

Aus dem Institut für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

B- und M-Mode-Sonographie der Zunge während des
Schluckens

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Steffi Galén, geb. Neumann

aus Berlin

Gutachter/in: 1. Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann
 2. Prof. em. Dr. J. Tränkmann
 3. Prof. Dr. R. Schwestka-Polly

Datum der Promotion: 29.01.2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Literaturübersicht	8
	2.1 Physiologie der Schluckfunktion	8
	2.1.1 Phasen des Schluckaktes	8
	2.1.2 Entwicklung der oralen Schluckfunktion	9
	2.1.3 Viscerales Schluckmuster	9
	2.1.4 Ursachen des visceralen Schluckmusters	11
	2.1.5 Myofunktionelle Therapie	12
	2.1.6 Schluckhäufigkeit	13
	2.1.7 Einflussfaktoren der oralen Schluckfunktion bei gesunden Probanden	13
	2.1.8 Dauer der oralen Schluckphase	14
	2.2 Untersuchungen der Zungenbewegung	15
	2.2.1 Palatographie	15
	2.2.2 Elektromagnetische Artikulographie (EMA)	16
	2.2.3 Elektromyographie	17
	2.2.4 Magnetresonanztomographie	17
	2.2.5 Röntgenkinematographie	17
	2.2.6 Sonographie	18
	2.2.6.1 Physikalische Grundlagen der Sonographie	18
	2.2.6.2 Das B-Mode-Bild der orofazialen Region	19
	2.2.6.3 Analysemethode nach Peng et al. ⁷⁵	21
3	Ziel dieser Arbeit	23
4	Probanden und Methode	24
	4.1 Probanden	24
	4.1.1 Versuchsgruppe	24
	4.1.2 Kontrollgruppe	24
	4.2 Untersuchungstechnik	25
	4.3 Untersuchungsablauf	29

4.4	Darstellung auf dem Monitor	29
4.4.1	B-Mode-Darstellung	29
4.4.2	M-Mode-Darstellung	29
5	Auswertung	31
5.1	Qualitative Auswertung	33
5.1.1	Leerschluckakt in der B-Mode-Darstellung	33
5.1.1.1	Anfangsphase	33
5.1.1.2	Transportphase	37
5.1.1.3	Rückkehrphase	37
5.1.2	Leerschluckakt in der M-Mode-Darstellung	38
5.1.2.1	Anfangsphase	38
5.1.2.2	Transportphase	42
5.1.2.3	Rückkehrphase	47
5.1.3	Intraindividuelle Konstanz und Variabilität	48
5.2	Quantitative Auswertung	49
5.2.1	Definition der Parameter	49
5.2.2	Darstellung der Messwerte	51
5.2.2.1	Daten pro Proband	51
5.2.2.2	Vergleich zwischen den Gruppen	51
5.2.2.3	Messgenauigkeit	52
6	Ergebnisse der quantitativen Auswertung	53
6.1	Schluckdauer	53
6.1.1	Kontrollgruppe	53
6.1.2	Versuchsgruppe	53
6.1.3	Vergleich zwischen Kontrollgruppe und Versuchsgruppe vor MFT	55
6.2	Anzahl der Wellenbewegungen	56
6.2.1	Kontrollgruppe	56
6.2.2	Versuchsgruppe	56
6.3	Amplitude	57
6.3.1	Kontrollgruppe	57
6.3.2	Versuchsgruppe	57
6.4	Geschwindigkeit der Zungenbewegung	59

6.4.1	Kontrollgruppe	59
6.4.2	Versuchsgruppe	59
6.4.3	Vergleich zwischen Kontrollgruppe und Versuchsgruppe vor MFT	62
6.5	Häufigkeiten der Varianten 1 bis 5 der Anfangsphase	63
6.5.1	Kontrollgruppe	63
6.5.2	Versuchsgruppe	63
6.5.3	Vergleich zwischen Kontrollgruppe und Versuchsgruppe	64
7	Diskussion	65
7.1	Probandenauswahl	65
7.2	Untersuchte Schluckvorgänge	66
7.3	Sonographische Methode	67
7.3.1	Messgenauigkeit	67
7.3.2	Auswahl und Positionierung der Ultraschallsonde	68
7.3.3	Fixierung der Sonde und des Kopfes	69
7.3.4	Dämpfungsmethode nach Peng et al. ⁷⁶	71
7.3.5	Wahl der Ebene für die B-Mode-Darstellung	72
7.3.6	Wahl der M-Position	73
7.4	Statistik	73
7.5	Diskussion der Ergebnisse	74
7.5.1	Schluckbewegung in der B-Mode-Darstellung	74
7.5.2	Einteilung und Beschreibung der Schluckphasen	76
7.5.3	Schluckbewegung im M-Mode-Bild	77
7.5.4	Individuelle Variabilität	78
7.5.5	Amplitude	79
7.5.6	Geschwindigkeit	81
7.5.7	Schluckdauer	82
7.5.8	Klinische Hinweise	85
8	Schlussfolgerungen	86
9	Zusammenfassungen	87
9.1	Deutsche Zusammenfassung	87
9.2	Summary	89

10	Literaturverzeichnis	91
11	Anhang	98
11.1	Anhang 1 - Informationsbrief für Probanden und Eltern (1)	98
11.2	Anhang 2 - Informationsbrief für Probanden und Eltern (2)	100
11.3	Anhang 3 - Diagnostik nach A. Kittel ⁵⁵	102
11.4	Materialliste	105
11.5	Danksagungen	106
11.6	Lebenslauf	107

1 Einleitung

Bei der Entstehung zahlreicher Zahn- und Kieferfehlstellungen spielen Fehlfunktionen der Zunge, vor allem das viscerale Schluckmuster, eine große Rolle. So sind offene Bisse^{31, 32, 38, 53, 93}, vergrößerte Frontzahnstufen, stark protrudierte Frontzähne oder eine mandibuläre Prognathie⁴⁵ oft mit einem visceralen Schluckmuster vergesellschaftet^{14, 17, 40, 44, 65, 66, 109, 119}. Auch bei Rezidiven nach einer kieferorthopädischen Behandlung sind häufig Fehlfunktionen mitverantwortlich¹⁰⁸. Ferner kann viscerales Schlucken die Ursache dafür sein, dass eine kieferorthopädische Zahnbewegung nicht zu einem erfolgreichen Abschluss geführt werden kann.

Bei Patienten mit visceralem Schluckmuster sollte daher eine kieferorthopädische Behandlung von einer myofunktionellen Therapie begleitet werden oder dieser vorausgehen, um die Fehlfunktion abzustellen.

Die Diagnostik von Zungenfehlfunktionen ist schwierig, da die intraoral ablaufende Kontraktion, Verformung und Abstützung des Zungenmuskels während des Schluckens nicht direkt beobachtet werden kann. Außerdem kann eine viscerale Schluckart übersehen werden, wenn zusätzlich ein Lutschhabit besteht, das ganz ähnliche Symptome hervorrufen kann¹². Die Diagnose und die Therapie des visceralen Schluckmusters als auch die Einschätzung des Behandlungsergebnisses einer myofunktionellen Therapie hängen weitgehend von den Erfahrungen des Logopäden ab. Daher haben sich zahlreiche Studien der Darstellung der Zungenbewegung mit Hilfe verschiedener Methoden mit dem Ziel gewidmet, objektive Kriterien für eine physiologische beziehungsweise eine fehlerhafte Schluckfunktion zu finden. Dabei erwies sich die Sonographie als ein einfaches und vielversprechendes Verfahren^{3, 10, 28-30, 91, 92, 116}.

Peng et al.⁷⁵ erarbeiteten 1995 eine Analyseverfahren zur quantitativen Auswertung von sonographischen Aufzeichnungen der Schluckbewegungen, die bis dahin nur qualitativ beurteilt wurden. Diese Methode soll die Diagnostik von Schluckstörungen vereinfachen sowie eine objektive Verlaufs- und Erfolgskontrolle einer myofunktionellen Therapie erlauben. Mit der vorliegenden Studie soll die Reliabilität der von Peng et al.⁷⁵ vorgestellten Analyseverfahren untersucht werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Physiologie der Schluckfunktion

2.1.1 Phasen des Schluckaktes

Der Schluckakt gliedert sich in die orale, pharyngeale und ösophageale Phase entsprechend der anatomischen Räume, die der zu schluckende Bolus oder die Flüssigkeit durchläuft bis der Magen erreicht ist^{19, 57, 63, 118}.

In der oralen Phase werden anhand der Zungenbewegung die Sammelphase, Aufschaukelphase, Transportphase und Ruhephase unterschieden^{30, 49, 115, 116}.

Während der Ruhephase hat der vordere Zungenabschnitt einen leichten flächenhaften Kontakt zum vorderen Teil des harten Gaumens und die Zahnreihen befinden sich in der Ruheschwebe⁵⁵. Mit Beginn des Schluckens wird in der Sammelphase der Bolus oder die Flüssigkeit auf dem vorderen Zungenabschnitt platziert. In der folgenden Aufschaukelphase bewegt sich der vordere Zungenabschnitt zum Gaumen während sich der mittlere Zungenabschnitt senkt. Anders als in früheren Arbeiten^{18, 36} wurde in neueren Untersuchungen festgestellt, dass dabei nicht immer eine Schlussbissstellung eingenommen werden muss⁴⁸. Die Fixierung des Unterkiefers durch Okkludieren der Zahnreihen scheint beim Schlucken von Flüssigkeiten unnötig, beim Schlucken von festen Nahrungsmitteln jedoch von wesentlicher Bedeutung zu sein, damit eine stabile Unterkieferposition der Zunge ein Widerlager während der sich anschließenden Transportphase bietet⁸⁵. In der Transportphase drückt der anteriore Zungenanteil gegen den harten Gaumen, während der mittlere Zungenrücken von anterior nach posterior wellenförmig angehoben wird bis der Bolus oder die Flüssigkeit den hinteren Anteil der Zunge erreicht^{16, 29, 83, 92, 115}. Ono et al.⁷² spezifizierten die Anheftung der Zunge an den Gaumen wie folgt: Zuerst lagert sich der anteromediane Zungenanteil, dann die seitlichen Zungenränder und schließlich der posteromediane Zungenabschnitt dem Gaumen an.

Während die orale Phase willkürlich gesteuert werden kann, setzt die pharyngeale Phase reflektorisch ein, sobald der Bissen von der Zunge gegen den weichen Gaumen gedrückt wird. Mit Hebung und Querverspannung des weichen Gaumens durch die

Gaumenmuskulatur und gleichzeitiger Kontraktion der oberen Schlundsnürer wird die Nasenhöhle gegen die Mundhöhle abgeschlossen. Das Zungenbein bewegt sich nach vorn durch Anheben des Mundbodens und Kontraktion des M. geniohyoideus. Die Atmung wird für kurze Zeit reflektorisch unterbrochen, indem der Kehlkopf unter die Zunge schlüpft, wodurch der Kehldeckel heruntergedrückt und der Eingang zur Luftröhre verlegt wird. Die Zunge presst den Bolus nach hinten gegen die Schlundenge in die Speiseröhre, deren oberer Schließmuskel sich öffnet. Hier wird während der ösophagealen Phase der Bissen durch peristaltische Wellen in den Magen befördert^{113, 114}.

2.1.2 Entwicklung der oralen Schluckfunktion

Die orale Schluckfunktion entwickelt sich innerhalb der ersten Lebensjahre vom angeborenen infantilen zum somatischen Schlucken.

Bei einem Säugling liegt die Zunge zwischen den Kiefern und hat Kontakt zu den Lippen und Wangen. Beim Trinken schiebt der Säugling die Zunge rhythmisch nach vorn, wie auch der Unterkiefer nach anterior und posterior bewegt wird. Die Wangen werden zwischen die posterioren Kieferkämme gesogen. Der Zungenrücken bildet eine konkave Kontur, auf der die Flüssigkeit in den Rachen fließt³⁶.

Die Reifung des Schluckmusters vollzieht sich in einer Übergangsphase mit Durchbruch der Milchzähne und der Umstellung auf feste Nahrung. Graber³⁶ erklärte, dass mit Durchbruch der Milchsneidezähne der Zungenraum in anteriorer Richtung begrenzt wird, so dass sich die Zunge nicht weiter nach vorn bewegen kann. Mit Durchbruch der Milchmolaren berühren sich diese beim Schlucken und die Zunge liegt dann nicht mehr zwischen den Kieferkämmen⁶⁹.

Erfolgt die Umstellung zum somatischem Schlucken nicht, spricht man vom visceralen Schluckmuster.

2.1.3 Viscerales Schluckmuster

In ihrem 2001 erschienenen Buch schreibt die Logopädin Kittel⁵⁵, dass beim visceralen Schlucken der vordere Teil der Zunge gegen oder zwischen die Frontzähne drückt

und/oder die Zungenränder ein- oder beidseitig gegen oder zwischen die Seitenzähne pressen, während die Zungenmitte sich nicht zum Gaumen hebt. Die Zungenruhelage ist nicht wie beim somatischen Schlucken am Gaumen, sondern interdental, addental oder kaudal. Ein Hinweis auf die Fehlfunktion der Zunge sind Zahnfehlstellungen wie der frontale oder seitlich offene Biss^{31, 53, 93}, protrudierte Frontzähne oder vergrößerte Frontzahnstufen^{14, 17, 40, 44, 109, 119}.

Brückl und Träger¹² nannten den unvollständigen Kieferschluss als ein Merkmal des visceralen Schluckens, da die Zunge häufig zwischen den Zähnen liegt. Die Beobachtungen von Hiraoka⁴⁸ zeigten jedoch, dass ein fehlender Schlussbiss beim Schlucken nicht in jedem Fall auf ein viscerales Schluckmuster schließen lässt.

Ein Merkmal des visceralen Schluckens ist die kompensatorische Mitarbeit der mimischen Muskulatur, die beim normalen Schlucken entspannt ist. Beim visceralen Schlucken wird daher von einer myofunktionellen Störung gesprochen, an der neben der Zungenmuskulatur auch die Mundboden-, Lippen-, Wangen- und Kaumuskulatur beteiligt sind^{38, 58}. Die Lippen werden beim visceralen Schlucken aufeinander gepresst. Die Oberlippe fällt dabei häufig durch ihre Dystonie auf, so dass der M. mentalis beim Schlucken sichtbar aktiviert wird und die Unterlippe sich der Oberlippe zum Lippenschluss entgegenschiebt. Werden die Lippen zur Unterstützung der Zunge benötigt, so kann der Patient nicht mit offenen Lippen schlucken. Ein manuelles Öffnen der Lippen während des Schluckvorgangs gelingt kaum⁵⁵. Experimentell bestätigt wurde dies durch eine elektromyographische Untersuchung von Stormer und Pancherz¹⁰¹. Sie stellten bei atypisch schluckenden Probanden im Vergleich zu normal schluckenden Probanden eine vergrößerte Muskelaktivität der perioralen Muskulatur bei verringerter Muskelaktivität der Kaumuskulatur fest. Straub^{103, 104} fand zudem, dass die Anspannung der fazialen Muskulatur beim visceralen Schluckmuster zusätzlich von einer anterioren Kopfbewegung begleitet sein kann.

Ein weiteres Kriterium visceralen Schluckens ist der unausgeglichene Tonus der Zunge. Die Muskulatur der Zungenmitte ist meist schwach, die der Randbereiche kräftig. Beim Herausstrecken der Zunge fällt die Zungenmitte bei diesen Patienten häufig schüsselförmig ein. Zahnimpressionen an den Zungenrändern können ein zusätzlicher Hinweis dafür sein, dass die Zunge im Rahmen eines visceralen Schluckens gegen die Zähne drückt⁵⁵.

2.1.4 Ursachen des visceralen Schluckmusters

Die Ursachen für ein viscerales Schluckmuster wurden als vielfältig beschrieben und beruhen vorwiegend auf Erfahrungen von Kieferorthopäden und Logopäden. Van der Linden¹¹² sieht das viscerale Schlucken in engem Zusammenhang mit Mundatmung, die aufgrund chronischer Infektionen der Nasenschleimhaut oder einer anatomischen Behinderung der Nasenatmung über einen langen Zeitraum besteht. Dieser Zusammenhang scheint plausibel, da festgestellt wurde, dass bei der Mundatmung die Zunge tief im Mundboden liegt statt sich am vorderen Gaumen abzustützen^{55, 102, 105}.

Kittel⁵⁵ nennt außerdem als Ursache für die Entstehung eines visceralen Schluckmusters eine unphysiologische Kopf- und Körperhaltung, die häufig auch Folge der Mundatmung ist. Bei Mundatmern wurde eine verstärkte Dorsalflexion des Kopfes festgestellt⁷, als auch eine Verschlechterung der Ganzkörperspannung und des Gesichtsmuskeltonus^{73, 110}.

Als weitere Ursache gibt Kittel⁵⁵ eine ungünstige Säuglings- und Kleinkindernahrung an, wie die Verwendung ungünstig geformter Flaschensauger, Sauger mit zu großem Saugloch und zu geringer Anregung des Kauverhaltens durch zu weiche Nahrung oder die späte Gewöhnung des Kindes an das Trinken aus der Tasse. Auch Straub¹⁰² hält falsche Nahrungsaufnahme durch zu lange oder zu große Sauger für die hauptsächliche Ursache falscher Schluckgewohnheiten.

Graber³⁶ nennt als Ursache des visceralen Schluckmusters bei Patienten mit einer Angle-Klasse I das Daumen- oder Fingernuckeln im Kleinkindalter. Die Erklärung, dass durch die Protrusion der Frontzähne es der Zunge erst ermöglicht wird, sich weiter nach anterior zu richten, erscheint nachvollziehbar, ist aber nicht bewiesen. Bei Patienten mit einer Angle-Klasse II oder III vermutet Graber³⁶ die genetisch vorgegebene Morphologie und Kieferlage als ungünstige Ausgangssituation für die Entstehung der visceralen Schluckart.

Von Kittel⁵⁵ werden außerdem ein angewachsenes Zungenbändchen, erbliche Konstitution, Reizüberflutung als auch kindliche Nachahmung von falschen Sprechgewohnheiten als Ursachen angeführt. Weiterhin gibt sie an, dass kieferorthopädische Geräte, vor allem solche, die den Gaumen bedecken oder den Mundraum einengen, eine myofunktionelle Störung begünstigen können.

2.1.5 Myofunktionelle Therapie

Mit Hilfe der myofunktionellen Therapie sollen ein korrektes orales Schluckmuster erlernt und bestehende kompensatorische Spannungen abgebaut werden. Es gibt verschiedene Therapiekonzepte^{6, 33, 55, 56, 61}. In Deutschland ist das Therapiekonzept nach Kittel⁵⁵ weit verbreitet. Bei diesem wird der ganze Körper mit einbezogen, denn in der Regel sind mit der orofazialen Symptomatik ganzkörperliche Begleiterscheinungen verbunden^{55, 73}. So fallen viele Patienten mit visceralem Schluckmuster schon durch eine allgemein hypotone Körperhaltung auf. Dies zeigt sich zum Beispiel durch eine offene Mundhaltung³⁸, einen schlaffen Händedruck, hängende Schultern, einen Rundrücken im Sitzen, ein Hohlkreuz im Stehen oder einen dorsal flexierten Kopf⁵⁵.

Die myofunktionelle Therapie nach Kittel⁵⁵ befasst sich daher zuerst durch spezielle Muskelübungen mit der Grobmotorik und der Ganzkörperkoordination. Erst dann widmet sie sich der orofazialen Feinmotorik. Dabei wird zuerst die Zungenruhelage erarbeitet und die Lippen- und Wangenmuskulatur spielerisch trainiert. Artikulationsübungen dienen dem Einspielen der richtigen Platzierung der Zungenspitze an der Papilla incisiva. Lippenschlussübungen, allgemeine Zungenübungen mit ansteigender Schwierigkeit sowie das intensive Training des Zungenmittelteils sind für die späteren Schluckübungen wichtige Maßnahmen.

Der Erfolg einer myofunktionellen Therapie hängt wesentlich von der Mitarbeit des Patienten ab. Nicht nur die Ausführung der vom Logopäden aufgetragenen Übungen zu Hause, sondern auch die anschließende Selbstkontrolle nach Beendigung der Behandlung sind ausschlaggebend dafür, ob der neu erlernte, korrekte Schluckablauf übernommen und automatisiert wird.

Nach Absolvierung einer myofunktionellen Therapie konnte von Benkert⁸ eine Korrektur der orofacialen Funktion sowie eine Verbesserung der Okklusion, eine Reduktion des offenen Bisses als auch eine Reduktion der Frontzahnstufe festgestellt werden. In einer Longitudinalstudie von Giuca und Mitarbeitern³⁵ konnte bei 47 % von 57 atypisch schluckenden Kindern im Alter von 5 bis 13 Jahren durch eine myofunktionelle Therapie ein somatisches Schlucken erarbeitet werden.

2.1.6 Schluckhäufigkeit

Aufgrund der Basalsekretion von durchschnittlich 0,5 l/d Speichel durch die großen Speicheldrüsen (Gl. Submandibularis, Gl. Sublingualis, Parotis) als auch durch die kleinen Speicheldrüsen (Glandulae labialis, buccales, palatinae, linguales)¹¹³, kommt es zum unbewussten Leerschlucken. Es erfolgt häufiger als das Schlucken beim Essen und Trinken und ist damit als ätiologischer Faktor bedeutungsvoller².

Die Häufigkeit des Leerschluckens wurde von Kydd und Neff⁵⁹ mit 1474/d und von Rakosi⁸³ mit 800-1200/d und von Proffit⁸¹ mit 1000/d angegeben. Laut Brückl und Träger¹² variiert die Schluckhäufigkeit zwischen Tag (2-3/min) und Nacht (1/min).

Witt und Timper¹¹⁷ fanden, dass Kinder häufiger schlucken als Erwachsene, und dass sich die Schluckhäufigkeit während des Schlafes verringert. Sie gaben weiterhin an, dass bei Vorliegen einer Angle-Klasse II, 1 die Schluckhäufigkeit gegenüber anderen Angle-Klassen erhöht ist. Peng et al.⁷⁵ fanden dagegen keinen signifikanten Unterschied in der Schluckfrequenz zwischen den Angle-Klassen I und II.

2.1.7 Einflussfaktoren der oralen Schluckfunktion bei gesunden Probanden

Bei gesunden Probanden wurde die Abhängigkeit der Zungenbewegung von verschiedenen Einflussfaktoren, wie Art, Geschmack und Größe des geschluckten Bolus, als auch Alter und Geschlecht der Probanden, in verschiedenen Arbeiten und mit unterschiedlichen Methoden untersucht.

Leow et al.⁶² fanden in ihrer Untersuchung, dass der Schluckvorgang von sauren, bitteren und salzig schmeckenden Substanzen länger dauert als von süßen und neutralen Substanzen.

Tasko et al.¹⁰⁶ maßen mit zunehmenden Bolusvoluma eine erhöhte Geschwindigkeit der Zungenbewegung. Auch von anderen Untersuchern wurde eine Beeinflussung der Schluckbewegung durch die Bolusgröße^{51, 82, 95} nachgewiesen, wohingegen Hamlet³⁹ sowie Miller und Watkin⁶⁷ keine Abhängigkeit feststellten.

Zum Einfluss der Boluskonsistenz beim Schlucken gaben Youmans und Stierwalt¹²⁰ an, dass sich der von ihnen gemessene durchschnittliche Zungendruck gegen den harten Gaumen während des Schluckens mit zunehmender Boluskonsistenz erhöht. Miller und

Watkin⁶⁷ maßen bei steigender Viskosität des Bolus eine erhöhte Maximalkraft der Zunge gegen den Gaumen.

Die Abhängigkeit der Schluckfunktion von der Boluspositionierung wurde in der Literatur kontrovers diskutiert. Neben Studien, die eine Abhängigkeit beschrieben^{86, 96, 107}, gibt es eine Studie, die eine Abhängigkeit bezweifelte⁹.

Auch in wie weit das Alter und das Geschlecht beim Schlucken eine Rolle spielen, findet man in der Literatur keine übereinstimmenden Ergebnisse.

Sonie et al.⁹⁵ sowie Hirai et al.⁴⁷ berichteten in ihrer Arbeit, dass die Dauer des Schluckvorgangs mit steigendem Alter zunimmt. Auch Ruark et al.⁸⁶ stellten fest, dass bei Kindern die Dauer der Muskelaktivität beim Schlucken kürzer ist als bei Erwachsenen. Dagegen konnten Vaiman et al.¹¹¹ nur bei siebzigjährigen und älteren Probanden eine signifikante Verlängerung der Schluckdauer nachweisen. Peng et al.⁷⁵ ermittelten keine Korrelation zwischen Schluckdauer und Alter.

Eine geschlechtsspezifische Abhängigkeit der Schluckfunktion wurde von Vaiman et al.¹¹¹ und auch von Neuschäfer-Rube et al.⁷¹ nicht gefunden, während Peng et al.⁷⁵ feststellten, dass Frauen eine signifikant längere Schluckdauer haben als Männer.

2.1.8 Dauer der oralen Schluckphase

Die Dauer der oralen Schluckphase des Bolusschluckens, des Schluckens von Flüssigkeiten und des Leerschluckens wurden mit verschiedenen Methoden untersucht. Je nach Untersucher und Methode wurde die Dauer mit einer Genauigkeit von 0,01 s, 0,1 s oder 1 s angegeben.

Für das Leerschlucken wurden in der Literatur unterschiedliche Angaben gemacht. So fanden Peng und Mitarbeiter⁷⁵ anhand sonographischer Aufzeichnungen der Zungenbewegung eine durchschnittliche Schluckdauer von 2,43 s, wobei ihre Werte bei 54 untersuchten Probanden von 0,95 s bis 4,69 s variierten. Die Arbeitsgruppe um Sonies⁹⁵ gaben Werte zwischen 1,79 s und 3,41 s an. Findlay und Kilpatric²⁷ ermittelten elektromyographisch eine Schluckdauer zwischen 0,93 s und 3,20 s und gaben eine durchschnittliche Schluckdauer von 2,02 s an. Akustisch wurde die Schluckdauer von Witt und Timper¹¹⁷ bestimmt. Sie maßen die Schluckdauer beim Leerschlucken

solange ein akustisches Signal während des Schluckens empfangen werden konnte und bezifferten sie mit 1,4 s deutlich kleiner.

Für das Bolusschlucken und das Schlucken von Flüssigkeiten wurden insgesamt kleinere Werte als für das Leerschlucken gefunden. Als mögliche Ursache gaben Peng et al.⁷⁵ an, dass dabei der Schluckvorgang ohne eine Anfangsphase gemessen wurde, denn sobald der Untersucher den Probanden veranlasst, Flüssigkeit im Mund zu halten und dann zu schlucken, beginnt dessen Messung mit der Transportphase. Die Sammel- und Aufschaukelphase ist mit dem Aufladen der Flüssigkeit auf den Zungenrücken bereits abgelaufen. Mit der Röntgenkinematographie wurde für das Bolusschlucken eine Dauer von 2 s und 1,5 s bestimmt^{18, 105}.

Für das Schlucken von Flüssigkeiten wurde mit Hilfe der Elektropalatographie eine Schluckdauer von 1,1 s bis 2,9 s gemessen⁴⁹. Mit der Sonographie bestimmten Sonies et al.⁹⁵ Werte zwischen 1,30 s und 2,47 s. In diesem Intervall liegen auch die von Shawker und Mitarbeiter⁹⁰ mit 2,1 s und von Neuschaefer-Rube et al.⁷¹ mit 1,69 s für Frauen und 1,63 s für Männer angegebene durchschnittliche Schluckdauer für das Wasserschlucken.

Beim Vergleich der Schluckdauer von visceral und somatisch schluckenden Probanden wurde von Alexander und Sudha⁴ sowie von Ichida et al.⁴⁹ festgestellt, dass die Schluckdauer beim visceralen Schlucken verlängert war. Peng et al.⁷⁵ fanden für das viscerale Schluckmuster jedoch keine signifikant vergrößerte Schluckdauer.

2.2 Untersuchungen zur Zungenbewegung

Folgende Verfahren wurden genutzt oder entwickelt, um das Bewegungsmuster der Zunge beim Schlucken zu untersuchen und werden hier vergleichend gegenübergestellt.

2.2.1 Palatographie

Die Palatographie ermöglicht die Darstellung von Zungenkontakten zum Gaumen. Der Proband schluckt mit einer Gaumenplatte, die mit Kohlepulver oder fluoreszierenden

Substanzen farblich markiert ist^{22, 23}. An den Stellen, wo die Zunge die Gaumenplatte berührt hat, ist die Markierung an der Platte reduziert. Allerdings erlaubt diese Technik keine Aussage darüber, wie lange und zu welchem Zeitpunkt des Schluckvorgangs die Zunge den Gaumen berührt hat.

Die zeitbezogene Darstellung des Zunge-Gaumen-Kontakts während des Schluckens oder Sprechens gelingt mit der Elektropalatographie, bei der die Patienten eine Gaumenplatte mit Drucksensoren tragen^{15, 41, 42, 49}. Gleichzeitig ist mit diesen Drucksensoren eine zeitlich und örtlich bezogene Messung des Zungendrucks möglich^{72, 120}.

Als Nachteile der Palatographie sind die Raumforderung durch die Gaumenplatte als auch das von der Gaumenplatte verdeckte Relief der natürlichen Gaumenschleimhaut zu sehen, die wahrscheinlich zu einer ungewohnten Zungenfunktion führen.

2.2.2 Elektromagnetische Artikulographie (EMA)

Mit der elektromagnetischen Artikulographie können die Bewegungsbahnen einzelner Punkte auf der Zungenoberfläche zeitlich und räumlich bestimmt werden. Dieses Verfahren erlaubt somit auch die Messung der Geschwindigkeit von Zungenbewegungen. Da dabei jedoch nur einzelne Punkte der Zungenoberfläche beobachtet werden können, fehlt dem Untersucher die Information über die Bewegung der Zungenoberfläche zwischen und neben den aufgezeichneten Punkten.

Die EMA beruht auf dem physikalischen Prinzip der Induktion. Der Patient trägt einen Aluminiumhelm mit Senderspulen auf dem Kopf, die jeweils parallel zueinander ausgerichtete Magnetfelder unterschiedlicher Frequenz aufbauen. Auf seiner Zunge befinden sich Empfängerspulen, die bei Bewegung eine Veränderung der induzierten Wechselspannung erzeugen^{24, 25, 89, 97}. Jedoch ist durch die Empfängerspulen und die Kabelverbindungen, die aus dem Mund führen, eine Beeinflussung der Zungenbewegung anzunehmen.

2.2.3 Elektromyographie

Mit der Elektromyographie ist es möglich, elektrische Potenziale der am Schlucken beteiligten Muskeln abzuleiten und damit die Dauer und Stärke ihrer Aktivität zu bestimmen^{4, 27, 79, 111}. Die Erfassung der Potenzienschwankungen erfolgt durch an der Haut befestigte Oberflächenelektroden. Dabei lassen sich nur jene Muskeln erfassen, die nicht von anderen Muskeln überlagert sind.

Das EMG-Signal unterliegt vielen Einflussfaktoren, die interindividuell verschieden sind. Dazu zählen unter anderem Verschiebungen der Elektrode durch Muskelbewegungen, die Dicke des Gewebes zwischen Elektrode und Muskel, sowie die Durchblutung und der Abstand der Elektroden⁸⁰.

2.2.4 Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie hat den Vorteil der bildlichen Weichteildarstellung und damit der Zunge und ihrer umgebenden Muskeln^{5, 39, 43, 60}. Dabei kommt es nicht zu einer Beeinträchtigung der Darstellung durch knöcherne Strukturen wie beim Ultraschall. In letzter Zeit konnte das räumliche und zeitliche Auflösungsvermögen immer weiter verbessert werden, so dass schnelle Bewegungen von Organen oder Muskeln mit einem zeitlichen Abstand von weniger als 30 ms aufgezeichnet werden können. Nachteilig sind die sehr hohen Anschaffungs- und Betriebskosten sowie die langen Messzeiten. Auch kann es bei der Magnetresonanztomographie des Kopfes durch Amalgamfüllungen und kieferorthopädischen Drähten zu Artefakten kommen, die eine Auswertung der Bilder unmöglich machen⁵².

2.2.5 Röntgenkinematographie

Zu den ältesten Verfahren, die für Zungenfunktionsuntersuchungen genutzt wurden, gehört die Röntgenkinematographie^{13, 21, 83, 88}. Sie ist ein Instrumentarium bei der Diagnostik raumfordernder Prozesse in der pharyngealen und ösophagealen Phase sowie bei Störungen der Beweglichkeit der Speiseröhre. Während der Aufnahme

schluckt der Patient ein Kontrastmittel, dessen Transport durch die Mundhöhle und Speiseröhre beobachtet werden kann. Wegen der Strahlenexposition kann dieses Verfahren heute nicht mehr im Rahmen wissenschaftlicher Studien zur Untersuchung der oralen Schluckphase genutzt werden.

2.2.6 Sonographie

Die Sonographie wird heute zur Routinediagnostik in fast allen Bereichen der Medizin eingesetzt. Die Unschädlichkeit der Ultraschallwellen in der medizinischen Diagnostik macht es möglich, die sonographische Untersuchung mehrfach zu wiederholen ohne den Patienten einem Risiko auszusetzen. Das Verfahren ist relativ kostengünstig und einfach anzuwenden. Da in der vorliegenden Arbeit die Bewegungsbeschreibung der Zunge unter Anwendung der Sonographie erfolgen soll, wird auf die physikalischen Grundlagen und die bildliche Darstellung im Folgenden näher eingegangen.

2.2.6.1 Physikalische Grundlagen der Sonographie

Ultraschall wird mit Hilfe des reziproken piezoelektrischen Effekts polar strukturierter Quarzkristalle erzeugt. Solche Kristalle ändern ihre Form, wenn ein elektrisches Feld angelegt wird. Ist dieses Feld ein Wechselfeld, das heißt periodisch veränderlich, so verändert sich auch die Kristallform periodisch. Von dem schwingenden Kristall, der mit der Frequenz des Wechselfeldes schwingt, geht eine Schallwelle in das angrenzende Medium. Dieser Effekt ist umkehrbar. Ankommende Schallwellen verformen den Quarzkristall, so dass ein Wechselfeld entsteht. Somit ist ein Schallsender in seiner Sendepause ein Schallempfänger.

Ultraschallwellen haben in der medizinischen Diagnostik eine Frequenz zwischen 1 und 10 MHz. Je niedriger die Frequenz, um so höher die Eindringtiefe, desto höher aber auch die Absorption und Streuung im Gewebe.

Schallwellen werden an Grenzflächen von Geweben mit unterschiedlicher akustischer Impedanz mehr oder weniger stark reflektiert. Die akustische Impedanz errechnet sich aus dem Produkt von Dichte und Schallgeschwindigkeit. Da Knochen im Vergleich zum

Weichgewebe eine hohe akustische Impedanz besitzt, wird der Ultraschall an Knochen fast vollständig reflektiert und dahinter liegende Strukturen werden vom Ultraschall nicht mehr erreicht. Gleiches gilt für den Übergang des Ultraschalls von Luft in Gewebe. Aus der Zeit vom Senden einer Ultraschallwelle bis zum Eintreffen ihrer reflektierten Welle kann der zurückgelegte Weg und damit der Abstand einer Struktur zur Schallquelle berechnet werden. Die Umwandlung der elektrischen Impulse nach Schallempfang in Bildpunkte auf einem Monitor erfolgt auf einem Oszilloskop.

Für die bildliche Darstellung gibt es in der Medizin die A-Mode-, B-Mode- oder M-Mode-Darstellung. Die A-Mode-Darstellung ist eindimensional. Sie zeigt die Stärke der Schallreflexion als Amplitude auf der Ordinate und die Laufzeit auf der Abszisse.

Beim M-Mode werden alle entlang der Ausbreitungslinie eines Schallstrahls liegenden Grenzflächen als Bildpunkte über die Zeit aufgezeichnet. Ihre Helligkeit ist abhängig von der Stärke der Schallreflexion. Bewegen sich die reflektierenden Grenzflächen, ändert sich ihr Abstand zum Schallkopf und damit die Schalllaufzeit. Wird die Schalllaufzeit als Maß für die Entfernung zwischen Schallkopf und reflektierender Fläche als Funktion der Zeit registriert, entstehen Kurven. Beim B-Mode wird ein zweidimensionales winkelgetreues Schnittbild der gewählten Schallsektorgröße erzeugt. Der Schallstrahl tastet die Schnittebene ab. Entsprechend der Richtung, der Laufzeit und Abschwächung seiner Reflexionen im Gewebe ergeben sich Lage und Helligkeit der Bildpunkte⁸⁷.

2.2.6.2 Das B-Mode-Bild der orofazialen Region

Eine schematische Darstellung der orofazialen Strukturen, die im B-Mode-Bild in der mediansagittalen Ebene (Abbildung 1) und in der transversalen Ebene (Abbildung 2) von submental zu erkennen sind, findet man unter anderem bei Gritzmann und Frühwald³⁷.

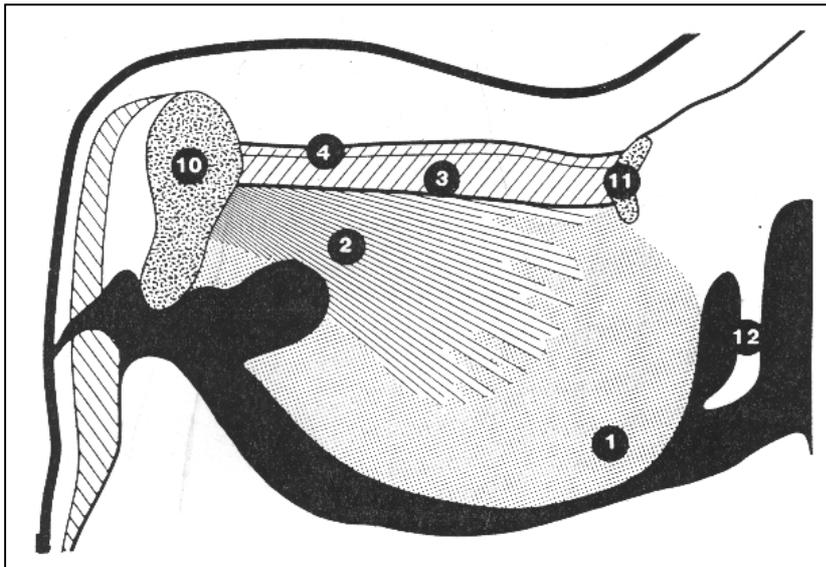


Abb. 1
Mediansagittale Darstellung
der orofazialen Region von kaudal
nach kranial
mit freundlicher Genehmigung von
Prof. Dr. Gritzmann³⁷ aus Salzburg:

1 = Zungenbinnenmuskulatur,
2 = M. genioglossus,
3 = M. geniohyoideus,
4 = M. mylo-hyoideus,
10 = Mandibula, Symphyse,
11 = Hyoid,
12 = Epiglottis.

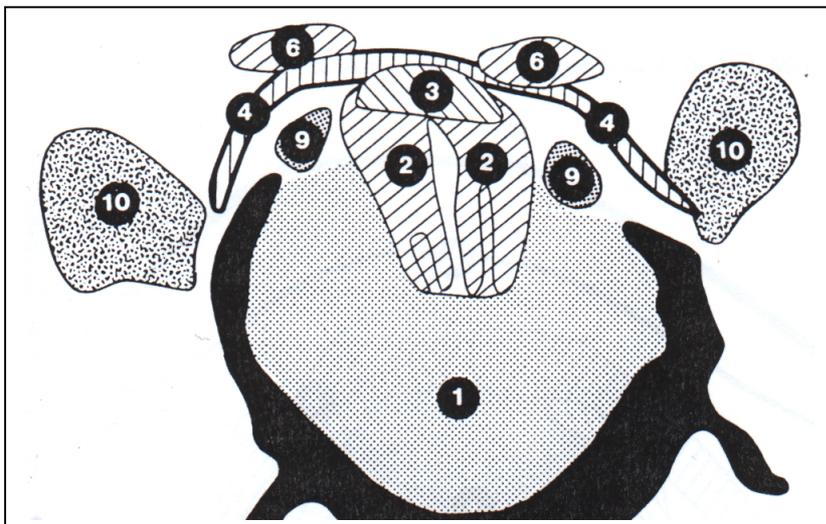


Abb. 2
Transversale Darstellung
der orofazialen Region
mit freundlicher Genehmigung von
Prof. Dr. Gritzmann³⁷ aus Salzburg:

1 = Zungenbinnenmuskulatur,
2 = M. genioglossus,
3 = M. geniohyoideus,
4 = M. mylo-hyoideus,
6 = ant. Bauch des M. digastricus,
9 = Glandula sublingualis,
10 = Mandibula.

Neben anderen Faktoren beeinflussen die submentale Ankopplungsfläche und die Speichelmenge das sonographische Bild^{29, 30}. Der M. mylohyoideus (4), der M. geniohyoideus (3) und der M. genioglossus (2) präsentieren sich in der mediansagittalen Ultraschallabbildung als echoarme (hypoechoogene) Strukturen (Abbildung 1). In der transversalen Ebene ist zusätzlich der anteriore Bauch des M. digastricus zu sehen.

Die Zungenbinnenmuskulatur (1) zeigt ein homogenes Echo (Abbildungen 1 und 2). Eine Differenzierung in die einzelnen Muskelgruppen der Zunge, wie M. verticales linguae, M. transversales linguae und M. longitudinales linguae, ist nicht möglich³⁷.

Die Oberfläche der Zunge ist als scharfe Kontur im Ultraschallbild zu sehen. Der Gaumen ist sonographisch nicht beurteilbar, solange er durch ein Luftpolster von der Zunge getrennt ist²⁶. Die Symphyse (Ziffer 10 in Abbildung 1) als auch das Zungenbein (Ziffer 11 in Abbildung 1) erzeugen einen Schatten im Ultraschallbild, der zum Teil den anterioren und den posterioren Abschnitt der Zunge überlagert.

2.2.6.3 Analysemethode nach Peng et al.⁷⁵

Peng et al.⁷⁵ definierten 1995 die Schluckphasen für das Leerschlucken anhand ihrer Beobachtungen in der B-Mode-Darstellung neu und legten erstmals klare Grenzen zwischen den einzelnen Phasen fest, die bis dahin nur vage formuliert waren. Nach Peng et al.⁷⁵ fehlt beim Leerschlucken die Sammelphase. Es beginnt das Leerschlucken mit der Anfangsphase, die der von anderen Untersuchern beschriebenen Aufschaukelphase ähnelt. Die Transportphase unterteilten sie in frühe und späte Transportphase. Das Einnehmen der Ruheposition nannten Peng et al.⁷⁵ Rückkehrphase und nicht abschließende Ruhephase, um Verwechslungen mit der bewegungsfreien Ruhephase zwischen den Schluckakten zu vermeiden. Die Rückkehrphase unterteilten sie ebenfalls in frühe und späte Rückkehrphase. Sie fanden verschiedene Varianten der Zungenbewegung in den einzelnen Phasen und bestimmten deren Häufigkeit.

Peng et al.⁷⁵ nahmen zeitgleich zur B-Mode-Sequenz die M-Mode-Sequenz auf. Sie fanden eine individuell charakteristische zeitbezogene Bewegungskurve der Zungenoberfläche im M-Mode-Verlauf und gaben an, dass deren Umkehrpunkte mit den von ihnen definierten Übergängen der vier großen Phasen – Anfangsphase, Transportphase, Rückkehrphase und Ruhephase – korrelierten. Die Grenzen der Unterphasen bestimmten sie nicht anhand der Zungenoberfläche, sondern anhand der Kurven der Mundbodenmuskulatur im M-Mode-Bild. Für die verschiedenen Bewegungsvarianten der Zunge während der Anfangsphase, Transportphase und Rückkehrphase gaben sie den entsprechenden Kurvenverlauf im M-Mode-Bild an. Peng et al.^{75, 77} fanden eine reduzierte Geschwindigkeit und eine verlängerte Dauer der späten

Transportphase sowie eine veränderte Bewegungsrichtung des M. genioglossus während der Anfangsphase im M-Mode-Bild beim visceralen Schlucken.

Es gibt Untersucher⁹⁴, die deren Ergebnisse anzweifeln und bestritten, dass eine homogene Schluckkurve im M-Mode-Bild beobachtet werden kann. Andere Untersucher⁷⁴ befürworteten die Ausführungen von Peng et al.⁷⁵, kamen aber unter Anwendung deren Analysemethoden auf Ergebnisse, die sich nicht mit denen von Peng et al.⁷⁵ deckten. So fanden Ovsenik et al.⁷⁴ eine reduzierte Bewegungsgeschwindigkeit der Zunge während der frühen an Stelle der späten Transportphase bei visceral schluckenden Probanden. Peng et al.⁷⁵ gaben in ihrer Arbeit an, zwischen visceral und somatisch schluckenden Probanden keinen Unterschied in der frühen Transportphase gefunden zu haben. Ovsenik et al.⁷⁴ maßen außerdem eine signifikant verlängerte Schluckdauer für visceral schluckende Probanden, während Peng et al.⁷⁵ keinen signifikanten Unterschied der Schluckdauer zwischen visceral und somatisch schluckenden Probanden messen konnten.

3 Zielsetzung und Fragestellung

Die vorliegende Untersuchung soll die Analysemethode nach Peng et al.⁷⁵ überprüfen. Zunächst soll die Einteilung der Schluckphasen nach Peng et al.⁷⁵ anhand der B-Mode-Sequenzen von Schluckverläufen verschiedener Probanden mit visceralem oder somatischem Schluckmuster vorgenommen werden. Es wird überprüft, ob eine reproduzierbare Schluckkurve für jeden Probanden in der M-Mode-Sequenz existiert. Dann sollen die B-Mode-Sequenzen mit den dazugehörigen M-Mode-Verläufen dahingehend verglichen werden, ob die Phasengrenzen im M-Mode-Bild durch markante Punkte, wie von Peng et al.⁷⁵ in ihrer Arbeit beschrieben, eindeutig bestimmt werden können.

Peng und Mitarbeiter haben in ihrer Arbeit die Amplitude der vertikalen Zungenbewegung, die Geschwindigkeit, die gesamte Schluckdauer und die Dauer der einzelnen Schluckphasen in der M-Mode-Darstellung gemessen. Es soll geprüft werden, inwieweit diese Parameter zweifelsfrei im M-Mode-Bild erfasst werden können.

Es sollen ferner folgende Fragen beantwortet werden:

Wie verändert sich die Bewegung der Zunge nach myofunktioneller Therapie im sonographischen Bild?

Ist eine qualitative Veränderung der Zungenbewegung im B-Mode-Bild überhaupt zu erkennen?

Gibt es Parameter im M-Mode-Verlauf, die sich durch eine myofunktionelle Therapie verändern?

Können diese Parameter für eine Differenzierung in viscerales oder somatisches Schlucken herangezogen werden?

Abschließend soll die Frage diskutiert werden, ob sich die sonographische Untersuchungsmethode eignet, die Diagnostik des visceralen Schluckmusters zu verbessern.

4 Probanden und Methode

4.1 Probanden

Die vorliegende Untersuchung wurde an 11 Personen einer Versuchsgruppe und an 13 Personen einer Kontrollgruppe durchgeführt.

4.1.1 Versuchsgruppe

In drei logopädischen Praxen in Berlin wurden Informationsblätter (Anhang 1) zur Untersuchungstechnik und zum zeitlichen Ablauf der Studie dem Patienten und bei minderjährigen Patienten den Eltern mitgegeben. Daraufhin meldeten sich 4 Patienten im Alter von 18-32 Jahren und die Erziehungsberechtigten von 7 Patienten im Alter von 8-16 Jahren, bei denen zuvor ein viscerales Schluckmuster durch die Logopädinnen diagnostiziert wurde, vor Beginn ihrer myofunktionellen Therapie (MFT). Bei mündlicher Einwilligung zur Teilnahme wurde ein Termin zur Ultraschalluntersuchung vereinbart.

12 Probanden der Versuchsgruppe hatten einen offenen Biss, eine Probandin zeigte eine deutliche lückige Protrusion der Frontzähne in beiden Kiefern.

Alle Probanden schlossen die MFT erfolgreich ab und wurden daraufhin erneut untersucht.

Die Diagnostik der myofunktionellen Störung wurde in allen drei logopädischen Praxen entsprechend dem Diagnostikbogen nach Kittel durchgeführt (Anhang 3).

4.1.2 Kontrollgruppe

In einer kieferorthopädischen Praxis in Berlin wurden ebenso Informationsblätter (Anhang 2) zur Untersuchungstechnik und zum zeitlichen Ablauf der Studie ausgelegt. Die auf diesem Weg rekrutierten Probanden im Alter von 23-52 Jahren waren Angehörige oder Freunde von Patienten. In einer Voruntersuchung wurde sichergestellt, dass bei keinem von ihnen ein offener Biss oder Kopfbiss, eine frontale Stufe, eine lückige Protrusion der Front, eine progene Verzahnung oder ein Kreuzbiss vorlag. Sie zeigten keine Anzeichen einer visceralen Schluckart, denn sie mussten folgende Kriterien aus dem Diagnostikbogen nach Kittel (Anhang 3) erfüllen: Die Lippen mussten

in Ruhe und beim Schlucken locker geschlossen sein. Während des Schluckvorgangs durfte die Gesichtsmuskulatur nicht angespannt sein. Es konnte mit offenen Lippen geschluckt werden, ohne dass sich Speichelbläschen zwischen die Zahnreihen schoben. Auf die Frage, wo die Zunge sich in Ruhe und beim Schlucken befindet, musste angegeben oder mit dem Finger gezeigt werden, dass sie hinter den oberen Zähnen am Gaumen liegt.

Die Probanden trugen keinen festsitzenden oder herausnehmbaren Retainer.

Alle Probanden wurden noch einmal mündlich über die Sonographie aufgeklärt und konnten bei mündlicher Einwilligung zur Teilnahme einen Termin zur Ultraschalluntersuchung vereinbaren.

4.2 Untersuchungstechnik

Alle Probanden wurden mit dem Ultraschallgerät Philips (ATL) HDI 2000 untersucht. Die sonographische Darstellung des Schluckvorgangs auf dem Monitor erfolgte zeitgleich als B-Mode-Bild und als M-Mode-Bild. Beide Darstellungsmodi konnten so synchron miteinander verglichen werden.

Mit der verwendeten Multifrequenzsonde (C7-4) mit einem Frequenzbereich von 4 bis 7 MHz wurde eine Eindringtiefe von 8 cm eingestellt. Reichte die Eindringtiefe aufgrund eines verlängerten Untergesichts oder eines hohen Gaumens nicht aus, die Zungenoberfläche darzustellen, wurde die Eindringtiefe auf 10 cm erhöht. Bei einer Eindringtiefe von 8 cm betrug die Sektorgröße 60° und bei einer Eindringtiefe von 10 cm 55° . Der Scanausschnitt für die M-Mode-Darstellung verlief in der Mitte des Ultraschallsektors.

Das Ultraschallgerät lieferte eine Darstellung mit einer Bildfrequenz von 30 Bildern pro Sekunde. Die Aufzeichnung erfolgte mit einem Videorecorder (Schneider SVC 613) mit einer Bildfrequenz von 25 Bildern pro Sekunde.

Die Ultraschalluntersuchung wurde von submental in der Mediansagittalebene durchgeführt. Für eine reproduzierbare Darstellung und um Relativbewegungen von Kopf und Sonde zueinander zu minimieren, wurde die Kopf- und Sondenposition mit einer eigens für diesen Zweck angefertigten Vorrichtung (Abb. 3) definiert. Diese bestand in Anlehnung an Peng et al.⁷⁵ aus einem für die Sonde bogenförmig ausgeschnittenen, in der Höhe verstellbaren Metalltisch (Ziffer 4 in Abbildung 3). Auf

diesem befand sich eine treppenförmige Auflage aus Silikon (Provil, Heraeus Kulzer) zur Abstützung der Symphyse (Abbildung 4). In diese legte der aufrecht sitzende Proband sein Kinn. Sein Kopf wurde so positioniert, dass die Frankfurter Horizontale waagrecht verlief (Abb. 5). Eine in der Höhe und sagittal verstellbare Stirnlehne (Ziffer 6 in Abbildung 3 und 5) diente der weiteren Fixierung. Unter dem Metalltisch war die Sonde mit einer Halterung (Ziffer 2 in Abbildung 3 und 5) gefasst. Sie konnte in der Höhe und in der Tiefe variiert werden. Die Sonde berührte durch die bogenförmige Aussparung des Metalltisches hindurch den Mundboden des Probanden. Sie wurde so eingestellt, dass der Zentralstrahl der Ultraschallsonde senkrecht zur Frankfurter Horizontalen in der Mediansagittalebene durch den mittleren Abschnitt der Zunge verlief (Abb. 5). Der Abstand zwischen Kinnspitze und Zentralstrahl betrug 3 bis 4 cm je nach Länge des Unterkiefers. Kontaktgel (Hellige, GE Medical Systems) diente der Ankopplung zwischen Sonde und Haut.



Abb. 3

Untersuchungsstativ modifiziert nach Peng et al.⁷⁵ :

1 = Grundplatte, 2 = Halterung der Sonde, 3 = Stellrad für die Höheneinstellung der Sonde,
4 = Metalltisch mit Aussparung für den Sondenkopf, 5 = Stellrad zur Höheneinstellung des
Metalltisches, 6 = Stirnlehne, 7 = Stellrad zur Höheneinstellung der Stirnlehne, 8 = Stellrad zur

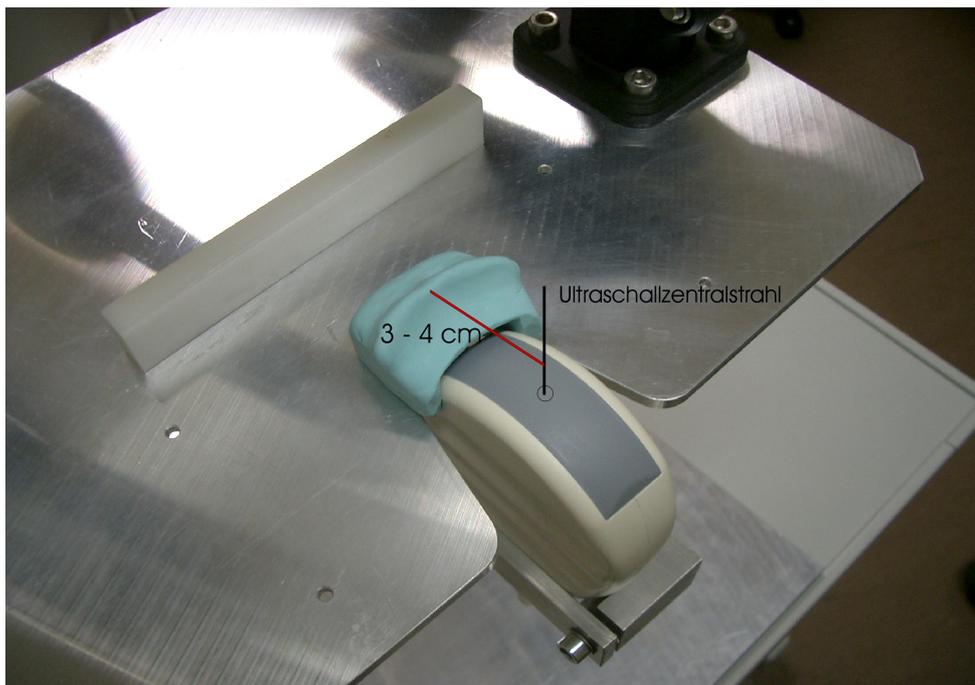


Abb. 4
Höhenverstellbarer Metalltisch mit bogenförmiger Aussparung für die Ultraschallsonde. Die Sonde ist eingespannt und die Silikonauflage (hellblau) für die Symphyse liegt anterior der Sonde. Die treppenförmige Erhebung der Silikonform dient als anteriores Widerlager für das Kinn und hat einen Abstand von 3-4 cm zum Ultraschallzentralstrahl.

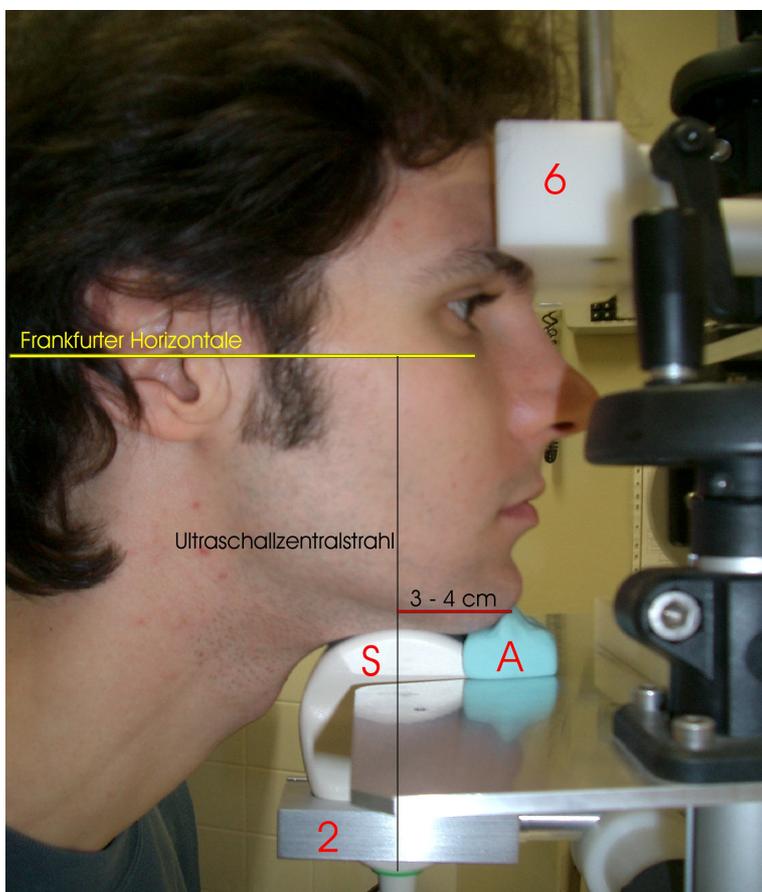


Abb. 5
Einstellen der Kopfposition in der Sagittalebene:
S = Ultraschallsonde,
A = Silikonauflage,
2 = Halterung der Sonde,
6 = Stirnlehne.

4.3 Untersuchungsablauf

Die Probanden wurden zunächst in Schlussbissstellung positioniert. Sobald sich bei ihnen das Bedürfnis des Leerschluckens einstellte, gaben sie ein Handzeichen; der Schluckvorgang wurde unter Beibehaltung ihrer Kopfposition aufgenommen. Mindestens 3 s vor dem Schluckvorgang sollte die Zunge nicht bewegt werden.

4.4 Darstellung auf dem Monitor

Die Monitordarstellung wurde so gewählt, dass sich in der oberen Hälfte das B-Mode-Bild und in der unteren Hälfte das M-Mode-Bild befand. Die untersuchten Strukturen waren vertikal gespiegelt dargestellt (Abbildung 6).

4.4.1 B-Mode-Darstellung

Im B-Mode-Bild (Abb. 6) sind die Symphyse (S), die Mundbodenstrukturen (B), der M. genioglossus (G), die Zungenbinnenmuskulatur (M) und die Zungenoberfläche (Z) zu erkennen. Das Hyoid (H) ist nicht über den gesamten Untersuchungszeitraum zu sehen. Es erscheint beim Schlucken am rechten Bildrand (Abb. 7).

4.4.2 M-Mode-Darstellung

Im M-Mode-Bild (Abb. 6) sind die Mundbodenmuskulatur (B) und die Zungenmuskulatur (G und M) des mittleren Zungendrittels als unterschiedlich helle Kurven über die Zeit zu erkennen. Die Zungenoberfläche (Z) ist die unterste helle Linie im M-Mode-Bild.

Bewegungen nach kranial führen zu einem Kurvenabschnitt mit einem Anstieg kleiner null und werden nachfolgend als Kranialspur bezeichnet. Bewegungen nach kaudal resultieren in einem Kurvenabschnitt mit einem Anstieg größer null, die im Weiteren als Kaudalspur bezeichnet werden. Verläuft die Kurve horizontal (Anstieg = 0) wird von einer Horizontalspur gesprochen. In Ruhe verlaufen alle Linien im M-Mode-Bild horizontal zueinander.

Eine Aktivitätsänderung der Muskeln zeigt sich in der entsprechenden Liniengruppe als eine Graustufenänderung mit oder ohne Veränderung ihres Anstieges.

Auf der Abszisse des Koordinatensystems eines M-Mode-Bildes ist der Abstand einer Struktur vom Schallkopf in cm abzulesen. Auf der Ordinate ist die Zeit mit einer Skaleneinteilung von 200 ms dargestellt.

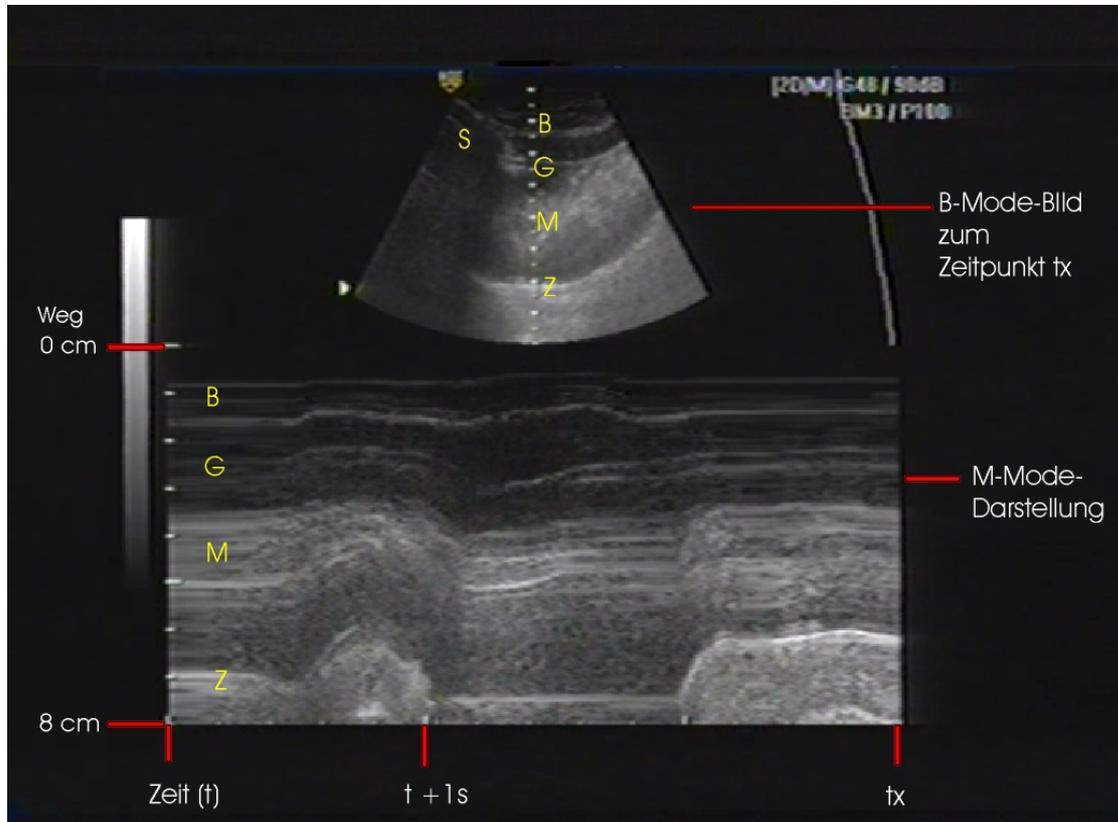


Abb. 6 Monitorbild:
oben: B-Mode-Bild, unten: M-Mode-Bild:
Z = Zungenoberfläche, M = Zungenbinnenmuskulatur, G = M. genioglossus, B = M. mylohyoideus und M. geniohyoideus .

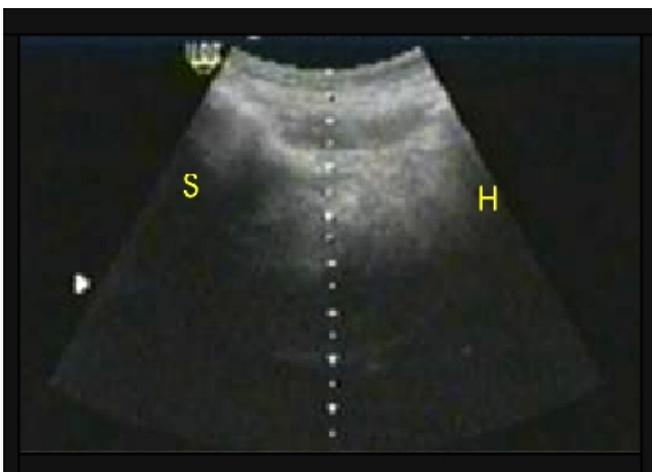


Abb. 7
B-Mode-Bild mit Symphysenschatten (S)
und Hyoidschatten (H)

5 Auswertung

Die analoge Videoaufzeichnung der sonographischen Untersuchung wurde mit dem Programm MainActor v3 (Fa. Mainconcept AG, Aachen) digitalisiert. So konnte der digitale Film zur Bewegungsbeschreibung der Zunge am PC Videobild für Videobild betrachtet werden.

Die Auswertung gliedert sich in zwei Teile:

Im ersten Teil der Auswertung wurde die von Peng et al.⁷⁵ vorgestellte Einteilung der Schluckverläufe in Anfangsphase, Transportphase und Rückkehrphase in der B-Mode-Sequenz vorgenommen und alle möglichen Varianten der Zungenbewegung, die innerhalb der einzelnen Phasen beobachten wurden, zusammengefasst. Da die B-Mode- und die M-Mode-Darstellung in einem Bild untereinander zeitgleich abgebildet wurden, konnten beide Darstellungsmodi dahingehend miteinander verglichen werden, inwieweit das M-Mode-Bild mit dem B-Mode-Bild korreliert. Die Ergebnisse des ersten Teils dieser Auswertung werden rein qualitativ beschrieben und mit entsprechenden Ultraschallbildern belegt.

Schlussfolgernd aus diesen Ergebnissen wurden die Größen definiert, die in den M-Mode-Bildern im zweiten Teil der Auswertung quantitativ erfasst wurden und nach denen die Schluckvorgänge der Kontrollgruppe mit denen der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie sowie die Schluckvorgänge der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie mit denen nach myofunktioneller Therapie verglichen wurden.

Im zweiten Teil der Auswertung wurden dafür die M-Mode-Bilder aller aufgenommenen Schluckakte von jedem Probanden der Versuchsgruppe jeweils vor und nach myofunktioneller Therapie und von jedem Probanden der Kontrollgruppe vermessen. Es wurden aber nur jene Schluckbewegungen für die quantitative Auswertung herangezogen, bei denen sich die Symphyse als Referenz im B-Mode-Bild nicht bewegt hatte. Aus diesem Grund variiert die Anzahl der vermessenen Schluckvorgänge von Proband zu Proband zwischen sechs und zehn.

Zu dem Zeitpunkt, an dem in der B-Mode-Sequenz die Zunge nach dem Schluckvorgang wieder in Ruhestellung zu verharren begann, war der vorangegangene M-Mode-Verlauf über 2,8 s in einem Bild dargestellt und konnte vermessen werden

(Abb. 6). Aus jedem Schluckakt wurde dieses Bild für die quantitative Auswertung des M-Mode-Verlaufes mit dem Grafikprogramm CorelDraw 7.0 (Corel Corporation, Ottawa, Kanada) im jpeg-Format mit der Größe 704x576 Pixel gespeichert.

Das Grafikprogramm CorelDraw 7.0 erlaubt mit seiner Zoom-Funktion eine 800-fache und größere Vergrößerung. Außerdem kann das Programmfenster ein Koordinatensystem einblenden, dessen Ursprung beliebig positioniert werden kann. Die Position des Cursors innerhalb des Koordinatensystems wird als Zahlenpaar (Abszisse/Ordinate) angegeben. Auf diese Weise kann der horizontale Abstand des Cursors zum Koordinatenursprung als Abszisse und der vertikale Abstand des Cursors zum Koordinatenursprung als Ordinate abgelesen werden.

Die Definition der gemessenen Parameter im M-Mode-Bild sowie deren Darstellung werden in Kapitel 5.2. Seite 49-52 dargelegt. Auf die statistische Auswertung der Messergebnisse wird ebenfalls an dieser Stelle eingegangen.

Nachfolgend werden zunächst die Ergebnisse des ersten Teils dieser Auswertung, die qualitative Auswertung, dargestellt.

5.1 Qualitative Auswertung

5.1.1 Leerschluckakt in der B-Mode-Darstellung

Während einer Schluckbewegung war bei allen Probanden in der B-Mode-Sequenz an der Zungenoberfläche eine wellenförmige Bewegung zu erkennen. Die Wellenbewegung konnte im mittleren oder in einem weiter dorsal befindlichen Abschnitt der Zunge beginnen. Die Zungenspitze war während des Schluckens vom Symphysenschatten verdeckt, so dass keine Aussage über deren Position getroffen werden konnte. In Anlehnung an Peng et al.⁷⁵ konnte der Schluckvorgang in die Anfangsphase, Transportphase und Rückkehrphase eingeteilt werden, auf die nachfolgend eingegangen wird.

5.1.1.1 Anfangsphase

Den Beginn der Anfangsphase erkannte man an der Anspannung der Zungenbinnenmuskulatur, die sich in einer Veränderung der Hell- und Dunkelverteilung zeigte. Während der Anfangsphase bildete die Zunge eine Konkavität im Bereich des mittleren oder dorsalen Zungenrückens, die sich im weiteren Verlauf vertiefte und am Ende dieser Phase ihre stärkste konkave Form hatte.

Folgende 5 Differenzierungen der oberflächlichen Zungenbewegung während der Anfangsphase, die sich durch die Ausgangslage der Zunge unterschieden, konnten bei den untersuchten Probanden anhand der B-Mode-Darstellung beobachtet werden:

- 1) Die Zunge bewegte sich mit Schluckbeginn zum Gaumen. Während dieser Aufwärtsbewegung senkte sich der mittlere Zungenrücken schaufelförmig ein (Abb. 8 oben).
- 2) Die Einsenkung des mittleren Zungenrückens erfolgte im Anschluss an eine Aufwärtsbewegung der gesamten Zunge bis der anteriore Zungenabschnitt

Kontakt zum Gaumen hatte (Abb. 8 Mitte). Dies entspricht der Variante 3 nach Peng et al.⁷⁵.

- 3) Anteriorer und mittlerer Zungenrücken lagen bei Schluckbeginn bereits am Gaumen. Der mittlere Zungenabschnitt senkte sich und bildete eine Konkavität (Abb. 8 Mitte).
- 4) Der anteriore Zungenrücken befand sich am Gaumen und der mittlere Zungenrücken war angehoben, berührte aber den Gaumen nicht. Der mittlere Zungenabschnitt senkte sich aus dieser kranialen Position und formte eine Konkavität (Abb. 8 Mitte). Dies entspricht der Variante 1 nach Peng et al.⁷⁵.
- 5) Anteriorer und mittlerer Zungenrücken hatten bei Schluckbeginn bereits Kontakt zum Gaumen. Eine Wellenbewegung war in der B-Mode-Sequenz nur im posterioren Zungenabschnitt zu erkennen. Dabei senkte sich der dorsale Zungenabschnitt, während der anteriore und mittlere Zungenabschnitt weiter Kontakt zum Gaumen hielten (Abb. 8 unten). Dies entspricht Variante 2 nach Peng et al.⁷⁵.

Anfangsphase 2, 3, 4 sahen im B-Mode-Bild während der Bildung der Konkavität im Bereich des mittleren Zungenrückens gleich aus. Sie unterschieden sich in den vorausgegangenen Bildern, wo entweder eine Aufwärtsbewegung (Anfangsphase 2) stattgefunden oder gefehlt hatte (Anfangsphase 3 und 4). Anfangsphase 3 und 4 waren weiter durch das M-Mode-Bild zu unterscheiden (Kapitel 5.2.1.).

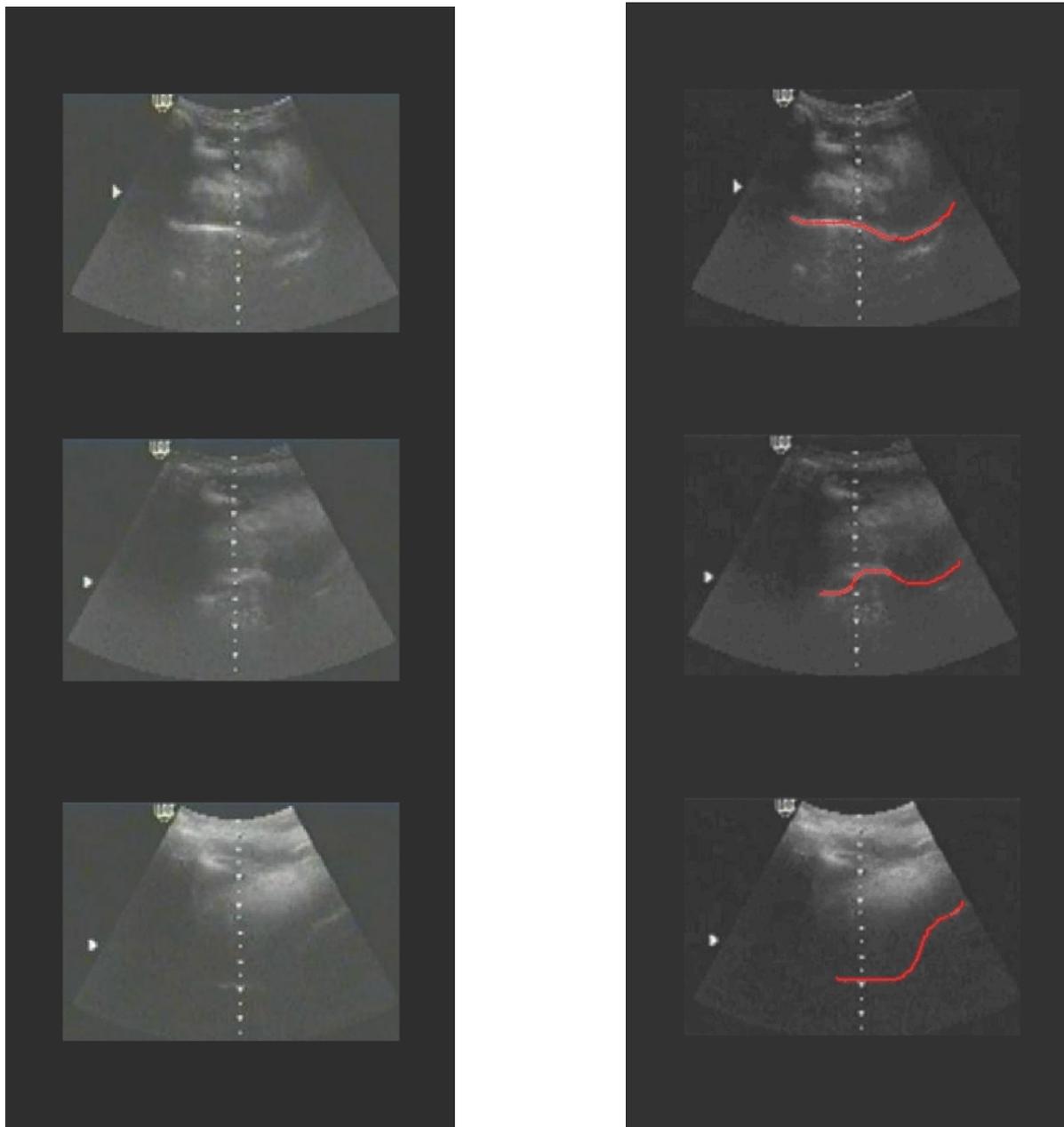


Abb. 8

B-Mode-Bilder verschiedener Anfangsphasen

links B-Mode-Darstellung ohne, rechts mit nachgezeichneter Zungenoberfläche:

oben: Zunge bildet während der Aufwärtsbewegung eine schaufelförmige Einsenkung der Zungenmitte,

Mitte: Einsenkung im Bereich der Zungenmitte, während der vordere Abschnitt Kontakt zum Gaumen hat,

unten: Einsenkung im Bereich des dorsalen Zungenrückens während der vordere und mittlere Zungenabschnitt dem Gaumen anliegen.

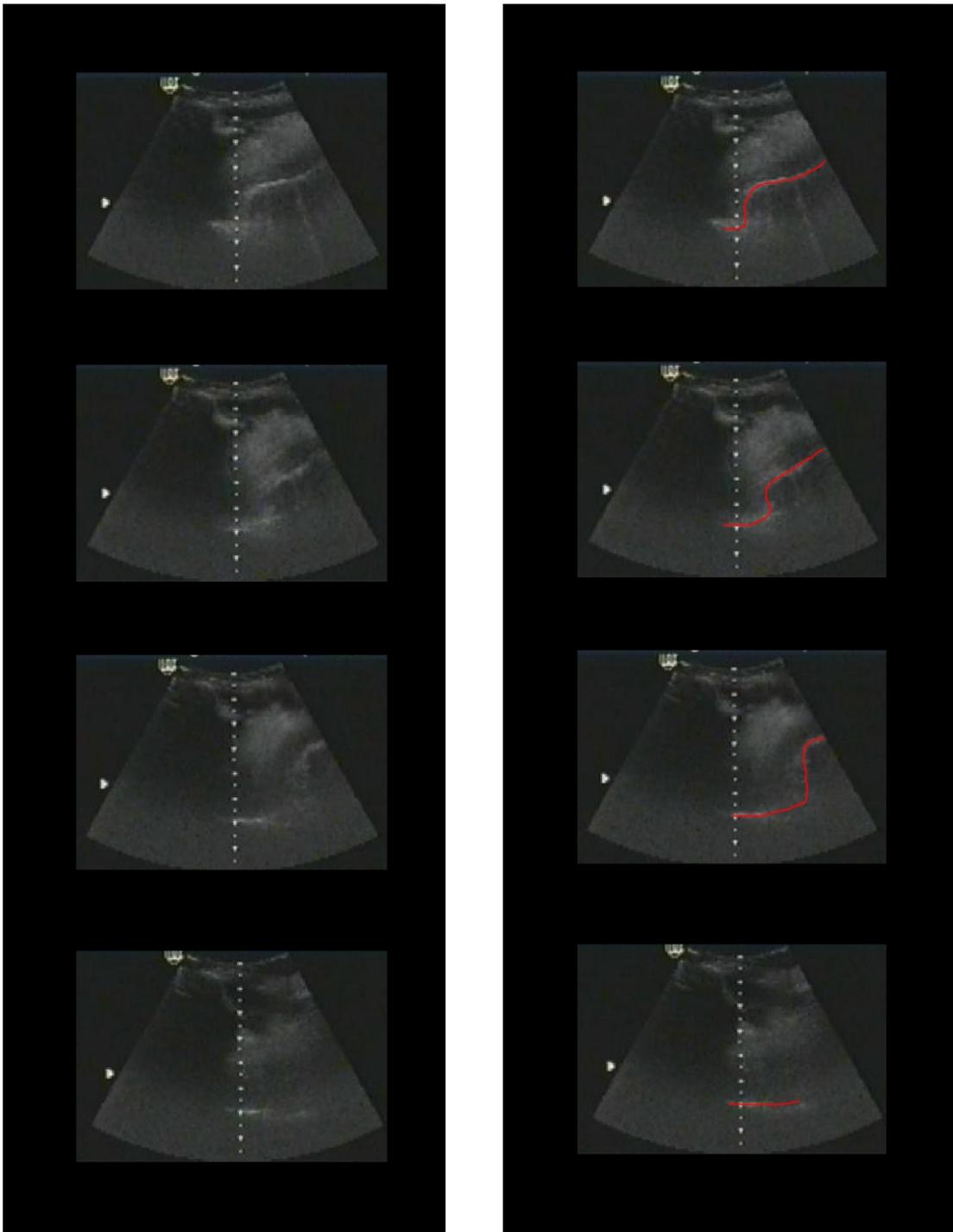


Abb. 9
 B-Mode-Bilder einer Transportphase
 links B-Mode-Darstellung ohne, rechts mit nachgezeichneter Zungenoberfläche.
 Von oben nach unten 4 aufeinanderfolgende Bilder im Abstand von 200 ms einer Transportphase.

5.1.1.2 Transportphase

Die in der Anfangsphase gebildete Konkavität schritt nach dorsal fort, indem sich der Zungenrücken nach posterior dem Gaumen anlagerte (Abb. 9). Am Ende dieser Phase hatte die gesamte Zunge Kontakt zum Gaumen und das Zungenbein erreichte seine am weitesten anteriore Position.

Mitunter senkte sich die Zungenoberfläche im mittleren oder dorsalen Abschnitt erneut ein, nachdem sie den Gaumen schon erreicht hatte und lagerte sich anschließend nach posterior dem Gaumen wieder an. Dies wurde im Weiteren als Wiederholung der Wellenbewegung gewertet.

5.1.1.3 Rückkehrphase

Mit der Rückbewegung des Zungenbeins begann die Rückkehrphase. Nachdem das Zungenbein seine maximal anteriore Position verlassen hatte, bewegte sich der dorsale Zungenabschnitt nach kaudal und der Mundboden entspannte sich. Der Zungenmittelteil verharrte weiter am Gaumen oder er senkte sich (Abbildung 10).

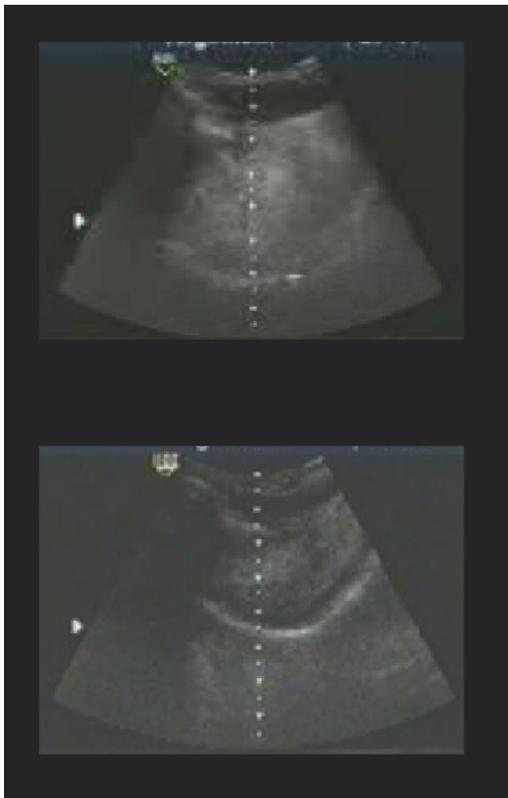


Abb. 10
Rückkehrphase:
-oben: Zunge verharrt am Gaumen,
-unten: Zunge senkt sich.

5.1.2 Leerschluckakt in der M-Mode-Darstellung

5.1.2.1 Anfangsphase

Die Anfangsphase begann mit einer Graustufenänderung der in Ruhe horizontal und parallel verlaufenden Linienbänder von Zungenmuskulatur und Zungenoberfläche mit oder ohne Veränderung ihres Anstieges. Die Varianten der Anfangsphase beeinflussten die Form des Spurenverlaufes der Zungenoberfläche in der M-Mode-Darstellung. Jedoch war im M-Mode-Bild allein nicht immer die jeweilige Variante der Anfangsbewegung zweifelsfrei zu erkennen. Die Variante 1 konnte sich im M-Mode-Bild ähnlich präsentieren wie Variante 4, so dass für eine Differenzierung das B-Mode-Bild zusätzlich herangezogen werden musste – vergleiche Abbildung 11 unten mit Abbildung 13.

Anfangsphase – Variante 1

Bei einer Schluckbewegung mit der Anfangsphase 1 (Abbildung 11) wechselte im M-Mode-Bild die Linie der Zungenoberfläche des mittleren Zungenabschnittes aus einer kaudalen Linienposition (Ziffer 3 in Abbildung 11) in eine kraniale Linienposition (Ziffer 4 in Abbildung 11). Dabei zeigte sie entweder einen Sattelpunkt (Ziffer 2 in Abbildung 11) oder einen Wellenberg nach kaudal (Ziffer 1 in Abbildung 11).

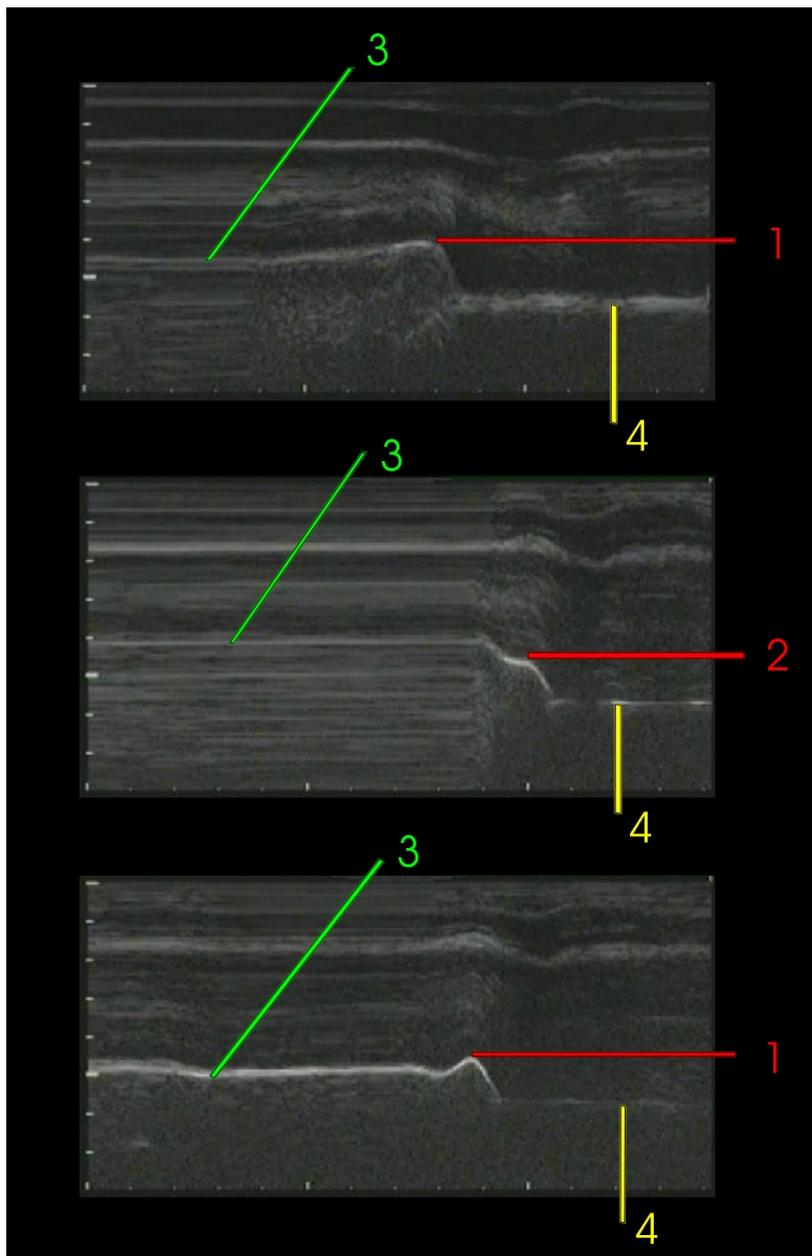


Abb. 11
 M-Mode-Verläufe der Zungenoberfläche während der Aufwärtsbewegung der Zunge in der Anfangsphase mit gleichzeitiger schaufelförmiger Absenkung des mittleren Zungenrückens (Variante 1):
 1: Wellenberg nach kaudal,
 2: Sattelpunkt,
 3: kaudale Linienposition der Zungenoberfläche,
 4: kraniale Linienposition der Zungenoberfläche.

Anfangsphase – Variante 2

Bei einer Schluckbewegung mit der Anfangsphase 2 wies die Kurve der Zungenoberfläche des mittleren Zungenabschnittes eine Kranialspur (4 in Abb. 12) auf, der ein Wellenberg (Ziffer 1 in Abb. 12) folgte.

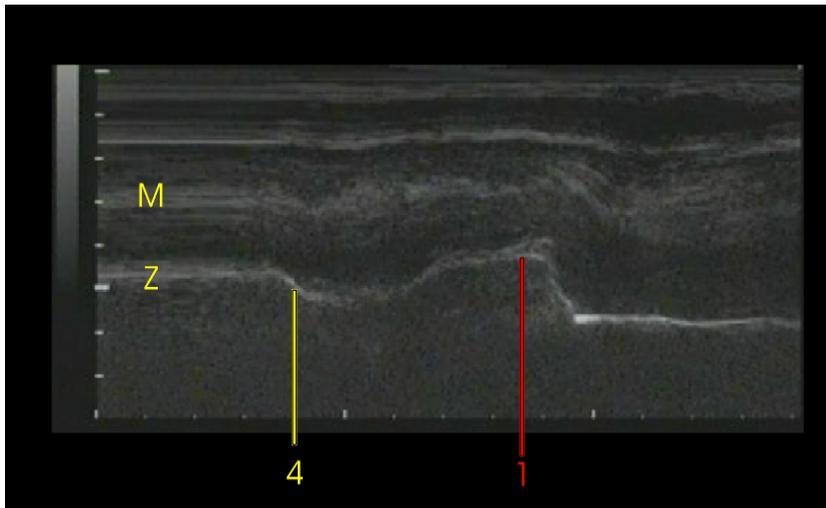


Abb. 12
M-Mode-Darstellung
Anfangsphase - Variante 2:
M = Zungenbinnenmuskulatur,
Z = Zungenoberfläche,
1 = Wellenberg,
4 = Kranialspur.

Anfangsphase – Variante 3 und 4

Schluckbewegungen mit den Anfangsphasen 3 oder 4 präsentierten sich mit einem Wellenberg (Ziffer 1 in Abb. 13) nach kaudal. Der Linienverlauf nach dem Wellenberg ist bei Anfangsphase 3 (Abb. 13) gleich der Ausgangslage und bei Anfangsphase 4 (Abb. 14) weiter kranial.

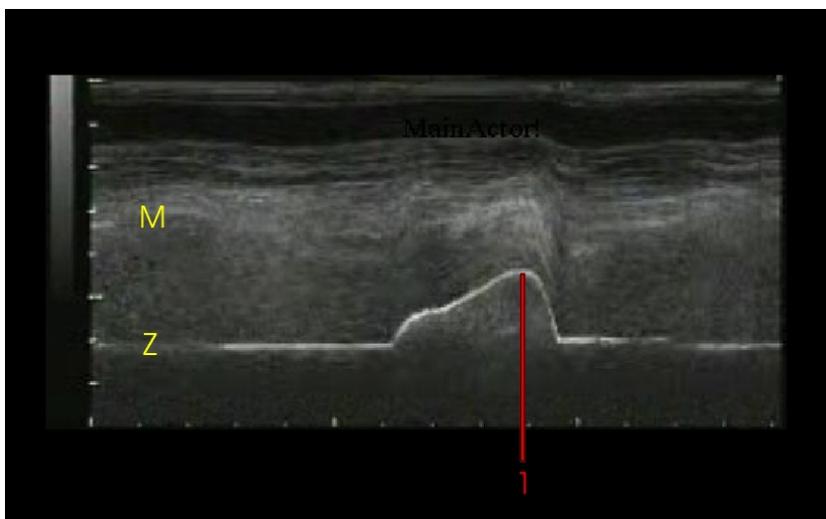


Abb. 13
M-Mode-Darstellung
Anfangsphase - Variante 3:
M = Zungenbinnenmuskulatur,
Z = Zungenoberfläche,
1 = Wellenberg.

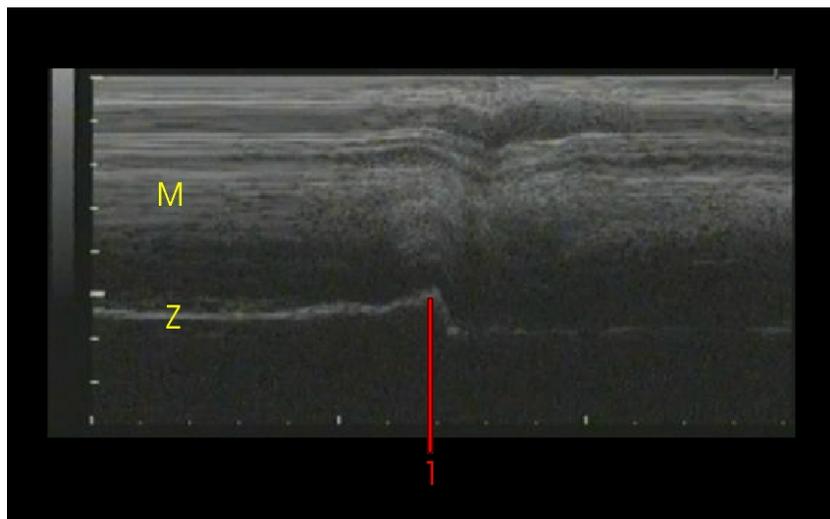


Abb. 14
M-Mode-Darstellung
Anfangsphase- Variante 4:
M = Zungenbinnenmuskulatur,
Z = Zungenoberfläche,
1 = Wellenberg.

Anfangsphase – Variante 5

Bei einer Schluckbewegung mit der Anfangsphase 5 verlief die Linie der Zungenoberfläche horizontal (Abbildung 15).

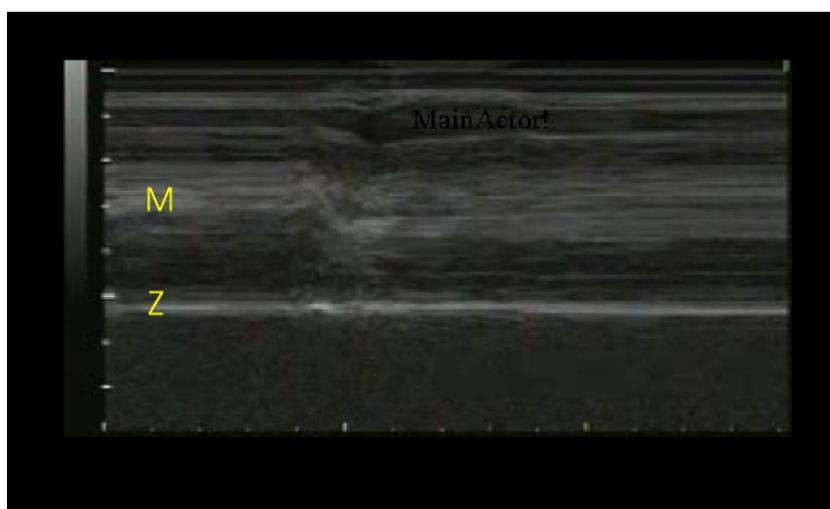


Abb. 15
M-Mode-Darstellung
Anfangsphase - Variante 5:
M = Zungenbinnenmuskulatur,
Z = Zungenoberfläche.

5.1.2.2 Transportphase

Eine eindeutige Abgrenzung der Anfangsphase von der folgenden Transportphase war anhand der M-Mode-Darstellung nicht möglich, denn das Ende der Anfangsphase und damit der Beginn der Transportphase in der B-Mode-Sequenz fielen nicht immer mit markanten Punkten im Kurvenverlauf der Zungenoberfläche des M-Mode-Bildes zusammen.

Es fielen indes Besonderheiten im Linienverlauf von Zungenoberfläche und Zungenbinnenmuskulatur auf, die im Folgenden beschrieben werden.

Der Linienverlauf von Zungenoberfläche und Zungenbinnenmuskulatur zueinander hing davon ab, an welcher Stelle die Wellenbewegung in Form einer Absenkung des Zungenrückens seinen Anfang nahm. Wenn in der B-Mode-Sequenz die Absenkung der Zungenoberfläche und ihre folgende Anlagerung im mittleren Zungenabschnitt begann und vom Ultraschallzentralstrahl am Ort ihrer größten vertikalen Ausdehnung erfasst werden konnte, zeigte die Liniengruppe der Zungenbinnenmuskulatur in der M-Mode-Darstellung annähernd zeitgleiche Wellenberge wie die Zungenoberfläche (Abb. 16).

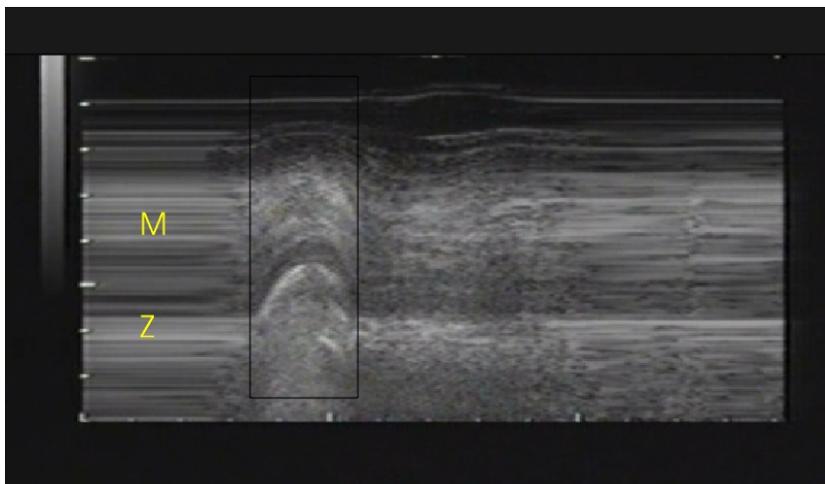


Abb. 16
M-Mode-Darstellung mit annähernd zeitgleichen Wellenbergen innerhalb der Zungenbinnenmuskulatur und auf der Zungenoberfläche:
M = Zungenbinnenmuskulatur,
Z = Zungenoberfläche.

Begann in der B-Mode-Aufzeichnung die Absenkung der Zungenoberfläche und ihre folgende Anlagerung weiter dorsal und traf der Ultraschallzentralstrahl nur den anterioren Randbereich, waren die Wellenberge der Zungenbinnenmuskulatur und der Zungenoberfläche zueinander zeitlich verschoben (Abb. 17). Die Wellenberge der Liniengruppe der Zungenbinnenmuskulatur erreichten ihren kaudalen Umkehrpunkt im Verhältnis zur Zungenoberflächenkurve später.

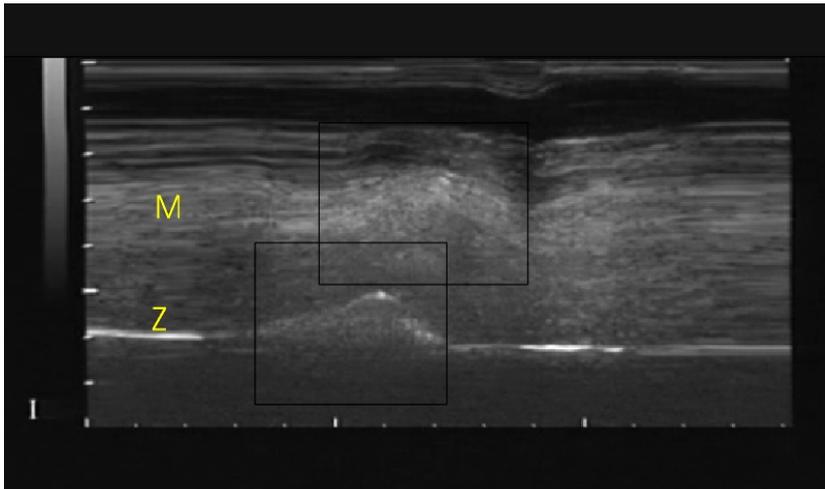


Abb. 17
M-Mode-Darstellung mit zeitlich verschobenen Wellenbergen innerhalb der Zungenmuskulatur und auf der Zungenoberfläche: M = Zungenbinnenmuskulatur, Z = Zungenoberfläche.

Zeigten sich hingegen im M-Mode-Verlauf Wellenberge innerhalb der Zungenbinnenmuskulatur, während die Zungenoberfläche horizontal verlief (Abb. 18), entstand in der B-Mode-Darstellung die Wellenbewegung auf der Zungenoberfläche nicht in der Zungenmitte, sondern weiter dorsal vom Ultraschallzentralstrahl nicht mehr erfassten Abschnitt der Zunge (Abbildung 19). Es konnte keine Amplitude an der Zungenoberfläche im M-Mode-Bild gemessen werden.

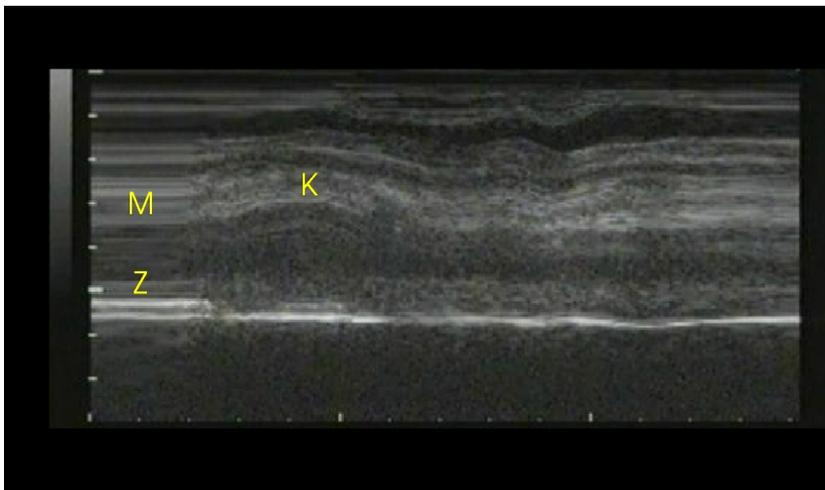


Abb. 18
M-Mode-Darstellung:
Die Zungenoberfläche präsentiert sich als Horizontale, während im Bereich der Zungenbinnenmuskulatur Wellenberge zu erkennen sind.
M = Zungenbinnenmuskulatur, Z = Zungenoberfläche, K = Wellenberg innerhalb der Zungenbinnenmuskulatur in dem Zeitraum, in dem in der B-Mode-Sequenz die Zunge im dorsalen Abschnitt eine Konkavität bildet.

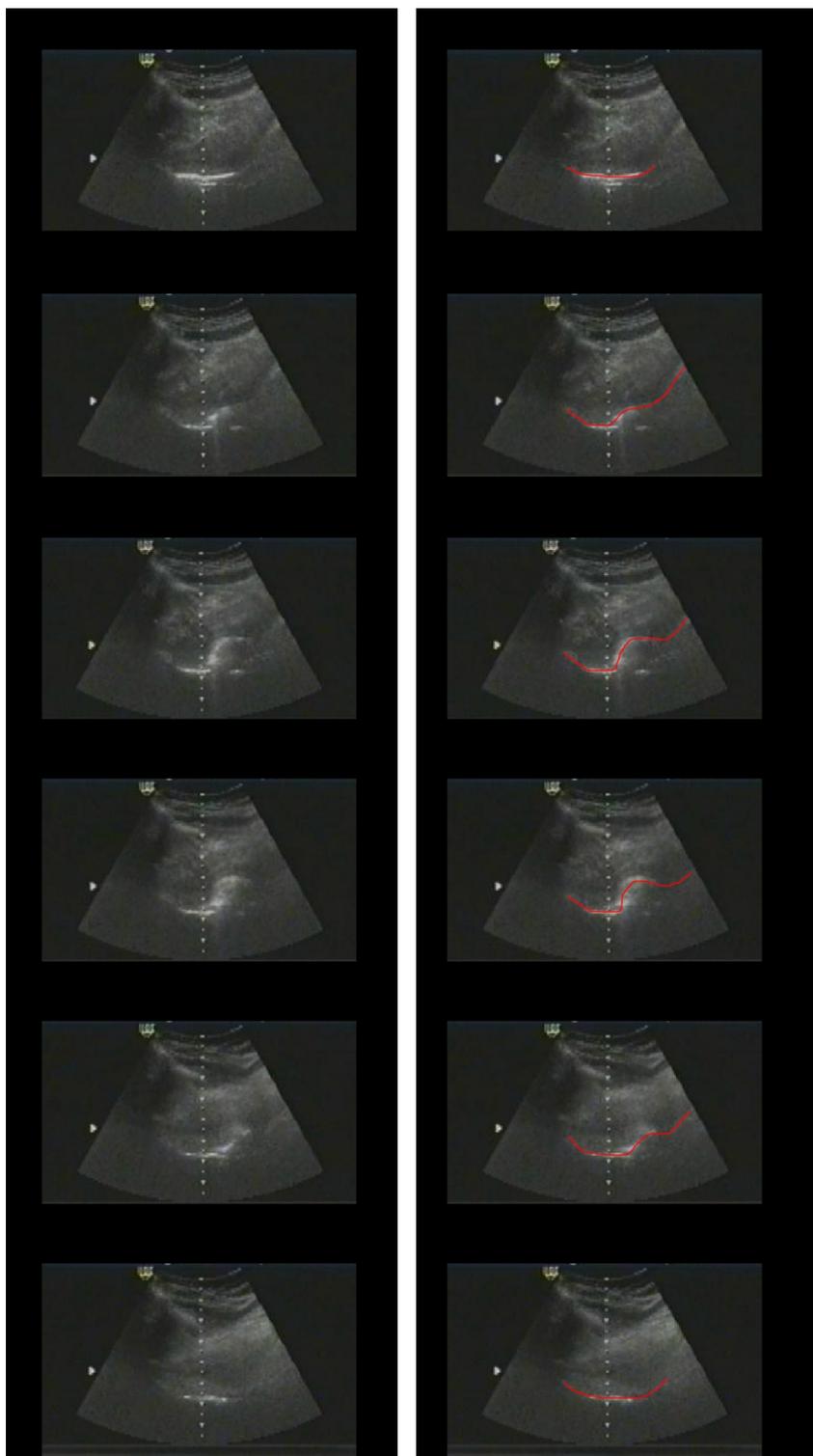


Abb. 19

Zur M-Mode-Aufzeichnung in Abbildung 18 gehörige Schluckbewegung in der B-Mode-Darstellung, bei der die von der Zungenoberfläche gebildete Konkavität nicht von der Scanlinie für die M-Mode-Aufzeichnung erfasst wird:
 links: aufeinander folgende B-Mode-Bilder im Abstand von 200 ms ohne nachgezeichnete Zungenkontur,
 rechts: aufeinander folgende B-Mode-Bilder im Abstand von 200 ms mit nachgezeichnete Zungenkontur.

Betrachtete man den Zeitpunkt im M-Mode-Bild, an dem in der B-Mode-Sequenz die Zunge ihre stärkste konkave Form hatte, fiel auf, dass dieser Zeitpunkt in das Intervall fiel, in dem im M-Mode-Bild innerhalb der Zungenbinnenmuskulatur Wellenberge zu sehen waren.

Die Linien der Zungenbinnenmuskulatur verhielten sich ähnlich aber nicht synchron zueinander. Ihre Wellenberge waren bis zu 100 ms zeitlich gegeneinander verschoben, so dass das Ende der Anfangsphase und der Beginn der Transportphase sich nur in einem Intervall von bis zu 100 ms zeitlich eingrenzen, nicht aber als genauer Zeitpunkt markieren ließen.

Während der nach posterior fortlaufenden Anlagerung der Zunge an den Gaumen zeigte die durchschallte Zungenoberfläche eine horizontale Spur (nach einer Kranialspur bei den Anfangsphasen 1 bis 4) sobald sie den Gaumen erreicht hatte (Zeitpunkt t = kranialer Umkehrpunkt der Zungenoberflächenkurve in Abb. 20). Die Kurven der Zungenbinnenmuskulatur verliefen indes weiter nach kranial, solange die Anlagerung an den Gaumen im dahinter liegenden Zungenabschnitt weiter voranschritt. Erst wenn die Linienbänder der Zungenmuskulatur ihrerseits aus ihrer kranialen Richtung umkehrten (Zeitpunkt $t + x$ in Abb. 20), wurde die gesamte Zungenoberfläche in der B-Mode-Sequenz gegen den Gaumen gepresst. Die kranialen Umkehrpunkte der Linien der Zungenoberfläche variierten wieder bis zu 100 ms.

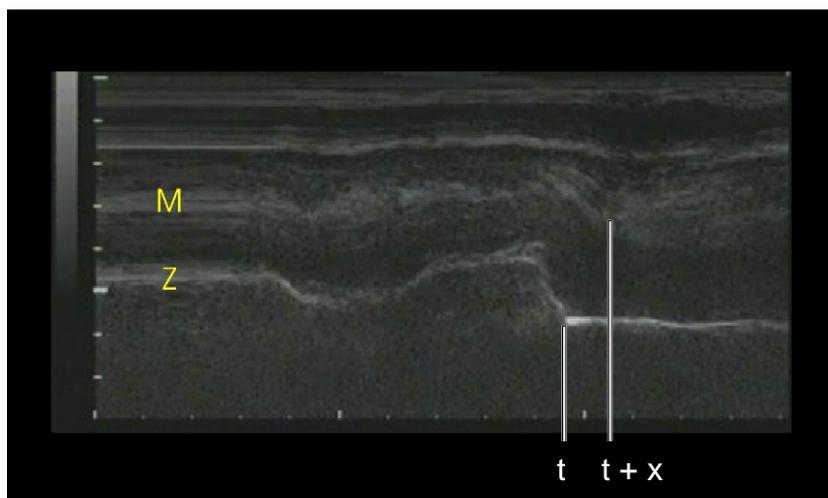


Abb. 20

Schluckbewegung mit der Anfangsphase - Variante 2:

M = Zungenbinnenmuskulatur, Z = Zungenoberfläche, t = Zeitpunkt des kranialen Umkehrpunktes der Zungenoberflächenkurve, $t + x$ = Zeitpunkt des kranialen Umkehrpunktes der Kurven der Zungenbinnenmuskulatur.

Innerhalb der folgenden 300 ms erreichte das Zungenbein seine am weitesten anteriore Position. Ein markanter Kurvenpunkt, der mit diesem Ereignis korrelierte, war in der M-Mode-Darstellung nicht auszumachen. Das Ende der Transportphase im M-Mode-Verlauf war ebenso wie der Anfang nicht eindeutig zu bestimmen.

Wurde die Wellenbewegung in der Transportphase wiederholt, war eine entsprechend erhöhte Anzahl von Wellenbergen im Bereich der Zungenbinnenmuskulatur im M-Mode-Bild zu erkennen (Abb. 21 und 22). Eine Auslenkung an der Zungenoberfläche war im M-Mode-Bild nur dann zu sehen, wenn die Wellenbewegung im mittleren Zungenabschnitt erneut begann. Ein entsprechender Wellenberg fehlte an der Zungenoberfläche, wenn sich nur der dorsale Zungenabschnitt nochmals senkte, während der mittlere Zungenabschnitt am Gaumen gehalten wurde (Abb. 21). Die Wiederholung der Wellenbewegung erfolgte häufig nicht auf die gleiche Weise, sondern sie unterschied sich sichtbar in Amplitude und Steigung (Abb. 22).

Außerdem fiel auf, dass der Anstieg und der Abfall eines Wellenberges der Zungenoberfläche häufig nicht den gleichen Betrag hatten und nicht linear verliefen (Abb. 22).

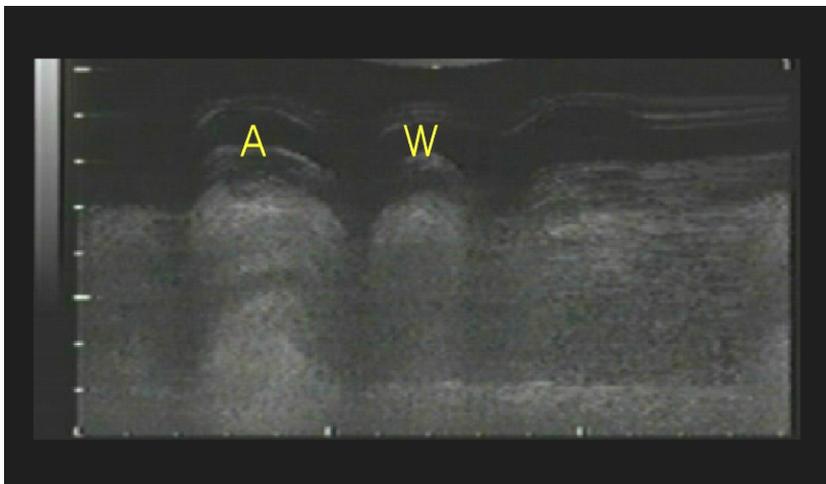


Abb. 21
Schluckbewegung mit Wiederholung der Wellenbewegung im dorsalen Zungenabschnitt:
A = Anfangsphase, W = Wiederholung der Wellenbewegung ohne Auslenkung an der Zungenoberfläche.

5.1.2.3 Rückkehrphase

Löste sich der Zungenmittelteil, nachdem das Zungenbein seine anteriore Position verlassen hatte, in der B-Mode-Sequenz vom Gaumen, erschien im M-Mode-Bild eine Kaudalspur (Bild 22). Die Linie der Zungenoberfläche verlief in der anschließenden Ruhephase weiter kaudal als Horizontalspur. Dabei war allein im M-Mode-Bild nicht zu unterscheiden, ob sich nur der Mittelteil der Zunge löste, während der anteriore Abschnitt zum Gaumen Kontakt hielt, oder ob sich die Zunge im Ganzen senkte. Verharrte der Zungenmittelteil nach der Rückbewegung des Zungenbeins in der B-Mode-Sequenz am Gaumen, verlief im M-Mode-Bild die Linie der Zungenoberfläche weiter als horizontale Spur in Gaumenhöhe (Bild d bis g Abbildung 23).

Das Lösen der Zunge wurde in der Untersuchung nicht zum Schluckvorgang gezählt, sofern parallele Linienbänder im M-Mode-Bild als Zeichen der Ruhe zu erkennen waren, während die Zunge noch am Gaumen lag.

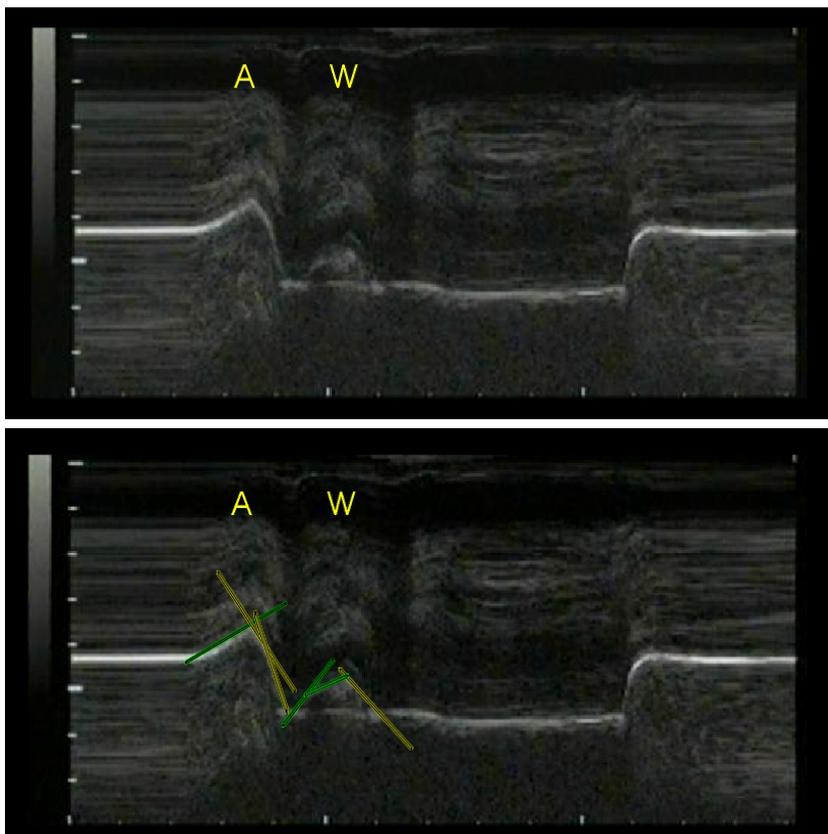


Abb. 22

Schluckbewegung mit einer Wiederholung der Wellenbewegung und mit einer Absenkung des mittleren Zungenrückens am Ende der Schluckbewegung;

unten mit Anstiegsgeraden: grün = Anstiegsgeraden für die Abwärtsbewegung, gelb = Anstiegsgeraden für die Aufwärtsbewegung, A = Anfangsphase - Variante 1, W = Wiederholung der Wellenbewegung.

5.1.3 Individuelle Konstanz und Variabilität

Für jeden Probanden gab es einen Abschnitt innerhalb der Schluckkurve, der in allen seinen Schluckverläufen zu finden war. Dieser Abschnitt stimmte mit dem Intervall in der B-Mode-Sequenz überein, in dem am rechten Bildrand der Zungenbeinschatten erschien und in seiner Bewegung nach anterior und wieder zurück zu erkennen war. Außerhalb dieses annähernd konstanten Bereiches variierten die Schluckkurven derselben Person in Amplitude, Steigung und Spurenverlauf individuell unterschiedlich stark (Abb. 23 a bis i).

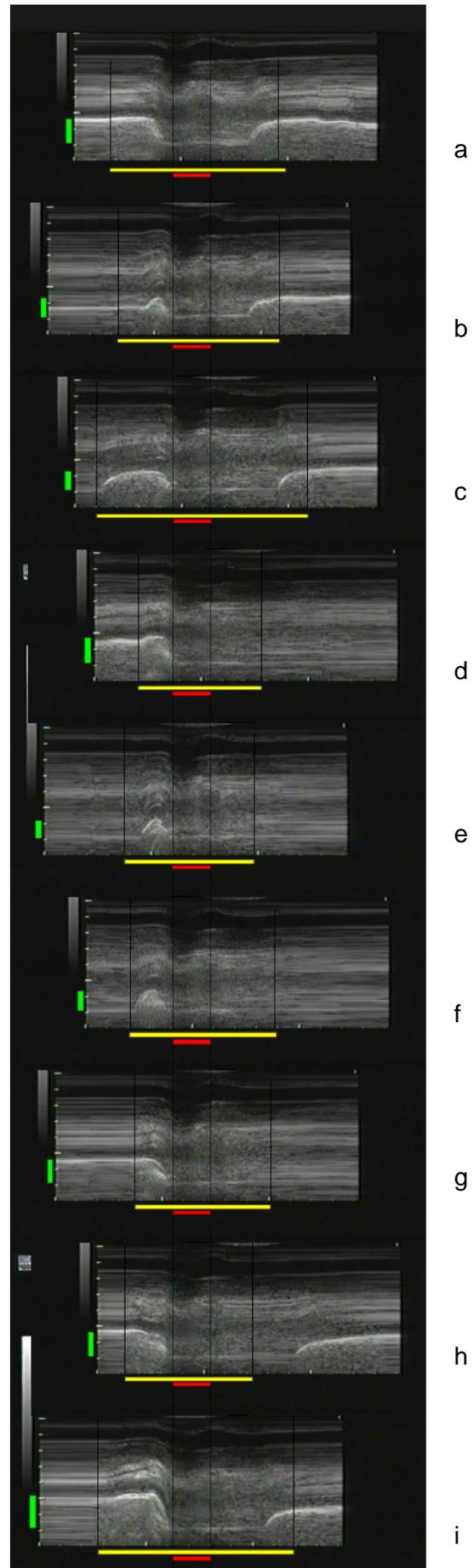


Abb. 23 a bis i
 Neun Schluckverläufe eines Probanden, die so angeordnet sind, dass die konstanten in allen Schluckkurven wiederkehrenden Abschnitte (rot) genau untereinander liegen. Die 2. und 3. schwarze senkrechte Gerade grenzen den konstanten Abschnitt im M-Mode-Bild ein.
 Grün = Amplitude
 Gelb = Schluckdauer
 Die 1. schwarze senkrechte Gerade markiert den Beginn des Schluckvorgangs und die 4. senkrechte Gerade das Ende des Schluckvorgangs.

5.2 Quantitative Auswertung

5.2.1 Definition der Parameter

Aufgrund der Ergebnisse der qualitativen Auswertung wurde die Vermessung der M-Mode-Bilder anhand folgender Parameter vorgenommen.

Schluckdauer

Der Schluckbeginn wurde markiert, sobald die Muskelaktivierung einsetzte, die durch eine Graustufenänderung mit oder ohne Veränderung des Anstieges der Linienbänder von Zungenmuskulatur und Zungenoberfläche gekennzeichnet war. Das Ende der Schluckbewegung wurde markiert, sobald parallele Linienbänder im M-Mode-Bild als Zeichen der Ruhe zu erkennen waren und das Zungenbein sich zurückbewegt hatte; unabhängig davon, ob sich der mittlere Zungenrücken noch am Gaumen befand oder sich bereits gelöst hatte.

Für die Bestimmung der Schluckdauer wurde mit Hilfe der Cursorposition der horizontale Abstand dieser Markierungen entlang der Zeitachse im Ultraschallbild gemessen. Die Messergebnisse konnten auf die Messeinheit der in jedem M-Mode-Bild dargestellten Messskala umgerechnet und so die Dauer in Sekunden ermittelt werden.

Die Anzahl der Wellenberge innerhalb der Zungenbinnenmuskulatur und damit die Wiederholungen der Wellenbewegung während der Transportphase wurden gezählt und für jeden Patienten notiert. Mehr als ein Wellenberg bedeutete, dass die Wellenbewegung wiederholt wurde. Die Wiederholungen gehörten zur Gesamtschluckdauer.

Amplitude

Als Amplitude wurde das maximale vertikale Ausmaß einer Einsenkung nach kaudal an der von der Scanlinie erfassten Stelle des mittleren Zungenrückens gemessen. Senkte sich bei der Schluckbewegung nur der dorsale Zungenabschnitt ein, während der Zungenmittelteil am Gaumen lag (Variante 5), konnte keine Amplitude bestimmt werden (vergleiche Kapitel 5.1.2.1, Abbildung 15, Seite 41). Die Amplitude wurde an der Kontur der Zungenoberfläche entlang der Wegachse im M-Mode-Bild vom kaudalen Umkehrpunkt des Wellenberges zu ihrem am weitesten kranial liegenden Umkehrpunkt für die größte Wellenbewegung jedes Schluckvorgangs gemessen (Abb. 24). Sie wurde

anhand der in jedem M-Mode-Bild dargestellten Messskala in die Einheit Zentimeter umgerechnet.

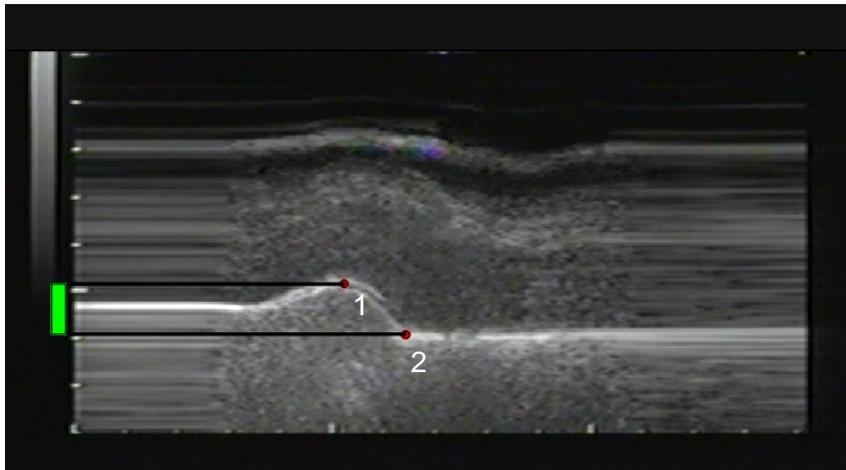


Abb. 24
Messung der Amplitude im
M-Mode-Bild:
Grün = Länge der Amplitude
entlang der Wegachse,
1 = kaudaler Umkehrpunkt,
2 = am weitesten kranialer
Umkehrpunkt.

Geschwindigkeit der Zungenbewegung

Es wurde die Geschwindigkeit der Zunge bei jenem Bewegungsabschnitt ermittelt, bei dem sich die von der Scanlinie erfasste Zungenoberfläche aus ihrer Auslenkung heraus dem Gaumen anlagerte. Während dieser Aufwärtsbewegung zeigte das M-Mode-Bild eine Kranialspur deren Steigung bestimmt werden konnte. Ausgangsposition war bei diesem Kurvenabschnitt die maximal konkav geformte Zungenoberfläche. Endposition war der Kontakt der Zunge mit dem Gaumen. Dies entsprach dem Kurvenabschnitt vom kaudalen Umkehrpunkt (Ziffer 1, Abb. 24) zum am weitesten kranialen Umkehrpunkt (Ziffer 2, Abb. 24). Dieser Bewegungsabschnitt trat bei fast allen Schluckverläufen auf. Eine Ausnahme waren die Schluckverläufe, die mit der Anfangsphase - Variante 5 begannen (Abb. 15 Seite 41). Diesen fehlte eine solche Kranialspur, da der mittlere Zungenrücken keine vertikale Bewegung vollzog, deren Geschwindigkeit bestimmt werden konnte.

Bei wiederholter Einsenkung und Aufwärtsbewegung wurde die jeweils letzte Kranialspur der Schluckkurve für die Bestimmung der Geschwindigkeit herangezogen. Da die Kranialspur nicht linear verlief, konnte nur eine durchschnittliche Steigung angegeben werden. Sie errechnete sich aus dem Quotienten aus Amplitude und Zeit.

Häufigkeit und Vorkommen der Varianten der Anfangsphase

Welche der Anfangsphasen - Varianten 1 bis 5 und wie oft diese bei jedem Probanden auftraten, wurde gezählt.

5.2.2 Darstellung der Messwerte

5.2.2.1 Daten pro Proband

Für jeden Probanden A bis N der Kontrollgruppe und für jeden Probanden P1 bis P11 der Versuchsgruppe wurden die Schluckdauer, die Amplitude, die Geschwindigkeit und die Häufigkeit der Anfangsphasen von 6 bis 10 Schluckverläufen bestimmt. Die Anzahl der Schluckverläufe variierte von Proband zu Proband, da nicht bei jedem Probanden alle aufgenommenen Schlucksequenzen frei von Bewegungsartefakten waren und vermessen werden konnten. Die Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe, ist für jeden Probanden in den folgenden Tabellen in der Zeile „Anzahl“ notiert. Bei der Bestimmung der durchschnittlichen Amplitude und der durchschnittlichen Geschwindigkeit gingen nur die Schlucksequenzen in die Bewertung ein, die eine Amplitude $> \text{null}$ und einen Anstieg $\neq \text{null}$ aufwiesen. In der Zeile „Anzahl“ steht x von y , wobei die Zahl x die Anzahl der Schlucksequenzen mit messbarer Amplitude beziffert. Die Differenz $(y - x)$ gibt die Schluckverläufe an, bei denen die Amplitude und der Anstieg $= \text{null}$ waren.

Weg- und Zeitmessungen wurden für jeden Schluckvorgang dreimal durchgeführt und der daraus gebildete Mittelwert ging in die Gesamtbewertung bzw. Berechnung ein. Aus den Werten für die Schluckdauer, die Amplitude und die Geschwindigkeit aller Schluckverläufe eines Probanden wurden der Median sowie die Quantile Q_{25} und Q_{75} berechnet¹¹. Sie werden tabellarisch aufgeführt. Die Streuung ist als Interquartilsabstand IQR dargestellt¹¹. Zusätzlich sind für jeden Probanden die kleinste und die größte Anzahl (W) der Wellenbewegungen innerhalb einer Schluckbewegung angegeben, die er während der Untersuchung zeigte. Die Häufigkeit der Anfangsphasen - Varianten 1 bis 5, die bei dem Probanden beobachtet werden konnten, ist in Prozent angegeben.

5.2.2.2 Vergleich zwischen den Gruppen

Es wurden für die Versuchsgruppe vor und nach myofunktioneller Therapie sowie für die Kontrollgruppe die mittlere Schluckdauer und die mittlere Geschwindigkeit bestimmt. Boxplot-Diagramme, in denen die Medianwerte und das 25%ige sowie das 75%ige Konfidenzintervall dargestellt sind, dienen dem Vergleich der Schluckdauer und der Geschwindigkeit zwischen Kontrollgruppe und Versuchsgruppe vor MFT. Es wurde

davon ausgegangen, dass trotz intra- und interindividuell zu erwartender Variationsvielfalt quantitative Unterschiede zwischen visceralem und somatischem Schluckmuster sichtbar würden. Zum Prüfen auf signifikante Unterschiede der Schluckdauer und der Geschwindigkeit zwischen der Kontrollgruppe und der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie wurden die Messdaten mit dem Mann-Whitney-U-Test¹¹ auf Signifikanz geprüft.

Für den Vergleich der Schluckvorgänge der Versuchsgruppe vor und nach myofunktioneller Therapie wurde der Wilcoxon-Test¹¹ für paarige Stichproben für die Schluckdauer, Geschwindigkeit und Amplitude angewendet. Die Differenzen aus der Schluckdauer, aus der Geschwindigkeit und aus der Amplitude der Versuchsgruppe nach und vor myofunktioneller Therapie sind grafisch dargestellt.

Die Häufigkeitsverteilungen der Varianten der Anfangsphase sind in Kreisdiagrammen für jede Gruppe veranschaulicht.

5.2.2.3 Messgenauigkeit

Die einzelnen Bilder für die Vermessung standen im jpeg-Format mit einer Größe von 704 x 576 Pixel zur Verfügung.

Die Liniendicke im M-Mode-Bild betrug 2 bis 3 Pixel. Ein Punkt auf der Kurve wurde in die Mitte der Linie gesetzt.

Die Zeitachse im Ultraschallbild war auf 200 ms genau skaliert. Die Anzahl der Pixel für einen Abschnitt von 200 ms betrug 35 Pixel. Die Wegachse im Ultraschallbild war auf 10 mm genau skaliert. Ein Skalenabschnitt von 10 mm entsprach 32 Pixel. Aufgrund der Pixelgröße konnte die Abszisse x eines Punktes nur mit einer Genauigkeit von $\pm 2,86$ ms und die Ordinate y nur mit einer Genauigkeit von $\pm 0,16$ mm angegeben werden. Damit ergab sich für den vertikalen Abstand (Amplitude) zwischen zwei Kurvenpunkten ($|x_1 - x_2|$) eine Messgenauigkeit von $\pm 0,32$ mm und für den horizontalen Abstand (Zeit) zwischen zwei Kurvenpunkten ($|y_1 - y_2|$) eine Messgenauigkeit von $\pm 5,7$ ms.

Die Zeit wurde in Sekunden mit einer Stelle nach dem Komma und die Amplitude in Millimeter ohne Kommastellen gemessen. Die Geschwindigkeit als Quotient aus Amplitude und Zeit wurde in Millimeter pro Sekunde ohne Kommastellen bestimmt.

6 Ergebnisse der quantitativen Auswertung

6.1 Schluckdauer

6.1.1 Kontrollgruppe

Die Schluckdauer der 13 Probanden der Kontrollgruppe lag zwischen 1,5 und 2,5 s (Tab.1). Die mittlere Dauer aller Schluckvorgänge der Kontrollgruppe betrug 1,8 s.

Schluckdauer [s]														
Proband	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	A - N
Anzahl	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	103
\bar{X} [s]	1,8	1,6	1,8	2,2	2,2	2,4	2,0	1,3	1,5	1,8	2,0	1,4	2,5	1,8
Q ₂₅ [s]	1,6	1,4	1,7	1,8	2,0	2,0	1,9	1,2	1,4	1,7	1,9	1,3	1,7	1,5
Q ₇₅ [s]	1,9	1,8	2,1	2,5	2,4	2,6	2,1	1,6	1,7	1,8	2,3	1,7	2,5	2,2
IQR [s]	0,3	0,4	0,4	0,7	0,4	0,6	0,2	0,4	0,3	0,1	0,4	0,4	0,8	0,7

Tab. 1: Schluckdauer [s] der 13 Probanden A bis N der Kontrollgruppe.

Anzahl = Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe, \bar{X} = Median, Q₂₅ = 0,25-Quantil, Q₇₅ = 0,75-Quantil, IQR = Interquartilsabstand

6.1.2 Versuchsgruppe

Die Schluckdauer der Patienten mit visceralem Schluckmuster vor myofunktioneller Therapie lag zwischen 1,4 und 2,3 s (Tab. 2). Die mittlere Schluckdauer der Versuchsgruppe betrug vor MFT 1,8 s. Nach MFT lag die Schluckdauer derselben Patienten zwischen 1,6 und 2,5 s (Tab. 3). Die mittlere Schluckdauer der Versuchsgruppe nach MFT hatte sich erhöht auf 2,2 s. Der Wilcoxon-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der Schluckdauer vor und nach myofunktioneller Therapie (Abb. 25).

Schluckdauer [s] vor MFT												
Proband	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P1-P11
Anzahl	7	8	8	7	7	9	8	9	7	6	7	83
\bar{X}_{vor} [s]	1,6	1,6	1,9	2,1	2,0	2,3	2,1	1,8	1,4	1,8	1,6	1,8
Q ₂₅ [s]	1,3	1,4	1,6	2,0	1,9	1,8	1,6	1,7	1,2	1,6	1,4	1,6
Q ₇₅ [s]	1,7	1,7	2,1	2,2	2,2	2,4	2,4	2,4	1,5	1,8	1,8	2,1
IQR [s]	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,6	0,8	0,7	0,3	0,2	0,4	0,5

Tab. 2: Schluckdauer [s] der 11 Probanden der Versuchsgruppe P1 bis P11 vor myofunktioneller Therapie.

Anzahl = Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe, \bar{x} = Median, Q₂₅ = 0,25-Quantil, Q₇₅ = 0,75-Quantil, IQR = Interquartilsabstand

Schluckdauer [s] nach MFT												
Proband	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P1-P11
Anzahl	7	11	7	8	7	7	7	6	8	7	10	85
\bar{x}_{nach} [s]	2,3	1,9	2,6	2,3	2,2	2,5	2,0	1,9	1,6	2,1	2,2	2,2
Q_{25} [s]	2,0	1,5	2,3	1,9	1,9	2,0	1,9	1,8	1,3	1,7	2,0	1,9
Q_{75} [s]	2,5	2,5	3,2	2,5	2,6	2,6	2,4	2,0	2,0	2,3	2,4	2,3
IQR [s]	0,5	1,0	0,9	0,6	0,7	0,6	0,5	0,2	0,7	0,6	0,4	0,4

Tab. 3: Schluckdauer [s] der 11 Probanden der Versuchsgruppe P1 bis P11 nach myofunktioneller Therapie. Anzahl = Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe, \bar{x}_{nach} = Median, Q_{25} = 0,25-Quantil, Q_{75} = 0,75-Quantil, IQR = Interquartilsabstand

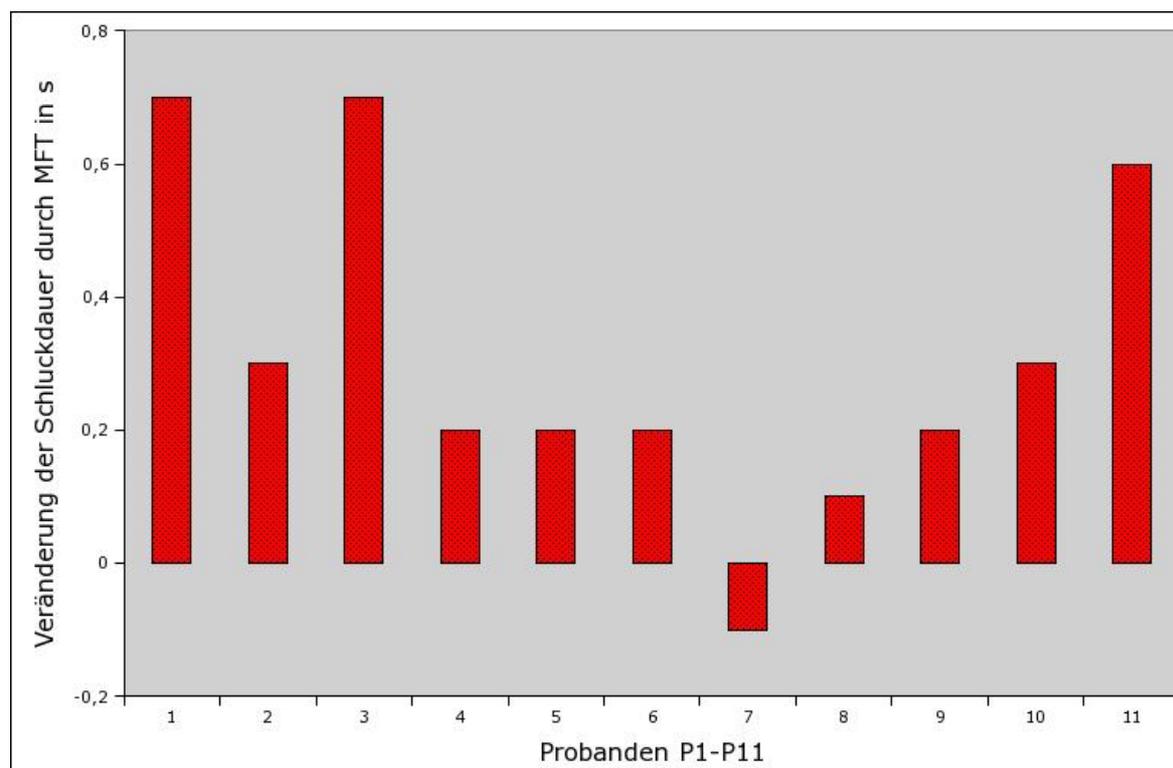


Abb. 25: Grafische Darstellung der intraindividuellen Differenzen der mittleren Schluckdauern [s] der Versuchsgruppe nach und vor myofunktioneller Therapie ($\bar{x}_{nach} - \bar{x}_{vor}$).

6.1.3 Vergleich zwischen Kontrollgruppe und Versuchsgruppe vor MFT

Der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben ergab keinen signifikanten Unterschied ($p=0,79$) zwischen der Schluckdauer der Kontrollgruppe und der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie (Abb. 26).

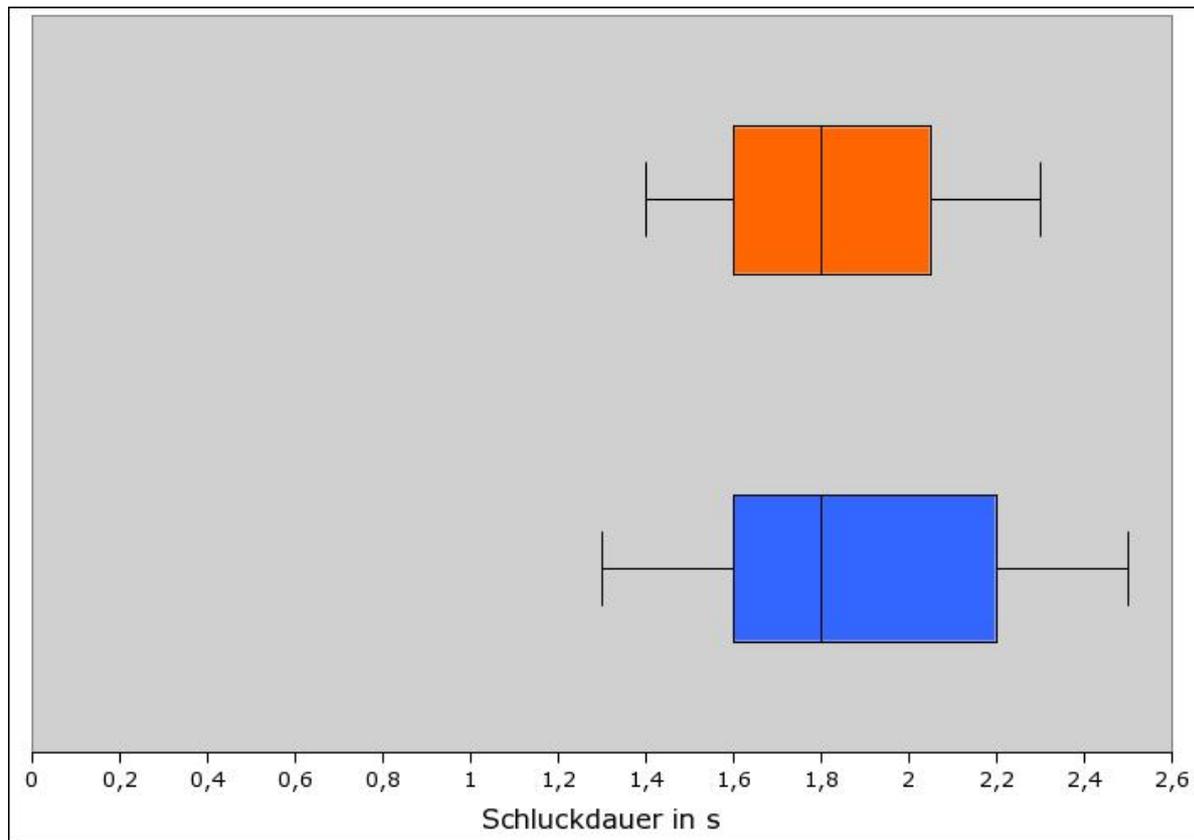


Abb. 26: Boxplot der durchschnittlichen Schluckdauern [s] von Kontrollgruppe (blau) und Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie (rot).

6.2 Anzahl der Wellenbewegungen

6.2.1 Kontrollgruppe

Die kleinste und die größte Anzahl an Wellenbewegungen innerhalb der Transportphase je Proband der Kontrollgruppe zeigt Tab. 4. Es gab keinen Schluckverlauf mit mehr als einer Wiederholung der Wellenbewegung. Neun Probanden wiesen in allen untersuchten Schluckverläufen die Wellenbewegung nur einmal auf. Drei Probanden hatten sowohl Schluckverläufe mit ein- als auch mit zweimaliger Wellenbewegung. Probandin E zeigte bei allen Schluckverläufen eine wiederholte Wellenbewegung.

Anzahl W der Wellenbewegungen														
Proband	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	A - N
W_{\min}	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W_{\max}	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2

Tab. 4: Anzahl der Wellenbewegungen in der Kontrollgruppe.

W_{\min} = kleinste beobachtete Anzahl an Wellenbewegungen, W_{\max} = größte beobachtete Anzahl an Wellenbewegungen

6.2.2 Versuchsgruppe

Die Anzahl der Wellenbewegungen in der Versuchsgruppe ist in Tabelle 5 dargestellt. Sieben Probanden zeigten vor myofunktioneller Therapie alle Schluckverläufe ohne Wiederholung der Wellenbewegung. Vier Probanden hatten Schluckverläufe sowohl mit einfacher als auch mit zweifacher Wellenbewegung innerhalb der Transportphase. Nach myofunktioneller Therapie hatten drei Probanden Schluckverläufe ohne Wiederholung der Wellenbewegung und acht Probanden Schluckverläufe sowohl mit einfacher als auch mit zwei- oder dreifacher Wellenbewegung.

Anzahl W der Wellenbewegungen													
Proband	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P1-P11	
W_{\min} vor MFT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
W_{\max} vor MFT	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	
W_{\min} nach MFT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
W_{\max} nach MFT	3	2	3	2	2	1	2	2	1	2	1	3	

Tab. 5: Anzahl der Wellenbewegung in der Versuchsgruppe vor und nach myofunktioneller Therapie (MFT).

W_{\min} = kleinste beobachtete Anzahl an Wellenbewegungen, W_{\max} = größte beobachtete Anzahl an Wellenbewegungen

6.3 Amplitude

6.3.1 Kontrollgruppe

Tabelle 6 fasst für alle Probanden A bis N der Kontrollgruppe die durchschnittlichen Amplituden zusammen. Die Amplituden betragen 4 bis 17 mm.

Amplitude [mm]														
Proband	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	A - N
Anzahl	8/8	7/8	2/8	6/8	5/8	6/8	5/8	8/8	7/8	6/7	8/8	7/8	7/8	82/103
\bar{x} [mm]	12	9	10	8	8	12	4	12	17	7,5	6	12	9	9
F_{25} [mm]	11	5	8	7	6	9	4	11	8	7	5	11	7	7,5
F_{75} [mm]	13	11	12	9	10	14	6	15	19	9	8	14	15	12
IQR [mm]	2	6	4	2	4	5	2	4	11	2	3	3	8	4,5

Tab. 6: Amplituden [mm] der Probanden A bis N der Kontrollgruppe.

Anzahl: Die erste Ziffer vor dem Schrägstrich steht für die Anzahl der Schluckverläufe, die eine andere als die Anfangsphase 5 zeigten, und die zweite Ziffer gibt die Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe an.

\bar{x} = Median, Q_{25} = 0,25-Quantil, Q_{75} = 0,75-Quantil, IQR = Interquartilsabstand

6.3.2 Versuchsgruppe

In Tabelle 7 sind für alle Probanden P1 bis P11 die durchschnittlichen Amplituden vor myofunktioneller Therapie (MFT) aufgeführt.

Bei einer Patientin (P11) erfolgten alle untersuchten Schluckbewegungen ohne eine Einsenkung des mittleren Zungenrückens. Die Amplituden betragen 8 bis 15 mm.

Amplitude [mm] vor MFT													
Proband	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P1-P11	
Anzahl	5/7	7/8	8/8	5/7	6/7	9/9	8/8	7/9	6/7	4/6	0/7	65/83	
\bar{x}_{vor} [mm]	11	12	9	8	8½	9	15	8	12½	10	—	9½	
F_{25} [mm]	9	11	7	5	5	6	9	7	10	5	—	8½	
F_{75} [mm]	13	15	15	15	11	11	18	10	14	11	—	12	
IQR [mm]	4	4	8	10	6	5	9	3	4	6	—	3½	

Tab. 7: Amplituden [mm] der Probanden P1 bis P11 der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie.

Anzahl: Die erste Ziffer vor dem Schrägstrich steht für die Anzahl der Schluckverläufe, die eine andere als die Anfangsphase 5 zeigten, und die zweite Ziffer gibt die Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe an.

\bar{x}_{vor} = Median, Q_{25} = 0,25-Quantil, Q_{75} = 0,75-Quantil, IQR = Interquartilsabstand

Tabelle 8 zeigt für die Probanden der Tabelle 7 die entsprechenden Werte nach abgeschlossener myofunktioneller Therapie. Für die Amplituden wurden Werte zwischen 7 und 15 mm ermittelt.

Amplitude [mm] nach MFT												
Proband	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P1-P11
Anzahl	7/7	9/9	7/7	6/8	5/7	7/7	7/7	4/6	6/8	7/7	9/10	74/83
\bar{X}_{nach} [mm]	12	13	11	13½	6	6	15	7	9½	12	8	11
F_{25} [mm]	10	9	10	11	4	5	15	6	7	9	4	7
F_{75} [mm]	17	2	13	18	17	15	16	7	12	14	13	13
IQR [mm]	7	11	3	7	13	10	1	1	5	5	9	6

Tab. 8: Amplituden [mm] der Probanden P1 bis P11 der Versuchsgruppe nach myofunktioneller Therapie.

Anzahl: Die erste Ziffer vor dem Schrägstrich steht für die Anzahl der Schluckverläufe, die eine andere als die Anfangsphase 5 zeigten, und die zweite Ziffer gibt die Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe an.

\bar{X}_{nach} = Median, Q_{25} = 0,25-Quantil, Q_{75} = 0,75-Quantil, IQR = Interquartilsabstand

Der Wilcoxon-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen der Amplitude vor und nach myofunktioneller Therapie (Abb. 27).

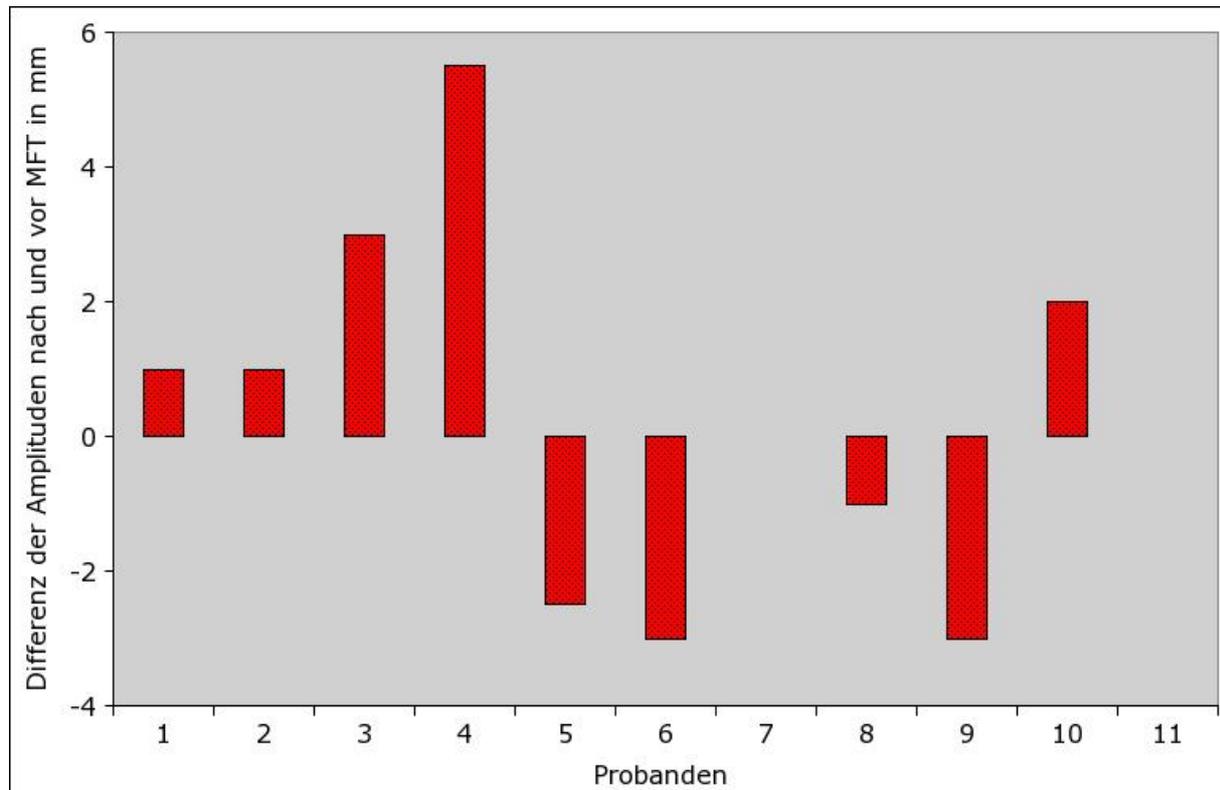


Abb. 27: Grafische Darstellung der intraindividuellen Differenzen der mittleren Amplituden [mm] der Versuchsgruppe nach und vor myofunktioneller Therapie ($\bar{X}_{\text{nach}} - \bar{X}_{\text{vor}}$).

6.4 Geschwindigkeit der Zungenbewegungen

6.4.1 Kontrollgruppe

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Zunge an der untersuchten Stelle zum Gaumen bewegte, betrug für alle Probanden der Kontrollgruppe durchschnittlich 70 mm/s, wobei die mittleren Werte der Probanden zwischen 46 und 96 mm/s streuten (Tab. 9).

Geschwindigkeit [mm/s]														
Proband	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	A - N
Anzahl	8/8	7/8	2/8	6/8	5/8	6/8	5/8	8/8	7/8	6/7	8/8	7/8	7/8	82/103
\bar{x} [mm/s]	46	78	90	55	63	78	70	95	63	69	48	96	74	70
F_{25} [mm/s]	44	50	58	33	58	72	34	80	49	59	36	51	56	55
F_{75} [mm/s]	56	83	121	75	137	88	107	107	105	107	60	149	115	90
IQR [mm/s]	12	33	63	42	78	16	73	27	56	48	24	98	59	35

Tab. 9: Geschwindigkeit [mm/s] der 13 Probanden A bis N der Kontrollgruppe.

Anzahl: Die erste Ziffer vor dem Schrägstrich steht für die Anzahl der Schluckverläufe, die eine andere als die Anfangsphase 5 zeigten, und die zweite Ziffer gibt die Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe an.

\bar{x} = Median, Q_{25} = 0,25-Quantil, Q_{75} = 0,75-Quantil, IQR = Interquartilsabstand

6.4.2 Versuchsgruppe

Die mittlere Geschwindigkeit, mit der sich die Zunge an der untersuchten Stelle zum Gaumen bewegte, betrug für die Probanden der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie 78 mm/s. Die Werte streuten zwischen 42 und 106 mm/s (Tab. 10).

Nach myofunktioneller Therapie betrug die mittlere Geschwindigkeit 71 mm/s, wobei die Werte zwischen 28 und 90 mm/s streuten (Tab. 11).

Geschwindigkeit [mm/s] vor MFT													
Proband	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P1-P11	
Anzahl	5/7	7/8	8/8	5/7	6/7	9/9	8/8	7/9	6/7	4/6	0/7	65/83	
\bar{x}_{vor} [mm/s]	80	81	70	69	42	78	78	97	70	106	—	78	
F_{25} [mm/s]	71	64	47	39	37	41	76	51	55	80	—	70	
F_{75} [mm/s]	107	108	110	121	59	120	106	118	85	147	—	81	
IQR [mm/s]	36	44	63	82	22	79	30	67	30	67	—	11	

Tab. 10: Geschwindigkeit [mm/s] der 11 Probanden P1 bis P11 der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie.

Anzahl: Die erste Ziffer vor dem Schrägstrich steht für die Anzahl der Schluckverläufe, die eine andere als die Anfangsphase 5 zeigten, und die zweite Ziffer gibt die Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe an.

\bar{x}_{vor} = Median, Q_{25} = 0,25-Quantil, Q_{75} = 0,75-Quantil, IQR = Interquartilsabstand

Geschwindigkeit [mm/s] nach MFT												
Proband	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P1-P11
Anzahl	7/7	9/9	7/7	6/8	5/7	7/7	7/7	4/6	6/8	7/7	9/10	65/83
\bar{X}_{nach} [mm/s]	81	71	70	74	28	62	85	70	39	86	90	71
F_{25} [mm/s]	76	57	52	48	22	42	79	59	31	63	58	62
F_{75} [mm/s]	98	90	80	76	49	83	103	91	44	104	114	85
IQR [mm/s]	22	33	28	27	27	41	24	32	13	41	56	23

Tab. 11: Geschwindigkeit [mm/s] der 11 Probanden P1 bis P11 der Versuchsgruppe nach myofunktioneller Therapie.

Anzahl: Die erste Ziffer vor dem Schrägstrich steht für die Anzahl der Schluckverläufe, die eine andere als die Anfangsphase 5 zeigten, und die zweite Ziffer gibt die Anzahl der auswertbaren Schluckverläufe an.

\bar{X}_{nach} = Median, Q_{25} = 0,25-Quantil, Q_{75} = 0,75-Quantil, IQR = Interquartilsabstand

Die mittlere Geschwindigkeit der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie und die mittlere Geschwindigkeit der Versuchsgruppe nach myofunktioneller Therapie sind im Boxplotdiagramm dargestellt (Abb. 28).

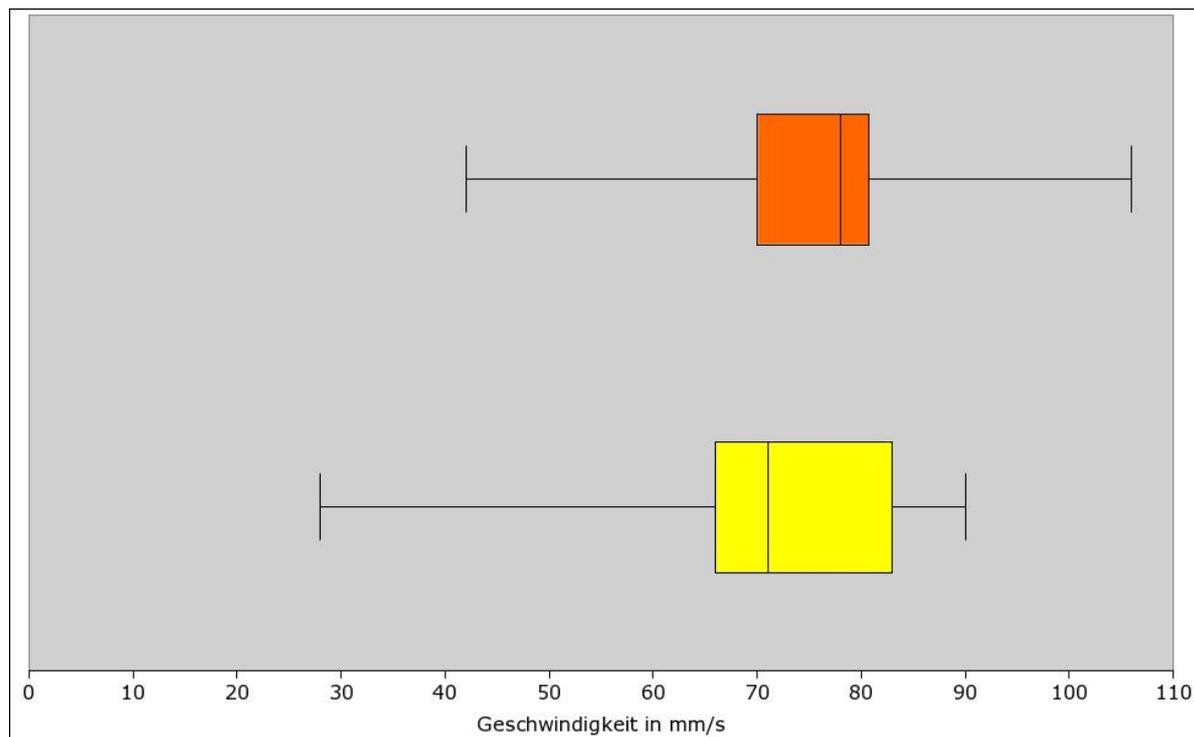


Abb. 28: Boxplotdarstellung der mittleren Geschwindigkeiten [mm/s] der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie (rot) und nach myofunktioneller Therapie (gelb).

Der Wilcoxon-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der Geschwindigkeit vor und nach myofunktioneller Therapie (Abb. 29).

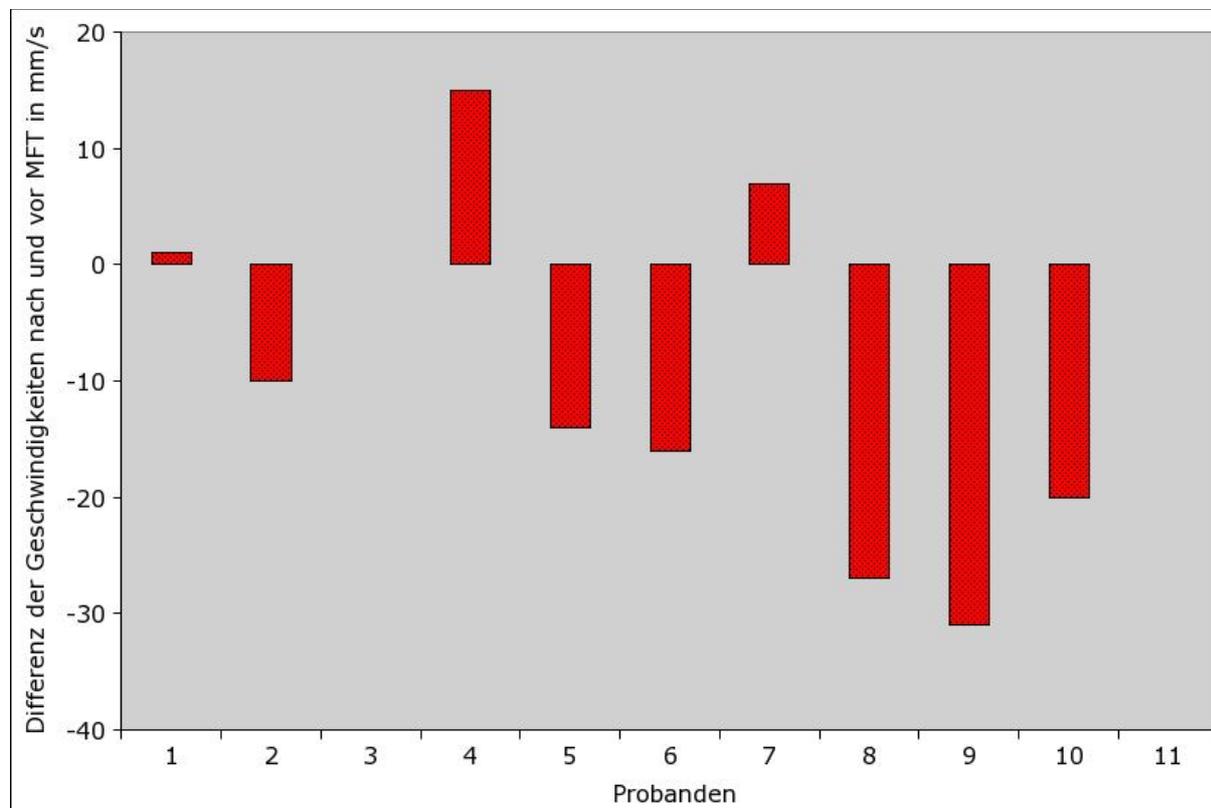


Abb. 29: Grafische Darstellung der Differenzen der Mittelwerte der Geschwindigkeiten nach und vor myofunktioneller Therapie ($V_{\text{nach}} - V_{\text{vor}}$).

6.4.3 Vergleich zwischen Kontrollgruppe und Versuchsgruppe vor MFT

Der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben ergab keinen signifikanten Unterschied ($p=0,28$) zwischen der Geschwindigkeit der Zungenbewegung der Kontrollgruppe und der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie (Abb. 30).

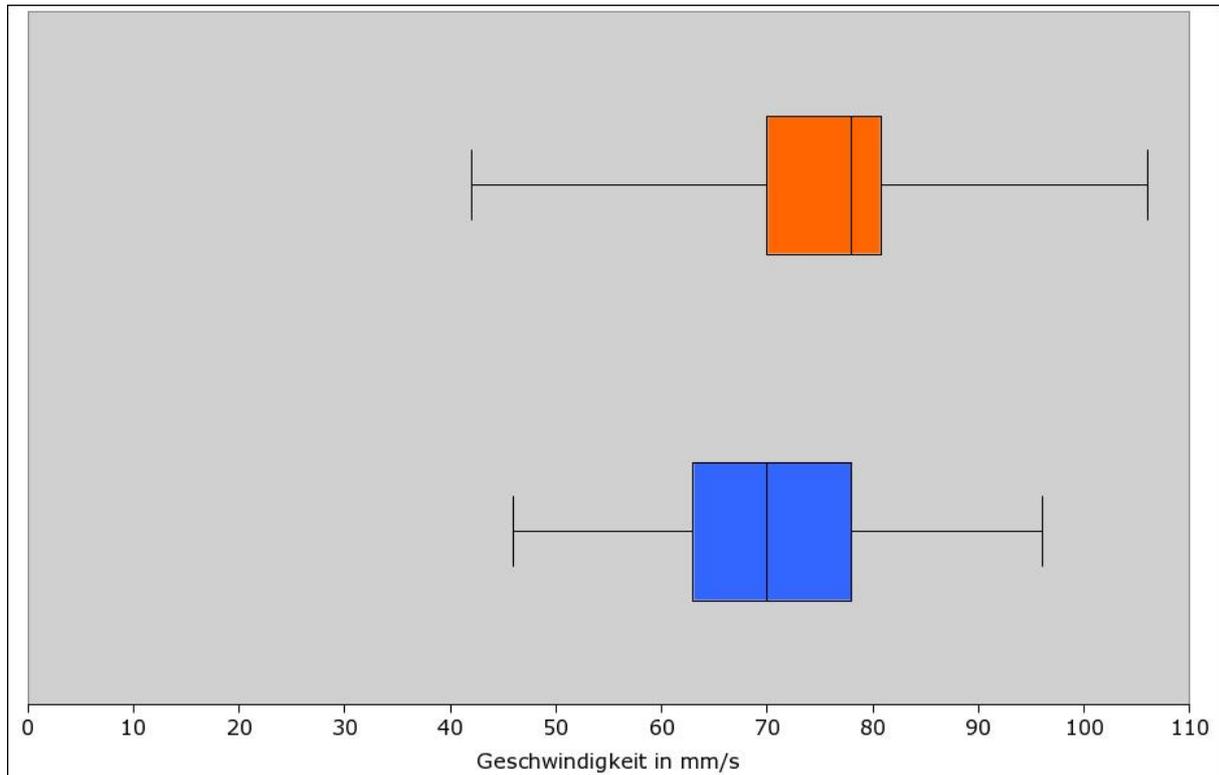


Abb. 30: Boxplotdarstellung der mittleren Geschwindigkeiten der Zungenbewegungen der Kontrollgruppe (blau) und Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie (rot).

6.5 Häufigkeit der Varianten 1 bis 5 der Anfangsphase

6.5.1 Kontrollgruppe

Tabelle 12 ist zu entnehmen, dass während der Untersuchung 4 Probanden 2, 8 Probanden 3, 2 Probanden 4 und 1 Proband alle Varianten der Anfangsphase zeigten.

Häufigkeit [%]														
Proband	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	A - N
Variante 1	0	0	0	0	0	0	0	60	56	0	0	67	25	16
Variante 2	86	0	11	0	25	0	0	0	0	0	10	0	13	11
Variante 3	14	67	11	44	12	13	38	30	11	28	60	33	25	30
Variante 4	0	11	0	22	38	75	0	10	11	57	30	0	25	21
Variante 5	0	22	78	34	25	12	62	0	22	15	0	0	12	22

Tab. 12: Häufigkeitsverteilung der Varianten der Anfangsphase in der Kontrollgruppe.

6.5.2 Versuchsgruppe

In der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie (MFT) zeigten 2 Probanden nur 1, 5 Probanden 2, 1 Probanden 3 und 2 Probanden 4 Varianten der Anfangsphase (Tab. 13). Nach MFT war bei 10 der 11 Probanden die Häufigkeitsverteilung der Varianten verändert, bei Proband P6 war sie annähernd gleich geblieben (Tab. 14).

Häufigkeit [%] vor MFT													
Proband	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P1-P11	
Variante 1	71	0	50	44	86	0	75	22	0	33	0	35	
Variante 2	0	0	50	0	14	89	0	0	0	0	0	14	
Variante 3	0	100	0	14	0	0	25	22	86	34	0	25	
Variante 4	0	0	0	14	0	11	0	45	0	0	0	6	
Variante 5	29	0	0	28	0	0	0	11	14	33	100	20	

Tab. 13: Häufigkeit der Varianten 1 bis 5 der Anfangsphase in der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie.

Häufigkeit [%] nach MFT													
Proband	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P1-P11	
Variante 1	100	82	86	63	12	0	100	0	25	43	30	49	
Variante 2	0	0	14	12	38	86	0	50	12	14	20	23	
Variante 3	0	0	0	0	37	0	0	0	25	43	20	11	
Variante 4	0	18	0	0	0	14	0	17	13	0	20	7	
Variante 5	0	0	0	25	12	0	0	33	25	0	10	10	

Tab. 14: Häufigkeit der Varianten 1 bis 5 der Anfangsphase in der Versuchsgruppe nach myofunktioneller Therapie.

6.5.3 Vergleich zwischen Kontrollgruppe und Versuchsgruppe

Das Verteilungsmuster der Varianten der Anfangsphase der Kontrollgruppe unterschied sich von dem Verteilungsmuster der Versuchsgruppe vor myofunktionaler Therapie (Abb. 32 a und b). Das Verteilungsmuster nach MFT hatte sich gegenüber der Verteilung vor MFT verändert (Abb. 32 b und c). Die Häufigkeit der Variante 1 nahm mit MFT auf Kosten der Varianten 3 und 5 zu. Variante 1 war bei der Versuchsgruppe sowohl vor als auch nach MFT häufiger vertreten als in der Kontrollgruppe. Die Häufigkeit der Anfangsphase 4 veränderte sich mit der MFT nicht; sie war in der Versuchsgruppe nach wie vor kleiner als in der Kontrollgruppe.

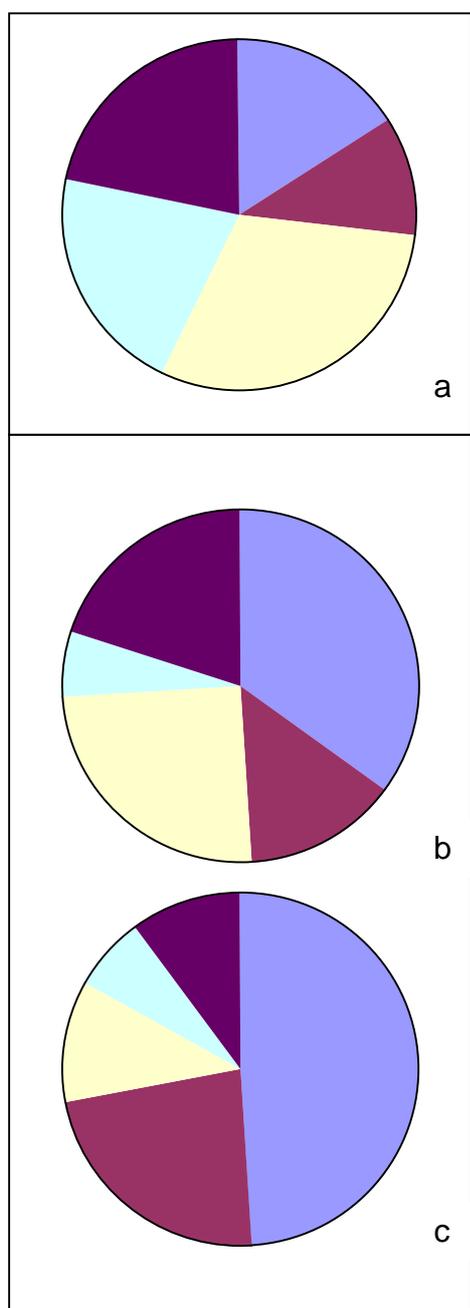


Abb. 32 Häufigkeitsverteilung der Varianten der Anfangsphasen 1 bis 5 innerhalb der
a) Kontrollgruppe,
b) Versuchsgruppe vor MFT,
c) Versuchsgruppe nach MFT.

- Anfangsphase 1
- Anfangsphase 2
- Anfangsphase 3
- Anfangsphase 4
- Anfangsphase 5

7 Diskussion

7.1 Probandenauswahl

Die Probanden der Kontrollgruppe durften keine Zahnfehlstellungen, die ein Hinweis auf ein viscerales Schlucken sein können^{14, 17, 40, 44, 65, 66, 109, 119}, aufweisen. Um sicher zu gehen, dass der Einfluss der Zunge, Wangen und Lippen auf die Zähne nicht durch kieferorthopädische Geräte verändert oder gehemmt wurde und damit möglicherweise unerkannt geblieben wäre, waren die erwachsenen Probanden der Kontrollgruppe nicht wie viele Kinder und Jugendliche in einer laufenden kieferorthopädischen Behandlung. Aus dem selben Grund wurden auch Probanden mit festsitzenden oder herausnehmbaren Retainern ausgeschlossen.

Die Probanden der Versuchsgruppe wiesen alle eine für das viscerale Schluckmuster typische Zahnfehlstellung auf. Um sicher zu sein, dass diese Zahnfehlstellung in Verbindung mit einem visceralen Schluckmuster bestand, musste das viscerale Schluckmuster von einem erfahrenen Logopäden diagnostiziert werden. Da das viscerale Schluckmuster häufiger bei jüngeren Probanden gefunden wird⁸⁴, waren die meisten Probanden der Versuchsgruppe jünger als 16 Jahre alt. Der durchschnittliche Altersunterschied zwischen den Probanden der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe betrug 15 Jahre. Dieser Altersunterschied könnte den Vergleich der Schluckdauer zwischen beiden Gruppen beeinflusst haben, obwohl verschiedene Studien^{47, 75, 86, 95, 111} zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der Abhängigkeit der Schluckdauer vom Alter der Probanden gekommen sind. Außerdem gibt es Studien, die einen Zusammenhang zwischen verlängerter Schluckdauer und visceralem Schluckmuster aufzeigen^{4, 49, 74}. Dadurch könnte ein Unterschied, der hier in der Schluckdauer nicht gefunden wurde, zwischen den jüngeren Probanden mit visceralem Schluckmuster und den älteren Probanden mit physiologischem Schluckmuster verborgen geblieben sein. Doch es werden in Abschnitt 7.5.7 weitere Faktoren diskutiert, die die Schluckdauer beeinflussen, neben denen das Alter der Probanden nur einen geringen Anteil ausmacht. Des weiteren haben jüngere noch wachsende Probanden einen kleineren Mundraum als ältere. Aus diesem Grund wurde ein Vergleich zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Amplitude nicht durchgeführt.

Die Geschlechtsverteilung war in beiden Untersuchungsgruppen nicht gleich. In der Versuchsgruppe gab es nur einen männlichen Probanden, während die Kontrollgruppe aus sieben männlichen und sechs weiblichen Probanden bestand. Jedoch gibt es in der Literatur keine übereinstimmenden Ergebnisse hinsichtlich einer geschlechtsspezifischen Abhängigkeit der Schluckbewegung^{71, 75, 111}.

Die Anzahl der Probanden betrug in dieser Untersuchung 24. Es gibt Studien zur Anwendung der Sonographie beim Schlucken, die mit der gleichen Anzahl Probanden^{28, 47, 94} oder einer geringeren Anzahl Probanden^{90, 92, 100, 106} gearbeitet haben.

7.2 Untersuchte Schluckvorgänge

In der Literatur wird die Abhängigkeit der Zungenbewegung vom Volumen^{51, 82} und der Konsistenz^{67, 86, 95, 96} des zu schluckenden Mediums beschrieben. Da auch ein definiertes Medium mit konstantem Volumen in einem bestimmten Verhältnis zur individuellen Größe des Mundraumes steht und das gleiche absolute Schluckvolumen bei einem Kind verhältnismäßig mehr ist als bei einem Erwachsenen, wurde wie auch bei Peng et al.⁷⁵⁻⁷⁸ sowie Sonies und Mitarbeitern⁹⁵ das Leerschlucken untersucht, obwohl Karacay et al.⁵² in ihrer Arbeit einräumen, dass die Abgrenzung der einzelnen Phasen eines Schluckvorgangs beim Schlucken von Flüssigkeiten leichter vorzunehmen ist als beim Leerschlucken.

Es sollte weiterhin ausgeschlossen sein, dass ein zu schluckender Bolus die Zungenposition zu Beginn der Schluckbewegung verändert¹⁰⁷.

Der wichtigste Grund ist jedoch, dass häufiger leer geschluckt wird als mit Bolus beim Essen und Trinken². Somit hat das Leerschlucken laut zahlreicher übereinstimmender Studien^{14, 17, 44, 65, 66, 109, 119} auf die Zahn- und Kieferstellungen einen großen Einfluss.

Die Probanden bestimmten den Abstand zwischen den Schluckvorgängen entsprechend ihres Schluckbedürfnisses selbst, indem sie durch eine Handbewegung zeigten, dass sie für den nächsten Schluckvorgang bereit waren. In den Intervallen zwischen den Schluckvorgängen wurde eine unbekannte Speichelmenge gesammelt. Es ist vorstellbar, dass die Speichelmenge variierte und als unbestimmter Parameter die Schluckvorgänge beeinflusst hat. Der Einfluss dürfte aber klein sein.

Da die Probanden während der Untersuchung auf ihr Schlucken achteten, das sonst spontan und unbewusst abläuft, bleibt ungeklärt, ob und inwiefern durch die

konzentrierte Wahrnehmung der Schluckbewegung Zungenpositionierung, Schluckdauer, Bewegungsamplitude und Bewegungsform beeinflusst wurden. Doch der apparative Aufwand lässt eine weitgehend unbewusste Aufzeichnung oder sogar Langzeituntersuchung nicht zu.

7.3 Sonographische Methode

7.3.1 Messgenauigkeit

Die Ultraschallbilder wurden mit einer Größe von 704x576 Pixel gespeichert. Dies entspricht ungefähr der Größe eines Videobildes. Aufgrund der begrenzten Pixelanzahl und Pixelgröße entsteht aber eine Messungenauigkeit. Diese Messungenauigkeit (Abschnitt 5.2.2.3) bezüglich der Zeit war mit $\pm 5,7$ ms sehr klein und konnte durch die Angabe der Dauer mit einer Genauigkeit von einer Zehntelsekunde vernachlässigt werden. Es ist auch nicht sinnvoll, die durchschnittliche Schluckdauer genauer anzugeben, da alle Probanden große intraindividuelle Schwankungen der Schluckdauer zeigten.

Für die Bestimmung der Amplitude, als vertikaler Abstand zwischen zwei Punkten, war die Messungenauigkeit (Abschnitt 5.2.2.3) von 0,32 mm relativ hoch und machte sich vor allem bei kleinen Amplituden bemerkbar. Diese Messunsicherheit setzte sich bei der Berechnung der Geschwindigkeit aus dem Quotienten aus Amplitude und Zeit fort. Jedoch kann die Messgenauigkeit bei der Bestimmung des vertikalen Abstandes zweier Messpunkte durch eine Erhöhung der Pixelanzahl nicht erhöht werden, da die Bildauflösung in axialer/vertikaler Richtung durch die Wellenlänge des Ultraschalls bestimmt wird. Damit sich zwei Echos nicht überlagern, müssen sie um mindestens eine halbe Wellenlänge getrennt sein²⁰. Mit einem Frequenzbereich f der verwendeten Sonde von 4 bis 7 MHz und einer Ausbreitungsgeschwindigkeit c in Muskelgewebe von 1,568 mm/s ergibt sich theoretisch eine axiale Auflösung d von 0,2 mm bis 0,1 mm:

$$\lambda = c/f$$

$$d = \lambda \times \frac{1}{2}$$

$$d = c/f \times \frac{1}{2}.$$

(λ : Wellenlänge, c : Ausbreitungsgeschwindigkeit,
 f : Frequenz, d : Grenzflächenabstand zweier Strukturen,
 die noch getrennt abgebildet werden)

Aufgrund der Dispersion der Ultraschallwellen im Ausbreitungsmedium kann praktisch aber nur einer axiale Auflösung erreicht werden, die mehr als doppelt so groß ist wie die theoretisch bestimmte²⁰. So liegt die axiale Auflösung höchstens bei 0,4 bis 0,2 mm.

Da hohe Frequenzen im Gewebe stärker gedämpft werden als niedrige, verändert sich das Frequenzspektrum der Pulse mit der Eindringtiefe. Mit zunehmender Bildtiefe wird die Auflösung geringer. Da die Zungenoberfläche sich schallkopffern befindet, ist in diesem Bereich mit einer Bildauflösung von 0,4 mm zu rechnen. Diese Auflösung entspricht annähernd der Messgenauigkeit von 0,32 mm, die sich aus der hier gewählten Pixelgröße und Pixelanzahl ergibt.

7.3.2 Auswahl und Positionierung und der Ultraschallsonde

Die verwendete Schallsonde war eine konvexe Multifrequenzsonde mit einem Frequenzbereich von 4 bis 7 MHz. Andere Untersucher benutzten konvexe Sonden mit einer Frequenz von 3,5 MHz^{14, 74, 75-78} oder 5MHz^{28-30, 46, 47, 70, 116}. Um so höher die verwendete Frequenz, um so höher ist die axiale Auflösung. Der Frequenzbereich von 4 bis 7 MHz war für den untersuchten Bereich optimal bezüglich Eindringtiefe und räumlicher Auflösung, da bei der Optimierung der Auflösung die notwendige Eindringtiefe berücksichtigt werden muss, die im umgekehrten Verhältnis zur Auflösung steht²⁰. Eine konvexe Sonde hat den Vorteil gegenüber einer Linearschallsonde, dass sie durch die konvex gekrümmte Ankopplungsfläche eine kleinere Auflagefläche benötigt und durch ihren leicht fächerförmigen Strahlengang einen dazu relativ großen, nach oben breiter werdenden Bereich durchschallt. Jedoch gibt es leichte Verzerrungen im Nah- und Fernbereich und eine weniger gute Bildauflösung als bei einer Linearschallsonde⁸⁷. Der verwendete Schallkopf war relativ groß, so dass Probanden mit sagittal kurzem Mundboden den Kopf vorstrecken mussten, um die Ankopplungsfläche für den Schallkopf zu vergrößern. Bei einer Sektorschallsonde wäre die Ankopplungsfläche noch kleiner, jedoch hat diese im Vergleich zur einer konvexen Sonde eine schlechtere Bildauflösung und stärkere Verzerrungen im schallkopfnahen Bereich⁸⁷.

In der Literatur findet man je nach Untersucher variable oder ungenau definierte Ausrichtungen der Schallsonde^{3, 28, 29, 70, 75, 94}. Dies macht einen Vergleich der B- und M-Mode-Bilder verschiedener Studien schwierig.

Fuhrmann und Diedrich²⁸⁻³⁰ geben an, dass sie die Ultraschallsonde in der Mediansagittalebene soweit wie möglich posterior und leicht nach anterior gekippt positionierten. Müßig⁷⁰ richtete die Sonde in der Mediansagittalebene in Höhe des zweiten Prämolaren senkrecht zur Frankfurter Horizontalen aus. Peng et al.⁷⁵⁻⁷⁸ stellten die Sonde in der Mediansagittalebene in der Mitte zwischen Symphyse und Zungenbein senkrecht zur Frankfurter Horizontalen ein. Andere Untersucher hielten die Sonde in einer nicht weiter definierten Position, in der lediglich der Zungenmittelteil beobachtet werden konnte^{3, 94}. Stone und Davis⁹⁹ schlugen vor, die Sonde in der mediansagittalen Ebene in einem bestimmten Abstand zur Symphyse und in einem bestimmten Winkel zur Okklusionsebene zu positionieren.

Diese unterschiedlich oder gar nicht definierten Sondenpositionen sind einerseits durch die verwendeten unterschiedlich dimensionierten Sonden begründet. Sie verdeutlichen aber auch die Schwierigkeit, eine allgemeine Sondeneinstellung anzugeben, die für jeden Patienten eine optimale Darstellung liefert. Ursache dafür können die individuellen Unterschiede in Ausdehnung der Symphyse, Abstand zwischen Symphyse und Zungenbein, Größe des Mundraumes und Lage des Unterkiefers zum Oberkiefer sein. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Sondenposition für den einzelnen Patienten in Anlehnung an Stone und Davis⁹⁹ dreidimensional definiert, um Messungen in der gleichen Weise zu wiederholen und miteinander vergleichen zu können.

7.3.3 Fixierung der Sonde und des Kopfes

Sonde und Kopf müssen in einer stabilen Position zu einander gehalten werden, damit die sonographischen Bilder sich nur durch den zeitlichen Zustand unterscheiden und miteinander verglichen werden können. Zur Kontrolle einer gleichbleibenden Aufnahmeposition wurde der Symphysenschatten in der B-Mode-Darstellung als Referenz herangezogen, da er durch die hier gewählte Sondenposition mit abgebildet wurde.

Durch eine Positionsveränderung der Sonde relativ zum Kopf nach lateral, anterior oder posterior während der Schluckbewegung verändert sich die untersuchte Region und führt zur Verfälschung der M-Mode-Linienführung. Bei einer von Hand geführten Sonde wie in der Arbeit von Söder und Miller⁹⁴, ist es aufgrund der vertikalen Bewegung des Mundbodens unmöglich, diese lagestabil zu halten. Eine unwillkürliche Mitbewegung

der Sonde nach kranial oder kaudal wirkt sich auf die im M-Mode-Verlauf gemessene Amplitude einer vertikalen Bewegung der Zungenoberfläche und der Muskulatur aus.

Es wurden unterschiedliche Vorrichtungen von verschiedenen Untersuchern vorgestellt, um die Relativbewegungen von Kopf und Sonde zueinander zu minimieren^{34, 76, 98, 99}.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Gerät nach Vorgabe von Peng et al.⁷⁶ gebaut, mit dem der Kopf des Patienten positioniert und die Sonde fixiert werden konnten. Gick et al.³⁴ konnten zeigen, dass eine Abstützung des Kopfes an einer Lehne die Bewegung des Kopfes maßgeblich reduziert. Eine andere Möglichkeit ist, dass der Proband seine Kopfbewegung optisch kontrolliert, zum Beispiel, wenn er in einen Spiegel schaut^{34, 64}. Die dabei auftretenden Kopfbewegungen waren jedoch größer als bei einer Abstützung des Kopfes³⁴. Außerdem zeigte sich, dass trotz einer Kopfabstützung an einer Lehne und Fixierung der Sonde relative Bewegungen von Kopf und Sonde zu einander immer noch möglich sind und die vertikale Verschiebung dabei den größten Anteil ausmacht³⁴. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Gick et al.³⁴ Sprachübungen durchführen ließen. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Kopfbewegungen beim Schlucken ähnlich der beobachteten Kopfbewegungen beim Sprechen sind. Durch die zusätzliche Abstützung der Symphyse auf einem Silikonkissen, das bei der Untersuchungsanordnung von Peng et al.⁷⁶ nicht verwendet wurde, sollten in der vorliegenden Arbeit vertikale Kopfbewegungen weiter minimiert werden. Da der Unterkiefer der Silikonform auflag, war die Öffnungsbewegung erschwert. Aufgrund der Verschieblichkeit der Haut über den knöchernen Strukturen sind minimale Kopfbewegungen des Patienten trotz der Fixierung des Kopfes an Stirn und Kinn immer noch möglich. Vor der Videoaufzeichnung wurde das Schlucken am Gerät einige Male geübt, um den Kopf beim Schlucken nicht zu bewegen. Dennoch war es vor allem für sehr junge Probanden schwierig über den gesamten Untersuchungszeitraum den Kopf ruhig zu halten. Aus der Versuchsgruppe konnten die Aufzeichnungen von zwei sechsjährigen Probanden aufgrund von Verwacklungen nicht verwendet werden.

Stone und Davis⁹⁹ sowie Stone⁹⁸ beschrieben in ihrer Arbeit eine Apparatur, mit der eine Fixierung des Kopfes an beiden Schläfen, der Stirn und der Schädelbasis erfolgte und mit der eine vollständige Immobilisierung des Kopfes erreicht werden konnte. Diese Apparatur ist weitaus aufwändiger und größer konstruiert als die von Peng et al.⁷⁶ und in der vorliegenden Arbeit benutzte Vorrichtung.

Wenn Kopfbewegungen während der Untersuchung erkannt wurden, musste der Proband mehr als zehnmal schlucken. Doch manche Bewegungen wurden erst später

bei der Auswertung festgestellt. Kopfbewegungen zeigten sich in der B-Mode-Darstellung an einer Bewegung der Symphyse, die als Referenz diente, und im M-Mode-Verlauf in einem vertikalen Liniensprung. Schluckverläufe mit Kopfbewegungen wurden nicht vermessen. Deshalb variierte in dieser Arbeit die Anzahl der Schluckvorgänge, die in die Bewertung eingingen, von Proband zu Proband. Peng et al.⁷⁵ verwendeten pro Proband 3 Schluckvorgänge für ihre Auswertung. In der vorliegenden Arbeit sollten für jeden Probanden so viele Schluckvorgänge wie möglich in die Bewertung eingehen, um erfassen zu können in wie weit die Schluckvorgänge eines Probanden reproduzierbar sind.

7.1.2.4 Dämpfungsmethode nach Peng et al.⁷⁶

Um ungehinderte Bewegungen des Mundbodens beim Schlucken zu ermöglichen, befand sich bei den Untersuchungen von Peng et al.⁷⁵⁻⁷⁸ ein mit Wasser gefüllter Latexbeutel als elastisches Kissen zwischen Mundboden und Sonde. Stone und Davis⁹⁹ benutzten bei ihren Sprechuntersuchungen ein Gelkissen, um die Öffnungsbewegung des Unterkiefers beim Sprechen zu ermöglichen und die Kompression des Mundbodens dabei durch die Sonde zu vermeiden.

Auf eine derartige Dämpfung wurde in der vorliegenden Untersuchung aus mehreren Gründen verzichtet: Ein elastisches Kissen verhindert nicht die Vertikalbewegungen des Kopfes, da es durch die geringen Bewegungen des Mundbodens verformt werden soll. Vor allem sehr junge Patienten neigten in Voruntersuchungen dazu, den Kopf auf das Kissen zu drücken; dadurch veränderte sich die Höhe der Dämpfungsschicht. Bei einem mit Wasser gefüllten Latexbeutel kam erschwerend hinzu, dass Luftbläschen nur ungenügend entfernt werden konnten. Außerdem führte die Dämpfungsschicht, die von den Ultraschallwellen zusätzlich durchdrungen werden musste, zu einer weiteren Dispersion der Schallwellen im dämpfenden Medium und zu einer Verschlechterung der Darstellung der dadurch weiter entfernt liegenden Zungen- und Mundbodenmuskulatur. Dies begründet sich darin, dass die Eindringtiefe von der Frequenz der Schallwellen abhängt, die Streuung und Absorption im Gewebe bestimmt. Damit die Schallwellen tiefer ins Gewebe eindringen, muss die Frequenz reduziert werden. Mit Abnahme der Frequenz nimmt jedoch proportional die räumliche Auflösung ab²⁰.

Von Stone und Davis⁹⁹ wurde getestet, wieweit bei dem Laut „a“ die Zunge angehoben wird, wenn eine Dämpfung während der Untersuchung fehlt und festgestellt, dass die Kompression des Mundbodens durch die notwendige Öffnungsbewegung des Unterkiefers keinen nennenswerten Effekt auf die Zungenlage hatte.

Eine mögliche Bewegungseinschränkung des Mundbodens durch die Sonde kann durch die fehlende Dämpfung nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund wurden nur die Zungenoberfläche und die Zungenmuskulatur für die Auswertung der Schluckbewegung herangezogen. Die Mundbodenstrukturen wurden nicht bewertet. So erfolgte die Einteilung der Schluckbewegung in den sonographischen Bildern nicht weiter als in die großen Schluckphasen Anfangsphase, Transportphase und Rückkehrphase, für die nach Peng et al.⁷⁵ die Zungenoberflächenkurve genügte.

Es wurde darauf geachtet, dass der Mundboden durch die Sonde nicht angehoben wurde. Die Ultraschallsonde wurde im Ruhezustand drucklos am Mundboden angelegt. Dies konnte dadurch sichergestellt werden, dass die Patienten angaben, die Berührung der Sonde aber keinen Druck zu merken.

7.3.5 Wahl der Ebene für die B-Mode-Darstellung

Die sonographische Untersuchung der Zunge von submental kann sowohl in der mediansagittalen^{30, 91, 94, 116} als auch in der transversalen^{29, 54} Ebene erfolgen. In der transversalen Ebene können vertikale und laterale, in der sagittalen Ebene vertikale und sagittale Funktionsabweichungen beobachtet werden.

Die vorliegende Untersuchung wurde in der Mediansagittalen vorgenommen, weil hierbei der Symphysen- und Zungenbeinschatten im B-Mode-Bild als Orientierung dienen konnten, um zu beurteilen, in welchem Zungenabschnitt die Scanlinie für die M-Mode-Darstellung verläuft. Außerdem konnte in dieser Scanebene die Bewegung des Zungenbeins für die Auswertung herangezogen werden. Da sich das Zungenbein nur während des Schluckens am rechten B-Mode-Bildrand nach kranial und ventral bewegte, war dadurch die Schluckbewegung von anderen Zungenbewegungen zu unterscheiden. Zu dem war die Position des Zungenbeins für die Einteilung der Schluckphasen hilfreich.

Der Vorteil der transversalen Darstellung wäre, dass anhand des beidseitigen Schattens der Mandibula im B-Mode-Bild während der Untersuchung kontrolliert werden

könnte, ob die Schallrichtung für die M-Mode-Darstellung wirklich in der Median-sagittalebene verläuft und ob die Zungenbewegung beim Schlucken symmetrisch ist.

7.3.6 Wahl der M-Position

Die Scanlinie für die M-Mode-Darstellung kann in jedem Bereich der Zunge eingestellt werden. Das M-Mode-Bild hängt von dieser Einstellung ab. Sie wurde in dieser Untersuchung für alle Patienten einheitlich in der Zungenmitte gewählt wie auch in den Arbeiten von Cheng et al.¹⁴ und Peng et al.⁷⁵ und verlief in der Mitte des Ultraschall-sektors. Da ein wesentlicher Bestandteil der myofunktionellen Therapie das intensive Training des Zungenmittelteils ist⁵⁵, wurde davon ausgegangen, dass sich gerade in dieser Untersuchungsregion die Probanden der Versuchsgruppe vor und nach myofunktioneller Therapie unterscheiden.

Trotzdem die Sonde auf die Zungenmitte gerichtet war, konnten Wellenbewegungen auf dem mittleren Zungenrücken im B-Mode-Bild beobachtet werden, die von der Scanlinie zum Teil nicht oder nur im Randbereich erfasst wurden. Damit war die Höhe der Amplitude der Linie der Zungenoberfläche im M-Mode-Bild maßgeblich von der Position der Sonde zum Ort der Entstehung der Wellenbewegung auf der Zungenoberfläche abhängig.

Trotz unveränderter Sondeneinstellung war die Auslenkung im M-Mode-Bild für alle Schluckbewegungen eines Probanden nicht immer gleich, was dafür spricht, dass der Zungenrücken seine Bewegungen beim Leerschlucken nicht immer in der gleichen Weise vollzieht. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass trotz konstanter Einstellung der Scanlinie die M-Mode-Bilder eines Probanden sich vor allem in der Amplitude deutlich voneinander unterscheiden können.

7.4 Statistik

Zur Charakterisierung der intraindividuellen Parameter Schluckdauer, Amplitude und Geschwindigkeit wurde der Median dem arithmetischen Mittelwert vorgezogen und die Quantile Q_{25} und Q_{75} berechnet, da sich nicht bei allen Probanden die meisten Messergebnisse in der Mitte des Wertebereiches, sondern auf einer Seite konzentrierten.

Der Wilcoxon-Test für paarige Stichproben wurde für den Vergleich zwischen den Probanden der Versuchsgruppe vor und nach myofunktioneller Therapie sowie der Mann-Whitney-U-Test für den Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie angewendet, da sie unabhängig sind von der Verteilung der erhobenen Daten und geeignet sind für kleine Stichprobenumfänge¹¹.

7.5 Diskussion der Ergebnisse

7.5.1 Schluckbewegung in der B-Mode-Darstellung

In der Literatur ist man sich einig, dass beim visceralen Schlucken die Zunge eine nach ventral gerichtete Bewegung ausführt, die beim somatischen Schlucken fehlt oder nur sehr gering ausgeprägt ist^{23, 28-30, 31, 36, 39, 83, 89, 93}.

Von der dreidimensionalen Zungenbewegung kann mit der hier angewandten sonographischen Untersuchungsmethode nur die vertikale Komponente erfasst werden. Die Zungenspitze wird in ihrer anterioren Position vom Symphysenschatten verdeckt und die Zunge bildet nach dorsal keine Grenzfläche, denn sie ist nach dorsal übergangslos mit dem Pharynx verbunden. Deshalb kann eine mögliche Bewegung beim Schlucken nach ventral nicht sicher beurteilt werden. Bei Voruntersuchungen konnte die Zungenspitze in ihrer anterioren Position auch mit keiner anderen Sondeneinstellung besser erfasst werden. Dies ist ein großer Nachteil dieser Methode für die Schluckdiagnostik, der auch schon von anderen Untersuchern eingeräumt wurde, da beim visceralen Schlucken gerade die sonographisch nicht sichtbare Abstützung der Zungenspitze an der Papilla incisiva gestört ist^{28, 116}. Aber der mittlere Zungenabschnitt kann mit dieser Methode gut beobachtet werden⁷⁵⁻⁷⁸. Das Training des Zungenmittelteils ist wichtiger Bestandteil einer myofunktionellen Therapie, da neben der fehlenden Abstützung der Zungenspitze an der Papilla incisiva ein Kriterium des visceralen Schluckmusters die schwach ausgebildete Muskulatur der Zungenmitte ist⁵⁵. Dies lässt einerseits eine Veränderung hinsichtlich der Beweglichkeit dieses Zungenabschnittes nach erfolgreicher myofunktioneller Therapie als auch einen Unterschied in dessen Bewegung zwischen somatischem und visceralem Schluckakt

erwarten.

Eine quantitative Beschreibung von Strukturen in der B-Mode-Darstellung ist durch Strecken- oder Winkelmessungen möglich. Ein solches Verfahren für die Sonographie der Zunge wurde von Müßig⁷⁰ vorgestellt. Um die Bewegung einer Struktur zu rekonstruieren oder gleiche zeitliche Zustände einer sich bewegenden Struktur in der B-Mode-Darstellung vergleichen zu können, müssen jedoch Tangenten für die Messung immer am selben markanten Punkt dieser Struktur angelegt werden. Für die Zunge, die sich während ihrer Bewegung so vielfältig verformt, ist es schwierig, solche markanten Messpunkte zu finden. Morrish et al.⁶⁸ zeigten, dass die Zungenkontur, die beim Sprechen der Vokale entsteht, als Polynomfunktion höheren Grades dargestellt werden kann. Die Zunge nimmt für die Bildung eines Vokales eine bestimmte Stellung ein, die sie so lange beibehält, wie der Vokal gesprochen wird. Bei der Schluckbewegung verändert die Zunge ständig ihre Form.

Die meisten Untersucher gaben nur eine qualitative Beschreibung des Zungenrückens als eine wellenförmige Bewegung an. Es gibt nur wenige Arbeiten, die außerdem konkrete Merkmale aufzeigten, mit denen sich ein unphysiologisches Schlucken in der B-Mode-Darstellung charakterisieren lassen soll^{28, 29, 71}. Nach Fuhrmann und Diedrich²⁸ liegt ein viscerales Schlucken vor, wenn in der sonographischen B-Mode-Sequenz die Aufschauelfphase zu Beginn des Schluckens fehlt. In der vorliegenden Untersuchung zeigten die Probanden der Versuchs- und Kontrollgruppe zwar unterschiedliche Verteilungen der Bewegungsvarianten während der Anfangsphase. Es konnte aber gezeigt werden, dass bei jedem Probanden verschiedene Varianten möglich waren und neben Schluckverläufen mit vorhandener Aufschauelfphase Schluckverläufe mit fehlender Aufschauelfphase vorkamen. Fuhrmann und Diedrich²⁸ ließen die Probanden nach einer Wasseraufnahme von 1 - 3 ml schlucken, da sie davon ausgingen, dass diese Flüssigkeitsmenge der natürlichen Speichelmenge entspricht. Sie gaben an, dass die Schluckbewegung bei ihren Probanden mit einer im Mundboden liegenden Zunge begonnen wurde. Aus dieser tiefen Position heraus kann die Zunge nach den in der vorliegenden Untersuchung gemachten Beobachtungen im Abschnitt 5.1.1.1 zwei verschiedene Bewegungen durchführen: 1) die Zunge macht eine Aufschauelfbewegung nach oben zum Gaumen, 2) die Zunge führt eine einfache Aufwärtsbewegung mit anschließender Absenkung der Zungenmitte durch. Jedoch ist die physiologische Ruhelage der Zunge nicht im Mundboden sondern an der Papilla incisiva⁵⁵. Nun stellt sich die Frage, warum es auch in der vorliegenden Untersuchung

Schluckbewegungen aus einer tiefen Zungenposition gab, neben solchen aus einer kranialen Zungenlage. Es wird vermutet, dass bei einer größeren Speichelmenge, die Zunge sich nach unten positioniert, um den Speichel aufzuladen. Bei geringeren Speichelmengen fließt der Speichel vermutlich allein durch die Absenkung der Zungenoberfläche im mittleren oder dorsalen Abschnitt durch den Unterdruck auf den Zungenrücken. Allerdings ist die gebildete Speichelmenge eine nicht definierte Einflussgröße.

Fuhrmann und Diedrich²⁸ gaben weiterhin eine fehlende oder verzögerte Aufwärtsbewegung des anterioren Zungenabschnittes als Hinweis auf ein viscerales Schlucken an. Eine Bewegung des Zungenkörpers zum Gaumen war bei den visceral schluckenden gleichermaßen wie bei den somatisch schluckenden Probanden zu beobachten, wenn der anteriore und der mittlere Zungenabschnitt nicht schon mit Schluckbeginn dem Gaumen anlagen. Um zu erkennen, ob die Zunge den Gaumen berührt, muss dieser sich nicht unbedingt als sonographische Struktur darstellen. Indirekt war der Zunge-Gaumen-Kontakt daran zu erkennen, dass der Zungenrücken, der durch das Gaumendach in seiner Bewegung nach kranial begrenzt war, als gekrümmte unveränderliche Linie in der B-Mode-Sequenz dargestellt wurde und vertikale Kontraktionen innerhalb der Zungenbinnenmuskulatur, die im M-Mode-Bild zu erkennen waren, sich nicht bis auf die Zungenoberfläche fortsetzten. Entweder konnten eine Aufwärtsbewegung des Zungenrückens oder vertikale Kontraktionen der Zungenmuskulatur beobachtet werden.

Von verschiedenen Untersuchern wurden vermehrte Kontraktionswellen als Koordinationsstörungen der Schluckbewegung gewertet^{28, 71}. In der vorliegenden Untersuchung kamen bis zu zwei Wiederholungen der Wellenbewegung vor. Vermehrte Kontraktionswellen sind vermutlich Wiederholungen der Transportphase, die sowohl bei somatisch als auch bei visceral schluckenden Probanden vorkommen und nicht immer auf eine Schluckstörung hindeuten (Abschnitt 6.2, Seite 56).

7.5.2 Einteilung und Beschreibung der Schluckphasen

Die von Peng et al.⁷⁵ definierten drei großen Schluckphasen (Anfangsphase, Transportphase und Rückkehrphase) und die von den Autoren festgelegten Phasengrenzen konnten in der B-Mode-Sequenz wiedererkannt werden.

Zusätzlich zu den drei Varianten der Anfangsphase wurden in der vorliegenden Arbeit zwei weitere Varianten der Zungenbewegung während dieser Phase gefunden (Abschnitt 5.1.1.1, Seite 33). Dazu gehören Aufschaukelbewegungen, wie sie andere Untersucher für das Schlucken von Flüssigkeiten beschrieben haben^{28-30, 116}. Außerdem konnten Schluckbewegungen ausgemacht werden, in denen der Zungenmittelteil sich zwischen den Schluckakten nicht vom Gaumen löste und die folgende Schluckbewegung aus diesem bestehenden Zunge-Gaumen-Kontakt heraus entstand. Die Probanden in der vorliegenden Studie wurden nicht aufgefordert, die Zunge vom Gaumen zu nehmen, um die Zungenposition nicht zu beeinflussen. Wenn der Untersucher den Probanden auffordert die Zunge vom Gaumen zu bewegen, wie dies Stone und Shawker¹⁰⁰ getan haben, kann diese Schluckform nicht beobachtet werden.

7.5.3 Schluckbewegung im M-Mode-Bild

Die von Peng et al.⁷⁵ beschriebene Schluckkurvenform der Zungenoberfläche im M-Mode-Bild mit ihren unterschiedlichen Varianten hat immer eine Kranialspur in ihrem Verlauf. Diese soll der Phase IIa (frühe Transportphase) entsprechen. Eine Kranialspur konnte im M-Mode-Bild bei Schluckverläufen mit den Anfangsphasen 1 bis 4 gefunden werden, in denen die Wellenbewegung im mittleren Zungenabschnitt begann. Jedoch gab es bei Schluckbewegungen mit der Anfangsphase 5, in denen die Wellenbewegung nur im dorsalen - vom Ultraschallstrahl nicht mehr erfassten - Zungenabschnitt ihren Anfang nahm, keine Kranialspur innerhalb der Schluckkurve.

Außerdem zeigte sich, dass die Umkehrpunkte der M-Mode-Kurve der Zungenoberfläche nicht genau mit den Phasenwechseln korrelierten, wie Peng et al.⁷⁵ in ihrer Auswertungsmethode beschrieben haben. Beim Vergleich der B-Mode-Darstellung mit der M-Mode-Darstellung wichen die Phasengrenzen um bis zu 300 ms von diesen Punkten ab. Auch war eine Beschreibung der Zungenbewegung ohne die B-Mode-Darstellung allein anhand des Linienverlaufs im M-Mode-Bild nicht möglich. So können qualitativ unterschiedliche Zungenbewegungen im Bereich des sonographisch erfassten Zungenrückens ähnliche M-Mode-Kurvenverläufe hervorrufen. Sobald zum Beispiel die von der Scanlinie erfasste Zungenoberfläche gegen den Gaumen gepresst wird, stellt sich die Zungenoberfläche als unbewegliche Linie im M-Mode-Bild dar,

während der weiter anterior oder weiter dorsal liegende Zungenrücken in Bewegung sein kann.

Peng et al.⁷⁷ gaben in einer weiteren Arbeit an, dass sie eine veränderte Bewegungsrichtung des M. genioglossus während der Initialphase bei visceral schluckenden Probanden beobachtet haben, wenn die M-Mode-Scanlinie in Richtung Zungenspitze eingestellt wird. Bei Einstellung der Scanlinie in der Zungenmitte, wie in der vorliegenden Untersuchung, zeigten die Kurven von Zungenbinnenmuskulatur und M. genioglossus einen ähnlichen Verlauf wie die Zungenoberfläche, außer bei Schluckbewegungen, in denen die Wellenbewegung nicht im mittleren, sondern erst im dorsalen Zungenabschnitt begann. Die Kurven waren bei den meisten Probanden zueinander zeitlich gering verschoben. Jedoch konnte keine entgegengesetzte Bewegungsrichtung des M. genioglossus bei visceral schluckenden gegenüber somatisch schluckenden Probanden beobachtet werden. Es zeigte sich, dass der Kurvenverlauf der Mundbodenmuskulatur durch die Variante der Anfangsphase bestimmt wurde, wobei alle Varianten der Anfangsphase sowohl bei somatisch als auch bei visceral schluckenden Probanden vorkamen.

7.5.4 Individuelle Variabilität

Hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes, der Amplitude und der Geschwindigkeit der Vertikalbewegung des Zungenrückens wurde eine erhebliche intra- und interindividuelle Variabilität beobachtet, die auch in Studien^{23, 39, 50, 96, 106} festgestellt wurde, die mit anderen Methoden als der Sonographie arbeiteten.

Die Variabilität der Schluckbewegung zeigte sich auch darin, dass bei einem Probanden, unabhängig ob ein viscerales oder somatisches Schluckmuster vorlag, meist mehr als nur eine Variante der Zungenbewegung während der Anfangsphase gefunden wurde, die den anfänglichen Verlauf der Schluckkurve bestimmte. Weiterhin wurde der Zungenmittelteil am Ende des Schluckvorgangs unterschiedlich schnell vom Gaumen gelöst, so dass die Kurven im M-Mode-Bild intraindividuell unterschiedlich endeten. Natürlich stellt sich auch hier die Frage, ob diese Variabilität sich verringert, wenn nicht auf das Schlucken geachtet wird, sondern es unbewusst abläuft.

Trotz dieser Variabilität konnte eine intraindividuell konstante Sequenz innerhalb der Schluckbewegungen festgestellt werden. Sie umfasst den Zeitraum, in dem das

Zungenbein seine anteriore Position einnimmt und wieder verlässt, während die Zunge dem Gaumen anliegt. So bestätigen die Ergebnisse dieser Arbeit die Untersuchungen von Chi-Fishman et al.¹⁶, die das Schlucken als ein Bewegungsprogramm mit konstanten und variablen Sequenzen beschrieben haben.

7.5.5 Amplitude

Hirai et al.⁴⁶ waren die ersten, die Bewegungen des mittleren Zungenabschnittes beim Einnehmen einer bestimmten Zungenposition in der vertikalen Dimension als Amplitude im M-Mode-Bild gemessen haben. Bei ihnen waren jedoch Sonde und Kopf zueinander nicht fest positioniert. Erst durch die von Peng et al.⁷⁵⁻⁷⁸, Stone⁹⁸ sowie Stone und Davis⁹⁹ vorgestellte Fixierung von Sonde und Kopf wurde es möglich, einen amplitudenförmigen Ausschlag der M-Mode-Linie der Zungenoberfläche zu erhalten, der nicht durch relative Bewegungen der Schallsonde und des Kopfes zueinander überlagert wird.

Peng et al.⁷⁵ haben den von der Zunge in der vertikalen Dimension zurückgelegten Weg über den gesamten Schluckvorgang gemessen. Jedoch ist anzunehmen, dass die Zunge bei Schluckvorgängen mit der Anfangsphase 2, bei der sie sich vor der wellenförmigen Auslenkung erst zum Gaumen bewegt, eine längere Wegstrecke zurücklegt als bei Schluckvorgängen mit der Anfangsphase 3, wo sich die Zunge mit Schluckbeginn schon am Gaumen befindet.

Um die Beweglichkeit der Zunge intraindividuell zu vergleichen, wurde in der vorliegenden Untersuchung ein Bewegungsabschnitt ausgewählt, der bei den meisten Schluckverläufen enthalten ist. Er umfasst die Kranialspur, bei der sich die Zunge aus ihrer stärksten konkaven Form heraus dem Gaumen anlagert. Sie tritt mit Ausnahme der Schluckverläufe mit der Anfangsphase 5 bei allen anderen auf. Damit kann die Amplitude dieser Studie nicht mit der Amplitude der Arbeit von Peng et al.⁷⁵ verglichen werden. Wegen der individuell variierenden Größe der Mundhöhle werden hier jedoch ohnehin keine quantitativen Vergleiche zwischen verschiedenen Probanden gemacht. Aus dem selben Grund gibt es in der vorliegenden Untersuchung keinen Vergleich zwischen den Amplituden der Kontroll- und Versuchsgruppe und auch keinen Vergleich zwischen den Amplituden der Probanden dieser und anderer Studien. Die Erwartung, dass die Bewegung des mittleren Zungenrückens beim Leerschlucken individuell

konstant ist, konnte nicht bestätigt werden. Die vertikale Bewegung der Zunge variierte und war zum Teil so gering, dass der mittlere Zungenrücken keine vertikale Bewegung vollführte und dadurch kein Ausschlag im M-Mode-Bild als Amplitude gemessen werden konnte. Die Variation zeigte sich schon während eines einzelnen Schluckvorganges, bei dem die Wellenbewegung wiederholt wurde, aber mit unterschiedlicher Ausprägung. Ursache der starken Schwankungen der Amplitude im M-Mode-Bild kann sein, dass die Wellenbewegung in unterschiedlicher Weise und an unterschiedlichen Stellen der Zungenoberfläche beginnt. Vom Ultraschallstrahl wird die mit der Wellenbewegung entstehende Konkavität in Abhängigkeit vom Ort ihrer Entstehung und ihrer größten Ausdehnung entweder im Zenit oder nur im Randbereich erfasst. Kikyo et al.⁵⁴ beobachteten in ihrer Untersuchung, dass bei Kindern mit visceralem Schluckmuster eine deutlich ausgeprägtere Absenkung gebildet wird als bei Kindern mit somatischem Schlucken. Sie führten die Untersuchung in der transversalen Ebene und nicht wie in der vorliegenden Untersuchung in der sagittalen Ebene durch. Eine abnehmende oder zunehmende Bewegungsamplitude der Zunge an der untersuchten Stelle durch eine absolvierte myofunktionelle Therapie konnte in der sagittalen Untersuchungsebene nicht festgestellt werden.

Das individuell in sagittaler und transversaler Richtung gekrümmte Gaumendach bestimmt das maximale Ausmaß der Zungenbewegung. Der vertikale Bewegungsspielraum der Zunge nimmt in der Medianebene von anterior nach posterior bis zum höchsten Punkt des Gaumengewölbes zu und weiter dorsal wieder ab. Dadurch ist die maximal mögliche Zungenbewegung ortsabhängig. Um die Amplitude als Maß einer vertikalen Bewegung der Zunge longitudinal bewerten zu können, muss man wissen, an welcher Gaumenposition sie gemessen wurde. Eine definierte Positionierung der Sonde und damit des Schallsektors zum Gaumen ist aber praktisch nicht möglich. Der Schallsektor kann nur zu definierten Linien des Kopfes (Frankfurter Horizontale, Nasion-Weichteilpogonion, Augenlinie, Nasion-Tragus) ausgerichtet werden, um bei Wiederholungen den Ort der Messungen immer gleich zu wählen. In welchem Winkel und an welcher Stelle genau die Ultraschallstrahlen den Gaumen als auch die Zunge dann treffen, hängt vom individuellen Schädelaufbau ab.

Aus diesem Grund ist es schwierig aus der Amplitude im M-Mode-Bild Rückschlüsse auf die Beweglichkeit der Zunge zu ziehen.

7.5.6 Geschwindigkeit

Im M-Mode-Bild kann die Geschwindigkeit vertikaler Zungenbewegungen als Anstieg einer Kranial- oder Kaudalspur ermittelt werden. So kann einerseits bestimmt werden, wie schnell sich die Zunge zum Gaumen bei der Anfangsphase 2 bewegt. Andererseits kann in Schluckvorgängen, in denen sich am Ende die Zunge vom Gaumen löst, die Geschwindigkeit dieser Abwärtsbewegung bestimmt werden. Gleichermaßen ist so die Geschwindigkeit zu ermitteln, mit der sich die Zunge bei Schluckbewegungen mit den Anfangsphasen 1 bis 4 konkav einsenkt und wieder zum Gaumen wölbt.

In der hier vorliegenden Untersuchung wurde die Geschwindigkeit, mit der sich die Zunge aus ihrer konkaven Form heraus an den Gaumen bewegte, bestimmt. Die dabei entstehende Kranialspur im M-Mode-Bild tritt bei allen Schluckverläufen auf, die mit der Anfangsphase 1 bis 4 beginnen, und kann deshalb für einen Vergleich herangezogen werden. Die Geschwindigkeit kann jedoch nur als Durchschnittsgröße angegeben werden, da die Kranialspuren wie die Kaudalspuren im M-Mode-Bild nicht linear verlaufen. Bei Vorkommen mehrerer Kaudal- und Kranialspuren in einem Schluckverlauf durch Wiederholung der Wellenbewegung innerhalb der Transportphase weisen diese nicht die gleiche Steigung auf. Dies zeigt, dass die Geschwindigkeit intra-individuell variiert.

Bei der Kontrollgruppe wurden individuell durchschnittliche Werte von minimal 46 mm/s bis maximal 96 mm/s ermittelt. In der Versuchsgruppe wurden vor myofunktionaler Therapie ähnliche, individuell durchschnittliche Werte von minimal 42 mm/s bis maximal 106 mm/s gefunden. Sie stimmen mit den von Stone und Shawker¹⁰⁰ angegebenen Durchschnittsgeschwindigkeiten überein. In ihrer Untersuchung ermittelten sie individuell verschiedene Durchschnittsgeschwindigkeiten für vertikale Bewegungen von minimal 6 mm/s bis maximal 121 mm/s und gaben an, dass die Geschwindigkeiten für sagittale Bewegungen der Zunge geringer sind und weniger differieren als bei vertikalen Zungenbewegungen. Hamlet³⁹ gab Höchstgeschwindigkeiten der Zungenoberfläche verschiedener Probanden mit minimal 46 mm/s und maximal 207 mm/s an. Peng et al.⁷⁵ gaben für die oben beschriebene Kranialspur, die in deren Arbeit der Phase IIa (frühe Transportphase) entspricht, Geschwindigkeiten zwischen 20 mm/s und 306 mm/s an.

Im anschließenden Zeitintervall, in dem die Zunge im untersuchten Mittelteil gegen den Gaumen drückte, war im M-Mode-Bild der vorliegenden Untersuchung eine

Horizontalspur zu erkennen. Der Anstieg und damit die Geschwindigkeit einer vertikalen Bewegungskomponente betrug während dieser Zeit annähernd null. Für diesen Kurvenabschnitt, der in der Arbeit von Peng et al.⁷⁵ der Phase IIb (späte Transportphase) entsprechen soll, ermittelten Peng und Mitarbeiter hingegen eine Zungengeschwindigkeit von $4,19 \pm 9,98$ mm/s für somatisch schluckende und $1,48 \pm 2,09$ mm/s für visceral schluckende Probanden und gaben an, dass bezüglich dieses Parameters ein signifikanter Unterschied zwischen visceralem und somatischem Schluckmuster besteht. Ovsenik et al.⁷⁴ fanden hingegen eine vergrößerte Geschwindigkeit bei visceral schluckenden Probanden in der Phase IIa (frühe Transportphase). Der von Peng et al.⁷⁵ gefundene Unterschied der Geschwindigkeiten zwischen visceralen und somatischen Schluckverläufen ist sehr klein. Angesichts der großen intraindividuellen Variabilität, die bisher von keiner Studie in ihrem Ausmaß gänzlich erfasst werden konnte und der maximal möglichen axialen Bildauflösung von 0,6 mm der verwendeten Sonde, sowie der Berechnung der Geschwindigkeit aus den mit Messfehlern behafteten Parametern Amplitude und Dauer ist ein Unterschied in dieser Größenordnung meiner Meinung nach nicht feststellbar.

In der vorliegenden Untersuchung hatte sich die mittlere Geschwindigkeit in der Versuchsgruppe nach der myofunktionellen Therapie auf 71 mm/s signifikant reduziert. Die Patienten waren nach myofunktioneller Therapie bestrebt, die Zunge so zu bewegen, wie es ihnen der Logopäde beigebracht hat. Es wird vermutet, dass die neu erlernte Bewegung langsamer erfolgte als die gewohnte Funktion.

7.5.7 Schluckdauer

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Dauer der Schluckbewegungen wie auch in anderen Studien^{49, 71, 94} anhand der Zungenbewegung bestimmt.

Dabei eignet sich die M-Mode-Aufzeichnung der Zungenbewegung besser zur Bestimmung der Schluckdauer als die B-Mode-Darstellung, da schon geringe Muskelkontraktionen wahrgenommen werden, wohingegen in der B-Mode-Sequenz isometrische Anspannungen, die ohne eine Ortsveränderung der Strukturen ablaufen, leicht übersehen werden.

Es kann bestätigt werden, dass Bewegungen der Zunge im anterioren oder posterioren Abschnitt sich auch im mittleren Zungenabschnitt in der Zungenbinnenmuskulatur

äußern, so dass die Aufzeichnung der mittleren Zungenmuskulatur genügt, um Anfang und Ende des Schluckvorgangs zu erfassen⁷⁵⁻⁷⁸. Die Werte der mittleren Leerschluckdauer der einzelnen Probanden lagen in dem von Peng et al.⁷⁵, Söder und Miller⁹⁴ sowie Sonies und Mitarbeiter⁹⁵ gemessenen Intervall.

Die Schluckdauer der Probanden mit visceralem Schluckmuster vor myofunktioneller Behandlung mit individuell durchschnittlichen Werten von 1,4 s bis 2,3 s unterschied sich nicht signifikant von der Schluckdauer der Probanden der Kontrollgruppe mit individuell durchschnittlichen Werten von 1,5 s bis 2,5 s. Auch Karaçay et al.⁵² kamen in ihrer Untersuchung mittels Magnetresonanztomographie zu dem Ergebnis, dass die Dauer der oralen Phase der Schluckbewegung sich zwischen Probanden mit visceralem und physiologischem Schluckmuster nicht unterscheidet. Damit können die Ergebnisse von Alexander und Sudha⁴ sowie Ovsenik et al.⁷⁴ mit der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden, wonach viscerales Schlucken länger dauern soll als somatisches Schlucken. Ovsenik et al.⁷⁴ gaben als Erklärung eine tief liegende Zungenposition an, aus der ein längerer Weg zurückgelegt werden muss als aus der physiologischen Zungenlage am anterioren Gaumen. Jedoch ist abermals anzumerken, dass gerade die Abstützung der Zunge am Gaumen gestört ist und die Zungenspitze sich beim visceralen Schlucken nicht zur Papilla incisiva bewegt, sondern sich weiter kaudal gegen oder zwischen die Zähne drückt. Die Vermutung liegt nahe, dass der Zungenmittelteil durch eine tief liegende Zungenspitze ebenso weiter kaudal ruht. Jedoch berührte in dieser Untersuchung der Zungenmittelteil bei einigen Schluckverläufen in der Gruppe der visceral schluckenden Probanden vor Schluckbeginn bereits den Gaumen, so dass diese Vermutung nicht bestätigt werden kann.

Peng et al.⁷⁵ stellten fest, dass der Schluckvorgang nicht in jedem Fall mit einem Lösen des mittleren Zungenrückens vom Gaumen enden muss. Bei einigen Probanden der vorliegenden Untersuchung stellte sich im M-Mode-Verlauf ein Ruhezustand mit parallelen Linienbändern ein, während der mittlere Zungenabschnitt noch am Gaumen haften blieb. Bei Messungen der Schluckdauer mittels Elektropalatographie kann als das Ende der Schluckbewegung nur das Lösen des Zunge-Gaumen-Kontakts gemessen werden. Ichida et al.⁴⁹ untersuchten die Schluckdauer mittels Elektropalatographie. Sie fanden, dass die Schluckdauer bei visceral schluckenden Probanden verlängert ist, was aus oben genanntem Grund jedoch in Frage gestellt werden muss.

Stone und Shawker¹⁰⁰ fanden in ihrer Untersuchung heraus, dass der Zunge-Gaumen-Kontakt nicht gelöst wird, bevor das Zungenbein seine maximal anteriore Position wieder verlassen hat. Verbleibt die Zunge am Gaumen, ist anzunehmen, dass die Ruhephase der Zungenmuskulatur schon eintritt, während sich das Zungenbein zurückbewegt. Löst sich hingegen die Zunge vom Gaumen, kann es sein, dass die Zunge sich noch bewegt, während das Zungenbein seine Ausgangsposition schon wieder eingenommen hat. Damit stellt sich die Frage, ob die orale Schluckphase mit der Ruhe der Zungenmuskulatur beendet ist oder erst dann, wenn das Zungenbein seine Ausgangsposition wieder erreicht hat oder aber wenn sowohl die Zunge als auch das Zungenbein in Ruhe sind. Das Zungenbein war jedoch im Ultraschallbild nicht über den gesamten Zeitraum des Schluckens zu sehen, sondern zeigte sich erst am rechten Rand des B-Mode-Bildes, wenn es sich bereits aus seiner Ruheposition in den Ultraschallsektor hinein bewegt hatte. Deshalb konnte in der vorliegenden Arbeit die Schluckdauer nur anhand der Zungenmuskulatur bestimmt werden.

Wie das Ende ist auch der Beginn der Schluckbewegung in der Literatur unterschiedlich definiert. So werden je nach Untersucher und Methode verschiedene Strukturen angegeben, anhand derer Aktivität die Schluckmessungen erfolgten. Deshalb können die Schluckdauern, ermittelt durch unterschiedliche Untersucher und Methoden, nur unzureichend miteinander verglichen werden. Abe et al.¹ haben sich für die EMG-Messungen mit dieser Problematik beschäftigt und erklärten, dass der Beginn der Muskelkontraktionen aller am Schlucken beteiligten Muskeln und die Bewegung des Larynx simultan aufgezeichnet werden müssten, um die orale Schluckdauer genau zu bestimmen. Weiterhin stellte Hiraoka⁴⁸ fest, dass die Schluckdauer davon abhängt, ob die Zähne okkludieren oder nicht. Beim Kontakt der Zähne soll die Schluckdauer signifikant kürzer sein als bei fehlendem Kontakt. In früheren Studien wurde dies nicht berücksichtigt oder davon ausgegangen, dass beim Schlucken immer ein Zahnkontakt erfolgt. Bei der vorliegenden Untersuchung sollten die Probanden aus der Schlussbissstellung heraus schlucken. Bei den visceral schluckenden Probanden schiebt sich jedoch beim Schlucken die Zunge zwischen die Zähne^{12, 55}. Wenn die Probanden der vorliegenden Untersuchung beim Schlucken den Zahnkontakt lösten, blieb dies unerkannt.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Schluckdauer von folgenden Faktoren mehr oder weniger beeinflusst wird: 1. dem Bewegungsverlauf am Ende des Schluckvorgangs, 2. der Variante der Anfangsphase, 3. der Geschwindigkeit der

Zungenbewegung, 4. der Amplitude einer vertikalen Bewegung, 5. der Anzahl der Wellenbewegungen, 6. der erfolgten oder ausbleibenden Okklusion der Zähne.

Es konnte gezeigt werden, dass die meisten dieser Einflussgrößen selbst einer großen Variabilität unterliegen und nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Auf Grund der vielfältigen Einflussmöglichkeiten eignet sich die Schluckdauer nicht für einen Vergleich zwischen visceralem und somatischem Schluckmuster.

Die signifikante Veränderung der Schluckdauer der Probanden der Versuchsgruppe nach myofunktioneller Therapie kann durch die veränderte Häufigkeitsverteilung der Anfangsphase während der Nachuntersuchung (Abschnitt 6.5.2, Seite 63), durch die reduzierte Geschwindigkeit (Abschnitt 6.4.2, Seite 59) als auch durch die Zunahme der Wellenbewegungen pro Schluckverlauf (Abschnitt 6.2.2, Seite 56) nach myofunktioneller Therapie verursacht sein. Doch ob alle diese Veränderungen Folge der Therapie sind, wird bezweifelt. Viel eher sind sie Folge der individuellen Variabilität. Um diese zu erfassen bedarf es einer Langzeituntersuchung, bei der die selben Probanden mehrmals zu unterschiedlichen Zeiten untersucht werden müssten.

7.5.8 Klinische Hinweise

Obwohl in dieser Untersuchung keine Unterschiede zwischen den Probanden der Versuchsgruppe vor und nach myofunktioneller Therapie gefunden wurden, bedeutet dies nicht, dass die Veränderungen der Schluckfunktion nicht durch eine andere Untersuchungstechnik (Abschnitt 2.2) objektiv erfasst worden wären.

Das viscerale Schluckmuster stellt ein Symptomenkomplex dar (Abschnitt 2.1.3). Die hier gewählte sonographische Untersuchungsmethode erfasste jedoch nur einige Eigenschaften der orofazialen Funktion. Diese zeigten eine große intraindividuelle Streuung, die Vergleiche erschwerte bzw. nicht sinnvoll machte. Aus diesem Grund eignet sich die in der vorliegenden Arbeit verwendete sonographische Untersuchungsmethode nicht, Unterschiede zwischen visceralem und somatischem Schlucken festzustellen.

8 Schlussfolgerungen

Bei Überprüfung der Analysemethode nach Peng et al.⁷⁵ wurde festgestellt: In der B-Mode-Sequenz kann der Schluckvorgang in Anfangsphase, Transportphase und Rückkehrphase eingeteilt werden. Für die Anfangsphase gibt es fünf Bewegungsvarianten, die sich durch die Ausgangslage der Zunge unterscheiden. Im M-Mode-Bild ist während der Schluckbewegung eine Schluckkurve im Bereich der Zungenoberfläche zu erkennen. Diese Schluckkurve ist intraindividuell nicht eindeutig reproduzierbar. In der M-Mode-Darstellung gibt es einen Abschnitt, in dem die Kurve der Zungenoberfläche immer horizontal verläuft und das Kurvenmuster der Zungenmuskulatur intraindividuell annähernd konstant ist. Dieser Abschnitt fällt mit dem Zeitintervall zusammen, in dem das Zungenbein seine am weitesten anteriore Position einnimmt und wieder verläßt, während die Zunge dem Gaumen anliegt. Vor und hinter diesem Abschnitt variiert die Schluckkurve intraindividuell in Amplitude, Anstieg und zeitlichem Verlauf.

Die Phasengrenzen fallen nicht mit markanten Punkten der M-Mode-Schluckkurve zusammen, so dass zwar die Gesamtschluckdauer, aber nicht die Dauer der einzelnen Schluckphasen bestimmt werden kann.

Von der dreidimensionalen Zungenbewegung wird in der M-Mode-Darstellung nur die vertikale Bewegungskomponente an der vom Ultraschall erreichten Stelle erfasst. Parameter, die im M-Mode-Bild bestimmt werden können, sind neben der Gesamtschluckdauer, das Bewegungsausmaß der Zunge in vertikaler Richtung (Amplitude) und die Geschwindigkeit der vertikalen Bewegung (Anstieg).

Qualitative Veränderungen der Zungenbewegung nach myofunktioneller Therapie lassen sich in der B-Mode-Sequenz nicht sicher erkennen.

Veränderungen der Amplitude, der Geschwindigkeit oder der Gesamtschluckdauer nach myofunktioneller Therapie sind auf Grund der vielfältigen intraindividuellen Variation schwer zu erfassen. Für eine Differenzierung in viscerales oder somatisches Schlucken können sie nicht herangezogen werden.

Die hier gewählte sonographische Untersuchungsmethode eignet sich nicht, um die Diagnostik des visceralen Schluckmusters zu verbessern.

9 Zusammenfassungen

9.1 Deutsche Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Analyse­methode nach Peng et al.⁷⁵ zur quantitativen Bewegungs­beschreibung der Zunge während des Schluckens in der sonographischen M-Mode-Darstellung ergänzt durch die B-Mode-Darstellung angewendet und überprüft. Es sollte untersucht werden, ob die Bewegung des mittleren Zungenrückens intraindividuell konstant ist, welche Parameter im M-Mode-Bild erhoben werden können und inwieweit diese einem Vergleich zwischen visceralem und somatischem Schluckmuster dienen können. Ziel war es, herauszufinden, ob sich nach einer myofunktionellen Therapie Veränderungen im sonographischen Bild offenbaren, die zur Diagnose eines visceralen Schluckmusters herangezogen werden können.

11 Patienten, die aufgrund eines visceralen Schluckmusters eine myofunktionelle Therapie beginnen sollten, wurden einmal vor Beginn und einmal nach erfolgreichem Abschluss der Therapie mit dem Sonographiegerät Philips (ATL) HDI 2000 in der sonographischen B- und M-Mode-Darstellung untersucht. 13 Probanden, die keine Symptome des visceralen Schluckens sowie keine der für das viscerele Schlucken typischen Zahnfehlstellungen zeigten, dienten als Kontrollgruppe und wurden mit der gleichen Technik einmal untersucht. Die sonographische Untersuchung der Schluckbewegung erfolgte von submental in der Mediansagittalebene, senkrecht zur Frankfurter Horizontalen, wobei der Kopf der Probanden als auch die Sonde mit einer speziellen Vorrichtung fixiert wurden. Der Scanausschnitt für die M-Mode-Darstellung wurde mit einem Abstand von 3-4 cm von der Symphyse auf die Zungenmitte eingestellt. Mit dem Videorecorder (Schneider SVC 613) wurden mindestens 6 Leerschluckakte von jedem Probanden aufgezeichnet, die nacheinander, getrennt durch Ruhephasen erfolgten. Anschließend wurden die Videoaufnahmen mit dem Programm MainActor v3 (Fa Mainconcept AG, Aachen, Deutschland) digitalisiert und am Computer ausgewertet. Auf den B-Mode-Bildern wurde die Zungenbewegung qualitativ beurteilt. Für die M-Mode-Bilder wurde geprüft, inwieweit sich Parameter - wie von Peng und Mitarbeitern⁷⁵ angegeben - zur quantitativen Beschreibung der Zungenbewegung erheben lassen. Die M-Mode-Aufzeichnungen wurden mit dem Programm CorelDraw7 (Corel Corporation, Ottawa, Kanada) nach diesen Parametern vermessen.

Bei Anwendung der Analysemethode nach Peng et al.⁷⁵ konnte in der B-Mode-Sequenz der Schluckvorgang in Anfangsphase, Transportphase und Rückkehrphase eingeteilt werden. Für die Anfangsphase wurden fünf Bewegungsvarianten differenziert, die sowohl bei den visceral schluckenden Probanden der Versuchsgruppe als auch bei den Probanden der Kontrollgruppe vorkamen. Qualitative Unterschiede im Bewegungsverlauf der Zunge zwischen visceral und somatisch schluckenden Probanden als auch zwischen den Probanden vor und nach myofunktioneller Therapie konnten nicht beobachtet werden.

Beim Vergleich der B-Mode-Sequenzen mit den Schluckkurven im M-Mode-Bild stellte sich heraus, dass die Grenzen der Schluckphasen nicht mit markanten Punkten der Schluckkurven im M-Mode-Bild zusammenfielen.

Innerhalb der Schluckkurven im M-Mode-Bild gab es einen Abschnitt, in dem die Kontur der Zungenoberfläche immer horizontal verlief und das Kurvenmuster der Zungenmuskulatur intraindividuell konstant war. Außerhalb dieses Abschnitts variierten die Schluckkurven intraindividuell unterschiedlich stark in Amplitude, Anstieg und zeitlichem Verlauf.

Im M-Mode-Bild konnte die Gesamtdauer aber nicht die Dauer der einzelnen Schluckphasen gemessen werden. Das Bewegungsausmaß einer vertikalen Bewegung an der im M-Mode-Bild dargestellten Stelle konnte als Amplitude und die Geschwindigkeit einer vertikalen Bewegung aus dem Anstieg des entsprechenden Kurvenabschnitts bestimmt werden. Die mittlere Schluckdauer betrug für die Kontrollgruppe wie für die Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie 1,8 s. Für die Geschwindigkeit der Aufwärtsbewegung der Zunge zum Gaumen konnte in der Versuchsgruppe vor myofunktioneller Therapie durchschnittlich 78 mm/s ermittelt werden. Sie unterschied sich nicht signifikant von der mittleren Geschwindigkeit in der Kontrollgruppe mit 70 mm/s. Nach myofunktioneller Therapie war die mittlere Geschwindigkeit in der Versuchsgruppe signifikant reduziert, was vermutlich auf die ungewohnte Funktion zurückzuführen ist.

Schluckdauer, Geschwindigkeit und Amplitude zeigten eine große intraindividuelle Streuung, die einen intra- und interindividuellen Vergleich erschwert hat bzw. nicht sinnvoll machte.

Mit dem hier gewählten sonographischen Untersuchungsaufbau wurden keine qualitativen Unterschiede in der B-Mode-Darstellung und keine Parameter im M-Mode-Bild gefunden, die eine Differenzierung in viscerales und somatisches Schlucken

vereinfachen und objektivieren würden. Mit dieser sonographischen Untersuchung kann die Diagnostik des visceralen Schluckmuster nicht verbessert werden.

9.2 Summary

In this investigation quantitative ultrasound analysis of tongue function in M-mode images in combination with B-mode images presented by Peng et al. 1995⁷⁵ were used and tested. The objective was to investigate if intrapersonal tongue movement is constant and to find parameters in M-mode images describing differentiating visceral and somatic swallowing.

The aim of this study was, to find out whether a myofunctional therapy leads to changes in a ultrasonographical image, which can be used to improve diagnostic methods of visceral swallowing.

11 patients with infantile swallowing were ultrasonographically (Philips (ATL) HDI 2000, 5-7 MHz transducer) examined simultaneously in B- and M-mode before and after successful myofunctional therapy. As control group 13 adults with somatic swallowing were examined once with the same technique.

The transducer was submentally positioned with the scanning sector in the midsagittal plane, perpendicular to the Frankfurt horizontal plane, at defined distance from the symphysis. The M-mode scan sector was positioned through the central tongue blade. The subject's head rested on a supporting frame and the transducer was fixed to avoid relative movements between head and transducer. At least 6 empty swallowing acts separated by resting time for collecting saliva were videotaped (Schneider SVC 613), digitized (MainActor v3, Fa Mainconcept AG, Aachen, Germany) and later investigated. The B-mode illustrations of tongue movements were investigated qualitatively and the M-mode presentations were investigated according to Peng et al. 1995⁷⁵ were evaluated.

Based on the B-mode images tongue movements during swallowing were divided into 3 phases: initial phase, transport phase and recovering phase. However, instead of 3 patterns of tongue movements as presented by Peng et al. 1995⁷⁵ during the initial

stage 5 different patterns were observed, which were found in visceral as well as in somatic swallowers.

With the experimental set-up used in this studies tongue movements can be observed in the vertical plan, while movements in the transversal and sagittal direction are not visible. Qualitativ differences in vertical tongue movements between somatic and visceral swallowers and between subjects before and after myofunctional therapy were not detected on B-Mode sonograms.

B- and M-mode images were compared with one another. In contrast to previous findings by Peng et al. ⁷⁵ the differentiation between swallowing stages on B-mode images did not correspond in all cases with characteris points in the M-mode images. The duration of swallowing, the amplitude of vertical tongue movement and the velocity of the upward movement to the palate were measured (CorelDraw7, Corel Corporation, Ottawa, Kanada). But the duration of the various swallowing phases could not be measured.

Upward movements of the hyoid bone correlated in the M-mode images with more or less constant contraction of the intrinsic tongue musculature. Before and after this contraction the superficial wave-like tongue movement differed in amplitude, trace slope and duration.

The average swallowing time of 1.8 s in the control group was in line with the average swallowing time of 1,8 s in the group with visceral swallowers before myofunctional therapy. The average velocity was 70 mm/s for the control group and mean 78 mm/s in the patient group before myofunctional therapy. After myofunctional therapy the patient group showed a significantly reduced velocity.

Because of the high intrapersonal variability of the parameters swallowing time, velocity and amplitude of vertical tongue movement, it was difficult to draw intra- and interindividual comparisons.

This study revealed that ultrasound technique applied in this study is not suitable for clinical differentiation by visceral and somatic swallowing, as neither quantitative nor qualitative differences of sufficient reliability were detected.

10 Literaturverzeichnis

1. Abe S, Kaneko H, Nakamura Y, Watanabe Y, Shintani M, Hashimoto M, Yamane G, Ide Y, Shimono M, Ishikawa T, Yamada Y, Hayashi T. Experimental device for detecting laryngeal movement during swallowing. *Bull Tokyo Dent Coll* 2002;43:199-203.
2. Akiyoshi M, Suzuki S, Kawamura M, Terashima T, Noguchi K, Kuroda T. Study on the tongue movement and the tongue- palatal relation in deglutition. *J Jpn Orthod Soc* 1995;54:102-111.
3. Ardakani F. Evaluation of swallowing patterns of the tongue using real-time B-mode sonography. *J Contemp Dent Pract* 2006;7:67-74.
4. Alexander S, Sudha P. Genioglossis muscle electrical activity and associated arch dimensional changes in simple tongue thrust swallow pattern. *J Clin Pediatr Dent* 1997;21:213-222.
5. Anagnostara A, Stoeckli S, Weber OM, Kollias SS. Evaluation of the anatomical and functional properties of deglutition with various kinetic high-speed MRI sequences. *J Magn Reson Imaging* 2001;14:194-199.
6. Barrett R, Hanson M. *Oral myofunctional disorders*. C.V.Mosby Company, St. Louis 1974
7. Behlfelt K, Linder-Aronson S, Neander P. Posture of the head, the hyoid bone and the tongue in children with and without enlarged tonsils. *Eur J Orthod* 1990;12:458-467.
8. Benkert K. The effectiveness of orofacial myofunctional therapy in improving dental occlusion. *Int J Orofacial Myology* 1997;23:35-46
9. Blisset A, Prinz J, Wulfert F, Taylor A, Hort J. Effect of bolus size on chewing, swallowing, oral soft tissue and tongue movement. *J Oral Rehabil* 2007;34:572-582.
10. Böckler R, Wein B, Klajman S. Ultraschalluntersuchung der aktiven und passiven Beweglichkeit der Zunge. *Folia Phoniatr* 1989;41:277-282.
11. Bortz J. *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin 2005
12. Brückl H, Träger E. Untersuchung über Art und Häufigkeit anormaler Schluckmuster. *Fortschr Kieferorthop* 1962;23:197-202.
13. Brühlmann W. *Die röntgen-kinematographische Untersuchung von Störungen des Schluckens*. Hans Huber, Bern 1985
14. Cheng C, Peng C-L, Chiou H, Tsai C. Dentofacial morphology and tongue function during swallowing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122: 491-499.
15. Chi-Fishman G, Stone M. A new application for electropalatography: Swallowing. *Dysphagia* 1996;11:239-247.
16. Chi-Fishman G, Stone M, McCall G. Lingual action in normal sequential swallowing. *JSLHR* 1998;41: 771-785.

17. Clausnitzer R, Clausnitzer V. Relationship between dysgnathias, mode of formation of the sound S and abnormal deglutition. *Stomatol DDR* 1989;39:569-572.
18. Cleall J. Deglutition: A study of form and function. *Am J Orthodont* 1965;51:566-593.
19. Dodds W. Physiology of swallowing. *Dysphagia* 1989;3:171-178.
20. Dössel O. Bildgebende Verfahren in der Medizin. Springer, Heidelberg 2000: 194-195
21. Ekberg O, Hillarp B. Radiologic evaluation of the oral stage of swallowing. *Acta Radiol* 1986;27:533-537.
22. Engelke W. Die systematische Palatographie motorischer Zungenfunktionen, neue klinische Aspekte eines bekannten Verfahrens. *Sprache-Stimme-Gehör* 1989;13:127-129.
23. Engelke W, Engelke D, Schwestka R. Zur klinischen und instrumentellen Untersuchung motorischer Zungenfunktion. *Dtsch Zahnärztl Z* 1990;14: 348-358.
24. Engelke W, Müller C, Petersen CH. Elektromagnetische Untersuchungen zur Physiologie oropharyngealer Schluckbewegungen. *Sprache-Stimme-Gehör* 1995;19:105-113.
25. Engelke W, Schönle P, Kring R, Richter C. Zur Untersuchung orofazialer Bewegungsfunktionen mit der elektromagnetischen Artikulographie. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989;44,618-624.
26. Epstein M, Stone M. The tongue stops here: ultrasound imaging of the palate (L). *J Acoust Soc Am* 2005;118:2128-2131.
27. Findlay I, Kilpatrick S. An analysis of myographic records of swallowing in normal and abnormal subjects. *J Dent Res* 1960;39:629-635.
28. Fuhrmann R, Diedrich P. Einsatzmöglichkeiten der dynamischen Sonographie bei der Diagnostik von Zungenfunktionsstörungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:586-590.
29. Fuhrmann R, Diedrich P. Videogestützte dynamische B-Mode-Sonographie der Zungenfunktion während des Schluckens. *Fortschr Kieferorthp* 1993;54:17-26.
30. Fuhrmann R, Diedrich P. B-mode ultrasound scanning of the tongue during swallowing. *DMFR* 1994;23:211-215.
31. Fujiki T, Inoue M, Miyawaki S, Nagasaki T, Tanimoto K, Takano-Yamamoto T. Relationship between maxillofacial morphology and deglutitive tongue movement in patients with anterior open bite. *Angle Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:160-167.
32. Fujiki T, Takano-Yamamoto T, Noguchi H, Tamashiro T, Guan G, Tanimoto K. A cineradiographic study of deglutitive tongue movement and nasopharyngeal closure in patients with anterior open bites. *Angle Orthod* 2000;70:284-289.
33. Garliner D. Myofunktionelle Therapie in der Praxis. Hüthig, Heidelberg 1989
34. Gick B, Bird S, Wilson I. Techniques for field application of lingual ultrasound imaging. *Clin Linguist Phon* 2005,19:503-514.

35. Giuca M, Pasini M, Pagano A, Mummolo S, Vanni A. Longitudinal study on a rehabilitative model for correction of atypical swallowing. *Eur J Paediatr Dent* 2008;9:170-174
36. Graber T. „The three Ms“ muscles, malformation and malocclusion. *Am J Orthod* 1963;49:418-450.
37. Gritzmann N, Frühwald F. Sonographic anatomy of tongue and floor of the mouth. *Dysphagia* 1988;2:196-202.
38. Gross A, Kellum G, Hale S, Messer S, Benson B, Sisakun S, Bishop F. Myofunctional and dentofacial relationships in second grade children. *Angle Orthod* 1990;60:247-253.
39. Hamlet S. Dynamic aspects of lingual propulsive activity in swallowing. *Dysphagia* 1989;4:136-145.
40. Hanson M, Cohen M. Effects of form and function on swallowing and developing dentition. *Am J Orthodont* 1973;64:63-83.
41. Hardcastle W. The use of electropalatography in phonetic research. *Phonetics* 1972;25:197-215.
42. Harley W. Dynamic palatography: a study of linguopalatal contacts during the production of selected consonant sounds. *J Prosthet Dent* 1972;46:71-92.
43. Hartle DM, Albitzer M, Kolb F, Luboinski B, Sigal R. Morphologic parameters of normal swallowing events using single-shot fast spin echo dynamic MRI. *Dysphagia* 2003;18:255-262.
44. Harvold E. The role of function in the etiology and treatment of malocclusion. *Am J Orthod* 1968;54:883-897.
45. Heckmann U. Über den Einfluß der Zunge bei der Entstehung der Progenie. *Fortschr Kieferorthop* 1962;23:193-196.
46. Hirai T, Tanaka O, Koshino H, Takasaki H, Hashikawa Y, Yajima T, Matai N. Aging and tongue skill. Ultrasound (motion-mode) evaluation. *J Jpn Prosthodontic Soc* 1989;33:457-465.
47. Hirai T, Tanaka O, Koshino H, Yajima T. Ultrasound observations of tongue motor behavior. *J Prosthetic Dent* 1991;65:840-844.
48. Hiraoka H. Effect of teeth clenching on swallowing motor patterns in humans. *Int J Neurosci* 2006;116:1005-1012.
49. Ichida T, Takiguchi R, Yamada K. Relationship between the lingual-palatal contact duration associated with swallowing and maxillofacial morphology with the use of electropalatography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:146-151.
50. Inagaki D, Miyaoka Y, Ashida I, Ueda K, Yamada Y. Influences of body posture on duration of oral swallowing in normal young adults. *J Oral Rehabil* 2007;34:414-421.
51. Jacob JF, Kahrilas PJ, Logemann JA, Tracy K, Lazarus C, McLaughlin B. Bolus viscosity and volume affect strap muscle EMG activity during swallowing. *Gastroenterology* 1988;95:873-880.

52. Karaçay S, Akin E, Sayin M, Bulakbasi N. Real time balanced turbo field echo Cine-MRI in the analysis of deglutition events and transit times. *J Oral Rehabil* 2006;33:646-653.
53. Kawamura M, Mojima K, Yamaguchi H. A cineradiographic study of deglutitive tongue movement in patients with anterior open bite. *Bull Tokyo Dent Coll* 2003;44:133-139.
54. Kikyo T, Saito M, Ishkawa M. A study comparing ultrasound images of tongue movements between open bite children and normal children in the early mixed dentition period. *J Med Dent Sci* 1999;46:127-137.
55. Kittel A. *Myofunktionelle Therapie*. Schulz-Kirchner, Idstein, 2001
56. Kittel A, Jenatschke F. *Myofunktionelle Therapie bei Dysfunktion der Zungen-, Kiefer-, und Gesichtsmuskulatur*. *Sprache-Stimme-Gehör*;8:113-116,1984
57. Krmpotić-Nemanić J. Anatomie des Schluckaktes. *Ther Umsch* 1991;3:139-143.
58. Kydd W, Akamine J, Mendel R, Kraus B. Tongue and lip forces exerted during deglutition in subjects with and without open bites. *J Dent Res* 1963;42:858-866.
59. Kydd W, Neff C. Frequency of deglutition of tongue thrusters compared to a sample population of normal swallows. *J Dent Res* 1964;43:363-369.
60. Lauder R, Muhl Z. Estimation of tongue volume from magnetic resonance imaging. *Angle Orthod* 1991;61:175-183.
61. Levrini A. Atypical deglutition and functional myotherapy. *Mondo Ortod* 1977;3:24-48
62. Leow LP, Huckabee ML, Sharma S, Tooley TP. The influence of taste on swallowing apnea, oral preparation time, and duration and amplitude of submental muscle contraction. *Chem Senses* 2007;32:119-28.
63. Logemann JA. Swallowing physiology and pathophysiology. *Otolaryngol Clin North Am* 1988;21: 613-623.
64. Lundstrom F, Lundstrom A. Natural head position as a basic for cephalometric analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:244-247
65. Melson B, Attina L, Santuari M, Attina A. Relationships between swallowing pattern, mode of respiration, and development of malocclusion. *Angle Orthod* 1987;57:113-119.
66. Mikell B. Recognizing tongue related malocclusion. *Int J Orofac Myol* 1982;10:12-16.
67. Miller J, Watkin K. The influence of bolus volume and viscosity on anterior lingual force during the oral stage of swallowing. *Dysphagia* 1996;11:117-124.
68. Morrish K, Stone M, Shawker T, Sonies B. Distinguishability of tongue shape during vowel production. *J Phonet* 1985;13:189-204.
69. Moyer R. *Handbook of Orthodontics*, 3. Auflage. Year Book Medical Publishers, Chicago, 1974
70. Müßig D. Die Sonographie - ein diagnostisches Mittel zur dynamischen Funktionsanalyse der Zunge. *Fortschr Kieferorthop* 1992;53:338-343.

71. Neuschaefer-Rube C, Wein B, Angerstein W, Klajman jr. S, Fischer-Wein G. Sektorbezogene Grauwertanalyse videasonographisch aufgezeichneter Zungenbewegungen beim Schlucken. *HNO* 1997;45:556-562.
72. Ono T, Hori K, Nokubi T. Pattern of tongue pressure on hard palate during swallowing. *Dysphagia* 2004;19:259-264.
73. Orth H, Block R. Die Beeinflussung orofazialer Funktionen durch die Wirbelsäulenhaltung. *Der Kinderarzt* 1987;18,1173-1177.
74. Ovsenik M, Volk J, Music M, Melnik S. Ultrasound analysis of tongue function in patients with unilateral crossbite. Abstract. *Eur J Orthod* 2007;29.
75. Peng C-L, Jost-Brinkmann P-G, Lin CT. Einteilung und Interpretation der oralen Schluckphase mittels B+M-Mode-Sonographie. *Radiologie* 1995;35:747-752.
76. Peng C-L, Jost-Brinkmann P-G, Miethke R-R, Lin C. Ultrasonographic measurement of tongue movement during swallowing. *J Ultrasound Med* 2000;19:15-20.
77. Peng C-L, Jost-Brinkmann P-G, Miethke R-R, Noriaki Y, Che-Tong L. Differential diagnosis between infantile and mature swallowing with ultrasonography. *Eur J Orthod* 2003;25:451-456.
78. Peng C-L, Jost-Brinkmann P-G, Yoshida N, Chou HH, Lin CT. Comparison of tongue functions between mature and tongue-thrust swallowing – an ultrasound investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:562-570.
79. Perlman AL, Palmer PM, McCulloch TM, Vandaele DJ. Electromyographic activity from human laryngeal, pharyngeal, and submental muscles during swallowing. *J Appl Physiol* 1999;86:1663-1669.
80. Pfeiffer K, Vogt L. Elektromyographie. Banzer W, Pfeiffer K, Vogt L. Sportmedizinische Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems. Springer, Berlin 2004;165-182.
81. Proffit WR. Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. *Angle Orthod* 1978;48:175-186.
82. Rademaker AW, Pauloski BR, Colangelo LA, Logeman JA. Age and volume effects on liquid swallowing function in normal women. *J Speech Lang Hear Res* 1998;41:275-284.
83. Rakosi T. Variationen des Schluckaktes. *Fortschr Kieferorthp* 1970;31:81-86.
84. Rakosi T, Jonas I. Kieferorthopädische Diagnostik. Thieme, Stuttgart 1989
85. Rix R. Deglutition and teeth. *Dent Rec* 1946;66:103-108.
86. Ruark J, McCullough G, Peters R, Moore C. Bolus consistency and swallowing in children and adults. *Dysphagia* 2002;17:24-33.
87. Schmidt G. Ultrasound. Thieme, Stuttgart 2006
88. Schmuth G. Das Verhalten der Zunge bei verschiedenen Funktionsabläufen. *Fortsch Kieferorthop* 1967;27:271-274.

89. Schwestka-Polly P, Engelke W, Engelke D. Bedeutung der elektromagnetischen Artikulographie bei der Untersuchung der motorischen Zungenfunktion im Rahmen der kieferorthopädischen Diagnostik. *Fortschr Kieferorthp* 1992;53:3-10.
90. Shawker TH, Sonies B, Hall TE, Baum B. Ultrasound analysis of tongue, hyoid, and larynx activity during swallowing. *Invest Radiol* 1984;19:82-86.
91. Shawker TH, Sonies B, Stone M. Soft tissue anatomy of the tongue and floor of the mouth: An ultrasound demonstration. *Brain Lang* 1984;21:350-358.
92. Shawker TH, Sonies B, Stone M, Baum B. Real-time ultrasound visualization of tongue movement during swallowing. *J Clin Ultrasound* 1983;11:485-490.
93. Smirnoff GN. A preliminary study of mandibular morphology and the measurement of lingual thrusting pressures in subjects exhibiting tongue thrust swallowing and anterior open bites. *Am J Orthod* 1965;51:306-307.
94. Söder N, Miller N. Using ultrasound to investigate intrapersonal variability in durational aspects of tongue movement during swallowing. *Dysphagia* 2002;17:288-297.
95. Sonies B, Parent L, Morrish K, Baum B. Durational aspects of the oral-pharyngeal phase of swallowing in normal adults. *Dysphagia* 1988;3:1-10.
96. Steele C, Van Lieshout P. Influence of bolus consistency on lingual behaviors in sequential swallowing. *Dysphagia* 2004;19:192-206.
97. Steele C, Van Lieshout P. Use of electromagnetic midsagittal articulography in the study of swallowing. *J Speech Lang Hear Res* 2004;47:342-352.
98. Stone M. A guide to analysing tongue motion from ultrasound images. *Clin Linguist Phon* 2005,19:455-501.
99. Stone M, Davis EP. A head and transducer support system for making ultrasound images of tongue/ jaw movement. *J Acoust Soc Am* 1995;98:3107-3112.
100. Stone M, Shawker T. An ultrasound examination of tongue movement during swallowing. *Dysphagia* 1986;1:78-83.
101. Störmer K, Pancherz H. Elektromyography of the perioral and masticatory muscles in orthodontic patients with atypical swallowing. *J Orofac Orthop* 1999;60:13-23.
102. Straub W. The etiology of the perverted swallowing habit. *Am J Orthod* 1951;37:603-610.
103. Straub W. Malfunction of the tongue(1). *Am J Orthod* 1960;46:404.
104. Straub W. Malfunction of the tongue(2). *Am J Orthod* 1961;47:596.
105. Subtelny J. Examination of current philosophies associated with swallowing behavior. *Am J Orthod* 1965;51:161-182.
106. Tasko S, Kent R, Westbury J. Variability in tongue movement kinematics during normal liquid swallowing. *Dysphagia* 2002;17:126-138.
107. Tracy J, Logemann J, Kahrilas P. Effects of bolus size and age on oropharyngeal deglutition. *ASHA* 1988;30-133.

108. Tränkmann J. Kieferorthopädische Mißerfolge nach übersehenen orofazialen Dyskinesien. *Fortschr Kieferorthop* 1988;49:388-399.
109. Tränkmann J. Orofaziale Dyskinesen. *Zahnärztl Prax* 1982;33:11
110. Treuenfels, H. Kopfhaltung, Atlasposition und Atemfunktion beim offenen Biss. *Fortschr Kieferorthop* 1984;45:11-121.
111. Vaiman M, Eviatar E, Segal S. Evaluation of normal deglutition with the help of rectified surface electromyography records. *Dysphagia* 2004;19:125-132.
112. Van der Linden F. Gesichtswachstum und faciale Orthopädie. Quintessenz, Berlin 1984;155-157.
113. Vaupel P, Ewe K. Physiologie des Menschen - Funktion des Magen-Darm-Kanals. Springer, Berlin 1995;814-818.
114. Waldeyer A, Mayet A. Anatomie des Menschen. Walter de Gruyter, Berlin 1986
115. Wein B, Böckler R, Klajman S. Temporal reconstruction of sonographic imaging of disturbed tongue movements. *Dysphagia* 1991;6:135-139.
116. Wein B, Klajmann S, Huber W, Döring W. Ultraschalluntersuchung von Koordinationsstörungen der Zungenbewegung beim Schlucken. *Nervenarzt* 1988;59:154-158.
117. Witt E, Timper W. Experimentelle Untersuchungen über Schluckdauer und Schluckhäufigkeit bei Kindern und Erwachsenen mit verschiedenen Anomalien. *Fortschr Kieferorthop* 1974;35:306-322.
118. Wuttge-Hannig A, Hannig C. Die Physiologie des Schluckakts. *Ther Umsch* 1991;48:144-149.
119. Yamaguchi H, Sueishi K. Malocclusion associated with abnormal posture. *Bull Tokyo Dent Coll* 2003;44:43-54.
120. Youmans S, Stierwalt J. Measures of tongue function related to normal swallowing. *Dysphagia* 2006;21:102-111.

11 Anhang

11.1 Anhang 1 – Informationsbrief für Probanden und Eltern



CharitéCentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Charité | Campus Benjamin Franklin | 12200 Berlin

Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und
Kinderzahnmedizin
www.charite.de/kieferorthopädie

-PROBANDEN GESUCHT-

Liebe Eltern, lieber Patient, liebe Patientin,

ich führe in der Abteilung für Kieferorthopädie und Orthodontie der Zahnklinik der Charité Berlin eine Studie zur Diagnostik von Zungenfehlfunktion durch. Dafür suche ich Patienten einer logopädischen Praxis, die aufgrund eines fehlerhaften Schluckmusters in Behandlung sind.

Es soll die Zungenbewegung beim Schlucken einmal vor und einmal nach der abgeschlossenen logopädischen Behandlung mit einem Ultraschallgerät aufgezeichnet und verglichen werden. Dabei soll überprüft werden, ob eine Veränderung der Zungenbewegung auf diese Weise messbar ist.

Untersuchungsmethode

Der Patient sitzt vor einem Gestell, auf dem das Kinn auf einer Auflage abgestützt und die Stirn angelehnt wird, ähnlich wie bei der augenärztlichen Untersuchung, damit der Kopf ruhig gehalten werden kann.

Die Ultraschallsonde berührt die Kinnunterseite. Zwischen Haut und Sonde befindet sich Kontaktgel.

Jeder Mensch hat alle zwei bis drei Minuten das Bedürfnis zu schlucken. Mit einem Handzeichen soll der Patient zeigen, wenn er schlucken muss. Zehn Schluckbewegungen sollen mit dem Ultraschallgerät und einem Videorecorder aufgezeichnet werden, so dass der Patient 20 bis 30 Minuten ruhig sitzen muss.

Ultraschalluntersuchungen sind harmlos und ungefährlich. Sie gehören z. B. während der Schwangerschaft zu den Routineuntersuchungen und können mehrmals durchgeführt werden.

Ort der Untersuchung

Die Untersuchung findet im Virchow-Klinikum in der Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie in der Mittelallee 2 statt, erreichbar über den Haupteingang des Klinikums am Augustenburger Platz.

Die Ultraschalluntersuchung ist für Sie kostenfrei.

Für die Fahrtkosten, die für die zweimalige Teilnahme an der Ultraschalluntersuchung für Sie entstehen, erhalten Sie 20,- €

Wenn Sie einverstanden sind und mich unterstützen möchten, schicken Sie mir eine E-Mail mit Ihrer Telefonnummer oder hinterlassen Ihren Namen und ihre Rufnummer auf dem Anrufbeantworter. Ich setze mich dann mit Ihnen zur Vereinbarung eines Termins in Verbindung. Bei Patienten unter 18 Jahren bedarf es der Zustimmung der Eltern. In diesem Fall erfolgt die Terminvereinbarung gemeinsam mit den Eltern. Die Teilnahme kann jederzeit ohne Begründung zurückgezogen werden. Die persönlichen Daten, wie Alter, Gebisszustand und logopädische Diagnose, als auch die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchung werden anonym gespeichert.

Vielen Dank

Steffi Galén, Zahnärztin

Telefon: 030-52697236

E-Mail: steffigalen@aol.com

11.2 Anhang 2 – Informationsbrief für Probanden und Eltern



CharitéCentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Charité | Campus Benjamin Franklin | 12200 Berlin

Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und
Kinderzahnmedizin
www.charite.de/kieferorthopädie

-PROBANDEN GESUCHT-

Liebe Eltern, lieber Patient, liebe Patientin,

ich führe in der Abteilung für Kieferorthopädie und Orthodontie der Zahnklinik Charité Berlin eine Studie zur Diagnostik von Zungenfehlfunktion durch. Es soll die Zungenbewegung beim Schlucken mit einem Ultraschallgerät aufgezeichnet und überprüft werden, ob sich ein physiologisches von einem fehlerhaften Schlucken im Ultraschallbild unterscheidet.

Dafür suche ich Probanden, die nicht in kieferorthopädischer Behandlung sind.

Untersuchungsmethode

Der Patient sitzt vor einem Gestell, auf dem das Kinn auf einer Auflage abgestützt und die Stirn angelehnt wird, ähnlich wie bei der augenärztlichen Untersuchung, damit der Kopf ruhig gehalten werden kann.

Die Ultraschallsonde berührt die Kinnunterseite. Zwischen Haut und Sonde befindet sich Kontaktgel.

Jeder Mensch hat alle zwei bis drei Minuten das Bedürfnis zu schlucken. Mit einem Handzeichen soll der Patient zeigen, wenn er schlucken muss. Zehn Schluckbewegungen sollen mit dem Ultraschallgerät und einem Videorecorder aufgezeichnet werden, so dass der Patient 20 bis 30 Minuten ruhig sitzen muss.

Ultraschalluntersuchungen sind harmlos und ungefährlich. Sie gehören z. B. während der Schwangerschaft zu den Routineuntersuchungen und können mehrmals durchgeführt werden.

Ort der Untersuchung

Die Untersuchung findet im Virchow-Klinikum in der Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie in der Mittelallee 2 statt, erreichbar über den Haupteingang des Klinikums am Augustenburger Platz.

Voraussetzungen zur Teilnahme

Da ich Probanden suche, die eine physiologische Schluckbewegung haben müssen, wird in einer Voruntersuchung die Zahnstellung, die Zunge und die Gesichtsmuskulatur inspiziert. Wenn keine Symptome für eine Zungenfehlfunktion vorliegen, kann an der Ultraschalluntersuchung teilgenommen werden.

Die Voruntersuchung als auch die Ultraschalluntersuchung sind für Sie kostenfrei. Für die Fahrtkosten, die für die zweimalige Teilnahme an der Ultraschalluntersuchung für Sie entstehen, erhalten Sie 20,- €

Wenn Sie einverstanden sind und mich unterstützen möchten, schicken Sie mir eine E-Mail mit Ihrer Telefonnummer oder hinterlassen Ihren Namen und ihre Rufnummer auf dem Anrufbeantworter. Ich setze mich dann mit Ihnen zur Vereinbarung eines Termins in Verbindung. Bei Probanden unter 18 Jahren bedarf es der Zustimmung der Eltern. In diesem Fall erfolgt die Terminvereinbarung gemeinsam mit den Eltern. Die Teilnahme kann jederzeit ohne Begründung zurückgezogen werden. Die persönlichen Daten, wie Alter, Gebisszustand, als auch die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchung werden anonym gespeichert.

Vielen Dank

Steffi Galén, Zahnärztin

Telefon: 030-52697236

E-Mail: steffigalen@aol.com

11.3 Anhang 3 - Diagnostik nach A. Kittel⁵⁵

A) Lippen

- | | |
|--------------------|--|
| 1) Ruhestellung | <ul style="list-style-type: none"> a) locker geschlossen b) fest geschlossen c) leicht offen stehend d) weit offen stehend e) obere Schneidezähne beißen auf die Unterlippe f) Sonstiges |
| 2) Lippentonus | <ul style="list-style-type: none"> a) ausgeglichen b) Oberlippe verkürzt c) Unterlippe wulstig, auswärts gerollt, gerötet d) Sonstiges |
| 3) Begleitsymptome | <ul style="list-style-type: none"> a) Lippen nass b) Lippenlecken c) Speichel und Risse in den Mundwinkeln d) Mundwinkel entzündet e) Sonstiges |
| 4) Beim Schlucken | <ul style="list-style-type: none"> a) locker geschossen b) offen c) fest zusammengepresst d) können manuell nicht geöffnet werden e) mit Lippenhaltern kann nicht geschluckt werden |

B) Zunge

- | | |
|---------------------------|--|
| 1) Ruhelage/
Schlucken | <ul style="list-style-type: none"> a) ab Alveolarrand am Gaumen b) gegen die oberen Frontzähne gerichtet c) gegen die unteren Frontzähne gerichtet d) zwischen den Frontzähnen e) zwischen den Seitenzähnen ein/beidseitig f) zwischen Front- und Seitenzähnen g) schiebt Speichelbläschen zwischen Zahnzwischenräume |
| 2) Tonus/
Aussehen | <ul style="list-style-type: none"> a) ausgeglichen b) groß wirkend, schlaff c) Mitte tellerförmig vertieft d) Zunge zeigt nach unten Zungenrücken konvex e) Ränder verdickt (Spitze/Seiten) f) Ränder gerötet g) Zahnimpressionen direkt nach dem Schlucken/ständig |
| 3) Motorik | <ul style="list-style-type: none"> a) findet Ruhelage leicht/schlecht b) kann Ruhelage (kurz) halten/nicht halten |
| 4) Stereognose | <ul style="list-style-type: none"> a) erkennt alle Teile b) erkennt ... von ... Teilen c) erkennt keine Formen |

- 5) Begleitsymptome a) normal langes Zungenbändchen
 b) stark verkürztes Zungenbändchen
 c) angewachsenes Zungenbändchen
 d) Zungenbändchen wurde gelöst am

6) Sonstiges:

C) Kinn

- 1) Ruhestellung a) inaktiv
 b) hyperaktiv
- 2) Beim Schlucken a) inaktiv
 b) hyperaktiv

D) Gesichts- und Kaumuskulatur

- 1) Mimik a) normal
 b) nicht ausgeprägt
- 3) M. masseter/
 M. temporalis a) in Ruhe locker
 b) in Ruhe angespannt
 c) Unterkiefer hängt in Ruhe nach unten
 d) beim Schlucken aktiv rechts/links/beidseitig
 e) beim Schlucken inaktiv rechts/links/beidseitig
- 4) Kauen a) mit geschlossenen Lippen und Mahlbewegungen
 b) mit offenen Lippen und Beißbewegungen

E) Zähne, Kiefer, Gaumen

- 1) Gebiss a) Milchgebiss
 b) Wechselgebiss
 c) Zahnwechsel zeitlich eng/weit aufeinander folgend
 d) Sonstiges
- 2) Kiefer a) normal ausgerundet
 b) geringe transversale Breite
- 3) Gaumen a) normale Höhe
 b) stufig
 c) hoch/spitz
- 4) Kieferorthopädische Behandlung seit: ...

F) Gesamtkörper

- 1) Haltung a) Kopfhaltung mittig
 b) Kopf meist nach rechts/links/vorne/in den Nacken geneigt
 c) Wirbelsäulenlordose/-kyphose/-skoliose nach rechts/links
 d) Sitzhaltung gerade
 e) Sitzen mit nach hinten gekippten Becken und rundem Rücken

- f) Sitzen mit hängenden/hochgezogenen Schultern
 - g) Stehen gerade
 - h) Stehen mit Hohlkreuz
 - i) Stehen mit hängenden/hochgezogenen Schultern
 - j) Stehen mit eingefallenem Brustkorb
 - k) Sonstiges:
- 2) Bauch-/Rücken-
muskulatur
 - a) normal
 - b) schwach
 - 3) Muskulatur
allgemein
 - a) normaler Tonus
 - b) eher hypoton/hyperton
 - 4) Koordination
 - a) Augen/Handkoordination
 - b) Blickkontakt beim Handschlag
 - 5) Konzentration
 - a) gut
 - b) mangelhaft

**G) Atmung/Artikulation,
Stimme**

- 1) Atmung
 - a) Nase tagsüber/nachts
 - b) Mund tagsüber/nachts
 - c) Hochatmung
 - d) Zwerchfellatmung
- 2) Lautbildung
 - a) normal
 - b) addentale Laute
 - c) interdentale Laute
 - d) laterale Laute
 - e) Sonstiges
- 3) Stimmbildung
 - a) unauffällig
 - b) heiser
 - c) gepresst
 - d) Sonstiges:

H) Sonstige Beobachtungen/Bemerkungen:

11.4 Materialliste

Stativ	siehe Abbildung Seite 28
Ultraschallgerät	HDI 2000 Sono CT, Fa Philips
Schallkopf	Multifrequenzsonde C7-4 40 R, 7-4 MHz
Videorecorder	Schneider SVC 613
Kontaktgel	Ultraschallkontaktgel Hellige, GE Medical Systems
Silikonaufgabe für Symphyse	Provil, Heraeus Kulzer , Abbildung Seite 24

Software:

- Digitalisierung
MainActor v3
Fa Mainconcept AG, Aachen, Deutschland
- Vermessung/Auswertung
der Sonobilder
CorelDraw 7
Corel Corporation, Ottawa, Kanada
- Statistik
SPSS 15,0 für Windows
SPSS GmbH Software, München, Deutschland

11.5 Danksagungen

Herrn Professor Dr. P.-G. Jost-Brinkmann danke ich ganz herzlich für die Überlassung des Dissertationsthemas und für die Betreuung bei der Umsetzung.

Danken möchte ich Herrn Andreas Bartels für die Beratung bei der Bedienung der Software und die Hilfestellung bei der technischen Durchführung.

Großen Dank möchte ich den Logopädinnen aussprechen, die mich in ihr Fachgebiet einführten und die ihre Patienten zur Teilnahme an dieser Studie motivierten.

Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Virchow-Klinikums Berlin für die Bereitstellung des Sonographiegerätes und für die Erläuterungen zur Bedienung des Gerätes.

Ganz besonderen Dank gilt meinem Ehemann, durch dessen Unterstützung ich neben Beruf und Familie mir die Zeit nehmen konnte, mich dieser Arbeit zu widmen.

11.6 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.