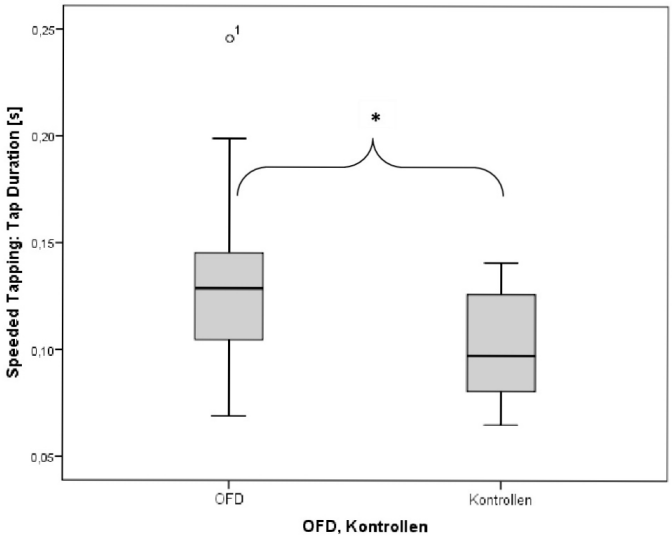

Abb. 3.16: Bei dem Parameter „Tap Dauer“ (Speeded Tapping) hat die VG im Vergleich zur KG eine signifikant (p = 0,001*) längere Tapdauer. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

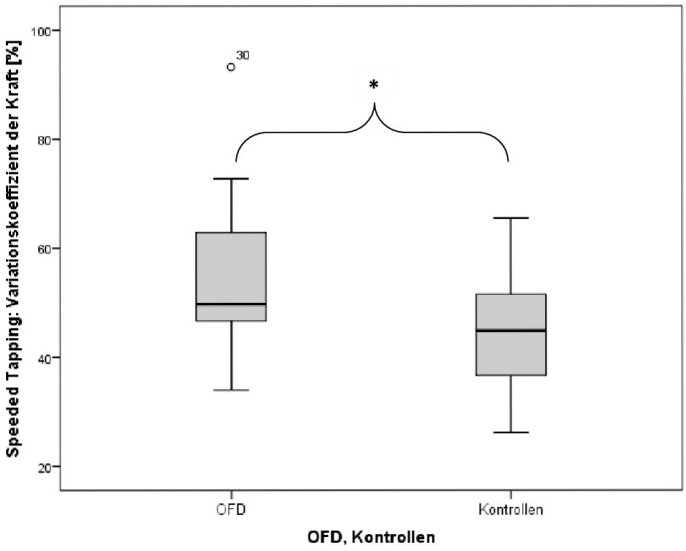

Abb. 3.17: Beim Parameter „Variationskoeffizient der Tap Kraft (COV TK)“ (Speeded Tapping) weicht die VG im Vergleich zur KG signifikant (p = 0,004*) stärker von der durchschnittlichen Kraft eines Taps ab. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

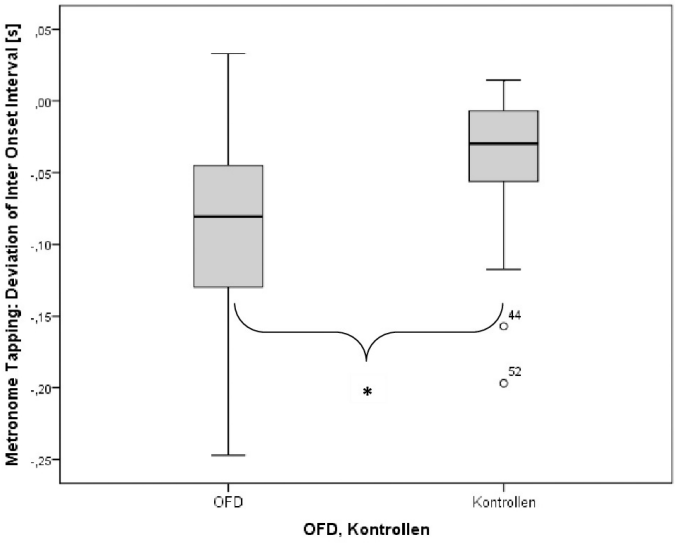

Abb. 3.18: Bei dem Parameter „Δ Inter Onset Interval“ (Metronome Tapping) weicht die VG im Vergleich zur KG signifikant (p = 0,001*) stärker vom vorgeben Rhythmus ab. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

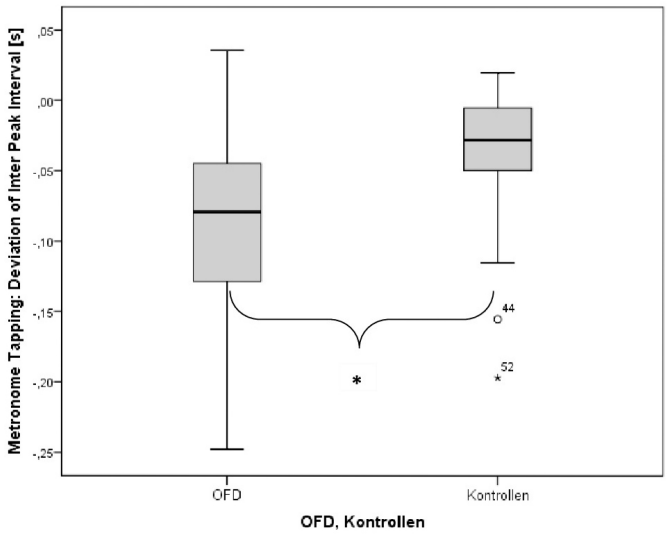

Abb. 3.19: Bei dem Paramter „Δ Inter Peak Interval“ (Metronome Tapping) weicht die VG im Vergleich zur KG signifikant ($p < 0{,}001$*) stärker vom vorgeben Rhythmus ab. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

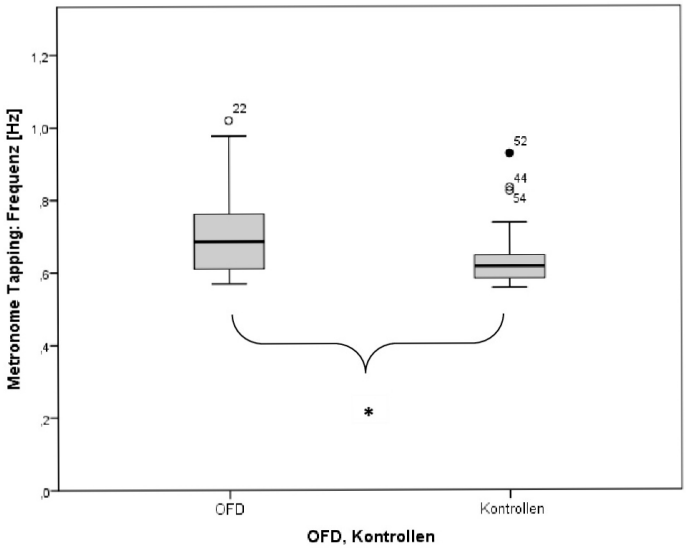

Abb. 3.20: Bei dem Parameter „Frequenz“ (Metronome Tapping) tippt die VG im Vergleich zur KG mit einer signifikant ($p = 0{,}005$*) niedrigeren Frequenz. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

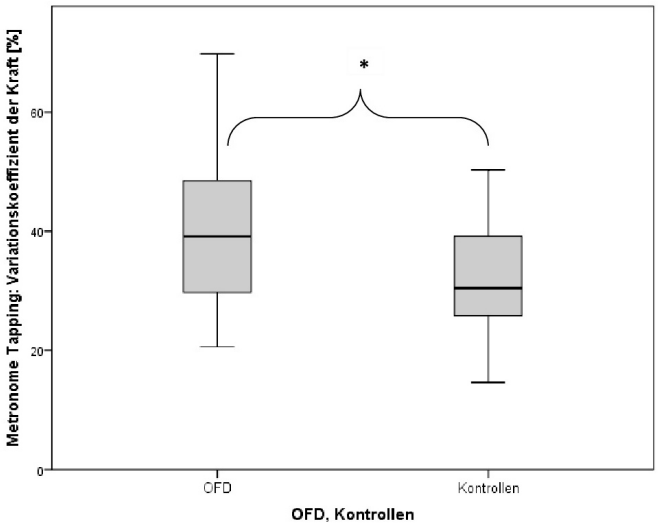

Abb. 3.21: Bei dem Parameter „Variationskoeffizient der Tap Kraft (COV TK)“ (Metronome Tapping) weicht die VG im Vergleich zur KG signifikant (p = 0,016*) stärker von der durchschnittlichen Kraft ab. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

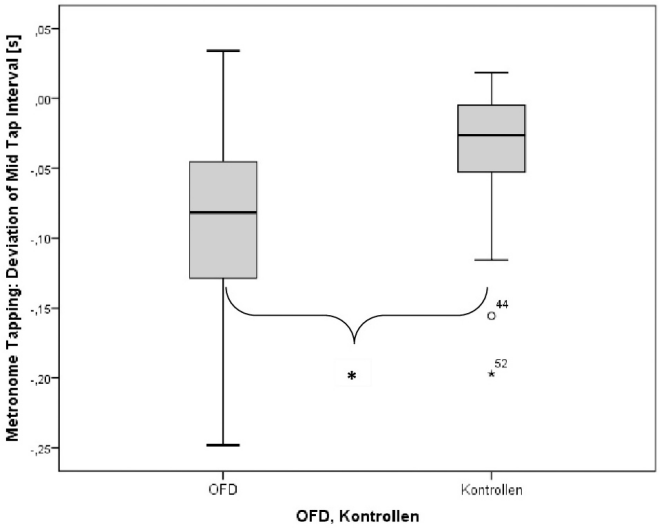

Abb. 3.22: Bei dem Parameter „Mid Tap Interval“ (Metronome Tapping) weicht die VG im Vergleich zur KG signifikant (p = 0,001*) häufiger vom vorgegebenen Rhythmus ab. (OFD = VG, Kontrollen = KG, * = signifikant)

3.3.2 Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Fingertap-Versuche und Symptomen der OFD

Beim „Speeded Tapping“ wurden die hoch signifikanten Parameter Tap Dauer, Tap Kraft, Variationskoeffizient der Tap Kraft (COV TK) sowie die Frequenz ausgewählt, um den Einfluss von bestimmten Symptomen auf die Ergebnisse der Fingertap-Versuche zu untersuchen. Einen signifikanten Einfluss ($\alpha = 0{,}05$) bestand bei der untersuchten orofazialen Funktion „Zunge kreist ums Lippenrot“ bei den Parametern *Tap Dauer* (p = 0,025), *COV TK* (p = 0,019) und der *Frequenz* (p = 0,004) (Tabelle 3.8).

Tab. 3.8: Untersuchung des Einflusses einzelner Symptome auf die Ergebnisse der Messung „Speeded Tapping“

Symptome	**Tap Dauer (p-Wert)**	**Tap Kraft (p-Wert)**	**COV TK (p-Wert)**	**Frequenz (p-Wert)**
Lippen spitz	0,802	0,489	0,662	0,73
Lippen breit	0,601	0,504	0,877	0,777
Lippen breit/spitz im Wechsel	0,788	0,462	0,864	0,445
Fischmund	0,489	0,215	0,74	0,496
Zungenbewegung rechts/links	0,406	0,843	0,564	0,223
Zungenbewegung rechts/links im Wechsel	0,503	0,929	0,371	0,176
Zungenbewegung nach unten	0,565	0,5	0,274	0,855
Zunge kreist ums Lippenrot	0,025*	0,496	0,019*	0,004*

COV TK = Variationskoeffizient der Tap Kraft, $\alpha = 0{,}05$, * = signifikant

Bei der Untersuchung „Metronome Tapping“ wurden ebenfalls die am höchsten signifikanten Parameter ausgewählt, um den Einfluss einzelner orofazialer Funktionen auf diese zu untersuchen. Auf die Parameter Δ *Inter Onset Interval* (ΔIOI), Δ *Mid Tap Interval* (ΔMTI) und Δ *Inter Peak Interval* (ΔIPI) hatte die Bewegung „Lippen spitz“ (p = 0,017, p = 0,023 und p = 0,023) einen signifikanten Einfluss. Ebenso verhielt es sich dabei, die „Lippen breit/spitz im Wechsel“ zu bewegen (p = 0,006, p = 0,008 und p = 0,008) sowie bei der „Zungenbewegung nach unten“ (p = 0,042, p = 0,047 und p = 0,041) und „Zunge kreist ums Lippenrot“ (p = 0,023, p = 0,019 und p = 0,025) (Tabelle 3.9).

Tab. 3.9: Untersuchung des Einflusses einzelner Symptome auf die Ergebnisse der Messung „Metronome Tapping“

Symptome	**ITI (p-Wert)**	**ΔIOI (p-Wert)**	**ΔMTI (p-Wert)**	**ΔIPI (p-Wert)**
Lippen spitz	0,672	0,017*	0,023*	0,023*
Lippen breit	0,379	0,54	0,529	0,536
Lippen breit/spitz im Wechsel	0,499	0,006*	0,008*	0,008*
Fischmund	0,448	0,693	0,634	0,639
Zungenbewegung rechts/links	0,785	0,779	0,863	0,518
Zungenbewegung rechts/links im Wechsel	0,768	0,724	0,893	0,537
Zungenbewegung nach unten	0,38	0,042*	0,047*	0,041*
Zunge kreist ums Lippenrot	0,053	0,023*	0,019*	0,025*

ITI = Inter Tap Interval, ΔIOI = ΔInter Tap Interval, ΔMTI = ΔMid Tap Interval, ΔIPI = ΔInter Peak Interval, Δ = Deviation, $\alpha = 0{,}05$, * = signifikant

3.3.3 Korrelation des Schweregrades der OFD mit den Ergebnissen der Fingertap-Versuche

Beim „Speeded Tapping“ besteht eine mittlere, signifikante Korrelation vom Summenscore und den vier Parametern *Tap Dauer* (r = 0,293, p = 0,001), *Tap Kraft* (r = - 0,397, p = 0,002), *COV Tap Kraft* (r = - 0,383, p = 0,004) und *Frequenz* (r = 0,313, p = 0,046). Bei allen weiteren Parametern sind geringe, jedoch keine signifikanten Korrelationen nachweisbar (Tabelle 3.10).

Während beim „Speeded Tapping“ vier signifikante Korrelationen nachgewiesen werden konnten, waren beim „Metronome Tapping“ sechs signifikante Korrelationen von Summenscore und den erfassten Parametern darstellbar. Somit weisen die Parameter *Inter Tap Interval* (r = 0,391, p = 0), *COV Tap Kraft* (r = - 0,388, p = 0,015), *Frequenz* (r = - 0,313, p = 0,004), Δ *Inter Onset Interval* (r = 0,359, p = 0,001), Δ *Mid Tap Interval* (r = 0,364, p = < 0,001) und Δ *Inter Peak Interval* (r = 0,373, p = < 0,001) einen mittleren signifikanten Zusammenhang auf (Tabelle 3.10).

Tab. 3.10: Korrelation des Summenscores mit den Messergebnissen der Fingertappversuche

Parameter	**Speeded Tapping**		**Metronome Tapping**	
	r	**p-Wert**	**r**	**p-Wert**
IOI [s]	- 0,182	0,18		
IPI [s]	- 0,239	0,076		
MTI [s]	- 0,188	0,165		
Tap Dauer [s]	- 0,441	0,001*	- 0,09	0,508
ITI [s]	0,033	0,808	0,518	$<$ 0,001*
Tap Kraft [N]	- 0,397	0,002*	- 0,156	0,247
COV TK [%]	- 0,383	0,004*	- 0,322	0,015*
Frequenz [Hz]	0,268	0,046*	- 0,371	0,004*
Δ IOI [s]			0,435	0,001*
Δ MTI [s]			0,461	$<$ 0,001*
Δ IPI [s]			0,469	$<$ 0,001*

IOI = Inter Onset Interval, IPI = Inter Peak Interval, MTI = Mid Tap Interval,
ITI = Inter Tap Interval, COV TK = Variationskoeffizient der Tap Kraft, Δ = Deviation,
r = Korrelationskoeffizient, α = 0,05, * = signifikant

Im Folgenden werden Punktediagramme von Summenscore und ausgewählten Parametern dargestellt (Abbildungen 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27 und 3.28).

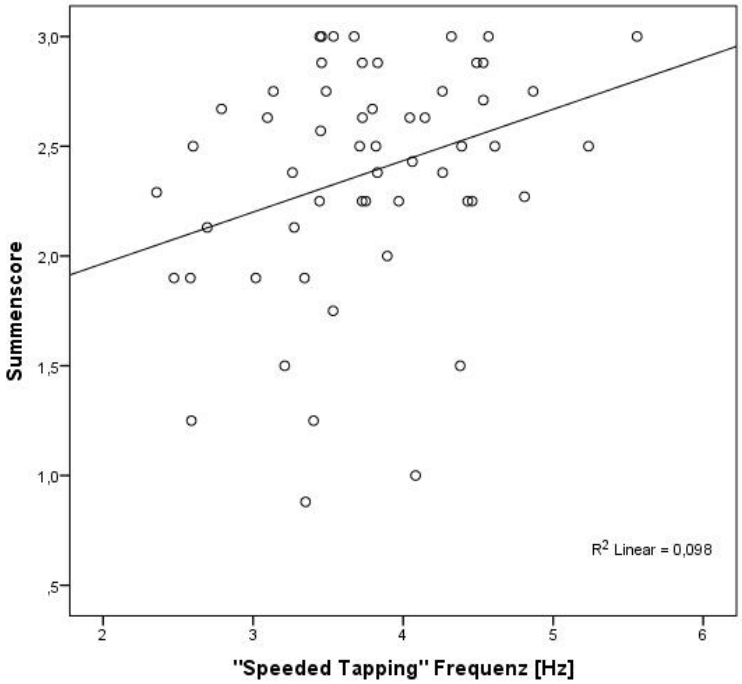

Abb. 3.23: Korrelation zwischen Summenscore und Frequenz (Speeded Tapping): Je höher der Summenscore ist, desto höher erweist sich die Tapfrequenz beim Speeded Tapping (r = 0,268, p = 0,046*).

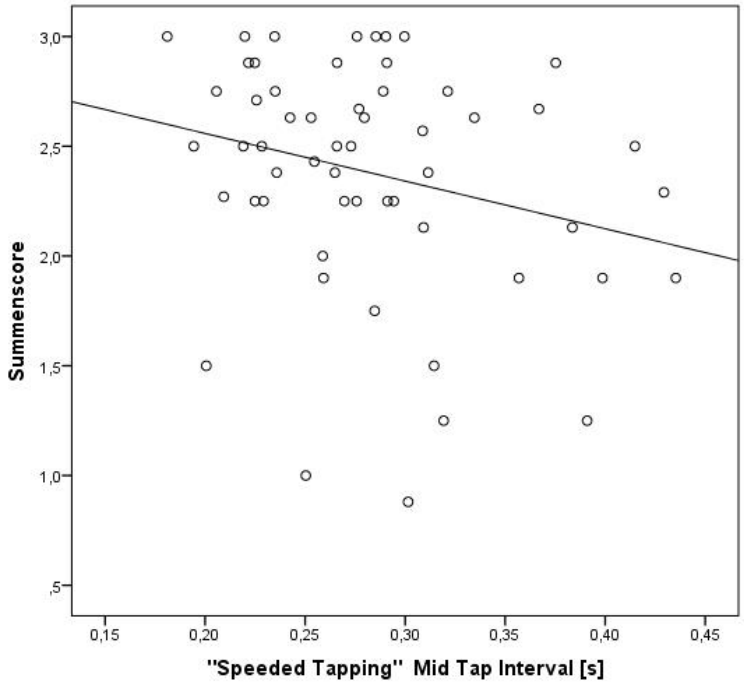

Abb. 3.24: Korrelation zwischen Summenscore und Mid Tap Interval (Speeded Tapping): Je besser der Score ist, desto kürzer ist das Mid Tap Interval (r = - 0,188, p = 0,165).

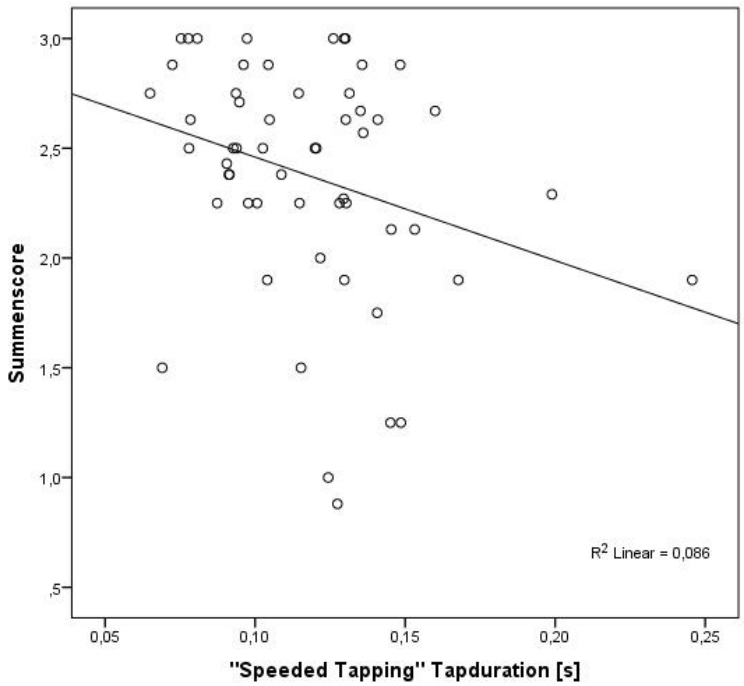

Abb. 3.25: Korrelation zwischen Summenscore und Tap Dauer (Speeded Tapping): Je höher der Summenscore ist, desto kürzer ist die Dauer eines Taps (r = - 0,441, p = 0,001*).

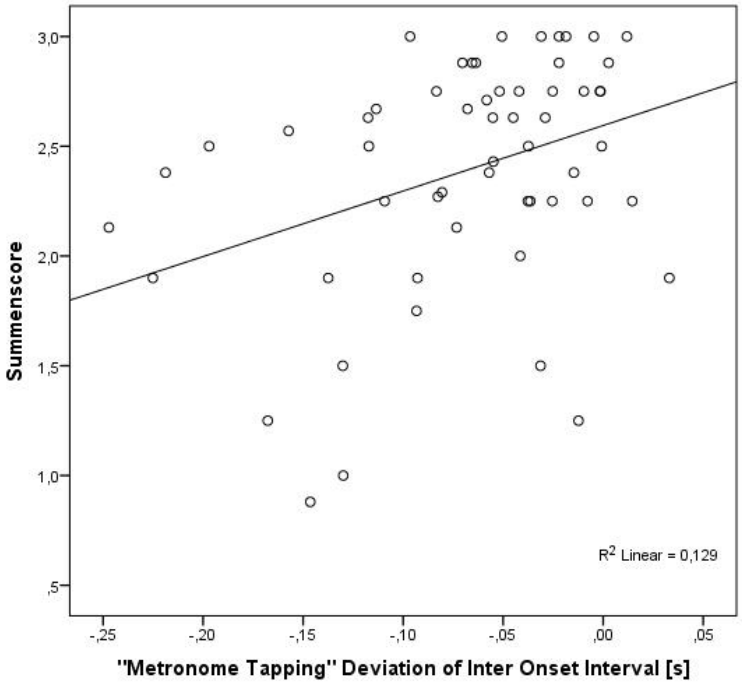

Abb. 3.26: Korrelation zwischen Summenscore und Δ Inter Onset Interval (Metronome Tapping): Je höher der Score ist, desto geringer ist die Abweichung des Taps vom vorgegebenen Rhythmus des Mid Tap Intervals (r = 0,435, p = 0,001*).

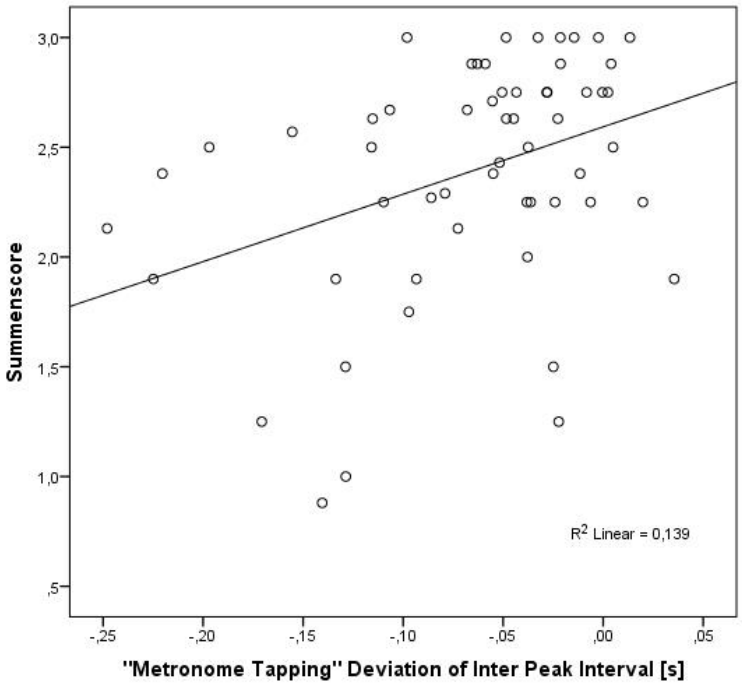

Abb. 3.27: Korrelation zwischen Summenscore und Δ Inter Peak Interval (Metronome Tapping): Je höher der Score ist, desto geringer ist die Abweichung des Taps vom vorgegebenen Rhythmus beim Inter Peak Interval (r = 0,469, p < 0,001*).

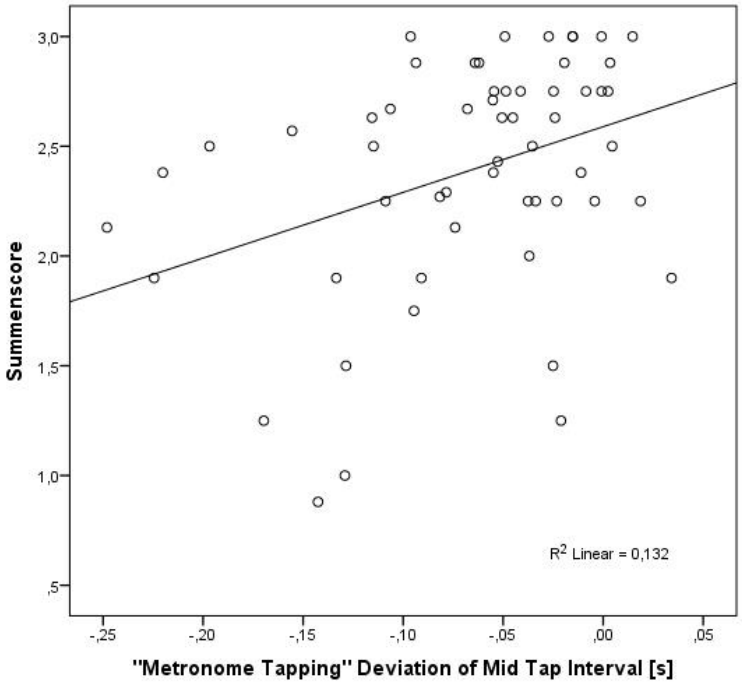

Abb. 3.28: Korrelation zwischen Summenscore und Δ Mid Tap Interval (Metronome Tapping): Je höher der Score ist, desto geringer ist die zeitliche Abweichung vom vorgegebenen Rhythmus beim Mid Tap Interval beim Metronome Tapping ($r = 0{,}461$, $p < 0{,}001$*).

4 Diskussion

4.1 Einführende Worte zur Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der quantitativen Messung des motorischen Systems bei Kindern mit OFD in Hinsicht auf die vorangegangenen Fragestellungen und Hypothesen diskutiert und bisherigen Forschungsergebnissen gegenübergestellt (siehe Kapitel 1.10.2).

Die von Experten eingeschätzten Schlüsselfunktionen orofazialer Bewegungen werden bisher ausschließlich subjektiv und nach individueller Erfahrung sowie beruflicher Schwerpunktausrichtung bewertet. Da jedoch die Beurteilung orofazialer Funktionen ein Feld mit großen interdisziplinären Überlappungen (Logopäden, Kieferorthopäden, HNO-Ärzte, Phoniater, Pädiater und Neurologen) und einem hohen Forschungsbedarf ist [5], [6], [50], wäre eine einheitliche, möglichst objektive Einschätzung von orofazialen Schlüsselkompetenzen wünschenswert. Mittels Q-Motor steht eine Möglichkeit zur Verfügung, Bewegungen der orofazialen Muskulatur und koordinative, feinmotorische Fähigkeiten bei neurologischen Erkrankungen sensitiv zu beurteilen [61], [69], [70], [71]. Die Anwendung der Q-Motor-Messung bei Kindern mit OFD und Kontrollen wurde bisher nicht beschrieben. Sie kann eine Möglichkeit darstellen, bestimmte Zielbewegungen von Zunge und Zeigefinger zu prüfen. Dieser Erkenntnisgewinn kann sich auf die zukünftige Diagnostik und Therapie der OFD auswirken.

4.2 Stichprobe

4.2.1 Stichprobenumfang

Das Studienkollektiv der vorliegenden Studie umfasst insgesamt 60 Personen. Damit wurden mehr Probanden eingeschlossen und untersucht, als dies in anderen Studien zur Messung der ZPK (n=15 [59], n=55 [69]) der Fall gewesen ist. Lediglich in den Studien zur Zungenkraft von Lambrechts et al. (2010) [48] und Horn et al. (1995) [58] sind mehr Probanden eingeschlossen worden. Allerdings wurden dort nicht spezifisch die Kompetenzen von Kindern mit OFD untersucht, sondern es wurde hierbei auf den Lippen- und Zungendruck bei Kindern mit Zahnfehlstellungen, bzw. auf die Maximalkraft der Zunge bei Patienten mit Zungenfehlfunktion eingegangen.

4.2.2 Intelligenz und Hörvermögen der Probanden

Um sicherzustellen, dass bei den Kindern der Versuchsgruppe dieser Studie eine primäre OFD, also eine OFD ohne bekannte oder erkennbare Ursache vorliegt, wurden eine Hörstörung mittels Tonaudiometrie und eine Intelligenzminderung mittels CPM-Test nach Raven [64], [67] ausgeschlossen. Weitere mögliche Ursachen einer OFD wie bekannte Muskelerkrankungen, dem Vorliegen von oralen Habits, bisherige Operationen (Adenektomie, Tonsillektomie) oder kieferorthopädische Behandlungen wurden mittels gezielter anamnestischer Fragen ausgeschlossen.

4.2.3 Altersverteilung

Ebenso wie die sprachlichen und grobmotorischen Fähigkeiten altersabhängig sind [72], wurde die altersabhängige Entwicklung orofazialer Kompetenzen in der Studie von Cavalcante-Leão et al. (2017) sowie Bergendal et al. (2014) untersucht. In der zuletzt genannten Studie kann gezeigt werden, dass bei 25 % der gesunden Kinder im Alter von drei bis vier Jahren eine Dysfunktion beim Kauen und Schlucken aufweisen. Im Alter von fünf bis sieben Jahren können darüber hinaus Schwierigkeiten beim Sprechen und orale Habits nachgewiesen werden. Somit scheint auch die orofaziale Entwicklung altersabhängig zu sein [73].
In der Studie von Cavalcante-Leão et al. (2017) wird die Altersspanne der acht- bis zehnjährigen mit einer besonders hohen Prävalenz für orofaziale Dysfunktionen herausgestellt, da in dieser Altersspanne bei der Mehrzahl der Kinder ein gemischtes Gebiss aus Milch- und bleibenden Zähnen vorliegt [74]. In der vorliegenden Studie wurde die untersuchte Altersspanne zwischen sechs und 15 Jahren festgelegt und wurde deshalb gewählt, weil sich bei der Auswertung von 350 Kindern mit OFD ebenfalls eine Häufung in dieser Altersgruppe zeigte [7]. Zudem ist die Q-Motor-Messung erst mit Kindern ab sechs Jahren zuverlässig durchführbar. Im folgenden Abschnitt wird zunächst die Altersverteilung der Studienteilnehmer betrachtet. Zum einen sollte geprüft werden, ob das Alter die Ergebnisse der Q-Motor-Messung beeinflusst und zum anderen, ob die Versuchs- und Kontrollgruppe in Hinblick auf das Alter miteinander vergleichbar sind.

Um zu untersuchen, ob die Altersverteilung der Versuchs- und Kontrollgruppe einen Einfluss auf die Ergebnisse der Q-Motor-Messung hat, wurde der „Exakte Test nach Fisher“ angewendet. Dabei zeigt sich, dass das Alter der Studienteilnehmer das Ergebnis der Q-Motor-Messung nicht signifikant beeinflusst ($p = 0{,}062$) (siehe Tab. 3.1). In bisherigen Studien ist jedoch festgestellt worden, dass sich die grobmotorischen und orofazialen Fähigkeiten bei Kindern mit zunehmendem Alter verbessern [72], [73], [74]. Der fehlende Einfluss des Alters auf die Untersuchung „Q-Motor“ könnte zum einen damit zusammenhängen, dass in den zitierten Studien nur grobmotorische Fähigkeiten der Kinder oder mittels eines Fragebogens die orofazialen Fähigkeiten getestet worden sind, während in der vorliegenden Studie die quantitative Messung des motorischen Systems, insbesondere von Zunge und Zeigefinger im

Mittelpunkt stehen. Zum anderen könnte der Ausprägungsgrad der OFD bei den Versuchsteilnehmern ähnlich über deren Alter verteilt gewesen sein, sodass das Alter keinen Einfluss auf die Messergebnisse in der vorliegenden Studie hat.

Um zu prüfen, ob die Altersverteilung der Versuchsgruppe mit der der Kontrollgruppe zu vergleichen ist, müssen die Kennzahlen der beiden Gruppen betrachtet werden. Dabei liegt das Durchschnittsalter von Versuchs- und Kontrollgruppe bei 8,5, bzw. 9,6 Jahren mit einer Standardabweichung von 2,2 bzw. 2,3 Jahren und einer Differenz des Durchschnittsalters von 1,1 Jahren (siehe Tab. 3.1). Da nicht davon auszugehen ist, dass sich die spezifischen Funktionen der orofazialen Kompetenzen innerhalb der geringen Altersdifferenz grundlegend unterscheiden, legen wir hier der Vergleichbarkeit der beiden Gruppen zu Grunde.
Um eine noch bessere Vergleichbarkeit der Gruppen zu erreichen, sollten jedoch in nachfolgenden Studien Altersgruppen in Jahres- oder Zweijahresschritten gebildet werden.

4.2.4 Verteilung des Geschlechts

Studien zum Auftreten von Entwicklungsauffälligkeiten bei Sprache und Kognition sowie feinmotorischen Fähigkeiten haben gezeigt, dass diese bei Jungen 1,2, bzw. 3,1 mal häufiger vorkommen als bei Mädchen (Jungen : Mädchen = 1,2 : 1 (Sprache und Kognition), bzw. 3,1 : 1 (Feinmotorik) [75]). In der vorliegenden Studie stehen Jungen und Mädchen in einem Verhältnis von von 3,3 : 1. Allerdings fehlen Daten zum Geschlechterverhältnis beim Vorliegen einer OFD [20], [76], [77]. Da jedoch bekannt ist, dass auch SES (Jungen : Mädchen = 1,8 : 1 [20]; 1,5 : 1 [76]; 3 : 1 [77]) bei Jungen häufiger sind und es eine gemeinsame Stichmenge mit OFD gibt, erscheint das Überwiegen von Jungen bei OFD (in einem bisher nicht bekannten Verhältnis) einer normalen Verteilung zu entsprechen. Ein Matching mit ausgeglichenem Geschlechterverhältnis würde hier nicht der realen Verteilung entsprechen.

Insgesamt wurde der Einfluss des Geschlechts auf die Ergebnisse der Q-Motor-Messung ebenfalls mittels „Exaktem Test nach Fisher“ geprüft und kein signifikanter Einfluss nachgewiesen (p = 0,267) (siehe Tab. 3.1). Somit wirkt sich die abweichende Geschlechterverteilung von Versuchs- und Kontrollgruppe nicht auf das Ergebnis der Q-Motor-Messung aus.

4.2.5 Verteilung der Händigkeit

Die Händigkeit zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe ist nahezu gleichverteilt. Bei der vorliegenden Stichprobe sind Linkshänder mit 19,4 % (Versuchsgruppe) sowie 23,3 % (Kontrollgruppe) im Vergleich zum Bevölkerungsdurchschnitt, welcher im Alter von vier bis 19 Jahren bei 12 % [78] liegt, leicht überrepräsentiert. Die Händigkeit der Versuchspersonen zeigte keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis (geprüft durch den „Exakten Test nach Fisher“, p = 1,0) und beeinflusst das Messergebnis nicht (siehe Tab. 3.1).

4.2.6 Summenscore

Um einen Überblick über die allgemeinen orofazialen Kompetenzen der Studienteilnehmer zu gewinnen, wurde ein Summenscore aus nach Expertenkonsens repräsentativen Bewegungen von Lippen und Zunge gebildet. In Untersuchungen von zwei unterschiedlichen Diagnosebögen in Schweden und Brasilien konnte gezeigt werden, dass die Ausprägung einer OFD mit Hilfe einer numerischen Skala erfasst werden kann [1], [43] (siehe Kapitel 1.6). So erzielen in diesen beiden Studien Patienten mit OFD einen geringeren Summenscore als Patienten ohne OFD, wobei auch der Schweregrad der OFD mit Hilfe der numerischen Skala erfasst wurde [1], [43]. Dieser Zusammenhang kann auch mit den erhobenen Daten in der vorliegenden Studie gezeigt werden. Zum einen wurde der signifikante Einfluss des Summenscores auf die Ergebnisse der Messung durch den „Exakten Test nach Fisher“ ($p < 0{,}001$) (siehe Tab. 3.1) nachgewiesen und zum anderen wurde in der Versuchsgruppe durchschnittlich ein Summenscore von 2,1 erzielt, welcher niedriger ist als der Durchschnittswert von 2,7 bei der Kontrollgruppe (siehe Abb. 3.5). Zudem verdeutlicht die Abbildung 3.5 die erheblich größere Streuung des Scores innerhalb der Versuchsgruppe. Für die vorliegende Arbeit dient der Summenscore als numerischer Parameter für die Einschätzung der Güte orofazialer Funktionen.

4.2.7 Zusammenfassung der Diskussion zur Stichprobe

Die Zusammensetzung der vorliegenden Stichprobe erscheint in Hinblick auf Stichprobenumfang, Intelligenz, Hörvermögen, Geschlecht, Händigkeit und Summenscore, auch im Vergleich der genannten Parameter mit den Stichproben der Literatur gut geeignet, um Untersuchungen zum Vorliegen und der Ausprägung einer OFD durchzuführen.

4.3 Statistik

Da der Q-Motor-Versuch verschiedene Messungen mit zahlreichen einzelnen Parametern beinhaltet, sollte für die Festlegung des Signifikanzniveaus bei der statistischen Auswertung zunächst das Problem der Alphafehler-Kumulierung diskutiert werden. Die Alphafehler-Kumulierung beschreibt das mathematische Problem, dass die Wahrscheinlichkeit eine Hypothese (fälschlicherweise) abzulehnen steigt, je mehr Hypothesen auf einer Stichprobe getestet werden. Daher gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Korrektur der Alphafehler-Kumulation. Bei der Korrektur nach Bonferroni, die in der vorliegenden Studie angewendet wurde, wird das allgemein festgelegte Signifikanzniveau von $\alpha = 0{,}05$ mittels Division von 0,05 (Signifikanzniveau) durch die jeweilige Anzahl der Parameter korrigiert.

Ein Nachteil der Alphafehler-Korrektur ist jedoch, dass Hypothesen nun seltener als signifikant getestet werden, da das Signifikanzniveau durch die Korrektur kleiner ist. Dies ist vor

allem dann ein Nachteil, wenn es sich um eine kleine Stichprobengröße handelt [79], was in der vorliegenden Studie der Fall ist.

Da in der vorliegenden Studie eine neuartige Messmethode erstmalig bei Kindern durchgeführt wurde, sind im Ergebnisteil der Studie die p-Werte nach erfolgter Bonferroni-Korrektur dargestellt, im Folgenden werden die Ergebnisse jedoch aufgrund des übersichtlichen Stichprobenumfangs ohne Korrektur diskutiert. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0{,}05$ festgelegt [68], [79].

4.4 Messung der isometrischen Zungenprotrusionskraft

4.4.1 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Ergebnisse der Messung der isometrischen ZPK

In der vorliegenden Studie wurde die quantitative Messung der isometrischen ZPK (Ergebnisse siehe Kapitel 3.2) als neue objektive Messmethode zur Quantifizierung motorischer Defizite bei dem Vorliegen einer OFD untersucht. In bisher veröffentlichten Studien, bei denen die Q-Motor-Messung bei neurologischen Krankheiten durchgeführt wurde, konnte mit Hilfe von Q-Motor zwischen gesunden und kranken Probanden differenziert werden [61], [69]. So steht auch im Mittelpunkt dieser Studie die Frage, inwiefern sich Kinder mit und ohne OFD bei den Ergebnissen der Q-Motor-Messung unterscheiden.

Insgesamt liegt bei allen Messergebnissen der isometrischen ZPK ein statistischer Unterschied zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe vor. Die Anzahl der signifikanten Unterschiede ist dabei jedoch von der geprüften Kraft abhängig. Bei dem Versuch „Tongue High“ (0,5 N) wurden im Vergleich zur Messung „Tongue Low“ (0,25 N) mehr signifikante Unterschiede („Tongue High“ (0,5 N): *Kraftvariabilität* p = 0,009, p bei *Präzision* ± 10 % = 0,043, ± 20 % = 0,015 und ± 50 % = 0,005, p bei *Ausdauer* < 10 % = 0,006, < 20 % = 0,005 und < 50 % = 0,037 und *Kontaktzeit* p = 0,005) zwischen Kindern mit und ohne OFD gemessen [68].

Betrachtet man die einzelnen Parameter der Messung „Tongue High“ (0,5 N), erzielen Kinder mit OFD signifikant geringere Ergebnisse als die Kontrollen. Hinsichtlich der *Kraftvariabilität*, also dem Variationskoeffizienten der produzierten Zungenkraft (VG = 108,78 %, KG = 70 %), unterscheiden sich die beiden Gruppen signifikant. Gesunde Kinder können ihre Zungenkraft somit besser dosieren und weichen daher nicht so stark von der Ziellinie ab wie Kinder mit OFD. Die Kraftvariabilität wurde ebenfalls von Tabrizi et al. (2009) und Reilmann et al. (2010) als sensitivster Parameter zur Unterscheidung von gesunden und kranken Personen bei verschiedenen neurologischen Bewegungsstörungen herausgestellt [61], [69]. Zudem haben Kinder mit OFD einen geringeren Muskeltonus im Vergleich zu gesunden Kindern [2]. Auch dies spiegelt sich in den Ergebnissen der Messungen wider, da Kinder mit

OFD ihre Zungenkraft in geringerem Maße gleichbleibend dosieren können.

Ebenso verhält es sich mit der *Präzision*, dem prozentualen Zeitanteil, bei der sich die von den Probanden produzierte ZPK innerhalb des vorgegebenen Zielbereichs der Soll-Kraft befindet. Gesunde Kinder liegen mit ihrer isometrischen ZPK in einem signifikant höheren prozentualen Zeitanteil innerhalb des vorgegebenen Zielbereichs als Kinder mit OFD (z.B. bei Präzision: $\pm$ 50 % VG = 33,59 %, KG = 53,15 %). So zeigt sich auch hier, dass Kinder mit OFD ihre Zunge weniger kräftig und weniger gezielt dem vorgegebenen Kraftlevel anpassen können als gesunde Kinder, wie dies auch in der Studie von Reilmann et al. (2010) [69] und in der Beschreibung von Symptomen einer OFD von Kittel (2012) [2] gezeigt wurde. Gleichartig verhält es sich bei der *Ausdauer*, bei der Kinder mit OFD zu einem signifikant höheren prozentualen Zeitanteil mit ihrer produzierten Zungenkraft unterhalb des minimalen Kraftlevels liegen als gesunde Kinder (z.B. *Ausdauer* $<$ 50: % VG = 56,91 %, KG = 44,77 %), was den Ergebnissen von Reilmann et al. (2010) bei Patienten mit neurologisch bedingten Bewegungsstörungen entspricht [69].

Zudem schaffen es gesunde Kinder (durchschnittliche Kontaktzeit: 83,44 %) für einen signifikant längeren Zeitraum mit der Zunge den Kontakt zum Messfühler zu halten (*Kontaktzeit*) als Kinder mit OFD (durchschnittliche Kontaktzeit: 52,19 %). Hierbei wurde der Anteil der Zeit, mit welcher die Probanden den Sensor während der Messung berührten, ausgewertet, wobei der Zielwert bei 100 % liegt. Auch Patienten mit neurologischen Bewegungsstörungen unterscheiden sich hinsichtlich der Kontaktzeit signifikant von den gesunden Kontrollpersonen [69]. Daten dieser Parameter von Kindern mit OFD aus anderen Studien zum Vergleich existieren nicht. Eine mögliche Erklärung für den Unterschied zwischen Kindern mit OFD und Kontrollen hinsichtlich der Kontaktzeit kann die Zungenfehlfunktion sein, welche bei Kindern mit OFD oftmals beschrieben wird [6], [12]. So kann sich die abweichende Zungenruhelage und die fehlende sensorische und motorische Kontrolle der Zunge negativ auf die Bewegung und damit die Fähigkeit, die Zunge am Kraftmessfühler zu positionieren, auswirken [2].

Die genannten Parameter zeigen, dass Kinder mit OFD sowohl eine geringere Absolutkraft bei der Zungenprotrusion als auch eine signifikant geringere Fähigkeit der Kraftdosierung haben als die Kinder der Kontrollgruppe. Dies kann zum einen auf eine geringere Muskelkraft der Zunge und zum anderen auf eine geringere Fähigkeit der Zungenkoordination hinweisen. Die Kraft und die feinmotorischen, zielgenauen Bewegungen der Zunge stellen jedoch die Grundlage für hochgradig komplexe Vorgänge wie das Kauen und die Artikulation dar [12].

Zudem ist es bekannt, dass auch bei der Prüfung der oralen Stereognose, bei der Kinder mit OFD mehr Zeit zum Erkennen von Prüfkörpern mit der Zunge brauchen, ein Hinweis für eine Störung der sensorisch-taktilen Kontrolle sein kann [27], [39]. Daher kann die geringere Fähigkeit der Kinder mit OFD, ihre Zungenkraft am Messfühler an die Ziellinie anzupassen, auch ein Zeichen der Einschränkung ihrer sensorisch-taktilen Fähigkeiten sein. Mit der vorliegenden Q-Motor-Messung ist die Darstellung dieser Defizite von Kindern mit OFD

gelungen.

Die beiden Parameter, bei denen sich Kinder mit OFD und Kontrollen nicht signifikant unterscheiden, sind der *Durchschnittswert* (VG = 0,29 N, KG = 0,31 N) und der *Median* (VG = 0,28 N, KG = 0,3 N) der isometrischen ZPK. Dies belegen auch die Daten der Studie von Lambrechts et al. (2010), in denen sich Patienten mit und ohne OFD nicht hinsichtlich ihrer gemessenen Zungenmaximalkraft unterscheiden lassen. Bei einer weiteren Studie jedoch, in denen die Zungenkraft als Durchschnittswert bei Kindern mit Sprechstörungen gemessen und mit der Zungenkraft von gesunden Kinder verglichen wurde, erzielen Kinder mit Sprechstörungen eine deutlich geringere Zungenkraft als gesunde Kinder [59]. Allerdings liegt bei beiden Studien ein Unterschied zu der hier durchgeführten Q-Motor-Messung vor. So kommt es bei der isometrischen ZPK darauf an, dass die Probanden nicht nur eine bestimmte Absolutkraft aufwenden, sondern ihre Zungenkraft richtig dosieren, was mit der auf dem Bildschirm eingeblendeten Ziellinie als Biofeedback visualisiert wird. So scheint es nachvollziehbar, dass der Durchschnittswert und der Median der isometrischen ZPK bei der Q-Motor-Messung nicht die sensitivsten Parameter zur Unterscheidung von Versuchs- und Kontrollpersonen darstellt [68].

Bei der Messung „Tongue Low“ (0,25 N) unterscheiden sich die Werte von gesunden und kranken Kindern in einer Kategorie, der *Präzision ± 50 %*, signifikant. Auch hier liegen signifikant weniger Kinder mit OFD mit ihrer produzierten ZPK innerhalb des vorgegebenen Zielbereichs, als Kinder ohne OFD (VG = 28,72 %, KG = 35,51 %). Bei den anderen Parametern der Messung (*Durchschnitt der ZPK, Median der ZPK, Präzision, Kraftvariabilität, Kontaktzeit* und *Ausdauer*) bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe. Ergebnisse anderer Studien von Kindern mit OFD existieren hinsichtlich dieser Parameter nicht. Bei neurologischen Bewegungsstörungen wurden jedoch ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bei der isometrischen ZPK bei 0,25 N nachgewiesen. Alle Probanden der Studie haben die Messung „Tongue low“ als den schwierigsten Versuch empfunden, die Zungenkraft bei diesem niedrigen Kraftlevel richtig zu dosieren [69]. Es scheint sowohl für gesunde, als auch kranke Personen sehr schwierig zu sein, die Zungenkraft präzise bei einem geringen Kraftlevel zu dosieren. Diese Annahme wird von Ergebnissen der Studie von Kothari et al. (2012) unterstützt, in der gezeigt wird, dass das vorgegebene Kraftlevel die richtig dosierte Zungenkraft beeinflusst. Auch hier werden von Probanden bei höheren Kraftgraden bessere Ergebnisse erzielt. Es ist bekannt, dass bei zahlreichen Bewegungen zur korrekten Ausführung zunächst eine gewisse Kraftaufwendung erforderlich ist [80]. Die Ausführungsgüte ist dabei vom Kraftmaß abhängig. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass das richtige Dosieren der isometrischen ZPK unter anderem von der Zielkraft abhängt und dies Kindern mit OFD unter Berücksichtigung beider Kraftgrade deutlich schwerer fällt als den Kindern der Kontrollgruppe [68].

Betrachtet man die Symptome der OFD und ihre Auswirkung auf bestimmte Messergebnisse isoliert, kann kein signifikanter Einfluss einzelner Symptome auf die Parameter *Kontaktzeit*, *Ausdauer < 20 %* sowie *Präzision ± 50 %* der Messung „Tongue High“ (0,5 N) gezeigt werden (siehe Kapitel 3.2.2). Das unterstützt die Empfehlung von Experten, die OFD als Summe von verschiedenen Symptomen zu sehen [5], [12]. Die Möglichkeit eine OFD anhand von einzelnen, fehlerhaften Bewegungsabläufen zu diagnostizieren, gelingt mit der Q-Motor-Messung nicht. Pathognomonische motorische Defizite können durch die Messung nicht eingegrenzt werden, was sich vermutlich auf die Komplexität der Bewegungsabläufe der orofazialen Funktionen zurückführen lässt.

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse der Messungen „Tongue High“ (0,5 N) und „Tongue Low“ (0,25 N) darauf hin, dass Kinder mit OFD ihre Zungenkraft schlechter dosieren können als gesunde Kontrollen. Damit wird herausgestellt, dass die an die Zielbewegung angepasste Kraftdosierung abhängig von der geforderten Kraft ist und eine Schlüsselfunktion für die Schwierigkeiten bei orofazialen Funktionen darstellt. Diese Schwierigkeiten der Kraftdosierung durch die Zunge wirken sich letztendlich auf die motorischen Vorgänge bei der Artikulation, beim Kauen und beim Schlucken aus [68].

4.4.2 Korrelation des Schweregrades der OFD mit den Ergebnissen der Messung der isometrischen ZPK

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der OFD, welcher durch den Summenscore ermittelt wurde, sowie den Ergebnissen der Messung der isometrischen ZPK bei den Kraftgraden „Tongue Low“ (0,25 N) und „Tongue High“ (0,5 N) besteht. Bei verschiedenen neurologischen Erkrankungen korreliert der Schweregrad bzw. das Stadium der Krankheit mit dem Ergebnis der Messung der isometrischen ZPK [61]. Ergebnisse von Korrelationen des Schweregrades der OFD zur Zungenfunktion existieren bislang nicht.

Der Zusammenhang zwischen dem Schweregrad einer OFD bzw. SES und der Zungenfunktion ist bisher nicht objektiviert worden [81], [82]. Dass die Zungenbewegung als zentrale Funktion für die Artikulation, das Kauen und das Schlucken gilt, wird von Experten formuliert [37]. So ist anzunehmen, dass eine stärker ausgeprägte OFD auch mit einer reduzierten Güte verschiedener Zungenfunktionen einhergeht.

In der vorliegenden Studie können Zusammenhänge, die teilweise signifikant sind, zwischen dem Schweregrad der OFD und den Ergebnissen der Q-Motor Messung gezeigt werden (siehe Kapitel 3.2.3). Korrelationen bestehen bei den Parametern *Median* (r = - 0,228, p = 0,088), *Präzision* ± 10 % (r = 0,25, p = 0,058), ± 20 % (r = 0,245, p = 0,063) und ± 50 % (r = 0,273 p = 0,038) der Messung „Tongue Low“ (0,25 N).

Ebenfalls kann bei der Messung „Tongue High“ (0,5 N) bei den Parametern *Kraftvariabilität* (r = - 0,237, p = 0,082), *Präzision* ± 10 % (r = - 0,237, p = 0,082), ± 20 % (r = 0,235, p = 0,084) und ± 50 % (r = 0,28, p = 0,039), *Ausdauer* ± 10 % (r = - 0,236, p = 0,083), ± 20 % ($r = -0,248, p = 0,068$), ± 50 % (r = - 0,228, p = 0,094) und *Kontaktzeit* (r = 0,248, p = 0,068) gezeigt werden, dass ein niedrigerer Wert des Summenscores auch mit einer geringeren isometrischen ZPK einhergeht.

Die Daten der vorliegenden Studie können somit die Annahme von Experten bekräftigen, dass es einen Zusammenhang zwischen Zungenfunktion und Schweregrad der OFD gibt, da sich bei den genannten Parametern der Zungenfunktion geringe und mittlere Korrelationen mit dem Schweregrad der OFD zeigen.

Daneben gibt es jedoch Parameter, bei welchen sich kein Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der OFD und den Ergebnissen der Messung nachweisen lässt. Dies ist bei zwei Parametern der Messung „Tongue High“ (0,5 N), der *Durchschnittskraft der ZPK* (r = 0,022, p = 0,871) sowie dem *Median der ZPK* (r = 0,014, p = 0,917) und bei den Parametern *Durchschnittskraft der ZPK* (r = - 0,164 p = 0,219), *Kraftvariabilität* (r = - 0,166, p = 0,213) und *Ausdauer* ± 10 % (r = - 0,195, p = 0,143), ± 20 % (r = - 0,154, p = 0,25) und ± 50 % (r = - 0,018, p = 0,896) der Messung „Tongue Low“ (0,25 N) der Fall. Eine mögliche Erklärung für die geringe Auswirkung der Zungensymptome auf die Messung „Tongue Low“ (0,25 N) könnte sein, dass die Zungenkraft bei geringerer Kraft schwieriger zu dosieren ist. Dies wird mit dem Phänomen der Aktivierung verschiedener Muskelfasern in Zusammenhang gebracht, da mehr Muskelfasern aktiviert werden müssen, um eine Kraft für eine gewisse Zeit aufrechtzuerhalten [10]. Da bei einer niedrigen Kraft nach einem Zeitraum auch größere motorische Einheiten aktiviert werden müssen, kann die Kraft nicht mehr genau dosiert werden. Damit geht die Aufrechterhaltung der Kraft bei geringen Kraftgraden mit einem ungenaueren Ergebnis einher. Bei höheren Kraftgraden spielt die Aktivierung von größeren motorischen Einheiten kaum eine Rolle [83]. Die schwierige Dosierung der Zungenkraft bei einem niedrigeren Kraftlevel zeigt sich nicht nur bei dem Vergleich von gesunden Kindern und Patienten mit OFD in dieser Arbeit, sondern auch bei gesunden erwachsenen Probanden [84] sowie bei einer Studie zu neurologischen Bewegungsstörungen [69].
Die beiden Parameter der Messung „Tongue High“ (0,5 N), welche keinen Einfluss des Summenscores auf die Ergebnisse der Q-Motor-Messung haben, sind die gleichen Parameter, bei welchen sich auch gesunde Kinder und Kinder mit OFD nicht unterscheiden (siehe Kapitel 4.4.1). Hier könnte ebenfalls zu Grunde liegen, dass es bei der Q-Motor-Messung nicht auf die absolut aufgebrachte Kraft ankommt, sondern um die feinjustierte Anpassung der Zungenkraft. Somit sind die genannten Parameter der Messung „Tongue Low“ (0,25 N) und der *Durchschnitt der ZPK* sowie der *Median der ZPK* der Messung „Tongue High“ (0,5 N) nicht gut geeignet, um den Schweregrad einer OFD abzubilden.

Bei Studien, in denen der Einfluss des Ausprägungsgrades von neurologischen Erkrankun-

gen auf die isometrische ZPK untersucht wurde, wirken sich der Schweregrad der Krankheit bei Patienten mit Chorea Huntington auf den Parameter *Kraftvariabilität* der Q-Motor-Messung aus [61]. Dies kann ebenfalls in unseren Untersuchungen gezeigt werden. Auch bei anderen neurodegenerativen Erkrankungen mit Bewegungsstörungen wie Parkinson und Multipler Sklerose gibt es einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Symptome und den Bewegungseinschränkungen der betroffenen Personen. So verschlechtert sich hier ebenso der Parameter *Präzision* von Bewegungen sowie die Kraftvariabilität mit zunehmendem Krankheitsgrad, wie es auch in unserer Untersuchung der Fall ist [85], [86]. In einer weiteren Studie von Kumar et al. (2017) ist die Präzision als Maß für die Reproduzierbarkeit einer Bewegung mit der Zunge bei gesunden erwachsenen Probanden gemessen worden. Hier kann gezeigt werden, dass durch zahlreiche Wiederholungen keine Verbesserung der Bewegung mit der Zunge erreicht werden kann [84]. Neben dem Schweregrad einer Krankheit scheint auch die angeborene Variabilität der neuromuskulären Verschaltung im Bewegungsablauf eine Rolle zu spielen [87]. Bei beiden Messungen „Tongue Low“ (0,25 N) und „Tongue High“ (0,5 N) korreliert die *Präzision*, mit der Probanden mit ihrer Zungenkraft innerhalb des vorgegebenen Zielbereichs liegen, mit dem Ausprägungsgrad der OFD. Somit kann hier objektiv gezeigt werden, dass die Steuerung der Zungenkraft durch das Vorliegen einer OFD negativ beeinflusst wird.

Die beiden Parameter *Ausdauer* und *Kontaktzeit* der Messung „Tongue High“ (0,5 N) werden ebenfalls durch den Schweregrad der OFD beeinflusst. Auch hier wird deutlich, dass Kinder mit stärker ausgeprägten OFD-Symptomen kürzere Zeit mit der Zunge am Messfühler Kontakt halten können und mit ihrer Zungenkraft häufiger unterhalb des minimalen Kraftlevels liegen. Denn Kinder mit OFD weisen klinisch einen herabgesetzten Muskeltonus des Körpers und der Zunge auf [2], [27] und haben daher Defizite, ihre Zunge in einer bestimmten Position zu halten oder mit einer bestimmten Kraft gegen den Messfühler zu drücken.

Diese Parameter zeigen, im Konsens mit der subjektiven Einschätzung von Experten und in Analogie zu einigen neurologischen Erkrankungen, dass besonders die Q-Motor-Messung „Tongue High“ (0,5 N) eine geeignete Methode darstellt, um den Schweregrad der Symptome einer OFD abzubilden.

4.5 Fingertap-Versuche

4.5.1 Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Ergebnisse der Fingertap-Versuche

Der zweite Teil der Q-Motor-Messung beinhaltet die Fingertap-Versuche, welche sich aus dem Speeded- und dem Metronome Tapping zusammensetzen (Ergebnisse siehe Kapitel 3.3). Dabei wurden die feinmotorischen Fähigkeiten mit verschiedenen Parametern (*Frequenz* als Parameter für die Geschwindigkeit der Taps, *Tap Dauer*, *Tap Kraft*, *Variationskoeffizient der Kraft*, *Inter Onset Interval*, *Mid Tap Interval*, *Inter Tap Interval* und *Inter Peak Interval* als Parameter für die Gleichmäßigkeit des Tippens) sowie die Kompetenz, einen gehörten Rhythmus durch Fingertippen wiederzugeben (*Deviation of Inter Onset Interval, Deviation of Inter Peak Interval und Deviation of Inter Tap Interval*), bei Kindern mit und ohne OFD untersucht.

Lautsprache ist die wichtigste Form der zwischenmenschlichen Kommunikation [8] und das Erlernen der Sprache ist in Hinblick auf die Sprechmotorik durch Koordination und Präzision von reflektorischen zu willkürlichen Bewegungen gekennzeichnet [12]. Neben ersten Lauten sind in der frühen Kommunikation vor allem die Bewegung der Hände von großer Bedeutung und somit unterstreichen gezielte Handbewegungen das Gesprochene vor allem dann, wenn Kinder durch Sprache allein noch nicht ihren Willen äußern können [52]. Zudem existieren zahlreiche Überlappungen der neuroanatomischen Strukturen von Sprache und Handbewegungen [53], sodass die Hände als weiteres nicht-lautsprachliches Kommunikationsorgan angesehen werden können [52].

Durch die Nähe der neuroanatomischen Repräsentation von motorischen Arealen für Sprech- und Handmotorik und deren Vernetzung [53] ist ein Zusammenhang zwischen Sprech- und Feinmotorik der Finger nicht nur bei physiologischer Sprachentwicklung, sondern auch bei Pathologien in diesem Bereich anzunehmen. Dies ist Gegenstand von Studien [3], [53], [55]. Es kann unter anderem gezeigt werden, dass Kinder mit einer SES geringer ausgeprägte feinmotorische Fähigkeiten beim Tippen mit einem Finger sowie beim Greifen nach einem Objekt aufweisen [55], [81]. In funktionellen MRT-Untersuchungen von Kindern mit Sprech- und Sprachstörungen stellen Redle et al. (2014) und Preston et al. (2012) bei Finger-motorischen Aufgaben veränderte Aktivitäten im Kleinhirn, linken Gyrus temporalis medius und in weiteren, für das Sprechen wichtigen Hirnregionen (z. B. Globus pallidus, linker Gyrus temporalis superior, Cortex insularis) dar [3], [54]. Preston et al. (2012) beschreiben Unterschiede der Hirnaktivitäten im Bereich der für die Sprechmotorik verantwortlichen Bereiche im Vergleich zu gesunden Kindern und führen darüber hinaus mögliche Schwierigkeiten bei der Umsetzung eines gehörten Wortes an, dieses selbst wiederzugeben [54]. Redle et al. (2014) erklären die erhöhte Aktivität des Kleinhirns bei motorischen Aufgaben bei Kindern mit Sprech- und

Sprachstörungen damit, dass das motorische System möglicherweise bei diesen Kindern im Vergleich zu Gesunden weniger weit entwickelt ist und daher mehr Hirnregionen zur Erfüllung einer feinmotorischen Aufgabe nötig sind. So kommen Redle et al. (2014) zu dem Ergebnis, dass es Unterschiede in der Entwicklung und Organisation der für die Feinmotorik verantwortlichen neuronalen Netzwerke gibt und dies ein Hinweis sein kann, dass Defizite von Sprech- und Feinmotorik der Finger in Zusammenhang mit der zentralen Verarbeitung stehen [3]. Dies kann anhand unserer Ergebnisse bekräftigt werden, da signifikante Unterschiede zwischen Kindern mit OFD und Kontrollen beim „Speeded Tapping“ bei der Dauer der einzelnen Taps, der Tap-Frequenz, der aufgewendeten Kraft sowie in der Kraftvariabilität der Taps gezeigt werden können. Kinder mit OFD können also als Zeichen für eingeschränkte Fähigkeiten in der Aufwendung und Dosierung ihrer Fingerkraft kürzer, langsamer, weniger kraftvoll und mit einer geringeren Kraft-Konstanz (Variationskoeffizient der Tap Kraft) tippen.

Feinmotorischen Bewegungen geht ein komplexer Planungsentwurf voran. Doch um die Bewegung genau ausführen zu können, ist anzunehmen, dass motorische Abläufe gelernt werden müssen. Kumar et al. (2017) haben jedoch nachgewiesen, dass feinmotorische Bewegungen mit dem Zeigefinger nach mehrfacher Wiederholung nicht präziser ausgeführt werden können [84]. Daneben wurde festgestellt, dass bei der Kraftentwicklung eine individuelle Variabilität an der Übertragung und neuronalen Verschaltung der motorischen Einheiten vorliegt [87]. Möglicherweise hat somit jeder Mensch einen eigenen Kraftentwicklungsplan, welcher sich auch bei Kindern mit und ohne OFD stark unterscheidet. Demzufolge wäre anzunehmen, dass dies auch die Ursache für die Unterschiede der motorischen Fähigkeiten von Kindern mit und ohne OFD sein könnten. Des Weiteren diskutieren Kumar et al. (2017), dass Bewegungen der einzelnen Finger schwieriger seien, da im Vergleich zu Zungenbewegungen mehr Freiheitsgrade möglich sind [84]. So wird auch hier deutlich, dass Kinder mit OFD, welche ohnehin Schwierigkeiten bei feinmotorischen Abläufen haben [55], [81], weniger genau als gesunde Kinder die Bewegung ihrer Finger steuern können.

In Studien von Redle et al. (2014), Visscher et al. (2010) sowie Zelanik et al. (2010) kann ebenfalls gezeigt werden, dass Kinder mit SES signifikant reduzierte grobmotorische Fähigkeiten, wie einen Ball zu fangen, die Balance zu halten, zu klatschen oder zu springen im Vergleich zu Kontrollen aufweisen [29], [72]. So ist anzunehmen, dass auch bei Kindern mit OFD die motorischen Fähigkeiten geringer ausgeprägt sind als bei gesunden Kindern. Dies wird auch durch unsere Ergebnisse des Speeded Tappings, bei denen Kinder mit OFD mit einer signifikant niedrigeren Frequenz (VG = 3,49 Hz) im Vergleich zu den gesunden Kindern (KG = 3,82 Hz) tippen und ihre Fingerkraft (Tap Kraft VG = 1,22 N, KG =
0,75 N) nicht angemessen dosieren können, unterstützt. Diese feinmotorischen Defizite könnten auf die veränderten neuronalen Aktivitäten in der für Bewegungen wichtigen Hirnregionen zurückzuführen sein [3], [54].

Ebenso weisen Kinder mit OFD eine deutlich höhere Kraftvariabilität der einzelnen Taps

auf (Variationskoeffizient der Tap Kraft: VG = 49,71 %, KG = 44,85 %) als gesunde Kinder. Auch dies geht mit Forschungsergebnisse einher, bei denen schlechtere motorische Fähigkeiten im orofazialen Bereich mit geringeren fingermotorischen Fähigkeiten einhergehen [81]. Auch bei Patienten mit neurologischen Grunderkrankungen haben Bechtel et al. (2010) dargestellt, dass sich Parameter des „Speeded Tapping“ signifikant von Gesunden unterscheiden [70]. Bei Patienten mit zentraler Bewegungsstörung (Chorea Huntington) ist als Zeichen der eingeschränkten Tap Kraft und mangelnden Konstanz das Inter Onset Interval signifikant reduziert. Maetzler et al. (2015) zeigen, dass auch Parkinson-Patienten hinsichtlich ihrer Tap Kraft und deren Konstanz große Abweichungen aufweisen [71]. Aufgrund unserer Ergebnisse und den Daten von Bechtel et al., Maetzler et al. und die im oberen Abschnitt genannten Autoren schließen wir, dass ein Zusammenhang zwischen Störungen der Sprech-, Fein- und Grobmotorik besteht.

Bei den Parametern, die die Fähigkeiten messen, exakt regelmäßig zu tippen (*Inter Onset Interval*, *Mid Tap Interval*, *Inter Peak Interval*), bestehen Unterschiede zwischen Kindern mit OFD und Kontrollen, die nicht signifikant sind. Die fehlende Signifikanz bei den zuletzt genannten Parametern, könnte ein Hinweis darauf sein, dass es Kindern generell nicht gut gelingt, ein gleichmäßiges Tippen mit dem Zeigefinger durchzuführen, da die feinmotorischen Fertigkeiten mit zunehmendem Alter reifen [72]. Denn dass Unterschiede bei den Fähigkeiten der Feinmotorik bei Kindern mit und ohne Sprech- und Sprachstörungen, bzw. OFD bestehen, zeigen sowohl die signifikanten Parameter des „Speeded Tappings“ als auch die Untersuchungen von Redle et al. (2014) sowie Zelaznik et al. (2010). In den beiden letztgenannten Studien wiesen Kinder mit SES signifikant schlechtere Resultate in Tests ihrer motorischen Fähigkeiten im Vergleich zu ihren gesunden Kontrollen auf [3], [29].
Im Gegensatz zu einer Studie bei Patienten mit Chorea Huntington [70] zeigt sich in unseren Untersuchungen kein signifikanter Unterschied bei den Parametern *Inter Onset Interval*, *Mid Tap Interval* und *Inter Peak Interval*. Denkbar wäre, dass sich die Ursachen der motorischen Defizite zwischen Patienten mit Chorea Huntington, einer neurodegenerativen Erkrankung und Kindern mit OFD unterscheiden. Denn bei der zuletzt genannten Gruppe können bisher keine eindeutigen strukturellen Hirnveränderungen nachgewiesen werden [70].

Zusammenfassend liegt auf Grund der hier ausgewerteten Daten die Vermutung nahe, dass nicht nur Kinder mit SES, sondern auch Kinder mit einer OFD Defizite in der Feinmotorik der Hand aufweisen.

Neben feinmotorischen Fähigkeiten ist für die normale Sprachproduktion auch das Rhythmusgefühl und das, was als Sprachprosodie (Sprachmelodie) bezeichnet wird, von großer Bedeutung [50]. Bereits pränatal zeigen Föten Veränderungen ihrer Herzfrequenz, wenn beruhigend oder bedrohlich gesprochen wird. In der postnatalen Sprachentwicklung lässt sich der

Säugling, unabhängig vom Inhalt des Gesprochenen mit prosodisch Vertrautem beruhigen [88]. Die ersten Sprachlaute imitieren zunächst die Sprachmelodie und den Sprachrhythmus, bevor artikulatorisch verständliche Lautsprache erlernt wird. Diese Fähigkeiten nehmen mit dem Alter zu, bis aufgrund der Prosodie und des Rhythmus erkannt wird, wo beispielsweise Wörter und Sätze enden [89]. Kinder mit SES weisen ein signifikant geringer ausgeprägtes Rhythmusgefühl auf [55]. Bei Kindern mit OFD bzw. CAS (Childhood Apraxia of Speech, Sprechapraxie) wurde die deutlich gestörte Prosodie als eines der Leitsymptome explizit herausgestellt [50]. Die Ergebnisse tragen zu der Annahme bei, dass das geringer ausgeprägte Rhythmusgefühl eine Mitursache für die Entstehung einer SES und OFD darstellt [3], [4]. Dies kann anhand unserer Ergebnisse bekräftigt werden, da bei den Parametern *Inter Tap Interval*, *Tap Kraft*, *Variationskoeffizient der Tap Kraft*, *Frequenz*, Δ *Inter Onset Interval*, Δ *Inter Peak Interval* und Δ *Mid Tap Interval* Kinder mit OFD im Vergleich zu Kontrollen signifikant eingeschränkt sind.

Das „Metronome Tapping“, also das Imitieren eines vorgegebenen Rhythmus, hat sich bei Patienten mit neurologisch bedingten Bewegungsstörungen als besonders gut geeigneter Test zur Differenzierung zwischen Erkrankten und Kontrollen erwiesen [70], [71]. So sind bei Patienten mit Chorea Huntington und Parkinson die Parameter, die die Abweichung vom vorgegeben Rhythmus besonders präzise erfassen (Δ *Inter Onset Interval,* Δ *Inter Peak Interval,* Δ *Mid Tap Interval*), signifikant schlechter im Vergleich zu gesunden Kontrollen [70], [71]. Von Alcock et al. (2000) und Peter et al. (2008) wurde nachgewiesen, dass bei Kindern mit Sprech-, Sprach- und Artikulationsstörungen auch die Fähigkeit, einen vorgegeben Rhythmus zu imitieren, eingeschränkt ist [4], [55]. In unserer Untersuchung bei Kindern mit OFD zeigen sich im „Metronome Tapping“ ebenfalls signifikant schlechtere Ergebnisse bei den Parametern, die besonders gut zur Beurteilung des Rhythmusgefühls dienen, da sie die Abweichungen vom vorgegebenen Rhythmus darstellen (Δ *Inter Onset Interval,* Δ *Inter Peak Iiterval* und Δ *Mid Tap Interval*). So besteht offensichtlich nicht nur ein Zusammenhang zwischen der Fähigkeit der Rhythmusimitation und Schwierigkeiten beim Sprechen bei Kindern mit SES, sondern auch bei denen mit OFD. Darüber hinaus unterscheiden sich Kinder mit OFD von gesunden Kontrollen signifikant in Hinblick auf das *Inter Tap Interval* ($p < 0{,}001$), die *Frequenz* ($p = 0{,}001$) und den *Variationskoeffizienten der Tap Kraft* ($p = 0{,}048$). Kinder mit OFD tippten somit deutlich schneller als der vorgegebene Rhythmus (Frequenz VG = 0,67 Hz, KG = 0,62 Hz), mit einer etwas höher aufgewendeten Kraft pro Tap (Tap Kraft: VG = 1,09 N, KG = 1 N) und mit größerer Unregelmäßigkeit (Variationskoeffizient der Tap Kraft: VG = 39,1 %, KG = 30,46 %) im Vergleich zu Kindern ohne OFD. Auch hier weisen Kinder mit OFD ebenso wie Kinder mit SES Defizite in der Feinmotorik der Hand in Bezug auf die Umsetzung eines vorgegebenen Rhythmus auf.
Die Daten von Preston et al. sprechen dafür, dass bei Kindern mit Sprech- und Sprachstörungen möglicherweise die neuronale Funktion, das Gehörte phonologisch aufzuschlüsseln bzw.

ein Sprachmuster zu erkennen und dieses weiterzuverarbeiten, defizitär ist [54]. Es handelt sich dabei offensichtlich auch um ein rezeptives Problem, welches sich in dem Entschlüsseln und Speichern eines gehörten Rhythmus widerspiegelt [90]. Zudem ist bei Kindern mit Sprech- und Sprachstörungen auch die auditive Rückkopplung betroffen und es sind Probleme bei der expressiven Umsetzung der Sprache bekannt [15], [54], [90]. Die Annahme, dass darüber hinaus auch die Wiedergabe eines gehörten Rhythmus durch die Finger eingeschränkt ist, kann mit den Daten der vorliegenden Studie unterstützt werden. Denn durch die gestörte zentrale feinmotorische Planung und Kontrolle ist bei Kindern mit Sprach- und Sprechstörungen das rhythmische Finger-Tippen im Vergleich zu gesunden Kindern schlechter. Das sich diese Probleme auch im Rhythmus der Sprache widerspiegelt ist stark anzunehmen. Polyanskaya et al. (2015) beschreiben, dass das Erlernen des Sprachrhythmus die längste Zeit im Spracherwerb in Anspruch nimmt. So sind bei der englischen Sprache gesunde Kinder erst mit elf oder zwölf Jahren mit ihrem Sprachrhythmus auf dem Niveau von Erwachsenen [91]. Demzufolge ist anzunehmen, dass grundsätzlich das Rhythmusgefühl einer Sprache schwer zu erlernen ist und darum die Aufgabe des „Metronome Tapping “ Kindern mit OFD, die ohnehin Probleme beim Sprechen haben, schwerer fällt als gesunden Kindern.

Nur bei einem Parameter, der *Tap Dauer*, also der Länge zwischen zwei Taps, unterscheiden sich Kinder mit OFD und Kontrollen nicht signifikant. So fällt es offenbar Kindern mit OFD nicht schwerer als Kontrollkindern, die Zeit zwischen aufeinander folgenden Tönen wahrzunehmen und wiederzugeben. Gründe hierfür könnten zum einen sein, dass dieser Parameter nicht sensitiv genug ist, um rhythmische Defizite aufzudecken. In einer Studie bei Patienten mit Parkinson wurde dieser Parameter deshalb nicht ausgewertet [71]. Zum anderen scheint der Abstand zwischen zwei Taps auch für gesunde Kinder schwierig zu sein. Dies unterstützt die Beobachtung, dass der Rhythmus einer Sprache am schwersten zu erlernen ist [91].

Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen somit die Hypothese, dass Kinder mit einer OFD ein schlechter ausgeprägtes Rhythmusgefühl haben als gesunde Kontrollen. Zudem können bei den Tapping-Versuchen signifikante Ergebnisse zur Unterscheidung zwischen Kindern mit OFD und Kontrollen nachgewiesen werden. Dass ein Zusammenhang bei Kindern mit OFD zwischen Bewegungsstörungen der Zunge und den Fingern besteht, zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie. Ob dies als Hinweis gewertet werden kann, dass auch Kinder mit OFD unter einer neurologisch bedingten Bewegungsstörung leiden, die sich besonders im orofazialen Bereich sowie den feinmotorischen Fähigkeiten der Finger zeigt, sollte in weiteren Studien untersucht werden. Darüber hinaus bleibt die Frage offen, inwiefern man Bewegungsdefizite der Finger auf die der Zunge übertragen kann. Es wäre wünschenswert, wenn es zukünftig weitere Untersuchungen gibt, die diese offenen Fragen auch bei Kindern mit OFD beantworten.

Die motorische Funktion der Zunge als zentraler Muskel der Artikulation ist bei Kindern mit SES und, wie hier gezeigt, auch bei Kindern mit OFD eingeschränkt. Einen Rhythmus wiederzugeben, könnte also zum einen bei normaler Wahrnehmung des Rhythmus ein rein motorisches Problem der Zunge sein. So unterscheiden sich die Parameter Variationskoeffizient der Tap Kraft der Finger und der Variationskoeffizient der ZPK bei 0,5 N signifikant. Die Ergebnisse des „Speeded Tapping " und des „Metronome Tapping" unserer Studie lassen jedoch den Schluss zu, dass es sich bei der OFD nicht nur um ein rein sprechmotorisches, exekutives Problem, sondern auch um eine Abweichung im Bereich der Wahrnehmung und damit um ein rezeptives Problem handeln könnte.

4.5.2 Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Fingertap-Versuche und Symptomen der OFD

Bisher wurde in keiner Studie untersucht, ob einzelne Symptome der OFD einen Einfluss auf die Ergebnisse der Q-Motor-Messung beim „Speeded- oder Metronome Tapping" haben. So interessiert hier ebenso wie bei der Messung der isometrischen ZPK, ob es einen Zusammenhang zwischen bestimmten für eine OFD charakteristischen Symptome und den Parametern der Messung gibt. Das Wissen über mögliche Einflussfaktoren auf die orofaziale Motorik wäre jedoch wichtig, um dies möglicherweise diagnostisch und therapeutisch nutzen zu können.

Beim *„Speeded Tapping"* zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Funktion „Zunge kreist ums Lippenrot" und den Parametern *Tap Dauer*, *Variationskoeffizient der Tap Kraft* und *Frequenz*. Im Gegensatz hierzu zeigen die anderen untersuchten Bewegungen von Lippen und Zunge keinen signifikanten Zusammenhang zu den Messergebnissen der Fingertap-Versuche. Die gestörte Zungenfunktion steht im Mittelpunkt bei einer OFD [12], [27] und als zentraler Muskel ist die Zunge nicht nur für den störungsfreien Ablauf von Kauen und Schlucken, sondern für die korrekte Artikulation ausschlaggebend [1], [2]. Da die motorischen Areale von Zungen- und Fingerbewegungen zentral benachbart lokalisiert und eng vernetzt sind [3], [54], [92], ist ein Zusammenhang auch bei Bewegungsabweichungen wie bei einer OFD anzunehmen. Ein Defizit in einem Bewegungsareal, wie hier bei der Zunge, könnte daher auch Auffälligkeiten anderer Bewegungen, wie z.B. der Finger, mit sich bringen [93]. Eine mögliche gegenseitige Beeinflussung wäre besonders bei komplexen Bewegungsfolgen (Zungenkreisen) sowie bei Fingerbewegungen, die mit hoher Geschwindigkeit, Dauer und Variabilität der Bewegung einhergehen, anzunehmen. Dies spiegelt die klinische Situation wieder, da Kinder mit OFD besondere Defizite in Bewegungsfolgen zeigen, was von verschiedenen Autoren betont wird [82], [90], [94]. Im Gegensatz dazu haben die restlichen untersuchten Bewegungsitems von Lippen und Zunge keinen signifikanten Einfluss auf die

Messergebnisse. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass sie nicht komplex genug sind, um die motorischen Defizite einer OFD zu beschreiben [80], [93], [95].

Das Rhythmusgefühl spielt beim Sprechen und in der Sprache als solche eine zentrale Rolle [91], [96]. Die gehörte Prosodie von Sprache, Rhythmus- und Klatschspielen, Silbenklatschen, das Erlernen von Reimen und Liedern gelten als wichtige Einflussfaktoren und Vorläuferfunktionen für den Sprach- und Schriftspracherwerb [9], [89]. Es ist oftmals bei Personen mit Sprech- und Sprachstörungen gestört [4], [55]. Einen bestimmten Rhythmus wiederzugeben, stellt einen hoch komplexen Vorgang aus impressiven (Wahrnehmung: genauer Abschätzung der Länge und des Intervalls zwischen Gehörtem) und expressiven (motorische Ausführung: Wiedergabe mit genauer motorischer und zeitlich Koordination) Abläufen dar [77]. So werden Wahrnehmungsstörungen und Schwierigkeiten in der motorischen „Programmierung und Planung“ für die Auffälligkeiten bei OFD mit verantwortlich gemacht [9], [50], [54]. Bei Bewegungen mit einem nicht selbst gewählten Rhythmus wie beim *„Metronome Tapping“*, bei dem impressive und expressive Verarbeitung und Bewegungen der Finger einem vorgegebenen Rhythmus und damit nicht der eigenen Programmierung und Planung folgen, wären demzufolge besonders ausgeprägte Auffälligkeiten zu erwarten. Dies bestätigten die Ergebnisse des „Metronome Tapping“, bei dem sich besonders ausgeprägte Einflüsse der Symptome der OFD auf die Messergebnisse von Q-Motor zeigten. Speziell die Parameter, die mit dem korrekten „Timing“ eines Taps einhergehen und damit ein korrektes differenziertes Programmieren und Planen voraussetzen (Abweichungen vom vorgegebenen Rhythmus: Deviation of Inter Onset Interval, Deviation of Mid Tap Interval und Deviation of Interpeak Interval), zeigen einen signifikanten Zusammenhang zu Bewegungen der Lippen und Zunge, wobei auch hier wieder u.a. Bewegungsfolgen betroffen sind (Lippen spitz, Lippen spitz und breit im Wechsel, Zunge nach unten, Kreisen der Zunge ums Lippenrot). Die bei Kindern mit OFD detektierten morphologischen Auffälligkeiten in bestimmten Hirnregionen lassen bisher keinen klaren Schluss auf einen Einfluss auf orofaziale motorische Abläufe zu [97]. Daher stehen Überprüfungen der motorischen Abläufe weiterhin im Zentrum der Forschung. Unsere Ergebnisse zur Zungenprotrusionskraft und zum Tapping unterstützen die Annahme, dass sich Lippen-Zungenbewegungen und Koordination der Zeigefinger bei Kindern mit OFD beeinflussen.

Im Gegensatz zur Messung der isometrischen ZPK, wirken sich die Symptome einer OFD auf einzelne Parameter der Fingertap-Versuche aus. Unter Berücksichtigung dieser neuen Erkenntnisse sollten die bisherige Diagnostik und Therapie einer OFD neu bewertet werden. Zum einen könnten die Ergebnisse ein Hinweis darauf geben, dass einzelne orofaziale Symptome enger mit den Fingertap-Kompetenzen als mit der Messung der isometrischen ZPK zusammenhängen. Zum anderen sollten besonders die feinmotorischen und rhythmischen Kompetenzen bei Kindern mit OFD in der Diagnostik und Therapie berücksichtigt werden.

Tradierte, rein Mund-motorische Therapieansätze, die auf die Kraft der Zunge abzielen, scheinen der Komplexität der motorischen Störung nicht gerecht zu werden. Ein ganzheitlicher Ansatz unter Einbeziehung von orofazialen Bewegungsfolgen, der Fingermotorik sowie der rhythmischen Fähigkeiten könnte zielführend sein. Eine enge Zusammenarbeit von LogopädInnen, ÄrztInnen und Ergo- sowie PhysiotherapeutInnen ist dafür die Voraussetzung.

4.5.3 Korrelation des Schweregrades der OFD mit den Ergebnissen der Fingertap-Versuche

Der Schweregrad der OFD wurde mit Hilfe des Summenscores eingeschätzt und es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen ihm und einzelnen Parametern der Fingertap-Versuche vorliegt.

Bei neurologischen Erkrankungen wie Parkinson, Chorea Huntington und Multipler Sklerose wurden die Auswirkungen des Schweregrades der Krankheit auf motorische Funktionen untersucht, wobei sich häufig eine Korrelation zeigte [70], [71], [85], [86]. In den neurologischen Studien von Bechtel et al. (2010) und Maetzler et al. (2015) korrelieren die Parameter *Inter Onset Interval*, *Tap Kraft*, *Variationskoeffizient der Tap Kraft* des „Speeded Tappings“ mit dem Schweregrad der Krankheit. Dass Kinder mit Sprech- und Sprachstörungen schlechtere Ergebnisse ihrer feinmotorischen Fähigkeiten aufweisen, zeigte auch die Studie von Newmeyer et al. (2007). Allerdings wurden dabei nicht explizit Kinder mit OFD untersucht [81]. Trotz der Annahme, dass es sich bei einer OFD vermutlich nicht um eine neurologische Krankheit, die progredient verläuft, handelt, können die Symptome einer OFD sehr variieren und die Personen unterschiedlich schwer in ihren Mund-motorischen Funktionen beeinträchtigt sein [5], [12], [38]. Demzufolge könnte auch hier die Q-Motor-Messung eine geeignete Methode darstellen, um den Schweregrad einer OFD abbilden zu können.

In der vorliegenden Studie korreliert der Schweregrad der OFD beim „Speeded Tapping“ ebenfalls signifikant mit den Parametern *Inter Peak Interval* (r = - 0,182, p = 0,18), *Mid Tap Interval* (r = - 0,188, p = 0,165), *Tap Dauer* (r = - 0,441, p = 0,001) und *Frequenz* (r = 0,268, p = 0,046). Hier zeigt sich jedoch, dass sich schlecht ausgeprägte orofaziale Funktionen ebenfalls auf die Handmotorik auswirken können: So wie es Patienten mit OFD Schwierigkeiten bereitet, ihre Zungenkraft genau zu steuern, weisen diese auch feinmotorische Defizite der Finger auf. Dies zeigen besonders deutlich die beiden Parameter *Tap Dauer* und *Frequenz*. Möglicherweise sind diese beiden Fähigkeiten, kurz und mit hoher Geschwindigkeit zu Tippen, besonders anfällig bei motorischen Defiziten.
„Speeded Tapping“ kann eine geeignete Methode sein, um den Schweregrad der OFD einzuschätzen zu können.

Signifikante Korrelationen der orofazialen Funktionen und der Feinmotorik liegen auch beim „Metronome Tapping“ vor. Bei den Parametern *Inter Tap Interval* (r = 0,518, p < 0,001), *Variationskoeffizient der Tap Kraft* (r = - 0,322, p = 0,015), *Frequenz* (r = - 0,371, p = 0,004), Δ *Inter Onset Interval* (r= 0,435, p = 0,001), Δ *Mid Tap Interval* (r = 0,461, p < 0,001) und Δ *Inter Peak Interval* (r = 0,469, p < 0,001) spiegelt sich der Schweregrad der OFD wider.
Bei Kindern mit Sprech- und Sprachstörungen ist das Defizit, einen Rhythmus korrekt wiedergeben zu können, in verschiedenen Studien untersucht worden. Allerdings wurde bisher nicht der Ausprägungsgrad der Störung berücksichtigt [4], [55]. Es ist jedoch vorstellbar, dass auch schwerer ausgeprägte SES mit besonders schlechten rhythmischen Kompetenzen einhergehen. Dies wurde auch in einer Studie bei Patienten mit Chorea Huntington und in einer weiteren Studie bei Patienten mit Parkinson untersucht. Hier wurde ebenfalls der Parameter Δ *Inter Onset Interval*, der das Zeitintervall zwischen dem Tap-Beginn und dem darauffolgenden Tap, also der Frequenz, erfasst, in einen Zusammenhang mit dem vorliegenden Schweregrad der Krankheit gebracht [61], [71]. Unsere Daten der vorliegenden Studie zeigen, dass sich der Schweregrad einer OFD direkt auf die Parameter auswirken, die der Genauigkeit des wiedergegebenen Rhythmus entsprechen.

Abschließend lässt sich sagen, dass sich der Schweregrad der OFD auf die Ergebnisse der Fingertap-Versuche auswirkt. Darüber hinaus sind weitere Studien zu diesem Thema wünschenswert, um mögliche Zusammenhänge zwischen Finger- und orofazialer Motorik differenzierter zu erfassen. So könnten Screeninguntersuchungen, die einfache motorische Tests beinhalten, auf mögliche Probleme bei der Sprechmotorik hinweisen. Überdies könnte es für die Diagnostik und Therapie von Bedeutung sein, den Schweregrad der OFD durch die Testung der Feinmotorik genauer zu differenzieren.

4.6 Begrenzungen der Studie

Die Studie weist verschiedene Begrenzungen auf. Zunächst besteht das vorliegende Studienkollektiv aus Kindern im Alter von sechs bis 15 Jahren. Diese Altersspanne hat in Studien bei Personen mit Verdacht auf OFD die höchste Prävalenz gezeigt [20], [75], [74]. Bekannt ist jedoch, dass die grob- und feinmotorischen und auch orofazialen Kompetenzen mit zunehmendem Alter besser werden [72], [73]. Daher sollte in künftigen Studien die Spanne der Altersgruppen verkleinert und diese getrennt untersucht werden.

Die Position der Zunge zum Kraftmessfühler sowie die Umsetzung der Anweisungen von den Probanden sind entscheidend für die Kraftentwicklung bei der Messung der isometrischen ZPK. Daher können sich die Tagesform, die Kooperationsbereitschaft, die Konzentration sowie die Ermüdung der Zunge auf das Ergebnis der ZPK auswirken. Dem wurde versucht entgegen zu wirken, indem die Probanden ausführlich angeleitet wurden, eine optimale Positionierung der Kinder vor dem Messgerät vorgenommen wurde und eine enge Supervision

sowie Korrekturen der Positionen erfolgt sind. Darüber hinaus haben Entlastungspausen, falls diese benötigt wurden, stattgefunden und die Probanden wurden durchgehend motiviert. Zudem wurde der Mittelwert aus den drei durchgeführten Messungen gebildet.

Eine weitere Begrenzung dieser Studie ist, dass die Probanden nicht verblindet wurden, was auf Grund der offensichtlichen Differenzen in den orofazialen Kompetenzen auch nur bei Probanden mit geringer ausgeprägten Symptomen sinnvoll gewesen wäre. Eine Verblindung der Probanden müsste in künftigen Studien diskutiert werden, um das Erwartungsbias zu minimieren.

Hinsichtlich der Fingertap-Versuche könnten sich äußere Einflüsse wie das Erlernen eines Instruments, auf die Ergebnisse ausgewirkt haben. Nicht auszuschließen ist, dass diese Kinder einen Vorteil bei den Tapping-Versuchen hatten, was hier jedoch unberücksichtigt blieb.

Q-Motor wurde bisher nicht bei Kindern durchgeführt. So fehlen Daten, um die Ergebnisse der vorliegenden Studie vergleichen zu können. Obwohl bekannt ist, dass Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen hinsichtlich der Zungenkraft und der Feinmotorik existieren [59], [98], fehlen konkrete Daten bezüglich der Q-Motor-Messung.

Kritisch zu prüfen ist auch die Einsatzfähigkeit der Q-Motor-Messung im klinischen Alltag. Zum einen müsste die Messung durch geschultes Personal durchgeführt werden. Zum anderen fehlen zur Zeit Daten von größeren Studienkollektiven, um die Kennwerte der Messungen zu validieren. Darüber hinaus ist das Messgerät zur Zeit hochpreisig, sodass es bisher nur im Rahmen der Forschung für neuen Erkenntnisgewinn eingesetzt werden konnte.

5 Zusammenfassung der Diskussion und Ausblick

5.1 Zusammenfassung der Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden die Durchführung und die Ergebnisse der quantitativen Untersuchung des motorischen Systems (Q-Motor) bei Kindern mit OFD vorgestellt.

Kinder mit OFD unterscheiden sich hinsichtlich der isometrischen Zungenprotrusionskräfte im Vergleich zu Kindern der Kontrollgruppe. Dies ist abhängig von dem vorgegebenen Kraftgrad. Somit unterstützen die Ergebnisse dieser Studie, dass die Messung der isometrischen ZPK bei dem Kraftgrad *„Tongue High“* (0,5 N) eine geeignete, nicht-invasive Methode darstellt, um zwischen Kindern mit OFD und Kontrollkindern zu differenzieren. Somit kann die Hypothese, dass Kinder mit OFD und Kontrollen sich in ihrer Zungenkraft unterscheiden, bestätigt werden.

Des Weiteren können mit den erhobenen Daten Aussagen getroffen werden, inwiefern sich Kinder mit und ohne OFD hinsichtlich ihrer feinmotorischen Kompetenzen unterscheiden. Die Daten dieser Studie unterstützen die Hypothese, dass Kinder mit einer OFD und Kontrollen sich signifikant in ihren feinmotorischen Fähigkeiten der Zeigefinger unterscheiden. Beim *„Speeded Tapping“* erzielen Kinder mit OFD signifikant geringere Ergebnisse. So wird auch hier die Hypothese unterstützt, dass Kinder mit OFD und die Kontrollpersonen bei der Q-Motor-Messung hinsichtlich ihrer feinmotorischen Kompetenzen der Zeigefinger Unterschiede aufweisen.

Ähnlich verhält es sich bei Kindern mit und ohne OFD bei der Fähigkeit, einen gehörten Rhythmus wiederzugeben. Bei den Parametern, die das Abweichen vom vorgegebenen Rhythmus messen, erzielen Kinder mit OFD signifikant geringere Werte als gesunde Kinder. Die Ergebnisse vom *„Metronome Tapping“* unterstützen somit die Hypothese, dass Kinder mit OFD und Kontrollen signifikant unterschiedliche Fähigkeiten besitzen, einen Rhythmus zu imitieren.

Während bei den Fingertap-Versuchen ein signifikanter Einfluss der Zungenfunktion auf die gemessenen Parameter besteht, kann kein signifikanter Zusammenhang zwischen einzelnen orofazialen Funktionen und den Parametern der isometrischen ZPK dargestellt werden.

Es ist anzunehmen, dass die ausgewerteten Mund- und Zungenbewegungen allein genommen nicht komplex genug sind, um sich auf die Zungenkraftmessungen auszuwirken. Somit kann die Hypothese, dass die Ergebnisse der Q-Motor-Messung durch die Lippen- und Zungenfunktion der Personen mit OFD und Kontrollpersonen beeinflusst werden, mit den vorliegenden Daten nur bei den Fingertap-Versuchen bestätigt werden.

Als letztes wurde mit den erhobenen Daten untersucht, ob der Schweregrad der OFD mit den Ergebnissen der Q-Motor-Messung zusammenhängt. Bei der Messung der isometrischen ZPK konnte ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Messung und dem Schweregrad der OFD, welcher mit Hilfe des Summenscores eingeschätzt wurde, nachgewiesen werden. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass sich ein höherer Summenscore (entspricht niedrigeren orofazialen Kompetenzen) in den Ergebnissen der Q-Motor-Messung widerspiegelt. Das gleiche Resultat konnte auch bei den Fingertap-Versuchen gezeigt werden. So wirkt sich der Ausprägungsgrad der OFD auch hier auf die Messergebnisse aus und die Hypothese, dass der Schweregrad der OFD mit dem Ergebnis der Q-Motor-Messung korreliert, kann unterstützt werden.

Abschließend lässt sich zsammenfassen, dass mit der quantitativen Untersuchung des motorischen Systems (Q-Motor) bei Kindern mit OFD zahlreiche neue Erkenntnisse in Hinblick auf die Zungenprotrusionskraft, die feinmotorischen Fähigkeiten des Zeigefingers sowie die Ausprägung des Rhythmusgefühls gewonnen werden konnten.

5.2 Ausblick

Die gravierenden Auswirkungen von orofazialen Dysfunktionen (OFD) auf die Artikulation, das Kauen, das Schlucken sowie die Zahn-und Kieferfehlstellung mit einem negativen Einfluss auf die Sprachentwicklung, die Schulkarriere und das berufliche Fortkommen wurden in zahlreichen Untersuchungen dargestellt [8], [12], [32], [63]. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise, die neben der Mundmotorik die motorischen Fähigkeiten der Finger und das Rhythmusgefühl berücksichtigen, erscheinen für Diagnostik und Therapie von Bedeutung.

6 Anhang

6.1 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Friederike Büttner, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Die quantitative Untersuchung des motorischen Systems (Q-Motor) bei Kindern mit orofazialer Dysfunktion“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet. Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit der Betreuerin, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§ 156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

6.2 Anteilserklärung

Friederike Büttner hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Publikation 1: Rohrbach S, Büttner F, Pollex D, Mathmann P, Weinhold, Schubert R, Reilmann R, *Quantitative examination of isometric tongue protrusion forces in children with oro-facial dysfunctions (OFD) or myofunctional disorders*, Journal of Oral Rehabilitation, 2017

Mein Beitrag zur oben genannten Publikation ist die Rekrutierung der Probanden sowie die Durchführung der Messung Q-Motor gewesen. Danach folgte die Zusammenführung der klinischen Befunde mit den ausgelesenen Daten der Q-Motor-Messung. Aus meiner statistischen Auswertung sind die Tabellen 1 und 2 sowie die Boxplots A bis H entstanden.

Prof. Dr. Saskia Rohrbach

Friederike Büttner

6.3 Lebenslauf

Mein Lebenslauf ist in der elektronischen Version der Dissertation aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht enthalten.

Literaturverzeichnis

[1] Bakke M, Bergendal B, McAllister A, Sjogreen L, Asten P : Development and evaluation of a comprehensive screening for orofacial dysfunction. In: *Swedish dental journal* 31 (2007), Nr. 2, S. 75–84

[2] Kittel A: *Myofunktionelle Therapie*. Schulz-Kirchner Verlag GmbH, 2014. S. 52–170

[3] Redle E, Vannest J, Maloney T, Tsevat R K, Eikenberry S, Lewis B, Shriberg LD, Tkach J, Holland SK: Functional MRI evidence for fine motor praxis dysfunction in children with persistant speech disorders. In: *Brain Research* 1597 (2015), S. 47–56

[4] Alcock KJ, Passingham RE, Watkins K, Vargha-Khadem F: Pitch and timing defizits in inherited speech and language impairment. In: *Brain and Language* 75 (2000), S. 34–46

[5] Korbmacher H, Kahl-Nieke B: *Optimierung der interdisziplinären Zusammenarbeit bei Patienten mit orofazialen Dyskinesien*. Bd. 62. Fortschritt Kieferorthopädie, 2001. S. 244–250

[6] DGKFO (Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie): Stellungnahme: Diagnostik und Therapie orofazialer Dysfunktionen. (2008). `https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/veroeffentlichungen/DGKFO_Stellungnahme_MFT.pdf`, Abruf: 22.12.2017

[7] Pollex-Fischer D, Rohrbach S: Berliner orofaziales Screening (BoS): Vorstellung eines Untersuchungsinstruments zur Diagnostik orofazialer Dysfunktionen (OFD). In: *Forum Logopädie* 4 (31) (2017), S. 2–7

[8] Deutscher Bundesverband für Logopädie e.V. (DBL): Kommunikation. (2015). `http://www.dbl-ev.de/kommunikation-sprache-sprechen-stimme-schlucken/kommunikation-ist-unser-leben.html`, Abruf: 15.01.2015

[9] de Langen-Müller U, Kauschke C, Kiesel-Himmel C, Neumann K, Noterdaeme, M (Hrsg. in equal authorship): Diagnostik von Sprachentwicklungsörungen (SES) unter Berücksichtigung von umschriebenen Sprachentwicklungsstörungen (USES). (2011). `http://www.dgpp.de/cms/media/download_gallery/S2k-LL-SES.pdf`, Abruf: 15.01.2015

[10] Schmidt RF, Lang F: *Physiologie des Menschen*. Bd. 31. Auflage. Springer-Verlag, Heidelberg, 2011. S. 143–183

[11] Abbildung: Längsschnitt des Kehlkopfes. `http://i.onmeda.de/relaunch/laengsschnitt-kehle-580x435.jpg`, Abruf: 05.12.2016

[12] Böhme G: *Sprach-, Sprech, Stimm- und Schluckstörungen.* Bd. 4. Auflage. Urban und Fischerverlag, 2003. S. 83–97

[13] Kutta H, Knipping S, Claassen H, Paulsen F: Update Larynx: funktionelle Anatomie unter klinischen Gesichtspunkten. In: *HNO* 55 (2007), Nr. 8, 661-676. http://dx.doi.org/10.1007/s00106-007-1557-1, Abruf: 20.01.2015

[14] Cerri G, Cabinio M, Blasi V, Borroni P, Iadanza A, Fava E, Fornia L, Ferpozzi V, Riva M, Casarotti A, Martinelli Boneschi F, Falini A, Bello L: The mirror neuron system and the strange case of Broca's area. In: *Human Brain Mapping* 36 (3) (2014), S. 1010–1027

[15] von Arentsschild O, Koch A: *Sprach- und Sprechstörungen.* Bd. 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Georg Thieme Verlag, 1994. S. 62–137

[16] Vaas R: Sprache. In: *Spektrum der Wissenschaft, url=http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/sprache/12159* (2008)

[17] Kent RD: The uniqueness of speech among motor systems. In: *Clinical Linguistics and Phonetics* 18 (2004), S. 495–505

[18] Amunts K, Zilles K: Architecture and organizational principles of Broca's region. In: *Trends in Cognitive Sciences* 16 (2012), Nr. 8, S. 418–426

[19] Funktionelle orofaziale Störungen (Myofunktionelle Störungen). In: *Deutscher Bundesverband für Logopädie e.V.* https://www.dbl-ev.de/kommunikation-sprache-sprechen-stimme-schlucken/stoerungen-bei-kindern/stoerungsbereiche/schlucken/funktionelle-orofaziale-stoerungen-myofunktionelle-stoerungen.html, Abruf: 20.12.2017

[20] Wren Y, Miller LL, Peters TJ, Emond A, Roulstone S: Prevalence and predictors of persistent speech sound disorder at eight years old: Findings from a population cohort study. In: *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 59 (4) (2016), S. 647–673

[21] Grimm MH, Aktas M, Jungmann T, Peglow S, Stahn D, Wolter E: Sprachscreening im Vorschulalter: Wie viele Kinder brauchen tatsächlich eine Sprachförderung? . In: *Frühförderung Interdisziplinär* 23 (2004), S. 108–117

[22] Pfister B, Kaufmann T: *Grundlagen und Methoden der Sprachsynthese und Spracherkennung.* Springer Verlag, 2008. S. 8–10

[23] Strand EA, McCauley RJ: Differential Diagnosis of Severe Speech Impairment in Young Children. In: *The ASHA Leader* 13 (2008), S. 10–13

[24] de Langen-Müller U, Kauschke C, Kiesel-Himmel C, Neumann K, Noterdaeme M: Diagnostik von Sprachentwicklungsstörungen (SES),unter Berücksichtigung umschriebener Sprachentwicklungsstörungen (USES). In: *Interdisziplinäre S2k-Leitlinie* 049/006 (2011), S. 1–90

[25] Bartlett CW, Flax JF, Logue, M W, Vieland VJ, Bassett AS, Tallal P, Brzustowicz LM: A Major Susceptibility Locus for Specific Language Impairment Is Located on 13q21. In: *American Journal of Human Genetics* 71(1) (2002), S. 45–55

[26] Tomblin JB Smith E, Zhang X.: Epidemiology of specific language impairment: Prenatal and perinatal risk factors. In: *Journal of Communication Disorders* 30 (1997), S. 325 – 344

[27] Bigenzahn W: *Orofaziale Dysfunktionen im Kindesalter*. Bd. 2. Auflage. Thieme Verlag, 2002. S. 26–82

[28] Liegeois F, Mayes A, Morgan A: Neural correlates of developmental speech and language disorders: evidence from neuroimaging. In: *Current Developmental Disorders Reports* 1 (2014), S. 215–27

[29] Zelaznik HN, Goffman L: Generalized motor abilities and timing behavior in children with specific language impairment. In: *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 53 (2010), Nr. 2, S. 383–393

[30] Stahl F, Grabowski R, Gaebel M, Kundt G: Zusammenhang von Okklusionsbefunden und orofazialem myofunktionellen Status im Milch- und frühen Wechselgebiss. In: *Journal of Orofacial Orthopedics* 68 (2007), S. 74–90

[31] Meilinger M: *Untersuchung ausgewählter Aspekte myofunktioneller Störungen im Kindesalter*. Utz Verlag GmbH, 2. unveränderte Auflage, 2015. S. 120, 140

[32] Duff FJ, Reen G, Plunkett K, Nation K: Do infant vocabulary skills predict school-age language and literacy outcomes? In: *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 56 (8) (2015), S. 848–856

[33] Preston JL, Molfese PJ, Mencl WE, Frost SJ, Hoeft F, Fulbright RK, Landi N, Grigorenko EL, Seki A, Felsenfeld S, Pugh KR: Structural brain differences in school-age children with residual speech sound disorders. In: *Brain and Language* 128 (2014), S. 25–33

[34] Lai CS, Fisher SE, Hurst JA, Vargaha-Khadem F, Monaco AP: A forhead-domain gene is mutadet in a severe speech and language disorder. In: *Nature* Oct 4 (2001), S. 519–523

[97] Stein CM, Truitt B, Deng F, Ciesla AA, Qiu F, Joseph P, Raghavendra R, Fondran J, Igo RP, Tag J, Freebairn L, Taylor HG, Lewis BA, Iyengar SK: Association between AVPR1A, DRD2, and ASPM and Endophenotypes of Communication Disorders. In: *Psychiatric genetics* 24 (5) (2014), S. 191–200

[35] Potter NL, Nievergelt Y, Shriberg LD: Motor and speech disorders in classic galactosemia. In: *Journal of Inherited Metabolic Disease* 11 (2013), S. 31–41

[36] Korbmacher H, Kahl-Nieke B: Klassischer Symptomenkomplex bei orofazialer Dyskinesie aus Sicht der Logopädie. In: *Fortschritte der Kieferorthopädie / Journal of Orofacial Orthopedics* 62 (2001), S. 246–250

[37] Shriberg LD, Fourakis M, Hall SD: Extensions to the speach disorders classification system (SDCS). In: *Clinical Linguistics and Phonetics* C (2010), S. 795–824

[38] Leme MS, de Souza Barbosa T, Gavião, M, Duarte D: Relationship among oral habits, orofacial function and oral health-related quality of life in children. In: *Brazilian oral research* 27 (2013), Nr. 3, S. 272–278

[39] Jacobs R, Bou Serhal C, van Steenberghe D: Oral stereognosis: a review of the literature. In: *Clin Oral Invest* 2 (1998), S. 3–10

[40] Lundeborg I, Hultcrantz E, Ericsson E, McAllister A: Acoustic and Perceptual Aspects of Vocal Function in Children With Adenotonsillar Hypertrophy-Effects of Surgery. In: *Journal of Voice* 26 (2012), Nr. 4, S. 480–487

[41] Weichard AJ, Walter LM, Hollis SL, Nixon GM, Davey MJ, Horne RS, Biggs SN: Association between slow-wave activity, cognition and behavior in children with sleep-disordered breathing. In: *Sleep Medicine* 25 (2016), S. 49–55

[42] Abbildung: Facies adenoidea. `http://carlocampanelli.it/wp-content/uploads/2016/03/Facies-adenoidea.jpg`, Abruf: 05.12.2016

[43] Felicio CM, Ferreira CL: Protocol of orofacial myofunctional evaluation with scores. In: *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 72 (2008), S. 367–375

[44] Mehnert J, Landau H, Mussler A, Reinicke J, Müller-Hartwich R, Orawa H, Jost-Brinkmann P G: Comparison between Logopedic and MRI Findings in Evaluating Tongue Function. In: *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 70 (2009), Nr. 6, S. 455–467

[45] Mehnert J, Landau H, Orawa H, Kittel A, Krause M, Engel S, Jost-Brinkmann PG, Müller-Hartwich R: Validity and Reliability of Logopedic Assessments of Tongue Function. In: *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 70 (2009), Nr. 6, S. 468–484

[46] Abbildung: Prüfkörper für die orale Stereognose. `http://www.mft-products.ch/bilder/produkte/beisserchen2.jpg`, Abruf: 05.12.2016

[47] Fischer-Voosholz M, Spenthof U: *Orofaziale Muskelfunktionsstörungen: Klinik - Diagnostik - ganzheitliche Therapie*. Springer Verlag, 2002. S. 21–15

[48] Lambrechts H, de Baets E, Fieuws S, Willems G: Lip and tongue pressure in orthodontic patients. In: *The European Journal of Orthodontics* 32 (2010), S. 466–471

[49] Castillo-Morales, R: *Die Orofaziale Regulaionstherapie*. Pflaum Verlag München, 1998. S. 112–175

[50] Shriberg L, Gildersleeve-Neumann C, Hammer D, McCauley R, Velleman S, Clausen R, Hooper C, Shulman B: Childhood apraxia of speech. (2007). `http://www.asha.org/policy/ps2007-00277.htm`, Abruf: 15.01.2015

[51] Morgan AT, Vogel AP: Intervention for childhood apraxia of speech (Review). In: *The Cochrane Collaboration* Issue 3 (2008), S. 1–19

[52] Adolph KE, Berger SE: Motor development. (2007). `http://dx.doi.org/10.1002/9780470147658.chpsy0204`. – DOI 10.1002/9780470147658.chpsy0204

[53] Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K: *Lernatlas der Anatomie – Prometheus.* Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2007. S. 143–183

[54] Preston JL, Felsenfeld S, Frost SJ, Mencl WE, Fulbright RK, Grigorenko, EL, Landi N, Seki A, Pugh KR: Functional brain activation differences in school age children with speech sound errors: speech and print processing. In: *Journal of Speech, Language and Hearing Resaearch* 55(4) (2012), S. 1068–1082

[55] Peter B, Stoel-Gammon C: Central timing defizits in subtypes of primary speech dirsorders. In: *Clinical Linguistics and Phonetics* 22 (3) (2008), S. 171–198

[56] Leme M, de Souza Barbosa T: Relationship among oral habits, orofacial function and oral-related health quality of life in children. In: *Braz Oral Res* 27(3) (2013), S. 273–78

[57] Robey RR, Apel K, Dollaghan CA, Ellmo W, Hall NE, Helfer TM, Moeller MP, Threats TT, Hooper CR, Kent RD, Brown J, Lonsbury-Martin BL: Evidence-based practice in communication disorders. (2005). `http://www.asha.org/policy/PS2005-00221/`, Abruf: 15.01.2015

[58] Horn H, Göz G, Bacher M, Koch J, Axmann-Krcmar D: Maximalkraftmessungen des Lippen-und Zungendrucks und ihre Bedeutung für die klinische Diagnostik orofazialer Dyskinesien. In: *Fortschritte der Kieferorthopädie* 56 (1995), Nr. 4, S. 187–193

[59] Furlan FM, Valenti AF, Perilo TV, Costa CG, Barroso M F, Las Casas B, Motta AR: Quantitative evaluation of tongue protrusion force. In: *International Journal of Orofacial Myology* 36 (2010), S. 33–43

[60] Muratori LM, Reilmann R, Gordon AM: Coordination of fingertip forces during precision grasping in multiple system atrophy. In: *Neuropsychologia* 41 (2003), Nr. 11, S. 1498–1508

[61] Tabrizi SJ, Langbehn DR, Leavitt BR, Roos RA, Durr A, Craufurd D, Kennard C, Hicks SL, Fox NC, Scahill RI, Borowsky B, Tobin AJ, Rosas HD, Johnson H, Reilmann R, Landwehrmeyer B, Stout C: Biological and clinical manifestations of Huntington's disease in the longitudinal TRACK-HD study: cross-sectional analysis of baseline data. In: *The Lancet Neurology* 8 (2009), Nr. 9, S. 791–801

[62] Ebert KD, Scott CM: Bringing the simple view of reading to the clinic: relationships between oral and written language skills in a clinical sample. In: *Journal of Communication Disorders* 62 (2016), S. 147–160

[63] Lisker A: Sprachstandsfeststellung und Sprachförderung im Kindergarten sowie beim Übergang in die Schule. In: *Expertise im Auftrag des deutschen Jugendinstituts* (2010), S. 1-80. `http://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs/Expertise_Sprachstandserhebung_Lisker_2010.pdf`, Abruf: 19.01.2015

[64] Raven JC, Raven J, Court JH: CPM = Coloured Progressive Matrices (Sprachfreie Erfassung des Intelligenzpotentials bei Kindern). (2015). `http://www.testzentrale.de/programm/coloured-progressive-matrices.html?catId=17`, Abruf: 15.01.2015

[65] Macha T, Proske A, Petermann F: Validität von Entwicklungstests. In: *Kindheit und Entwicklung* 14 (2005), S. 150 – 162

[66] Rosenfeld J, Wohlleben B, Gross M: Eine Methode zur Phänotypisierung der spezifischen Sprachentwicklungsstörung bei 4- bis 5jährigen deutschsprachigen Kindern. In: *100 Jahre Phoniatrie in Deutschland: 22. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie; 24. Kongress der Union Europäischer Phoniater; 16.-18.09.2005; Berlin, Deutschland* (2005). `http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2005/05dgpp048.shtml`, Abruf: 20.04.2017

[67] Cotton SM, Kiely PM, Crewther DP, Thomson B, Laycock R, Crewther SG: A normative and reliability study for the Ravens Coloured Progressive Matrices for primary school aged children from Victoria (Australia).

[68] Rohrbach S, Buettner F, Pollex D, Mathmann P, Weinhold L, Schubert R, Reilmann R: Quantitative examination of isometric tongue protrusion forces in children with oro-facial dysfunctions (OFD) or myofunctional disorders. In: *Journal of Oral Rehabilitation.* `http://dx.doi.org/10.1111/joor.12598`. – DOI 10.1111/joor.12598

[69] Reilmann R, Bohlen S, Klopstock T, Bender A, Weindl A, Saemann P, Auer DP, Ringelstein E B, Lange HW: Tongue force analysis assesses motor phenotype in premanifest and symptomatic Huntington's disease. In: *Movement Disorders* 25 (2010), Nr. 13, S. 2195–2202

[70] Bechtel N, Scahill RI, Rosas HD, Acharya T, Bogaard SJA; Jauffret C, Say MJ, Sturrock A, Johnson H, Onorato CE, Salat DH, Durr A, Leavitt BA, Roos RAC, Landwehrmeyer, GB, Langbehn DR,Stout JC, Tabrizi JC, Reilmann R: Tapping linked to function and structure in premanifest and symptomatic Huntington disease. In: *Neurology* 75 (24) (2010), S. 2150–2160

[71] Maetzler W, Ellerbrock M, Heger T, Sass C, Berg D, Reilmann R: Digitomotography in Parkinsons Disease: A Cross-Sectional and Longitudinal Study. In: *PLOS One* 10 (4) (2015), S. 1–9

[72] Visscher C, Houwen S, Moolenaar B,Lyons J, Scherder E, Hartmann E: Motor proficiency of 6- to 9-year-old children with speech and language problems. In: *Developmantal Medicine and Child Neurology* 52 (11) (2010), S. 254–258

[73] Bergendal B, Bakke M, McAllister A, Sjögreen L, Åsten P: Profiles of orofacial dysfunction in different diagnostic groups using the Nordic Orofacial Test (NOT-S)—A review. In: *Acta Odontologica Scandinavica* 72 (2014), Nr. 8, S. 578–584

[74] Cavalcante-Leão BL, Barancelli Todero SR, Maorais Ferreira F, Duarte Gaviao MB, Calixto Fraiz F: Profile of orofacial dysfunction in Brazilian children using the Nordic Orofacial Test-Screening. In: *Acta Odontologica Scandinavica* 75 (2017), S. 263–267

[75] Tröster H, Reineke D: Prävalenz von Verhaltens- und Entwicklungsauffälligkeiten im Kindergartenalter. In: *Kindheit und Entwicklung* 16 (2007), S. 171–179

[76] Shriberg LD, McSweeny J, Tomblin JD: Prevalence of speech delay in 6-year-old-children and comorbidity with language impairment. In: *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 42(4) (1999), S. 1461–81

[77] Tallal P, Hirsch LS, Realpe-Bonilla T, Miller S, Brzustowicz LM, Bartlett C, Flax JF: Familial aggregation in specific language impairment. In: *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 44 (2001), S. 1172–1182

[78] Sattler JB, Klussmann A, Ahnold-Schulz-Gahmen B, Vasterling A, Wagner H, Hartmann B: Leitlinie: Händigkeit - Bedeutung und Untersuchung. In: *Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.* 002/017 (2014), S. 1-23. `http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-017l_S1_Haendigkeit_Bedeutung_Untersuchung_20414-12.pdf`

[79] Rothmann K: No adjustments are needed for multiple comparisons. In: *Epidemiology* 1 (1990), S. 43–46

[80] Kothari M, Svensson P, Huo X, Ghovanloo M, Baad-Hansen L: Force and complexity of tongue task training influences behavorial measures of motor learning. In: *European Journal of Oral Sciences* 120 (2012), S. 46–53

[81] Newmeyer A, Grether S, Grasha C, White J, Akers R, Aylward C, Ishikawa K, Degrauw T: Fine Motor Function and Oral-Motor Imitation Skills in Preschool-Age Children With Speech-Sound-Disorders. In: *Clinical Pediatrics* 46 (7) (2007), S. 604–611

[82] Peter B: Oral and Hand Movements Speeds and Associated with Expressive Language Ability in Children with Speech Sound Disorder. In: *Journal of Psycholinguistic Research* 41(6) (2012), S. 1–24

[83] Hamilton AF, Jones KE, Wolpert DM.: The scaling of motor noise with muscle strengh and motor unit numbers in humans. In: *Experimental brain research* 157 (2004), S. 417–430

[84] Kumar A, Tanaka Y, Grigoriadis J, Trulsson M, Svensson P: Training-induced dynamics of accuracy and precision in human motor control. In: *Scientific Reports* 7 (2017), S. 1–10

[85] Dahdal P, Meyer A, Chaturvedi M Novak K, Roesch A D, Fuhr B, Gschwandtner U: Fine motor function skills in patients with parkinson disease with and without mild cognitive impairment. In: *Dementia and geriatric cognitive disorders* 42 (2016), S. 127–134

[86] Kalron A, Devir Z, Achiron A: Motor impairment at presentation of clinically isolated syndrome suggestive of multiple sclerosis: Characterization of different disease subtypes. In: *NeuroRehabilitation* 31 (2) (2012), S. 147–155

[87] Jones KE, Hamilton AF, Wolpert, DM: Sources of Signal-Dependent Noise During Isometric Force Production. In: *Journal of Neurophysiology* 88 (2002), Nr. 3, S. 1533–1544

[88] Brezinka C, Lechner T, Stephan K: The fetus and noise. In: *Gynäkologisch-geburtshilfliche Rundschau* 37(3) (1997), S. 119–129

[89] Largo RH: *Babyjahre.* Pieper Verlag München, aktualisierte Taschenbuchausgabe 2001, Erstausgabe 1993. S. 307–356

[90] Shriberg LD, Lohmeier HL, Strand EA, Jakielski KJ: Encoding, Memory,and Transcoding Deficits in Childhood Apraxia of Speech. In: *Clinical Linguistics and Phonetics* 26 (5) (2012), S. 445–482

[91] Polyanskaya L, Ordin M: Acquisition of speech rhythm in first language. In: *Journal of the Acustical Society of America* 138(3) (2015), S. 199–204

[92] Matijevic V, Secic A, Zikovic TK, Borosak J, Kolak Z, Dimic Z: The most common deviations in the development of hand motoricity in children from birth to one year of age. In: *Acta Clinica Croatica* 52 (2013), S. 295–300

[93] Gentilucci M, Campione G C, Dalla Volta R, Bernardis P: The observation of manual grasp actions affects the control of speech: A combined behavioral and Transcranial Magnetic Stimulation study. In: *Neuropsychologia* 47 (2009), Nr. 14, S. 3190–3202

[94] Dannenbauer FM.: *Spezifische Sprachentwicklungsstörungen.* Bd. 3. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer, 2001. S. 50–74

[95] Klick SL: Adapted cuing technique: facilitating sequential phoneme production. In: *Clinics in Communication Disorders* 4(3) (1994), S. 183–189

[96] Bååth R, Tjøstheim TA, Lingonblad M: The role of executive control in rhythmic timing at different tempi. In: *Psychonomic bulletin & review* 23 (2016), Nr. 6, S. 1954–1960

[98] Whitall J, Chang TY, Horn CL, Jung-Potter J, McMenamin S, Wilms-Floet A, Clark JE: Auditory-motor coupling of bilateral finger tapping in children with and without DCD compared to adults. In: *Human Movement Science* 27(6) (2008), S. 914–931