

Aus der Universitätsklinik für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde
Tübingen

Abteilung Poliklinik für Kieferorthopädie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. G. Göz

**Zeitliche Darstellung von Zungenbewegungen bei
Sprachsequenzen mittels
Elektromagnetischer Artikulographie**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Evelyn Viehweger

aus

Ostfildern- Ruit

2010

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. G. Göz

2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. Dr. M. Kimmel

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	6
2. MATERIAL UND METHODEN.....	8
2.1 Studienpopulation/Kriterien.....	8
2.2 Beschreibung des Messsystems.....	10
2.2.1 Messgenauigkeiten	13
2.2.2 Mögliche Fehlerquellen des Verfahrens.....	13
2.3. Methode.....	14
2.3.1 Messvorbereitungen.....	14
2.3.1.1 Schablonenherstellung zur Kauebene-registrierung.....	14
2.3.1.2 Systemkalibrierung.....	14
2.3.1.3. Vorbereitung der Empfängerspulen.....	15
2.3.1.4 Positionierungen der Empfängerspulen.....	15
2.3.1.5 Messhelmaufbau.....	16
2.3.1.6 Messanordnung.....	16
2.3.2 Bewegungsaufzeichnungsphase.....	17
2.3.2.1 Gaumenkontur.....	17
2.3.2.2 Kauebene.....	17
2.3.2.3 Sprachsequenzen.....	17
2.3.2.4 Text zum Lesen.....	19
2.3.2.5 Schlucksequenzen.....	19
2.3.2.6 Dauerschlucken.....	20
2.3.3 Praktische Durchführung der Bewegungsbahnaufzeichnungen.....	20
2.4 Auswertungskriterien.....	22
2.4.1 Auswertung der aufgezeichneten Bewegungsbahnen.....	22
2.4.1.1 *.Axx (Akustik Dateien).....	22
2.4.1.2 *.K01 bis K04 (Kinematik Dateien) Gaumenkontur.....	22
2.4.1.3 *.K05 bis *.K07 (Kinematik Dateien) Kauebene.....	22
2.4.1.4 *.K08 bis *.K41 (Kinematik Dateien) VCV- und CVC-Sequenzen, Text, Schlucksequenzen, Dauerschlucken.....	22
2.4.2 Referenzpunkt- und Bahnenerstellung.....	23
2.4.3 Ausrichtung der Daten.....	24
2.4.4 Filtern der Dateien.....	24
2.4.4.1 Akustikdaten.....	24

Inhaltsverzeichnis

2.4.4.2 Kinematikdaten.....	24
2.4.5 Vorarbeit für die Auswertung der Sprachsequenzen- zeitlich	24
2.4.6 Variablen zur Auswertung der Bewegungsbahnen	25
2.4.7 Beschreibung der Variablen.....	27
2.4.7.1 Positionen	27
2.4.7.2 Zeitpunkte	28
2.4.7.3 Distanzen.....	28
2.4.7.4 Zeitintervalle.....	28
2.4.7.5 Winkel.....	29
2.5 Statistische Auswertung.....	29
3. ERGEBNISSE.....	31
3.1 Messfehleranalyse.....	31
3.1.1 Zeitintervalle.....	31
3.1.2 Kovarianzanalysen.....	35
3.1.2.1 Zeitintervalle.....	36
3.1.3 Einfluss der Position auf den Messfehler (oneway-Analysen).....	48
3.2 Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung (oneway-Analysen).....	48
3.2.1 Zeitintervalle.....	48
3.3 Normwerterstellung.....	56
3.3.1 Zeitintervalle.....	57
4. DISKUSSION.....	60
4.1 Methodenbeurteilung.....	60
4.2 Bisherige Verfahren im Vergleich.....	61
4.3 Andere EMA-Studien im Vergleich.....	63
4.4 Ergebnisdiskussionen.....	66
4.4.1 Messfehlerdiskussion der Zeitintervalle.....	66
4.4.2 Diskussion über den Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung (oneway-Analysen).....	69
4.4.3 Normwertdiskussion.....	71

Inhaltsverzeichnis

5. ZUSAMMENFASSUNG.....	72
6. LITERATURVERZEICHNIS.....	75
7. DANKSAGUNG.....	79
8. LEBENSLAUF.....	80
9. ANHANG.....	81
9.1 Einfluss der Position auf den Messfehler (oneway- Analysen).....	81
9.2 Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung (oneway-Analysen).....	90
9.2.1 Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung ohne metafate und metakate.....	90
9.2.2 Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung mit metafate und metakate.....	93
9.2.3 Einfluss der Position auf die Variablen der einzelnen Sweeps.....	102
9.3 Fragebogen zur Erfassung relevanter Daten für die EMA- Messungen.....	103
9.4 Probandenfragebogen.....	107

1. Einleitung

Eine überdurchschnittlich große, aber auch eine im Bewegungsmuster veränderte Zunge kann zu Veränderungen des Mundraumes, des Sprechens und Schluckens führen. Die unphysiologischen Bewegungsabläufe können Zahn- und Kieferfehlstellungen und Aussprachestörungen verursachen. Die Fehlfunktion in einem Bewegungsablauf wird Dyskinesie genannt, welche durch Störungen der Bewegungsabläufe, der Muskelfunktion oder des Muskeltonus hervorgerufen werden kann.

Eine orofaziale Dyskinesie beschränkt sich auf die Bereiche des Gesichts und der Kaumuskulatur, welche auch Zungen- und Lippenfehlfunktionen mit einschließt. Hierzu zählen Zungen- und Lippenpressen, viszerales Schlucken, habituelle Mundatmung, Lippen- und Wangensaugen, Wangenbeißen und verschiedene Formen des Sigmatismus um ein paar davon zu nennen. Werden einige dieser Fehlfunktionen oder Habits nicht behandelt bzw. treten Therapierezidive oder Resistenzen auf, kann es zu Veränderungen der Weichteile aber auch der Knochen und Zähne kommen.^{16,23}

Fehlfunktionen gibt es schon lange bzw. schon immer, doch erst seit kurzem kann man sie erforschen und auch sichtbar machen.

Dafür gibt es die unterschiedlichsten diagnostischen Methoden, welche jedoch fast nur auf äußerlicher Anwendung beruhen. Untersuchungen der Mundhöhle mit Ultraschall^{2,15,25,43,47-49}, akustische Analyseformen, die Palatographie bzw. die Weiterentwicklung die Elektropalatographie^{3,17,35}, Druckmessungen in der Mundhöhle aber auch Verfahren welche mit Röntgenstrahlen arbeiten⁵, sind möglich.

Mit der elektromagnetischen Artikulographie ist ein Verfahren entstanden, mit welchem man intraorale Aufzeichnungen der Zunge und Lippen auf dreidimensionaler Ebene erfassen kann.

Weitere Vorzüge sind die biologische Verträglichkeit²⁰, da ausschließlich ein elektrisches Feld entsteht, und die Tatsache, dass es sich um ein nicht invasives Verfahren handelt, welches die Möglichkeit bietet, Versuche multiple Male zu wiederholen.

Einleitung

Parallel kann zu Schluck- und Sprachbewegungen Akustik aufgezeichnet werden. Mit dafür entwickelten Programmen kann diese mit den Bewegungen kombiniert und bearbeitet werden.

Durch eine Weiterentwicklung des elektromagnetischen Artikulographen (EMA) AG 100 der Firma Carstens Medizintechnik GmbH Göttingen, wurden einige Fehler bei der Aufzeichnung des alten EMA beseitigt und zusätzlich Langzeitaufnahmen ermöglicht. Die Kalibrierungszeit der Aufzeichnungsspulen wurde verkürzt und der Helm für die Messungen wurde überarbeitet und leichter gestaltet.

Um eine Zungen- und dadurch möglicherweise bedingte Schluckfehlfunktion beurteilen und daraufhin auch Behandlungsmethoden ableiten zu können, muss erst gezeigt werden, welche Bewegungen in diesem Bereich physiologisch sind.

Mit dieser Studie wurde versucht einen möglichst reinen Pool zu erhalten der Vergleiche mit unphysiologischem Bewegungsverhalten zulässt, indem man bestimmte Ausschlusskriterien bei der Auswahl der Probanden hatte. Mit den gewonnenen Daten soll herausgefunden werden, ob die Bewegungsabläufe aller verwertbaren Probanden miteinander vergleichbar also reproduzierbar und somit als physiologisch angesehen werden können. Die Voraussetzungen an die Teilnehmer waren so gewählt, um im Vorfeld Probanden mit viszeralem Schluckmuster, größerem Zahnersatz oder anderen Fehlfunktionen/Anomalien der Mundhöhle auszugrenzen.

Gleichzeitig wurden während der Versuchsreihe nicht nur Aufzeichnungen in aufrechter, sondern auch in entspannter Körperhaltung durchgeführt, um eine oder keine Abhängigkeit der Körperhaltung zum Schluck- oder Sprachverhalten zu erhalten.

2. Material und Methoden

2.1 Studienpopulation/Kriterien

Die Population besteht aus 25 zu untersuchenden Probanden, 14 weibliche und 11 männliche deutschsprachige Erwachsene im Alter zwischen 20 und 30 Jahren. Eine Probandin war türkischer, eine andere jugoslawischer Abstammung. Bei den männlichen Probanden war ein Teilnehmer arabischer Abstammung. Sie waren alle keine Patienten der kieferorthopädischen Abteilung des Zentrums für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde der Eberhard- Karls- Universität Tübingen.

Ein wichtiges Kriterium war die Mitarbeitsbereitschaft und Gesundheit, z.B. kein Vorliegen von Erkältungskrankheiten oder Ähnlichem, da der gesamte Versuchsablauf für einen Probanden ca. 2,5 - 3 Stunden dauerte. Dabei wurde auch auf Gesundheit im psychischen, motorischen und zentralnervösen Bereich geachtet. Bei der Auswahl der Probanden wurde auf Dialektfreiheit Wert gelegt.

Es wurde auch darauf geachtet, dass keine krankhaften Veränderungen der Knochenstrukturen, der Muskeln im Kopf- und Halsbereich oder der Kiefergeleite vorlagen. Bei keinem Probanden waren eine außergewöhnliche Deformation der Wirbelsäule, der Bandscheiben oder Rückenbeschwerden bekannt.

Die Gebissituation entsprach bei allen Teilnehmern der Neutralbisslage mit Frontzahnkontakt der beiden Kiefer. Starker frontaler Engstand, offener Biss in der Front oder in der Seite, Nonokklusion oder Kreuzbiss waren Ausschlusskriterium. Kein Versuchsteilnehmer war eingeschränkt in der Zungen- oder Lippenbewegung und jeder hatte einen kompetenten Lippenschluss. Bei der Auswahl wurde auf ein physiologisches, somatisches Schlucken geachtet und es sollten keine Habits wie Zungen- oder Lippenpressen und Mundatmung in der Gegenwart vorliegen.

Material und Methoden

Kein Zahnersatz im Sinne von Kronen oder Brücken in der Front, keine Brücken im Seitenzahnggebiet und kein herausnehmbarer Zahnersatz waren geduldet. Einzig und allein waren Kronen im Seitenzahnggebiet möglich. Ebenso sollten keine Lücken in der Front oder im Seitenzahnbereich vorhanden sein.

Piercings im Mundraum waren bei einigen Teilnehmern vorhanden, jedoch wurden sie während des Versuchs herausgenommen.

Bei genauer Voruntersuchung der Probanden durch OA Dr. Horn mit Hilfe eines, für diese Zwecke individualisierten Fragebogens der DGKFO, wurde festgestellt, dass 19 Teilnehmer in der Vergangenheit kieferorthopädisch behandelt worden waren.

Zehn waren Träger einer Multibandapparatur und herausnehmbarer Platten, neun von den 19 wurden allein mit herausnehmbaren kieferorthopädischen Platten bzw. mit funktionskieferorthopädischen (FKO)- Geräten behandelt.

Bei zwei der Teilnehmer wurde aufgrund von Engständen während der KFO-Behandlung je ein Prämolar pro Kieferquadrant extrahiert.

Eine logopädische Behandlung wurde bei drei der Probanden durchgeführt ohne weitere Folgeerscheinungen im Erwachsenenalter.

Ein Ankyloglosson, welches nicht zu behandeln ist und keine Einschränkung in der Zungenmotorik zeigte, wurde bei zwei Teilnehmern festgestellt.

Bei genauerer Betrachtung von bestehenden Habits zeigten zwölf der Probanden Knirsch- bzw. Pressgewohnheiten der Kiefer, welche sich in Schliffacetten bzw. leichten Myogelosen und/oder mäßig druckschmerzhaften Kaumuskeln äußerten.

2.2 Beschreibung des Messsystems

Um eine genauere und besser reproduzierbare Aufzeichnung von Schluck- und Sprechbewegungen zu erhalten, entwickelte die Universitätsklinik Tübingen den elektromagnetischen Artikulographen (EMA) der Firma Carstens Medizinelektronik GmbH weiter. Dabei entstand ein im Handling einfacheres Gerät.

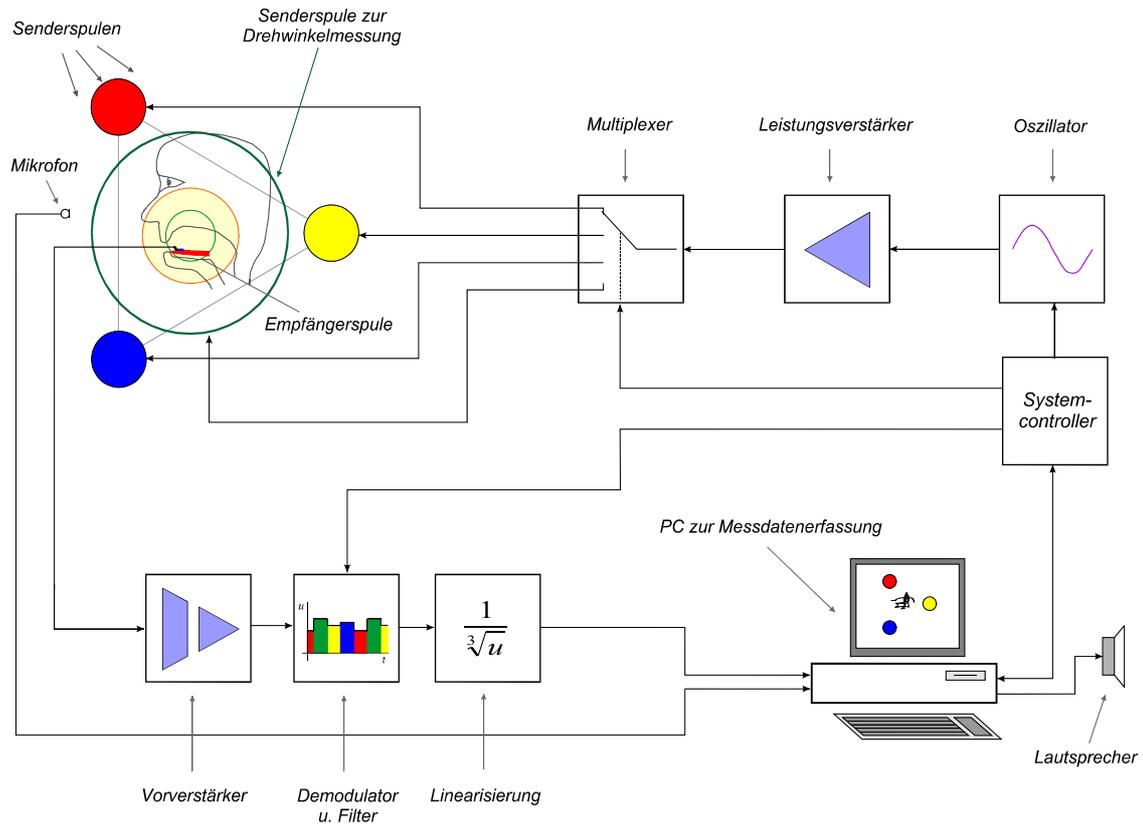


Abbildung (1): Darstellung Blockschaltbild

An einem aus Styropor bestehenden Helm, welcher ca. 1, 3 kg schwer ist, ist ein seitengleiches je 40 cm langes Dreiecksgestell aus Carbon Stäben befestigt. An diesem befindet sich im Stirn-, Nacken- und Kinnbereich je eine Senderspule, welche in der Mediansagittalebene liegt. Diese Spulen erzeugen ein elektromagnetisches Feld, in welchem man durch Einbringen von Empfängerspulen, Aufzeichnungen von Bewegungen in einem damit verbundenen Computer durchführen kann.

Der Proband bekam den Helm aufgesetzt und dieser wurde zusätzlich durch eine Nasenabstützung fixiert. Fünf der Empfängerspulen wurden intraoral angebracht. Eine direkt oberhalb zwischen den Zähnen 11 und 21, die zweite direkt unterhalb der Zähne 31 und 41, im Bereich der Interdentalpapillen. Die drei anderen wurden auf der Zunge in der Mediansagittalebene, von der Zungenspitze im Abstand von je zwei Zentimetern befestigt. Die extraoralen Spulen wurden auch in der Mediansagittalebene an der Oberlippe auf den Amorbogen und an der Unterlippe ebenfalls an der Rot- Weißgrenze angebracht. Die letzte extra-orale Spule wurde am Nasionpunkt befestigt. Die Empfängerspulen sind mit einem dünnen Kabel mit dem Rechner über Vorverstärker verbunden.

Durch den unterschiedlichen Abstand der Empfängerspulen zu den Senderspulen konnte der Computer mit einem entsprechenden Rechenprogramm ein dreidimensionales Bild der Bewegungsbahnen von Zunge und oder Lippe errechnen. Gleichzeitig konnten die gesprochenen Worte mit Hilfe eines Mikrophons, welches am Gestell des Helms angebracht ist, im entsprechenden Computerprogramm aufgezeichnet und bearbeitet werden.

Die aufgezeichneten Daten konnten daraufhin mit einen geeigneten Rechenprogramm bearbeitet werden. Die Auswertung der Daten erfolgte durch ein speziell entwickeltes Programm welches auf der Software „Igor Pro“ beruht.

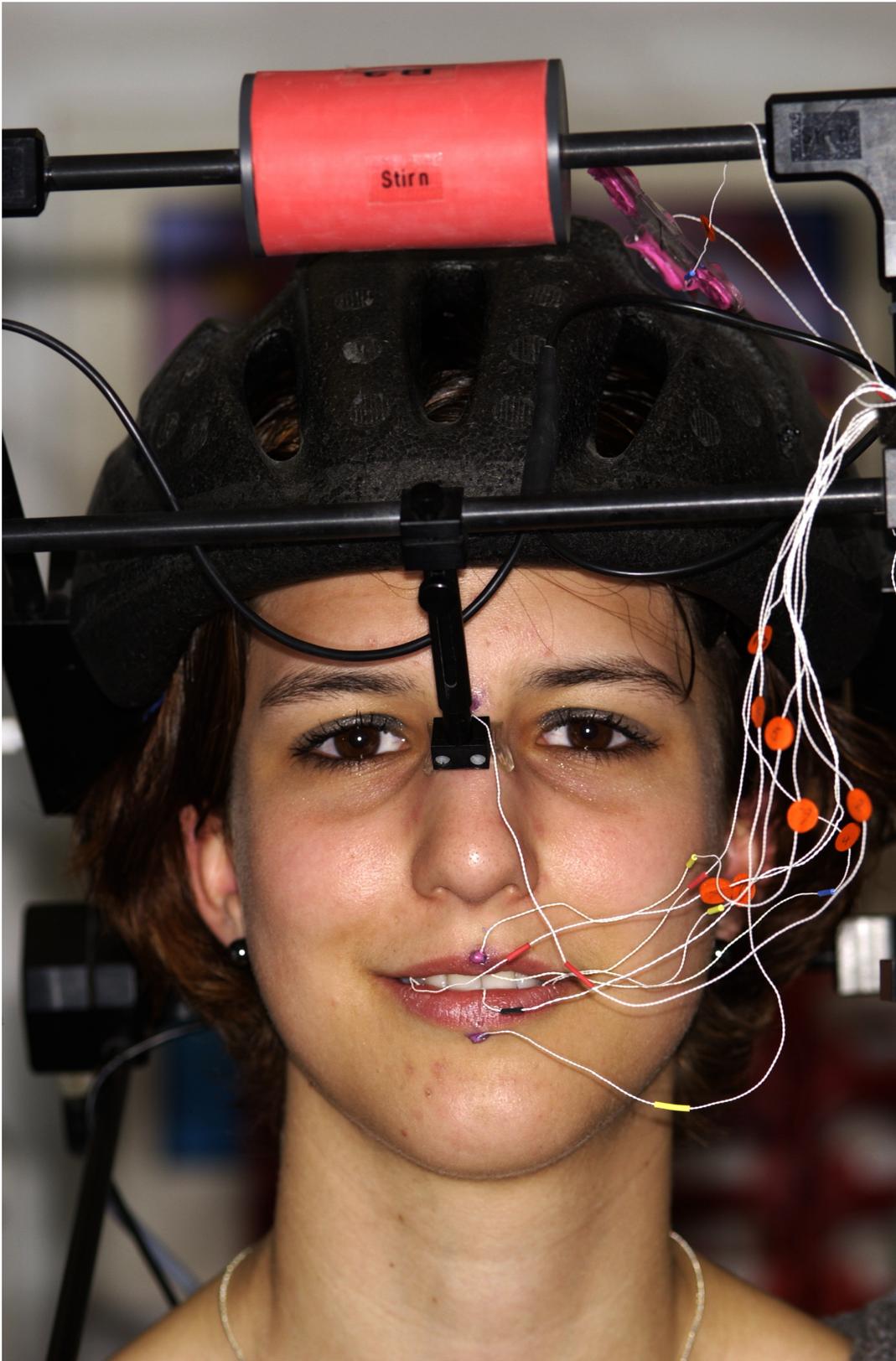


Abbildung (2): Proband mit Helm

2.2.1 Messgenauigkeiten

Die mittlere Messgenauigkeit im klinisch wichtigen Bereich des Messhelms, welcher einen Durchmesser von 120 mm hat, beträgt 0,1 mm.

Mit Hilfe von Drehwinkelmessungen kann man Messfehler erkennen und korrigieren, welche auf Sensorspulenverdrehungen basieren können.

Ebenfalls ist es möglich, Translations- und Rotationsbewegungen aufzuzeichnen. Die Abtastrate beträgt bis zu 1 kHz bei jedem der zehn Messkanäle.

2.2.2 Mögliche Fehlerquellen des Verfahrens

Es sollte versucht werden, während der gesamten Versuchsreihe Messfehler und Ungenauigkeiten zu vermeiden.

Jedoch kann die Klebefestigkeit des physiologischen Klebers nicht immer gewährleistet werden. So kann es vorkommen, dass Empfängerspulen wiederbefestigt werden müssen. Es sollte dabei versucht werden, diese an möglichst identischer Stelle zu reponieren. Dadurch sind Ungenauigkeiten möglich. Vor allem die Spulen, welche auf der Schleimhaut befestigt sind, tendieren dazu, sich abzulösen. Davon sind besonders die Zungenspulen betroffen, da die Struktur und Oberflächenbeschaffenheit sehr uneben ist. Aber auch der permanente Speichelfluss und die Aktivität der Zunge beim Sprechen und Schlucken können immer wieder teilweise bis ganze Ablösungen der Spulen verursachen. Ebenso sind die anatomischen Gegebenheiten von Proband zu Proband verschieden, wodurch ebenfalls Messungenauigkeiten bedingt sein können.

Eine weitere Fehlermöglichkeit ist unbemerkter Zug auf eines der Spulenkabel und dadurch veränderte Position der Empfängerspule.

Messunterschiede bei der Aufzeichnung der Gaumenkontur sind auch möglich, da diese mit dem Finger eines Helfers abgefahren wird und meist kleine Variationen enthält.

Extraoral birgt der Helm eine Fehlerquellenmöglichkeit durch Verrutschen dessen bzw./und/oder der Nasenstütze, wodurch sich die Empfängerspulenposition zu den Senderspulen ändert.

Weitere Messungenauigkeiten können durch Beeinflussung des Spulenmagnetfeldes entstehen. Ein anderes elektromagnetisches Feld, kann dies hervorrufen.

Bei der Aufzeichnung der Sprache muss auf Ruhe geachtet werden, da sonst Störgeräusche aufgezeichnet und zu Fehlermöglichkeiten in der Datenverarbeitung führen können.

2.3. Methode

2.3.1 Messvorbereitungen

2.3.1.1 Schablonenherstellung zur Kauebenenregistrierung

Um die Gebissituation der Probanden zu erhalten, wurden der Ober- und Unterkiefer mit Alginat abgeformt und Superhartgipsmodelle hergestellt. Auf dem Oberkiefermodell wurde eine ebene Schablone aus einer Kunststoffplatte angefertigt, welche die Größe des Kieferbogens hat und dorsal an der A-Linie endet. Mesial an den Inzicivi wurde ein Art Griff belassen, welcher aus dem Mund herausragte.

Um mit dieser Schablone die Kauebene beim Probanden intraoral zu positionieren, wurde auf dem Oberkiefermodell mit Hilfe von „Futar D Occlusion“ der Firma Kettenbach Dental GmbH & Co. KG, Eschenburg, an drei Punkten ein Kauflächenrelief angebracht. Dann wurde die Mittellinie eingezeichnet, auf welcher man zwei Mulden zum Anbringen der Spulen zur Bestimmung der Kauebene einfräste. Eine Spulenposition war hinter den Frontzähnen, die zweite im Bereich der zweiten Molaren im Übergang zwischen hartem und weichem Gaumen. Die Spulen wurden mit Sekundenkleber befestigt.

Somit stellt die Kauebene während den Aufzeichnungen eine Referenzebene dar.

2.3.1.2 Systemkalibrierung

Damit die Empfängerspulen den gleichen Ausgangswert haben, müssen sie vor jeder Messung kalibriert werden, indem der Helm mit den drei Senderspulen auf einer speziellen Vorrichtung in immer gleicher Position befestigt wird. Dabei werden die Empfängerspulen im Magnetfeld durch ein Schablonenraster in immer gleichem Abstand zu den Senderspulen ausgerichtet um bei korrekter Ausrichtung ihr Spannungsmaximum zu erreichen.

2.3.1.3. Vorbereitung der Empfängerspulen

Zehn Spulen wurden im intra- und extraoralen Bereich des Gesichts angebracht. Dabei war darauf zu achten, dass die Klebestellen trocken, sauber und fettfrei waren, was bei der Zunge nur relativ möglich war. Die Spulen wurden mit einem physiologischen Histoacrylkleber am Probanden befestigt, nachdem sie zuvor mit einer ungefähr 1-0,5 mm dünnen Schutzschicht Silikon versehen worden waren.

2.3.1.4 Positionierungen der Empfängerspulen

Die Referenzspulen wurden an nicht beweglichen Positionen am Schädel angebracht. Sie dienen als Grundlage zur Weiterbearbeitung der aufgezeichneten Daten.

Spule 4 ist die erste Referenzspule und wurde an der Interdentalpapille zwischen den Zähnen 11 und 21 angebracht. Sie dient später dazu, mögliches Verrutschen des Helms bei der Aufzeichnung zu bemerken und wieder zu korrigieren.

Die zweite Referenzspule ist Spule 8, welche am Nasionpunkt angebracht wurde. Dieser Bereich der mimischen Muskulatur wird während des Sprechens und Schluckens fast nicht beeinflusst.

Eine weitere Referenz war die Kauebene, welche von Spule 9 und 10 aufgezeichnet wurde (siehe 2.3.1.1). Mit Spule 10 wurde zusätzlich noch die Gaumenkontur abgefahren und aufgezeichnet, welche ebenfalls eine stabile Größe darstellt.

Die anderen Spulen wurden an beweglichen Teilen des Gesichts angebracht. Spule 1, 2 und 3 wurden an der Zunge auf der Mittellinie befestigt. Dieser Sulcus wurde zuerst mit dem Farbstoff Metylenblau dargestellt und danach die Spulen dazu senkrecht befestigt. Spule 1 wurde direkt an der Zungenspitze, Spule 2 zwei Zentimeter und Spule 3 vier Zentimeter von der Ersten entfernt positioniert.

Spule 5 wurde im Prinzip an ähnlicher Stelle wie Spule 4 nur im Unterkiefer zwischen den Zähnen 31 und 41 fixiert und zeichnet somit die Unterkieferbewegung auf.

Die Lippenbewegung wurde durch Spule 6 an der Oberlippe am Amorbogen an der Rot-Weißgrenze dargestellt. Mit Spule 7 wurde an entsprechender Stelle an der Unterlippe deren Bewegung aufgezeichnet.

2.3.1.5 Messhelmaufbau

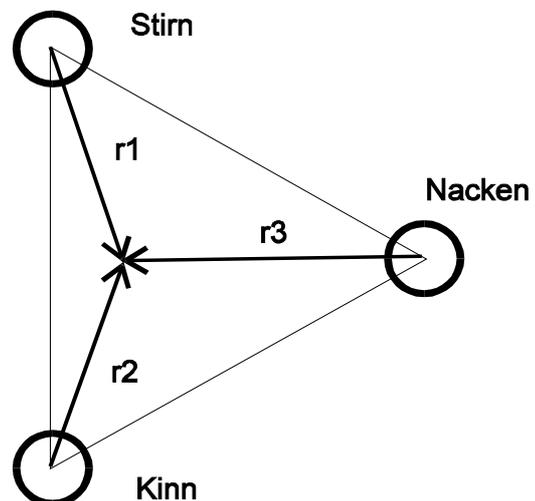
An einem Styroporfahradhelm ist ein Gerüst aus Carbonstäben angebracht, an welchem wiederum die drei Senderspulen befestigt sind. Das gesamte Gerüst ist in einer Leichtbauweise konstruiert und so gestaltet, dass es über einen längeren Zeitraum problemlos getragen werden kann. Dabei kann der Helm individuell der Kopfform angepasst und das Gestell in der Höhe eingestellt werden, damit es nicht auf den Schultern aufsitzen kann.

Die Kabel der Empfängerspulen können mit Hilfe eines Klettbandes an einer der Streben des Aluminiumgestells spannungsfrei angebracht werden, um ungewollten Zug auf die angebrachten Spulen zu vermeiden. Ebenso wird das Mikrofon zur Akustikaufzeichnung an den Streben des Gestells in Höhe des Mundes angebracht und bei jedem Probanden erneut korrigiert.

Zusätzlich ist an der Stirnquerverstrebung des Aluminiumgestells eine Nasenstütze angebracht, welche dem Ganzen noch mehr Stabilität verleihen soll.

2.3.1.6 Messanordnung

Hierbei handelt es sich um drei Senderspulen, welche an einem gleichseitigen Dreieck angebracht sind. Diese Spulen erzeugen ein Magnetfeld, wobei die Feldstärke umgekehrt proportional zur dritten Potenz des Abstandes (r_1 , r_2 , r_3) ist. Somit können mehrere Parameter an einem Sensor aufgezeichnet werden.



Der Zusammenhang von Messsignal und Entfernung kann durch die Formel

Abbildung (3): Darstellung der Messanordnung

$u_x = k/r_x^3$ ausgedrückt werden. (u = Messgröße am Sensor, k = Proportionalitätskonstante, r_x = Abstand zur Senderspule x). Man muss beachten, dass diese

Verbindung nur besteht, wenn Sensor und Senderspule auch parallel zu einander ausgerichtet sind. Ist dies nicht der Fall, und ist Sender zu Sensor um einen Winkel α gedreht, reduziert sich die Messgröße u um den Faktor $\cos \alpha$.

2.3.2 Bewegungsaufzeichnungsphase

2.3.2.1 Gaumenkontur

Spule 10 wurde auf den Zeigefinger des Untersuchers mit physiologischem Sekundenkleber befestigt. Danach wurde die Gaumenkontur viermal von dorsal nach ventral mit diesem Finger bzw. Spule abgefahren, um später die genaueste Aufzeichnung zu verwenden. Beim Nachfahren der Kontur versuchte man auf der Mittellinie zu bleiben und die Inzisalkante von den Zähnen 11 und 21 bis zur vestibulären Gingiva mit zu erfassen.

2.3.2.2 Kauebene

Die Kauebene wurde mit Hilfe der angefertigten Schablone registriert. Dabei wurden, wie in 3.1.1 schon erklärt, die Spulen 9 und 10 auf der eingezeichneten Mittellinie angebracht. Hierbei wurden zuvor zwei, der Größe der Empfängerspulen angepassten, Mulden in die Schablone gefräst. Die eine Spule (Spule 9) befand sich direkt hinter den Frontzähnen die zweite im Bereich der Molaren (Spule 10). Sie wurden ebenfalls mit dem physiologischen Kleber fixiert. Dann wurde in drei Aufzeichnungsphasen, im Mund des Probanden, die Referenzebene „Kauebene“ bestimmt.

2.3.2.3 Sprachsequenzen

Die zu untersuchenden Sprachsequenzen - man entschied sich Vokal-Konsonant-Vokal-Sequenzen (VCV) zu untersuchen - wurden so ausgewählt und mit anderen Worten verknüpft, dass eine möglichst ähnliche und immer wiederkehrende Position der Zunge zu ihrer Umgebung entstand. Deshalb wurde ein immer gleicher Vokal, das - a -, gewählt.

Dieser Vokal zeigt bei der Artikulation eine caudale Position und in Verbindung mit den Konsonanten eine ausreichend große Bewegungsbahn, was die Auswertung dieser verbessert.

Bei den Konsonanten sind, durch Beurteilung von anderen Studien, -s-, -t-, -l-, -n-, -k-, -sch- und -f- dafür ausgewählt worden.

Beim Zischlaut -s- zeigt die Zunge eine gute immer wiederkehrende Position. Der Konsonant -t- wird dentoalveolär gebildet, ist vor allem kieferorthopädisch in der Auswertung interessant und ebenfalls ergibt sich bei ihm eine einheitliche reproduzierbare Zungenposition³⁹. Die Buchstaben -l-, -n- und -k- haben sich schon in anderen Studien als günstig erwiesen^{7,11,19,26}. Der Zischlaut -sch- ist mit verwendet worden, da er relativ weit hinten im Gaumen gebildet wird. Auch wurde noch der Konsonant -f- verwendet, da dieser ebenfalls eine Grenzposition, jedoch an der Lippe, ergibt.

Daraus entstanden nun die Sequenzen -tasat-, -tatat-, -talat-, -tanat-, -takat-, -taschat- und -tafat-. Diese hat man jeweils in den Satz „Ich habe me-...-e gesagt“ eingebaut. Das gesamte Wort, in welches die VCV-Sequenz eingefügt wurde (Beispiel me-tasat-e), nennt man „Sweep“.

Die Probanden mussten den Satz mit einer VCV-Sequenz zehn Mal wiederholen. Es wurde darauf geachtet, dass Lautstärke, das sprachliche Tempo und der Stimmenklang während der gesamten Aufzeichnungsphase möglichst gering variierten.

Neben der Zungenbewegung wurde eine weitere Sprachsequenz zur Ermittlung der Lippenbewegung gestaltet. Hierbei ging man ähnlich vor wie bei den VCV-Sequenzen, nur dass hier eine Konsonant-Vokal-Konsonant-(CVC)-Abfolge gewählt wurde. Der Konsonant war wie das -a-, bei der VCV- Sequenz, immer derselbe Buchstabe, wobei das -p- als geeignet empfunden und gewählt wurde. Man wollte damit erreichen dass die Lippen immer eine möglichst ähnliche Ausgangs- und Endposition beim Sprechen der CVC-Sequenz einnehmen.

Man verwendete alle Vokale, -a-, -e-, -i-, -o-, -u- und es entstanden die CVC-Sequenzen -pap-, -pep-, -pip-, -pop- und -pup-. Diese bettete man in das Wort und in den Satz „Ich habe me-...-e gesagt“ ein.

Die Kriterien für diesen, ebenfalls zehnmal gesprochenen Satz, sind folglich die gleichen. Die Auswertung dieser Sequenzen wird in einer anderen Dissertation durchgeführt.

2.3.2.4 Text zum Lesen

Ein in der Logopädie verwendeter Text soll die Bewegung der Zunge und der Lippen während normalem Sprechen simulieren. Dieser Text ist darauf ausgelegt, dass genauso wie bei den VCV- bzw. CVC-Sequenzen, alle Grenzpositionen der Zunge und Lippe erreicht werden.

Der Text lautet wie folgend:

Der Nordwind und die Sonne

„Einst stritten sich Nordwind und Sonne, wer von ihnen beiden wohl der Stärkere wäre, als ein Wanderer, der in einen warmen Mantel gehüllt war, des Weges kam. Sie wurden einig, dass derjenige für den Stärkeren gelten sollte, der den Wanderer zwingen würde, seinen Mantel abzunehmen. Der Nordwind blies mit aller Macht, aber je mehr er blies, desto fester hüllte sich der Wanderer in seinen Mantel ein. Endlich gab der Nordwind den Kampf auf. Nun erwärmte die Sonne die Luft mit ihren freundlichen Strahlen und schon nach wenigen Augenblicken zog der Wanderer seinen Mantel aus. Da musste der Nordwind zugeben, dass die Sonne von ihnen beiden der Stärkere war.“

Die Auswertung des Textes wird in einer anderen Dissertation durchgeführt.

2.3.2.5 Schlucksequenzen

Bei der Untersuchung des Schluckens wurden zehn Milliliter Wasser verwendet. Diese Menge Wasser war angenehm zu schlucken, danach folgte immer eine Leerschluckphase. In anderen Studien wurde dies in ähnlicher Weise erfolgreich angewandt^{29,30,41}.

Die Auswertung der Schlucksequenzen wird in einer anderen Dissertation durchgeführt.

2.3.2.6 Dauerschlucken

Am Ende jedes Aufzeichnungsdurchgangs sollte jeder Proband noch zehn Minuten dasitzen und nichts sprechen. Dabei wurde unwillkürliches Schlucken, bzw. die Zungenbewegung, aufgezeichnet.

Die Auswertung des Dauerschluckens wird in einer anderen Dissertation durchgeführt.

2.3.3 Praktische Durchführung der Bewegungsbahnaufzeichnungen

Vor jeder Versuchsdurchführung wurde jeder Proband auf seine Tauglichkeit hin überprüft. Hierbei wurde auf die Kriterien, die in 2.1 erwähnt sind, Wert gelegt. In dieser Zeit konnte das System kalibriert und danach die Empfängerspulen mit einer Silikonschicht versehen werden.

Nach der Untersuchung des Probanden bekam dieser den Helm aufgesetzt. Die Spulen für die Referenzpunkte (Nasion, OK Gingiva zwischen 11 und 21) wurden angebracht. Mit der Spule 10, welche auf dem Finger des Untersuchers befestigt wurde, fuhr man die Gaumenkontur von posterior nach anterior in der Mediansagittalebene nach. Insgesamt vier Mal wurde dies wiederholt. Man achtete darauf, dass bis über die Schneidekante hinaus die Kontur abgefahren wurde. Es wurde bei der Auswertung von den vier Aufzeichnungen die deutlichste ausgewählt und als Referenzbahn gespeichert.

Als nächstes wurde die Kauebene, unter Zuhilfenahme der in 2.3.1.1 beschriebenen Schablone (mit Spule 9 und 10), drei Mal registriert und die am besten verwertbare Kauebene wiederum verwendet.

Damit sich die Probanden in gewisser Weise an die Spulen, vor allem im Mundbereich, gewöhnen konnten, wurde eine Zeit lang geübt. Dabei wurde darauf geachtet, dass Stimmklang, Lautstärke und sprachliches Tempo möglichst gering variierten.

Dann begann die Aufzeichnung der Sprachsequenzen (z.B. „Ich habe met-asate gesagt“), welche pro Satz zehnmal wiederholt wurden. Der „Der Nordwind und die Sonne“-Text wurde einmal vom Probanden gelesen.

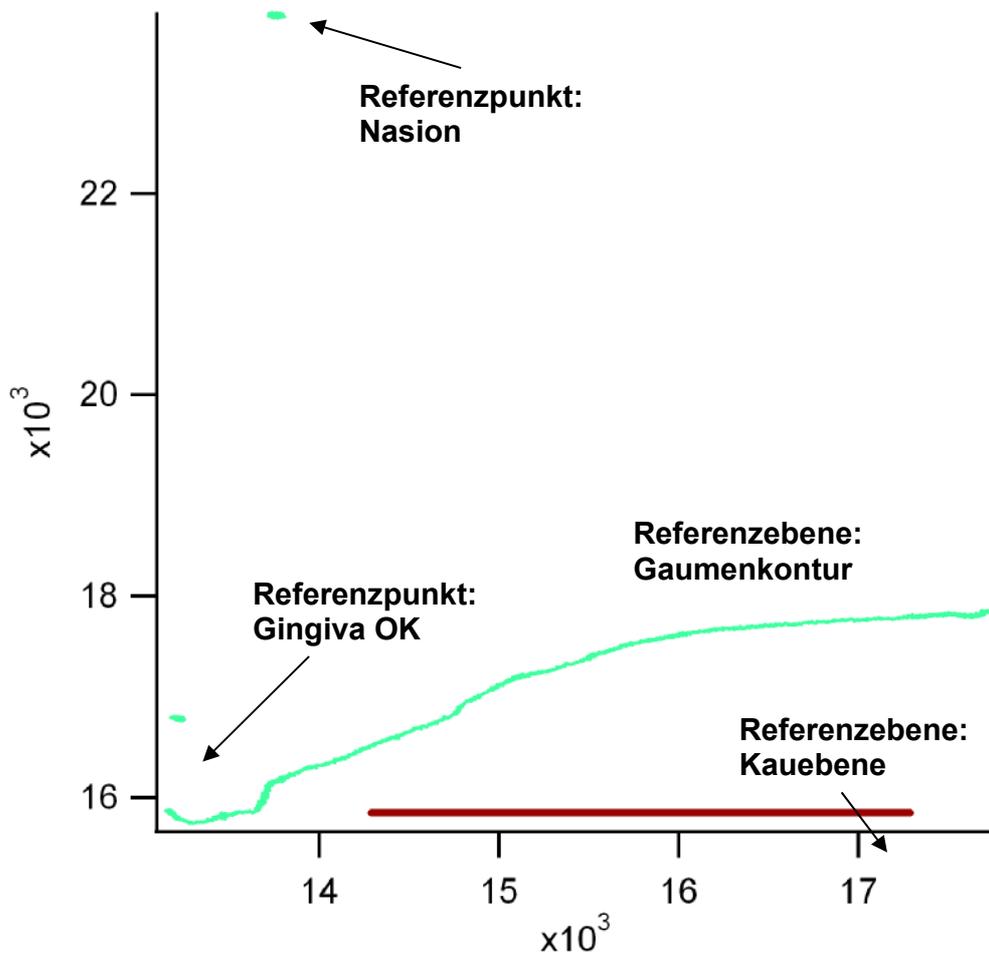


Abbildung (4): Darstellung Referenzpunkte und Bahnen

Nach den Sprachsequenzen folgten die Schlucksequenzen. Hierbei waren zehn Becher mit je zehn Milliliter Wasser vorbereitet. Nach jeder Wasserschluckphase kam eine Leerschluckphase, je zehn Mal pro Phase.

Die letzte Phase war die Dauerschluckphase, wobei normales Schluckverhalten ohne gezwungenes Schlucken aufgezeichnet wurde. In dieser Zeit durfte der Proband nicht sprechen.

Der gesamte Versuchsdurchlauf wurde zuerst in aufrechter und danach in entspannter Körperhaltung erneut aufgezeichnet.

Der aufgezeichnete Versuch und die damit verbundenen Daten sind so bearbeitet worden, dass sie von dem CAD-Programm „Igor pro“ von WaveMetrics, Lake Oswego, USA bearbeitet werden können.

2.4 Auswertungskriterien

2.4.1 Auswertung der aufgezeichneten Bewegungsbahnen

Die durch die Versuche entstandenen Daten wurden mit dem CAD-Programm „Igor Pro“ aufgezeichnet und bearbeitet.

Reihenfolge der Dateien:

2.4.1.1 *.Axx (Akustik Dateien)

Hierbei wurde von Nr. 8 bis Nr. 20 in aufrechter Körperhaltung und von Nr. 42 bis Nr. 54 in entspannter Körperhaltung aufgezeichnet.

2.4.1.2 *.K01 bis K04 (Kinematik Dateien) Gaumenkontur

Die drei aufgezeichneten Spulensignaturen in den Dateien ist erstens die Spule „OK Gingiva“ (Spule Nr.4), zweitens die Spule „Nase“ (Spule Nr. 8) und drittens die Spule „Gaumenkontur“ (Spule Nr.10, mit der man die Gaumenkontur nachgefahren hat).

2.4.1.3 *.K05 bis *.K07 (Kinematik Dateien) Kauebene

Diese Datei enthält vier aufgezeichnete Spulensignaturen:

1. Spule: OK Gingiva (Spule Nr. 4)
2. Spule: Nase (Spule Nr. 8)
3. Spule: Kauebene anterior (Spule Nr. 9)
4. Spule: Kauebene posterior (Spule Nr. 10).

2.4.1.4 *.K08 bis *.K41 (Kinematik Dateien) VCV- und CVC-Sequenzen, Text, Schlucksequenzen, Dauerschlucken

Es wurden hierbei acht Spulensignaturen aufgezeichnet:

1. Spule: Zungenspitze: 0 cm dorsal
2. Spule: Zungenrücken: 2 cm dorsal
3. Spule: Zungengrund: 4 cm dorsal
4. Spule: Gingiva OK

5. Spule: Gingiva UK
6. Spule: Lippe OK (Rot/Weiß-Grenze)
7. Spule: Lippe UK (Rot/Weiß-Grenze)
8. Spule: Nase (Nasion)

Es wurde auf eine aufrechte Körperhaltung geachtet. Analog zu *.K08 bis *.K41 wurde *.K42 bis *.K75 in entspannter Körperhaltung durchgeführt.

2.4.2 Referenzpunkt- und Bahnenerstellung

Durch den Versuchsaufbau kann nicht gewährleistet werden, dass jede fixe Senderspule immer exakt die gleiche Beziehung bzw. den gleichen Abstand zu den Empfängerspulen hat, da der Helm sich etwas während der Messung verschieben kann.

Aber auch zwischen den Probanden wäre ohne eine Referenz keine Vergleichbarkeit möglich.

Deshalb ist eine Referenz nötig, wobei hier die „Kauebene“, der Punkt „OK Gingiva“ und der Punkt „Nasion“ gewählt wurden. Die „Gaumenkontur“ wurde ebenfalls zu den Referenzebenen beigefügt, wodurch Zungenbewegungen vergleichbar sind.

Die mit Spule 9 und 10 aufgezeichnete Kauebene wird parallel zur x-Achse hin gedreht und die, gleichzeitig mit der Kauebene aufgezeichneten, Referenzpunkte „OK Gingiva“ (Spule 4) und „Nasion“ (Spule 8) werden mit verschoben, so dass sie noch die gleiche Relation zu einander haben.

Der Nullpunkt des Koordinatensystems ist die Empfängerspule am Kinn.

2.4.3 Ausrichtung der Daten

Die weiter gewonnenen Daten bzw. Spulenpositionen und Spulenaufzeichnungen müssen nun im Koordinatenkreuz in richtiger Relation zu den Referenzpunkten und Referenzebenen ausgerichtet werden. Hierbei werden zuerst die neuen Aufzeichnungen vom Punkt „OK Gingiva“ auf den Referenzpunkt „OK Gingiva“ verschoben, danach die Aufzeichnungen „Nasion“ auf den Referenzpunkt „Nasion“ des Probanden rotiert. Das Rotationszentrum ist der Punkt „OK Gingiva“.

Nach diesen Vorgängen ist es möglich alle Aufzeichnungen miteinander zu vergleichen und das richtige Verhältnis zwischen Gaumen/Kaubene und den Bewegungsbahnen der beweglichen Spulen (Zunge, Unterkiefer, Lippen) ist eingestellt.

2.4.4 Filtern der Dateien

2.4.4.1 Akustikdaten

Durch das Filtern der Akustikdaten werden Töne „s“, „sch“, „t“,... verbessert und Störgeräusche unterbunden. Es wurde mit einem „Highpass“ von 10.000 Hz gefiltert.

Das bei manchen Aufzeichnungen aufgetretene tiefe Rauschen wurde mit einem „Notch-Filter“ mit 50 Hz bearbeitet. Es konnte nicht herausgefunden werden welchen Grund dieses Brummen hatte.

2.4.4.2 Kinematikdaten

Die Kinematikdaten wurden mit einem „Lowpass-Filter“ von 15 Hz bearbeitet welcher das umweltbedingte Grundrauschen unterdrückt. Diese Filterung minimiert bei der noch folgenden Peakbestimmung zusätzliche falsche Minima und Maxima.

2.4.5 Vorarbeit für die Auswertung der Sprachsequenzen- zeitlich

Für die Auswertung der Sprachsequenzen (von metasate bis metafate) in zeitlicher Dimension war die Vorarbeit bzw. das eindeutige Bestimmen von Messpunkten in den aufgezeichneten Kurven nötig, welche in der Dissertation von A. Klink mit durchgeführt wurde²⁴.

In dieser wurden die entsprechenden Kinematik Dateien in das „Igor pro“-Programm zusammen mit den dazugehörenden Akustik Dateien für jeden Probanden hinein geladen. Es wurden nur die Zungenspulen (Nr. 1, 2 und 3) geladen, welche für die entsprechende Auswertung gebraucht wurden. Eine Ausnahme ergab sich bei der Sequenz „metafate“, bei der die Unterlippenspule (Nr. 7) geladen wurde.

Die jeweilige VCV-Sequenz wurde durch ein Fenster eingegrenzt was durch die eingespielte Akustik ermöglicht wurde. Dies erleichterte die weitere Bearbeitung der VCV-Sequenzen.

Dann wurde in dieser Arbeit die VCV-Sequenz weiter eingeschränkt, indem die t-Punkte, welche die Sequenz eingrenzen, manuell gesetzt wurden. Die weitere Minima- und Maxima- Bestimmung wurde automatisch durchgeführt.

Die Minima und Maxima entsprechen der Position der Zunge, die beim Sprechen der Sequenz eingenommen wurden.

Beispielsweise bei der Sequenz „t-a-l-a-t“ wurde ein Minimum beim -a-, ein Maximum beim -l- und wieder ein Minimum beim zweiten -a- gesetzt.

Dabei wurde, zur späteren Auswertung der Sequenzen „metasate, metatate, metalate, metanate und metaschate“, die Spule 1 - die Zungenspitzen- spule - als am Aussagekräftigsten ausgewählt. Bei „metakate“ wurde Spule 3 - am Zungenrücken - verwendet und bei „metafate“ Spule 7 - die Unterlippens- spule - welche den regelmäßigsten Verlauf und regelmäßigste Position zur Auswertung einnahm.

2.4.6 Variablen zur Auswertung der Bewegungsbahnen

Die Variablen, welche ausgewählt wurden, sind für die zeitliche Auswertung ebenso wie für die räumliche Auswertung der Bewegungsbahnen der Zungenbewegung herangezogen worden. Dabei wurden andere Studien beachtet, um diese auszuwählen^{26,29,30}.

1. Bestehende Variablen

1.1 Positionen (x/y Koordinaten)

p1: Position Beginn 1. „t“ der t-VCV-t-Sequenz (1. Marker-Position)

p2: Position Extremposition 1. „a“ der t-VCV-t-Sequenz

p3: Position Extremposition Konsonant der t-VCV-t-Sequenz

p4: Position Extremposition 2. „a“ der t-VCV-t-Sequenz

p5: Position Beginn 2. „t“ der t-VCV-t-Sequenz (2. Marker-Position)

b1: Schwerpunkt Referenzpunkt Nase

b2: Schwerpunkt Referenzpunkt OK

1.2 Zeitpunkte

t1: Zeitpunkt Beginn 1. „t“ der t-VCV-t-Sequenz

t2: Zeitpunkt Extremposition 1. „a“ der t-VCV-t-Sequenz

t3: Zeitpunkt Extremposition Konsonant der t-VCV-t-Sequenz

t4: Zeitpunkt Extremposition 2. „a“ der t-VCV-t-Sequenz

t5: Zeitpunkt Beginn 2. „t“ der t-VCV-t-Sequenz

2. Berechnete Variablen

2.1 Distanzen

D1: Strecke p1 p2 („t“-V1)

D2: Strecke p2 p3 (V1-C)

D3: Strecke p3 p4 (C-V2)

D4: Strecke p4 p5 (V2-„t2“)

D5: Strecke p1 p5 („t1“-„t2“)

D6: Strecke p2 p4 (V1-V2)

D7: Strecke p1 p3 („t1“-C)

D8: Strecke p3 p5 (C-„t2“)

D9: Strecke p1-b2 (x-Richtung)

D10: Strecke p1-b2 (y-Richtung)

D11: Strecke p2-b2 (x-Richtung)

D12: Strecke p2-b2 (y-Richtung)

D13: Strecke p3-b2 (x-Richtung)

D14: Strecke p3-b2 (y-Richtung)

D15: Strecke p4-b2 (x-Richtung)

D16: Strecke p4-b2 (y-Richtung)

D17: Strecke p5-b2 (x-Richtung)

D18: Strecke p5-b2 (y-Richtung)

Die Distanzen sind in dieser Arbeit nicht relevant jedoch zur Vollständigkeit mit erwähnt²⁴.

2.2 Zeitintervalle

T1: Zeitintervall t1 t2 („t1“-V1)

T2: Zeitintervall t2 t3 (V1-C)

T3: Zeitintervall t3 t4 (C-V2)

T4: Zeitintervall t4 t5 (V2-„t2“)

T5: Zeitintervall t1 t5 („t1“-„t2“)

T6: Zeitintervall t2 t4 (V1-V2)

T7: Zeitintervall t1 t3 („t1“-C)

T8: Zeitintervall t3 t5 (C-„t2“)

2.3 Winkel

Alpha 1: Winkel Kauebene-p1 p2 („t1“-V1)

Alpha 2: Winkel Kauebene-p2 p3 (V1-C)

Alpha 3: Winkel Kauebene-p3 p4 (C-V2)

Alpha 4: Winkel Kauebene-p4 p5 (V2-„t2“)

Alpha 5: Winkel Kauebene-p1 p5 („t1“-„t2“)

Alpha 6: Winkel Kauebene-p2 p4 (V1-V2)

Alpha 7: Winkel Kauebene-p1 p5 („t1“-C)

Alpha 8: Winkel Kauebene-p3 p5 (C-„t2“)

Die Winkel werden ebenfalls nicht in dieser Arbeit bearbeitet und sind nur zur Vollständigkeit erwähnt²⁴.

Variablen gesamt:

Positionen	12
Zeitpunkte	5
Distanzen	18
Zeitintervalle	8
Winkel	8
<hr/>	
Gesamt:	51

2.4.7 Beschreibung der Variablen

2.4.7.1 Positionen

Die beiden Positionen p1 und p5 sind die Positionen, welche die t-VCV-t-Sequenz eingrenzen und manuell mit Hilfe der Akustik gesetzt wurden. Sie sind nicht einzeln auswertbar sondern als Vorstufe gedacht, um damit für uns relevante Daten zu erarbeiten. P1 (bzw. das erste -t-) und p5 (das zweite -t-) wurden gewählt, um die gesamte Sequenz einzugrenzen und die Messung zu beginnen bzw. zu beenden.

Die anderen Positionen (p2, p3, p4) wurden danach automatisch berechnet.

P2 ist das Minimum, welche die Zunge als kaudalste Position mit dem ersten Vokal erzeugt. P3 ist der Konsonant, liegt wieder weiter kranial und ist dadurch ein Maximum. P4 ist der zweite Vokal und liegt wieder kaudal und ergibt ein Minimum.

2.4.7.2 Zeitpunkte

Die Zeitpunkte t_1 - t_5 entsprechen analog den Positionen p_1 - p_5 und verdeutlichen den zeitlichen Rahmen. Dabei grenzen die beiden Positionen t_1 und t_5 wiederum die gesamte Sequenz ein. T_2 , t_3 und t_4 zeigen die zeitlichen Punkte an, bei welchen die Zunge ein Minimum bzw. ein Maximum (bei den Vokalen bzw. dem Konsonanten) einnimmt.

2.4.7.3 Distanzen

Die Distanzen entsprechen analog den Zeitintervallen (siehe Erläuterungen der Zeitintervalle). Die Werte wurden vom Programm „Igor“ berechnet.

2.4.7.4 Zeitintervalle

Alle Zeitintervalle sind Messungen von einem Zeitpunkt bis zum zweiten.

Das Intervall T_1 wird gemessen zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 , also vom ersten Extrempunkt den die Zunge bei der t-VCV-t-Sequenz abfährt bis zum zweiten Extrempunkt.

T_2 ist die Zeit, welche von t_2 nach t_3 vom Computer errechnet wird, bzw. das Zeitintervall vom ersten Vokal zum Konsonanten.

Ebenso ist es bei T_3 , welcher errechnet und nicht manuell gesetzt wird. Das Intervall T_3 ist der Zeitabstand, der sich von t_3 nach t_4 ergibt.

Das Zeitintervall welcher von t_4 nach t_5 entsteht, also vom zweiten Vokal zum wiederum manuell gesetzten zweiten t, ist T_4 .

Bei T_5 ist der Zeitraum zwischen erstem und zweitem t, von t_1 nach t_5 berechnet, welche jedoch manuell gesetzt wurden, wodurch dieses Intervall nicht unbedingt mit den anderen Probanden vergleichbar ist.

T_6 beschreibt die Zeit von t_2 nach t_4 , welches die Zeit vom ersten zum zweiten Vokal ist.

T7 ist der Zeitintervall der zwischen t1 und t3 gemessen wird, der Zeitraum vom ersten t zum Konsonanten der VCV-Sequenz T8 ist die Zeitspanne vom Konsonanten zum zweiten t.

2.4.7.5 Winkel

Die Winkel werden in einer anderen Dissertation erörtert und behandelt.

2.5 Statistische Auswertung

Die Rohdaten der Probanden wurden mit „Igor Pro“ so programmiert und bearbeitet, dass sie anschließend in JMP IN (Version 5.1) ausgewertet werden konnten. Zur Erhebung des Messfehlers, des Unterschiedes des Geschlechtes und der Position wurden alle zehn Wiederholungen der Sweeps gemittelt.

Eingangs wurde der Messfehler nach Bland und Altman ermittelt, auch der 1,96-fache und 2,77-fache Messfehler¹. Bland und Altman machen die Aussage, dass in 95 % der Fälle erwartet werden kann, dass ein Messergebnis um weniger als 1,96, multipliziert mit dem gemessenen Wert des Messfehlers, vom wahren aber unbekanntem Wert abweicht und dass in 95 % der Fälle zwei Messergebnisse von ein und derselben Messgröße um weniger als 2,77, multipliziert mit dem gemessenen Wert des Messfehlers, voneinander abweichen¹.

Der einfache Messfehler entsteht, indem die Quadratwurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Standardabweichung gezogen wird, danach wird er mit 1,96 bzw. 2,77 multipliziert. Die einfachen Messfehler konnten so kategorisiert werden.

Kategorien der Zeitintervalle:

Kategorie 1: Sehr geringe Messfehler wurden mit drei Sternen bewertet,

Werte $\leq 0,025$ s

Kategorie 2: Brauchbare Messfehler wurden mit zwei Sternen bewertet,

Werte $>0,025$ s $\leq 0,05$ s

Kategorie 3: Gerade noch brauchbare Messfehler wurden mit einem Stern bewertet,

Werte $> 0,05$ s $\leq 0,075$ s

Kategorie 4: Nicht mehr brauchbare Messfehler wurden mit keinem Stern bewertet

Werte $> 0,075$ s

(jedoch gab es keine Messfehler bei unseren Analysen, welche diesen Wert erreichten)

Mit den so verbliebenen Daten wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt, um den Einfluss von Sweep, Variable und Position auf den Messfehler im Gesamten zu ermitteln und um den Einzeleinfluss von Sweep, Variable und Körperposition auf den Messfehler zu behandeln.

Dann wurde mit den Daten, von jedem Zeitintervall, Paare gebildet aus der aufrechten und der dazugehörigen entspannten Körperposition, um gegebenenfalls Unterschiede zwischen den aufrechten und entspannten Messungen zu erfahren.

Zum Vergleich der aufrechten und entspannten Körperhaltungsmessung wurde für jede Variable eine Oneway-Analyse gemacht.

Der Wilcoxon/Kruskal-Wallis-Test wurde als non-parametrischer Test durchgeführt; hinzu wurde der p-Wert in einem 2-Sample-Test erarbeitet.

Oneway-Analysen wurden durchgeführt, um herauszufinden ob die Position Einfluss auf den Messfehler und den zeitlichen Ablauf der Bewegungsbahn der Zunge hat.

Die Normwerte sind wichtige Werte, um herauszufinden, ob eine Variable eines Messfehlers bzw. eines Sweeps für diagnostische Zwecke verwendet werden kann oder nicht. Ist ein Messfehler gering, kennzeichnet dies einen Normwert. Bei der Normwertbestimmung wurden die Werte der zeitlichen Zungenbewegungsmessungen mit den Messfehlern in Beziehung gebracht und die Verbreitung der Daten um den Messfehler bestimmt.

3. Ergebnisse

Im Rahmen der Darstellung der Ergebnisse von Sprachsequenzen in Bezug zum zeitlichen Verlauf, wurde für jeden Sweep verschiedene Variablen ausgewertet. Es wurde die aufrechte und entspannte Position mitberücksichtigt.

3.1 Messfehleranalyse

Bei der Messfehleranalyse der 25 Probanden wurde ein Mittelwert von den zehn wiederholten Sprachsequenzen errechnet. Dies wurde für alle Variablen und alle Sweeps gemacht. Von diesem Wert wiederum bestimmte man den Messfehler, den 1,96-fachen Messfehler, den 2,77-fachen Messfehler, den Mittelwert und die Standardabweichung und ordnete sie nach Sweep und Position für jede Variable.

Da es keine vollkommenen Messbedingungen gibt und es bei Messwiederholungen unter ähnlichen Voraussetzungen zu Veränderungen der Messergebnisse kommen kann, verwendet man diese Differenziertheit, um Messfehler zu bestimmen.

Außerdem ergeben gemessene Ergebnisse nicht den eigentlichen Messwert, sondern sind nur Näherungen, wodurch es erforderlich ist, die Genauigkeit eines Gerätes zu bestimmen.

3.1.1 Zeitintervalle

Die Messfehler, welche mit 1,96 multipliziert wurden, wurden nach ihrer Güte in vier Gruppen eingeteilt. Die Messfehler $\leq 0,025$ s wurden mit drei Sternen ausgezeichnet, und weisen damit einen sehr geringen Messfehler auf. Werte $>0,025$ s bzw. $\leq 0,05$ s wurden mit zwei Sternen ausgezeichnet und liegen in einem akzeptablen Bereich. Zwischen $> 0,05$ s und $\leq 0,075$ s liegen die Messfehler, welche gerade noch akzeptabel sind und einen Stern bekamen. Alle darüber erhielten keinen Stern und wurden nicht mehr in die Auswertung genommen.

Ergebnisse

Die Einteilung in Kategorien wird in der folgenden kleinen Übersichtstabelle noch einmal dargestellt:

Kategorie	Messfehler	Sternchen
1	$\leq 0,025$	* * *
2	$> 0,025 \leq 0,05$	* *
3	$> 0,05 \leq 0,075$	*
4	$> 0,075$	

Tabelle (1): Kategorien der Messfehler der Zeitintervalle

Die folgende Tabelle zeigt die Messfehlerwerte gestaffelt von drei Sternen bis einem Stern. (Es ergab sich nach Bearbeitung der Daten keine Kategorie 4):

Sweep	Variablen	Position	(Std Dev Werte**2)Mean	Mean (Mean 1)	Messfehler	Messfehler1,96*	Messfehler2,77*	$\leq 0,05$ (***) $\leq 0,075$ (*) $\leq 0,025$ (****)Messfehler*1,96
Metakate	T1 [s]	aufrecht	7,7815	0,06	0,008	0,017	0,0244	***
Metakate	T1 [s]	entspannt	0,0001	0,06	0,010	0,020	0,0287	***
Metalate	T1 [s]	aufrecht	9,9413	0,08	0,010	0,020	0,0276	***
Metanate	T1 [s]	aufrecht	0,0001	0,08	0,011	0,022	0,0305	***
Metasate	T1 [s]	aufrecht	0,0002	0,09	0,013	0,025	0,0347	***
Metasate	T1 [s]	entspannt	8,3726	0,08	0,009	0,018	0,0254	***
Metaschate	T1 [s]	aufrecht	9,8507	0,08	0,010	0,019	0,0275	***
Metaschate	T1 [s]	entspannt	0,0001	0,08	0,011	0,021	0,0292	***
Metatate	T1 [s]	aufrecht	9,8729	0,08	0,010	0,019	0,0275	***
Metatate	T1 [s]	entspannt	9,8029	0,07	0,010	0,019	0,0274	***
Metakate	T2 [s]	aufrecht	6,1809	0,1	0,008	0,015	0,0218	***
Metakate	T2 [s]	entspannt	8,0794	0,1	0,009	0,018	0,0249	***
Metalate	T2 [s]	aufrecht	8,2823	0,08	0,009	0,018	0,0252	***
Metalate	T2 [s]	entspannt	7,9623	0,08	0,009	0,018	0,0247	***
Metanate	T2 [s]	aufrecht	9,1166	0,08	0,010	0,019	0,0265	***
Metanate	T2 [s]	entspannt	7,2111	0,08	0,009	0,017	0,0235	***
Metasate	T2 [s]	aufrecht	8,4997	0,1	0,009	0,018	0,0255	***
Metasate	T2 [s]	entspannt	0,0001	0,09	0,011	0,022	0,0307	***
Metaschate	T2 [s]	aufrecht	0,0001	0,1	0,012	0,023	0,0319	***

Ergebnisse

Metaschate	T2 [s]	entspannt	0,0001	0,09	0,010	0,021	0,0299	***
Metatate	T2 [s]	aufrecht	8,3854	0,08	0,010	0,018	0,0254	***
Metatate	T2 [s]	entspannt	8,2381	0,08	0,009	0,018	0,0251	***
Metalate	T3 [s]	aufrecht	6,5177	0,07	0,008	0,016	0,0224	***
Metalate	T3 [s]	entspannt	8,7023	0,07	0,009	0,018	0,0258	***
Metanate	T3 [s]	aufrecht	0,0001	0,07	0,011	0,022	0,0313	***
Metanate	T3 [s]	entspannt	8,4838	0,07	0,009	0,018	0,0255	***
Metasate	T3 [s]	aufrecht	0,0001	0,07	0,011	0,021	0,0301	***
Metaschate	T3 [s]	aufrecht	0,0002	0,08	0,013	0,025	0,0351	***
Metaschate	T3 [s]	entspannt	0,0002	0,08	0,012	0,024	0,0343	***
Metatate	T3 [s]	aufrecht	0,0001	0,08	0,010	0,021	0,0299	***
Metatate	T3 [s]	entspannt	0,0001	0,08	0,010	0,020	0,0278	***
Metatate	T4 [s]	entspannt	0,0002	0,1	0,013	0,025	0,0351	***
Metalate	T6 [s]	aufrecht	0,0001	0,15	0,011	0,022	0,0305	***
Metalate	T6 [s]	entspannt	9,7960	0,15	0,010	0,019	0,0274	***
Metanate	T6 [s]	aufrecht	0,0001	0,15	0,012	0,026	0,0318	***
Metanate	T6 [s]	entspannt	8,4522	0,15	0,009	0,018	0,0255	***
Metasate	T6 [s]	aufrecht	0,0001	0,17	0,012	0,023	0,0328	***
Metaschate	T6 [s]	aufrecht	0,0001	0,18	0,011	0,022	0,0313	***
Metaschate	T6 [s]	entspannt	0,0001	0,17	0,012	0,023	0,0324	***
Metatate	T6 [s]	aufrecht	0,0001	0,16	0,011	0,022	0,0314	***
Metatate	T6 [s]	entspannt	9,9577	0,16	0,010	0,020	0,0276	***
Metafate	T7 [s]	aufrecht	9,2325	0,18	0,010	0,019	0,0266	***
Metafate	T7 [s]	entspannt	9,7162	0,17	0,010	0,019	0,0273	***
Metakate	T7 [s]	aufrecht	9,9548	0,17	0,010	0,020	0,0276	***
Metakate	T7 [s]	entspannt	0,0002	0,16	0,012	0,024	0,0343	***
Metatate	T7 [s]	aufrecht	0,0001	0,16	0,012	0,023	0,0324	***
Metafate	T8 [s]	aufrecht	0,0002	0,17	0,012	0,024	0,0345	***
Metafate	T1 [s]	aufrecht	0,0003	0,07	0,017	0,034	0,0477	**
Metafate	T1 [s]	entspannt	0,0002	0,07	0,014	0,027	0,0375	**
Metalate	T1 [s]	entspannt	0,0005	0,08	0,022	0,043	0,0607	**
Metanate	T1 [s]	entspannt	0,0006	0,07	0,024	0,047	0,0663	**
Metafate	T2 [s]	aufrecht	0,0003	0,11	0,016	0,031	0,0443	**
Metafate	T2 [s]	entspannt	0,0002	0,11	0,013	0,025	0,0354	**
Metakate	T3 [s]	aufrecht	0,0003	0,1	0,017	0,033	0,0470	**
Metakate	T3 [s]	entspannt	0,0005	0,11	0,021	0,041	0,0586	**
Metasate	T3 [s]	entspannt	0,0002	0,07	0,013	0,025	0,0354	**
Metakate	T4 [s]	entspannt	0,0006	0,06	0,024	0,047	0,0668	**
Metalate	T4 [s]	aufrecht	0,0002	0,1	0,014	0,028	0,0399	**
Metalate	T4 [s]	entspannt	0,0006	0,1	0,024	0,046	0,0652	**
Metanate	T4 [s]	aufrecht	0,0003	0,1	0,017	0,033	0,0469	**
Metasate	T4 [s]	entspannt	0,0002	0,11	0,013	0,026	0,0366	**
Metaschate	T4 [s]	aufrecht	0,0002	0,09	0,015	0,029	0,0415	**
Metaschate	T4 [s]	entspannt	0,0002	0,09	0,013	0,025	0,0357	**
Metatate	T4 [s]	aufrecht	0,0002	0,09	0,015	0,029	0,0403	**
Metafate	T5 [s]	aufrecht	0,0002	0,35	0,014	0,028	0,0395	**
Metafate	T5 [s]	entspannt	0,0002	0,34	0,015	0,030	0,0428	**
Metakate	T5 [s]	entspannt	0,0003	0,33	0,018	0,035	0,0491	**
Metasate	T5 [s]	entspannt	0,0003	0,35	0,017	0,033	0,0464	**
Metaschate	T5 [s]	aufrecht	0,0003	0,36	0,018	0,035	0,0487	**
Metaschate	T5 [s]	entspannt	0,0003	0,35	0,017	0,033	0,0467	**
Metatate	T5 [s]	aufrecht	0,0003	0,34	0,016	0,032	0,0450	**

Ergebnisse

Metatate	T5 [s]	entspannt	0,0003	0,33	0,016	0,032	0,0447	**
Metakate	T6 [s]	aufrecht	0,0004	0,2	0,019	0,037	0,0523	**
Metakate	T6 [s]	entspannt	0,0005	0,21	0,023	0,045	0,0636	**
Metasate	T6 [s]	entspannt	0,0002	0,16	0,014	0,027	0,0376	**
Metalate	T7 [s]	aufrecht	0,0002	0,16	0,013	0,025	0,0358	**
Metalate	T7 [s]	entspannt	0,0006	0,16	0,024	0,047	0,0660	**
Metanate	T7 [s]	aufrecht	0,0002	0,16	0,014	0,028	0,0390	**
Metanate	T7 [s]	entspannt	0,0006	0,16	0,025	0,050	0,0702	**
Metasate	T7 [s]	aufrecht	0,0002	0,19	0,015	0,029	0,0407	**
Metasate	T7 [s]	entspannt	0,0002	0,18	0,014	0,027	0,0377	**
Metaschate	T7 [s]	aufrecht	0,0002	0,18	0,014	0,027	0,0384	**
Metaschate	T7 [s]	entspannt	0,0002	0,17	0,013	0,026	0,0363	**
Metatate	T7 [s]	entspannt	0,0002	0,16	0,013	0,026	0,0372	**
Metafate	T8 [s]	entspannt	0,0002	0,17	0,014	0,028	0,0392	**
Metakate	T8 [s]	entspannt	0,0003	0,17	0,016	0,031	0,0435	**
Metalate	T8 [s]	aufrecht	0,0003	0,17	0,016	0,031	0,0438	**
Metalate	T8 [s]	entspannt	0,0006	0,16	0,024	0,048	0,0676	**
Metanate	T8 [s]	aufrecht	0,0004	0,17	0,020	0,038	0,0542	**
Metasate	T8 [s]	entspannt	0,0002	0,17	0,015	0,029	0,0416	**
Metaschate	T8 [s]	aufrecht	0,0003	0,17	0,017	0,032	0,0459	**
Metaschate	T8 [s]	entspannt	0,0003	0,17	0,016	0,031	0,0442	**
Metatate	T8 [s]	aufrecht	0,0003	0,17	0,017	0,033	0,0464	**
Metatate	T8 [s]	entspannt	0,0002	0,17	0,015	0,030	0,0419	**
Metakate	T4 [s]	aufrecht	0,0012	0,07	0,036	0,069	0,0987	*
Metanate	T4 [s]	entspannt	0,0008	0,1	0,028	0,056	0,0784	*
Metasate	T4 [s]	aufrecht	0,0007	0,11	0,027	0,052	0,0734	*
Metakate	T5 [s]	aufrecht	0,0014	0,34	0,034	0,073	0,1032	*
Metasate	T5 [s]	aufrecht	0,0012	0,36	0,034	0,067	0,0942	*
Metakate	T8 [s]	aufrecht	0,0011	0,17	0,034	0,066	0,0938	*
Metanate	T8 [s]	entspannt	0,0008	0,17	0,029	0,056	0,0790	*
Metasate	T8 [s]	aufrecht	0,0009	0,17	0,030	0,060	0,0843	*

Tabelle (2): Messfehler der Kategorie 1 - 3 nach Variablen sortiert

Um die Bewertung der Messfehler verdeutlichen zu können, wurde ein Bewertungsquotient aus Anzahl der vorhandenen Sterne pro Sweep (folglich von metatate, metaschate, etc.) und der gesamten Variablenanzahl bestimmt (T1 - T8, aufrecht und entspannt). Dabei stellte sich heraus, dass metatate die beste Wertung hatte und metafate die schlechteste Wertung.

Sweep	Bewertungsquotient
metatate	2,63
metaschate	2,5
metakate	2,19
metalate	2,19
metasate	2,19

metanate	2,01
metafate	1,44

Tabelle (3): Bewertungsquotienten der Messfehler, nach Sweep (maximal 3,0, minimal 0)

Um die Bewertung des Messfehlers in Bezug auf die Variable weiter bewerten zu können, wurde ein Bewertungsquotient aus Anzahl der vorhandenen Sterne und der denkbaren Sweeps (14) gebildet. Dabei stellte sich heraus, dass die Variable T2 die beste Wertung hatte und T5 die schlechteste.

Variable	Bewertungsquotient
T2	2,86
T1	2,71
T3	2,36
T6	2,36
T7	2,36
T8	1,86
T4	1,64
T5	1,43

Tabelle (4): Bewertungsquotient der Messfehler, nach Variable (max. 3,0, min 0)

3.1.2 Kovarianzanalysen

Mit den Daten, welche 1 - 3 Sterne hatten wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt. Zuerst wurde ein Gesamtmodell erstellt, bei dem der Einfluss auf den Messfehler von Sweep, Position und Variable untersucht wurde. Danach wurde die Beeinflussung jedes Parameters einzeln auf den Messfehler bestimmt.

Bei dieser Analyse wird die Reaktion mehrerer unabhängiger Variablen (mit ordinal, nominal oder metrischem Skalenniveau) auf eine abhängige Variable (mit metrischem Skalenniveau) in Augenschein genommen.

Die Konfidenzkurven zeigen durch Kreuzen der Mittelwertlinie, dass der Test bedeutsam ist. Nähern sie sich nur asymptotisch, liegt er zwischen bedeutsam und unbedeutsam. Unbedeutsam ist der Test, wenn zwischen den Kurven die

horizontale Mittelwertlinie liegt. Die Leverage-Plots stellen graphisch die Bedeutsamkeit des Modells dar, und der RSquare-Wert zeigt, mit welchem Prozentsatz das Modell die gesamte Variabilität erklärt.

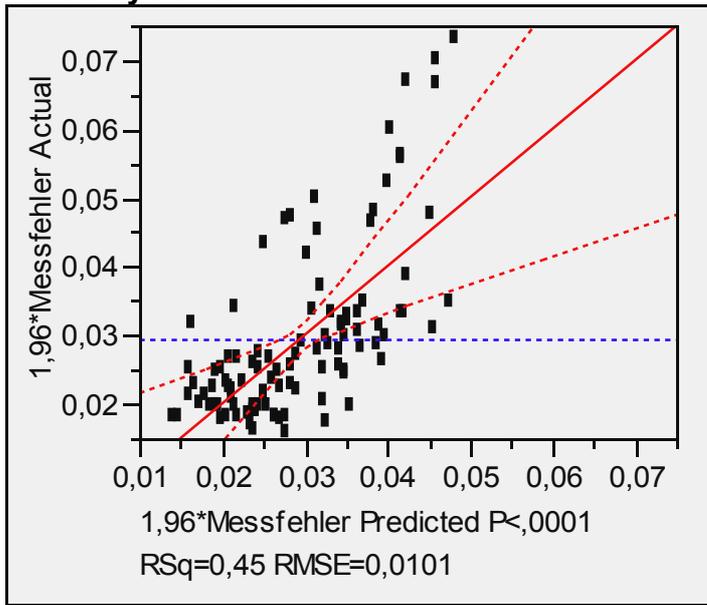
3.1.2.1 Zeitintervalle

Die Zeitintervalle sind Messungen von einem Zeitpunkt bis zum zweiten Zeitpunkt. Beispielsweise ist T1 das Intervall T1 zwischen den Zeitpunkten t1 und t2, vom ersten Extrempunkt den die Zunge bei der t-VCV-t-Sequenz abfährt bis zum zweiten Extrempunkt.

3.1.2.1.1 Gesamtmodell: Einfluss von Sweep, Variable und Position

Bei Erstellung des Gesamtmodells, wurde der Einfluss von Sweep, Position und Variable auf den Messfehler untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass der Sweep, mit einem P-Wert von 0,0077 und die Variablen mit einem P-Wert von $<0,0001$ einen signifikanten Einfluss auf das Gesamtmodell haben. Die Position, mit einem P-Wert von 0,7997, hat keinen Einfluss auf den Messfehler des Gesamtmodells.

Actual by Predicted Plot



Summary of Fit

RSquare	0,45229
RSquare Adj	0,364152
Root Mean Square Error	0,010116
Mean of Response	0,029449
Observations (or Sum Wgts)	102

Analysis of Variance

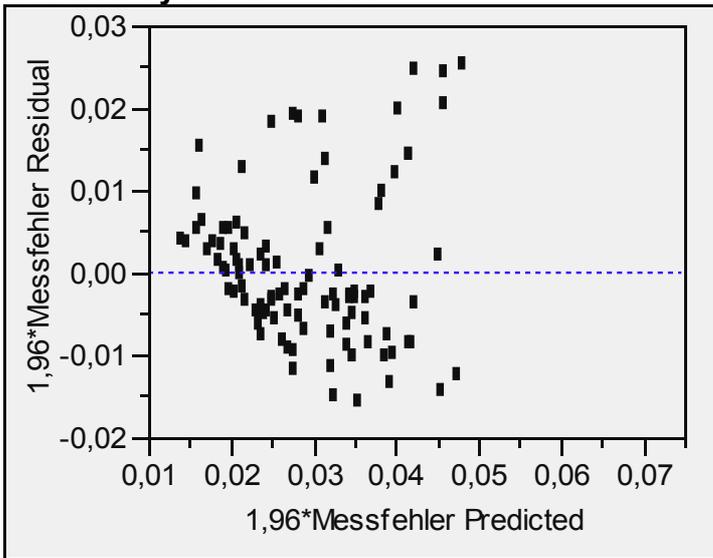
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	14	0,00735155	0,000525	5,1316
Error	87	0,00890253	0,000102	Prob > F
C. Total	101	0,01625408		<,0001

Effect Tests

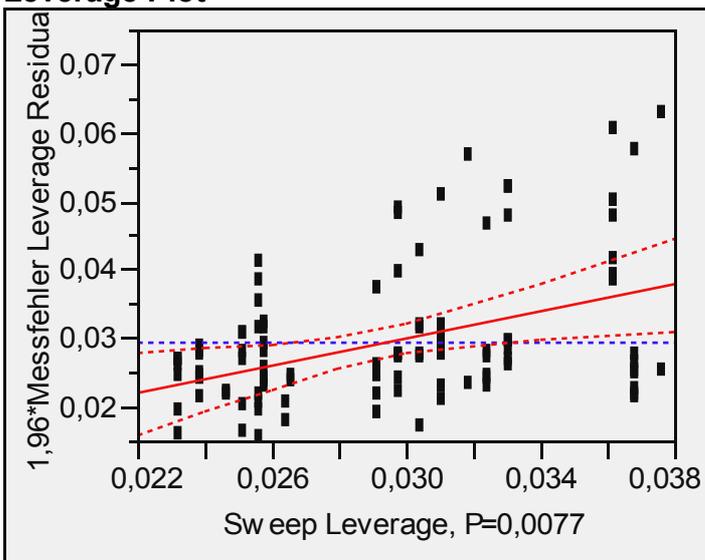
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Sweep	6	6	0,00193346	3,1491	0,0077
Variablen	7	7	0,00554497	7,7412	<,0001
Position	1	1	0,00000663	0,0648	0,7997

Ergebnisse

Residual by Predicted Plot



**Sweep:
Leverage Plot**



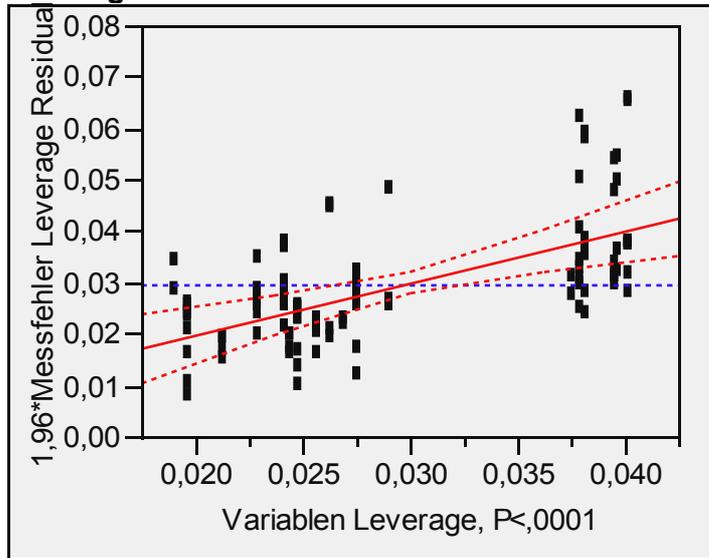
Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
Metafate	0,02585901	0,00330122	0,026513
Metakate	0,03707296	0,00252893	0,037073
Metalate	0,02997880	0,00273780	0,028440
Metanate	0,03330016	0,00273780	0,031762
Metasate	0,03126507	0,00252893	0,031265
Metaschate	0,02603811	0,00252893	0,026038
Metatate	0,02411215	0,00252893	0,024112

Ergebnisse

Variablen:

Leverage Plot

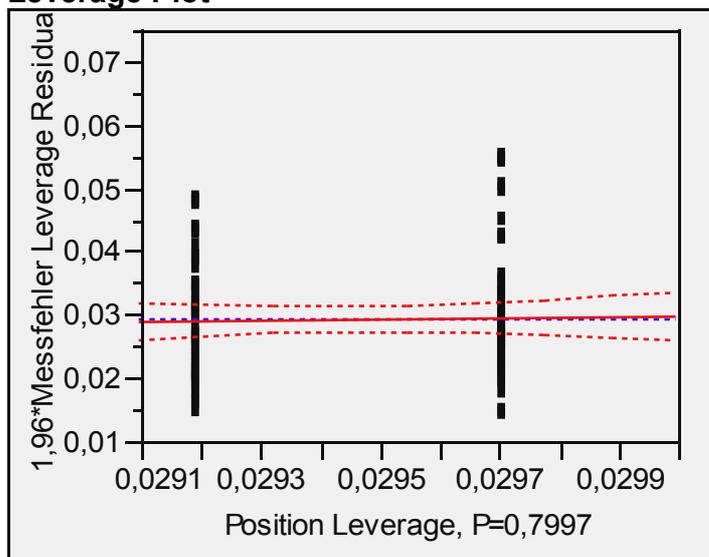


Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
T1 [s]	0,02502507	0,00270354	0,025025
T2 [s]	0,01995366	0,00270354	0,019954
T3 [s]	0,02314275	0,00296221	0,023776
T4 [s]	0,03818729	0,00296221	0,038821
T5 [s]	0,04043010	0,00326644	0,039639
T6 [s]	0,02438300	0,00296221	0,025017
T7 [s]	0,02776644	0,00270354	0,027766
T8 [s]	0,03839883	0,00270354	0,038399

Position:

Leverage Plot



Ergebnisse

Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
aufrecht	0,02991577	0,00143205	0,029704
entspannt	0,02940601	0,00143205	0,029194

Expanded Estimates

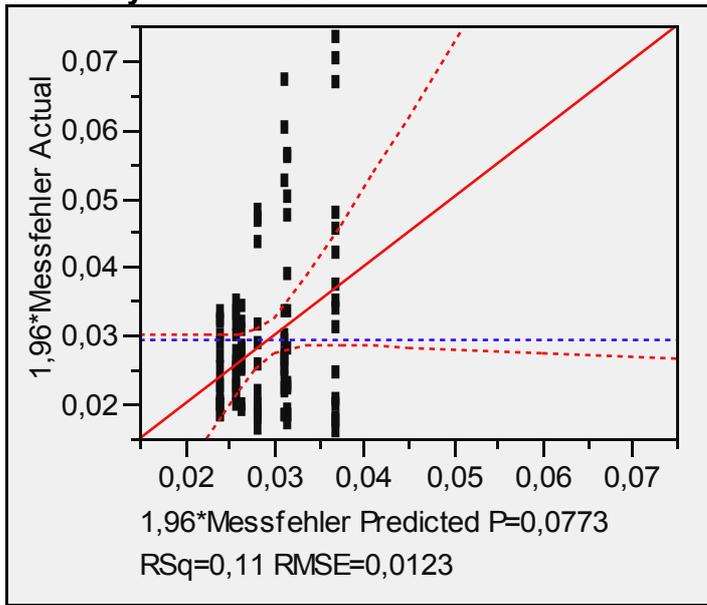
Nominal factors expanded to all levels

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	0,0296609	0,001023	28,98	<,0001
Sweep[Metafate]	-0,003802	0,002984	-1,27	0,2061
Sweep[Metakate]	0,0074121	0,00237	3,13	0,0024
Sweep[Metalate]	0,0003179	0,002527	0,13	0,9002
Sweep[Metanate]	0,0036393	0,002527	1,44	0,1534
Sweep[Metasate]	0,0016042	0,00237	0,68	0,5002
Sweep[Metaschate]	-0,003623	0,00237	-1,53	0,1300
Sweep[Metatate]	-0,005549	0,00237	-2,34	0,0215
Variablen[T1 [s]]	-0,004636	0,002555	-1,81	0,0731
Variablen[T2 [s]]	-0,009707	0,002555	-3,80	0,0003
Variablen[T3 [s]]	-0,006518	0,002745	-2,37	0,0198
Variablen[T4 [s]]	0,0085264	0,002745	3,11	0,0026
Variablen[T5 [s]]	0,0107692	0,003022	3,56	0,0006
Variablen[T6 [s]]	-0,005278	0,002745	-1,92	0,0578
Variablen[T7 [s]]	-0,001894	0,002555	-0,74	0,4605
Variablen[T8 [s]]	0,0087379	0,002555	3,42	0,0010
Position[aufrecht]	0,0002549	0,001002	0,25	0,7997
Position[entspannt]	-0,000255	0,001002	-0,25	0,7997

3.1.2.1.2 Einzelmodell: Einfluss von Sweep

Hierbei wurde der Einfluss des Sweeps im Einzelmodell auf den Messfehler untersucht. Dabei stellte sich, mit einem P-Wert von 0,0773, heraus, dass der Sweep einen signifikanten Einfluss auf den Messfehler hat.

Actual by Predicted Plot



Summary of Fit

RSquare	0,110738
RSquare Adj	0,054575
Root Mean Square Error	0,012335
Mean of Response	0,029449
Observations (or Sum Wgts)	102

Analysis of Variance

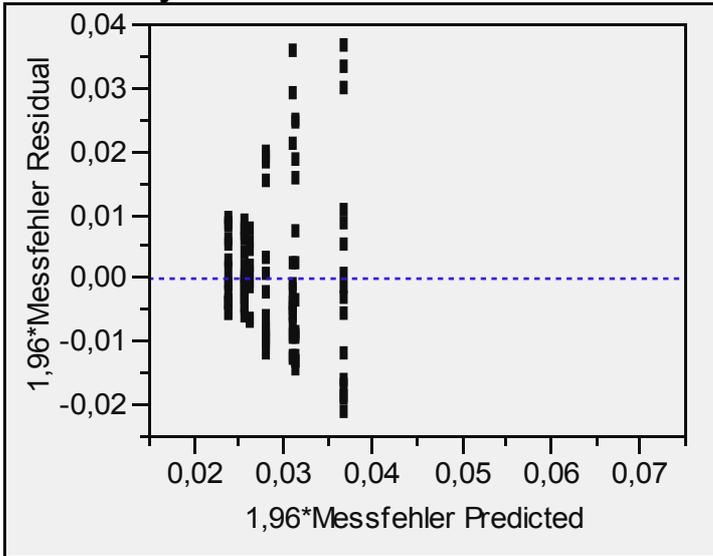
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	6	0,00179995	0,000300	1,9717
Error	95	0,01445413	0,000152	Prob > F
C. Total	101	0,01625408		0,0773

Effect Tests

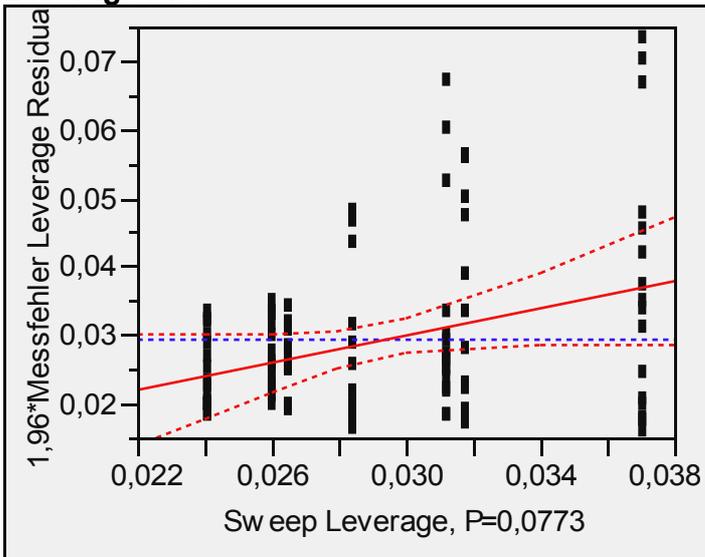
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Sweep	6	6	0,00179995	1,9717	0,0773

Ergebnisse

Residual by Predicted Plot



**Sweep:
Leverage Plot**



Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
Metafate	0,02651294	0,00390063	0,026513
Metakate	0,03707296	0,00308371	0,037073
Metalate	0,02844034	0,00329663	0,028440
Metanate	0,03176170	0,00329663	0,031762
Metasate	0,03126507	0,00308371	0,031265
Metaschate	0,02603811	0,00308371	0,026038
Metatate	0,02411215	0,00308371	0,024112

Expanded Estimates

Nominal factors expanded to all levels

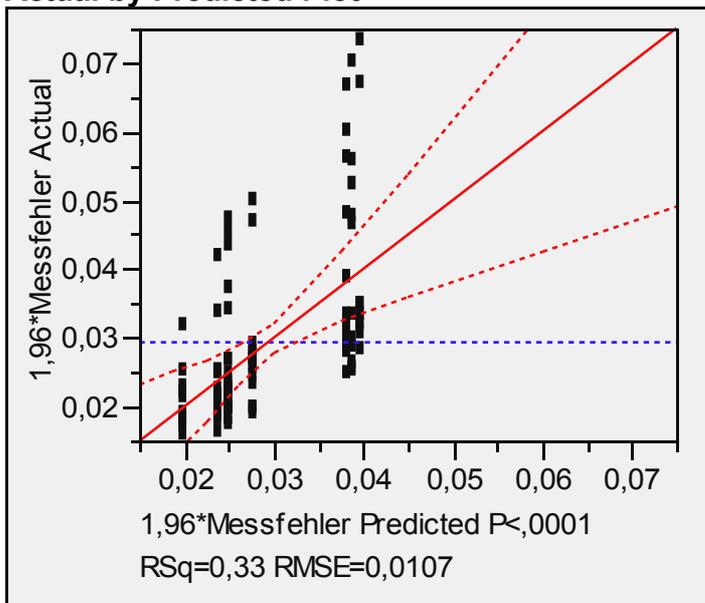
Ergebnisse

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	0,0293148	0,001237	23,70	<,0001
Sweep[Metafate]	-0,002802	0,003521	-0,80	0,4282
Sweep[Metakate]	0,0077582	0,002885	2,69	0,0085
Sweep[Metalate]	-0,000874	0,003048	-0,29	0,7749
Sweep[Metanate]	0,0024469	0,003048	0,80	0,4242
Sweep[Metasate]	0,0019503	0,002885	0,68	0,5007
Sweep[Metaschate]	-0,003277	0,002885	-1,14	0,2589
Sweep[Metatate]	-0,005203	0,002885	-1,80	0,0745

3.1.2.1.3 Einzelmodell: Einfluss von Variable

Bei Erstellung dieses Einzelmodells, wurde der Einfluss von Variable auf den Messfehler untersucht. Dabei stellte sich ein signifikanter Einfluss auf den Messfehler heraus, mit einem P-Wert von <,0001.

Actual by Predicted Plot



Summary of Fit

RSquare	0,332929
RSquare Adj	0,283254
Root Mean Square Error	0,01074
Mean of Response	0,029449
Observations (or Sum Wgts)	102

Ergebnisse

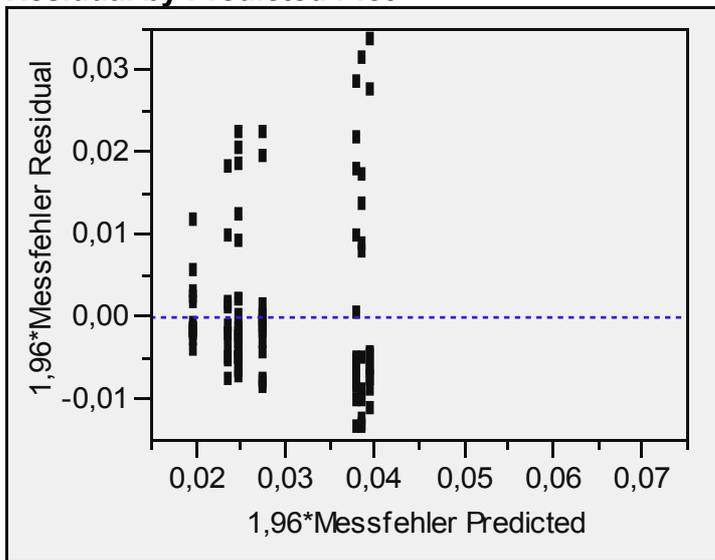
Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	7	0,00541146	0,000773	6,7021
Error	94	0,01084262	0,000115	Prob > F
C. Total	101	0,01625408		<,0001

Effect Tests

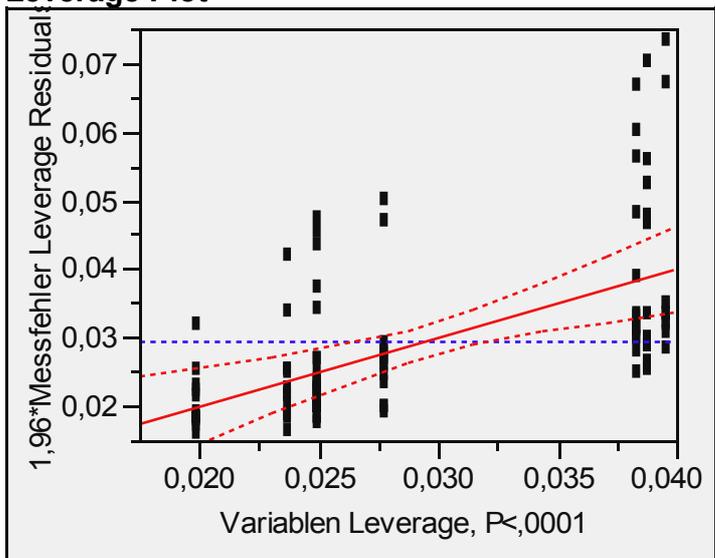
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Variablen	7	7	0,00541146	6,7021	<,0001

Residual by Predicted Plot



Variablen

Leverage Plot



Ergebnisse

Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
T1 [s]	0,02502507	0,00287038	0,025025
T2 [s]	0,01995366	0,00287038	0,019954
T3 [s]	0,02377640	0,00310036	0,023776
T4 [s]	0,03882093	0,00310036	0,038821
T5 [s]	0,03963867	0,00339628	0,039639
T6 [s]	0,02501664	0,00310036	0,025017
T7 [s]	0,02776644	0,00287038	0,027766
T8 [s]	0,03839883	0,00287038	0,038399

Expanded Estimates

Nominal factors expanded to all levels

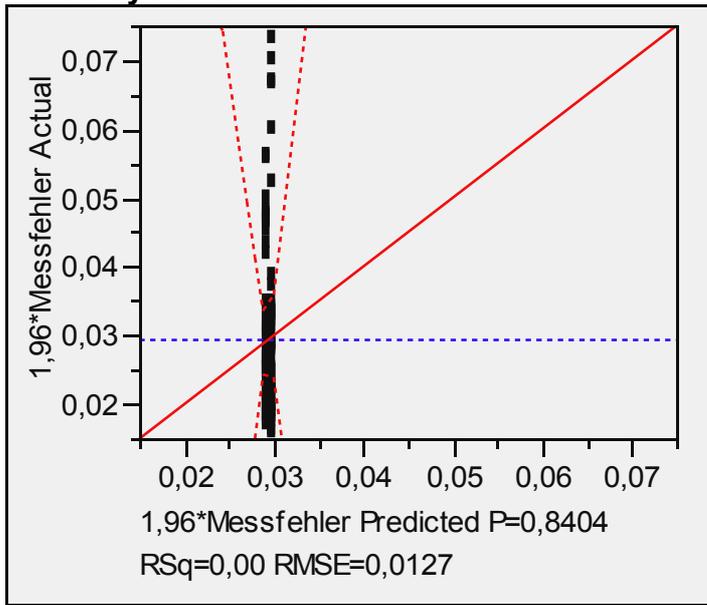
Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	0,0297996	0,00107	27,84	<,0001
Variablen[T1 [s]]	-0,004775	0,002706	-1,76	0,0810
Variablen[T2 [s]]	-0,009846	0,002706	-3,64	0,0004
Variablen[T3 [s]]	-0,006023	0,00289	-2,08	0,0399
Variablen[T4 [s]]	0,0090214	0,00289	3,12	0,0024
Variablen[T5 [s]]	0,0098391	0,00313	3,14	0,0022
Variablen[T6 [s]]	-0,004783	0,00289	-1,65	0,1013
Variablen[T7 [s]]	-0,002033	0,002706	-0,75	0,4544
Variablen[T8 [s]]	0,0085993	0,002706	3,18	0,0020

3.1.2.1.4 Einzelmodell: Einfluss von Position

Hierbei wurde der Einfluss der Position auf den Messfehler untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die Position, mit einem P-Wert von 0,8404 keinen signifikanten Einfluss auf den Messfehler hat.

Ergebnisse

Actual by Predicted Plot



Summary of Fit

RSquare	0,000408
RSquare Adj	-0,00959
Root Mean Square Error	0,012747
Mean of Response	0,029449
Observations (or Sum Wgts)	102

Analysis of Variance

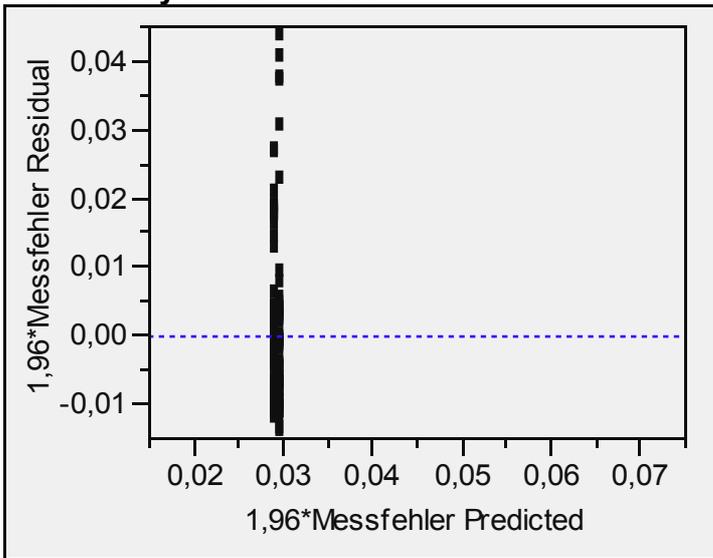
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	0,00000663	0,000007	0,0408
Error	100	0,01624746	0,000162	Prob > F
C. Total	101	0,01625408		0,8404

Effect Tests

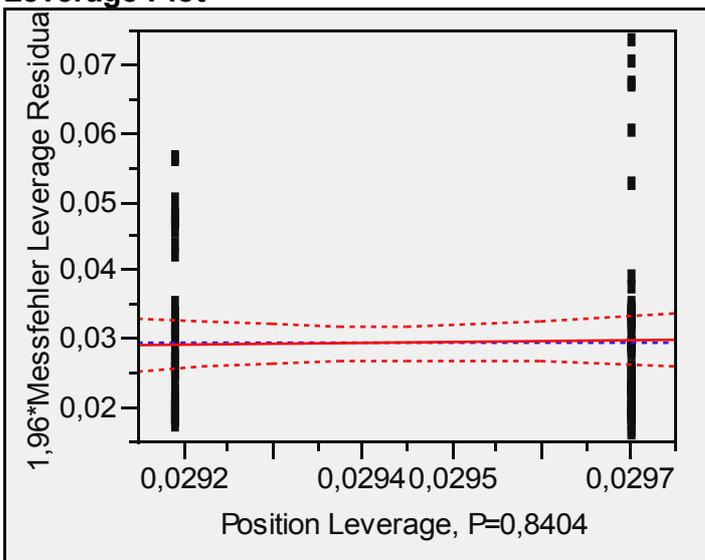
Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Position	1	1	0,00000663	0,0408	0,8404

Ergebnisse

Residual by Predicted Plot



**Position:
Leverage Plot**



Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
aufrecht	0,02970361	0,00178487	0,029704
entspannt	0,02919385	0,00178487	0,029194

Expanded Estimates

Nominal factors expanded to all levels

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	0,0294487	0,001262	23,33	<,0001
Position[aufrecht]	0,0002549	0,001262	0,20	0,8404
Position[entspannt]	-0,000255	0,001262	-0,20	0,8404

3.1.3 Einfluss der Position auf den Messfehler (oneway-Analysen)

Hierbei wurden wiederum nur die Daten verwendet welche bereits überarbeitet und mit mindestens einem Stern gekennzeichnet sind.

Zur Wertung des Messfehlers (1,96-fache) wurde für jede Variable eine oneway-Analyse erstellt. Mit Hilfe der p-Werte der Zeitintervalle werden die Unterschiede der aufrechten und entspannten Messfehler verdeutlicht, bzw. in diesen Fällen liegt der p-Wert über 0,05 und somit gibt es zwischen aufrechter und entspannter Körperposition keine signifikante Unterscheidung (Analysen im Anhang):

Variable	Prob-Wert
T1	0,5229
T2	0,6093
T3	1,0000
T4	0,4712
T5	0,5309
T6	0,6889
T7	0,5229
T8	0,3067

Tabelle (5): p-Werte der Zeitintervalle

3.2 Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung (oneway-Analysen)

3.2.1 Zeitintervalle

Man betrachtete die wahren gemessenen Werte, um herauszufinden, ob die Körperhaltung einen Einfluss auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung hat. Dabei wurde, wie schon erwähnt, eine Paarbildung mit dem jeweiligen aufrechten und entspannten Messpartner und eine Kategorisierung durchgeführt, um eine Analyse durchführen zu können. Diese oneway-Analyse untersucht die Daten wie eine Varianzanalyse.

Jedoch beinhalten zwei Sweeps nicht nur Analysen über die Zungenspitze. Bei dem Sweep metafate ist die Unterlippe beteiligt und bei metakate der Zungen-

Ergebnisse

grund. Um nur die reine Bewegung der Zungenspitze und deren Variablen zu betrachten, wurden die betroffenen Sweeps aus den Daten herausgenommen.

Eine Übersichtstabelle zeigt, bei welcher Variable die p-Werte statistisch signifikant sind (unter 0,05 liegen):

Variable	Prob.-Wert
T1	0,0003
T2	0,1445
T3	0,0318
T4	0,9459
T5	0,0249
T6	0,0396
T7	0,0018
T8	0,3210

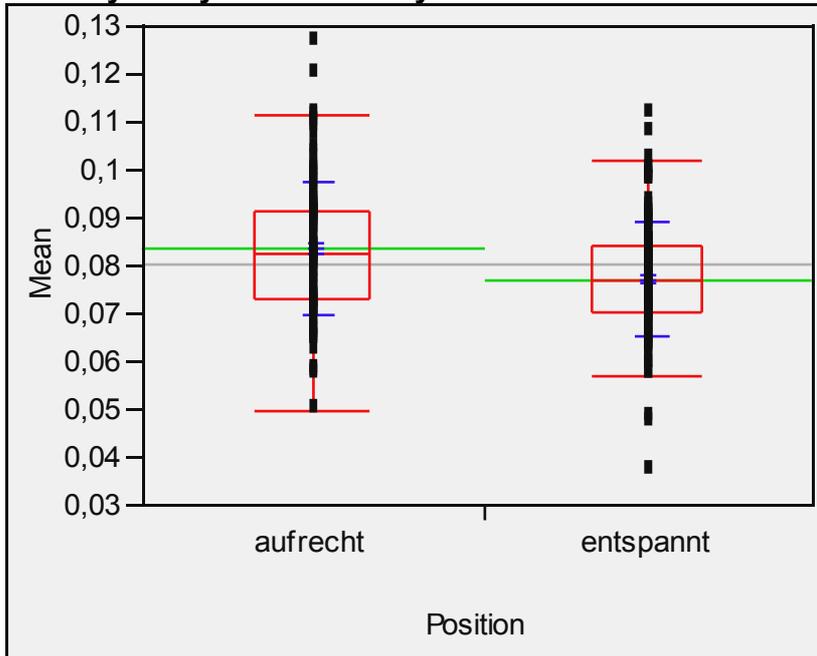
Tabelle (6): p-Werte der Zeitintervalle ohne metafate und metakate

Bei den Variablen T1, T3, T5, T6 und T7 zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen aufrechter und entspannter Körperhaltung. Die nicht signifikanten oneway-Analysen befinden sich im Anhang.

Ergebnisse

T1:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows10

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,05	0,06676	0,0731	0,0827	0,0914	0,10026	0,1266
entspannt	0,0367	0,06274	0,07005	0,0771	0,08435	0,09116	0,1113

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	123	0,083565	0,013596	0,00123	0,08114	0,08599
entspannt	117	0,077182	0,011959	0,00111	0,07499	0,07937

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	123	16766,5	136,313	3,617
entspannt	117	12153,5	103,876	-3,617

2-Sample Test, Normal Approximation

S	Z	Prob> Z
12153,5	-3,61701	0,0003

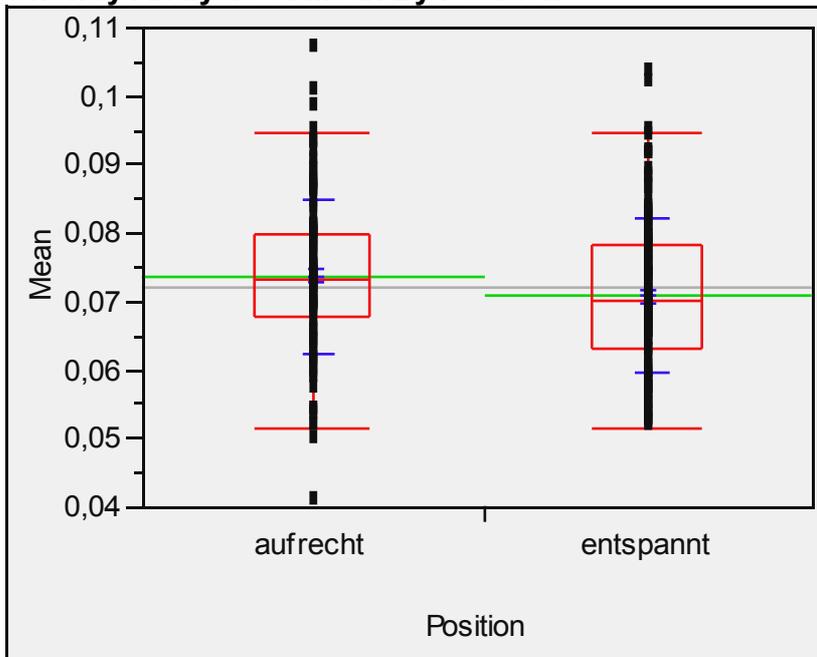
Ergebnisse

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
13,0895	1	0,0003

T3:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows10

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,0405	0,05956	0,0677	0,0734	0,0797	0,08862	0,1066
entspannt	0,0515	0,05589	0,06332	0,07	0,07825	0,08606	0,1033

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	123	0,073598	0,011230	0,00101	0,07159	0,07560
entspannt	117	0,070813	0,011190	0,00103	0,06876	0,07286

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	123	15976,5	129,890	2,148
entspannt	117	12943,5	110,628	-2,148

Ergebnisse

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
-------	-------	-----------	------------	-------------------

2-Sample Test, Normal Approximation

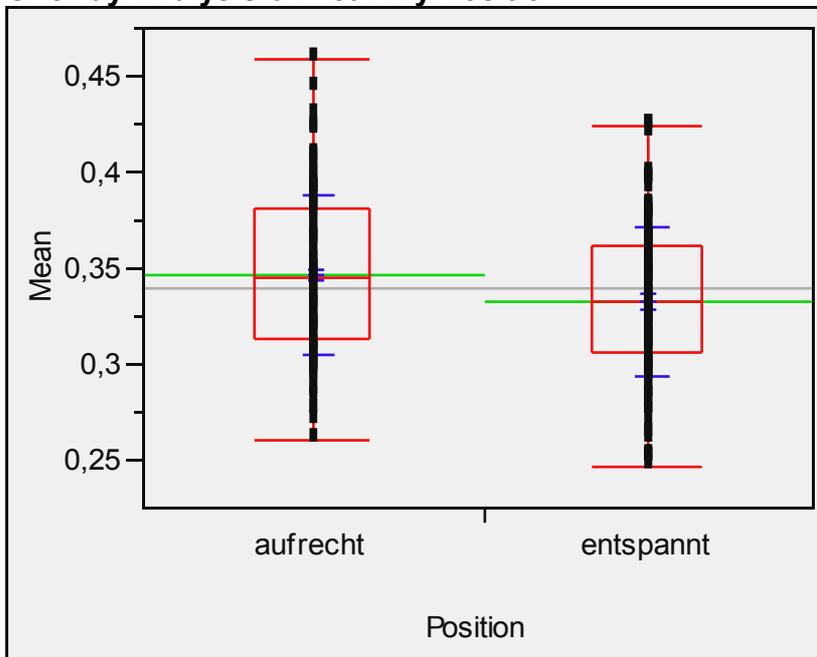
S	Z	Prob> Z
12943,5	-2,14750	0,0318

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
4,6158	1	0,0317

T5:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows10

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,2609	0,2973	0,3134	0,3448	0,3817	0,39926	0,4596
entspannt	0,2472	0,2821	0,3059	0,3328	0,3614	0,37944	0,4242

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	123	0,346297	0,041006	0,00370	0,33898	0,35362
entspannt	117	0,332709	0,038547	0,00356	0,32565	0,33977

Ergebnisse

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	123	16028	130,309	2,243
entspannt	117	12892	110,188	-2,243

2-Sample Test, Normal Approximation

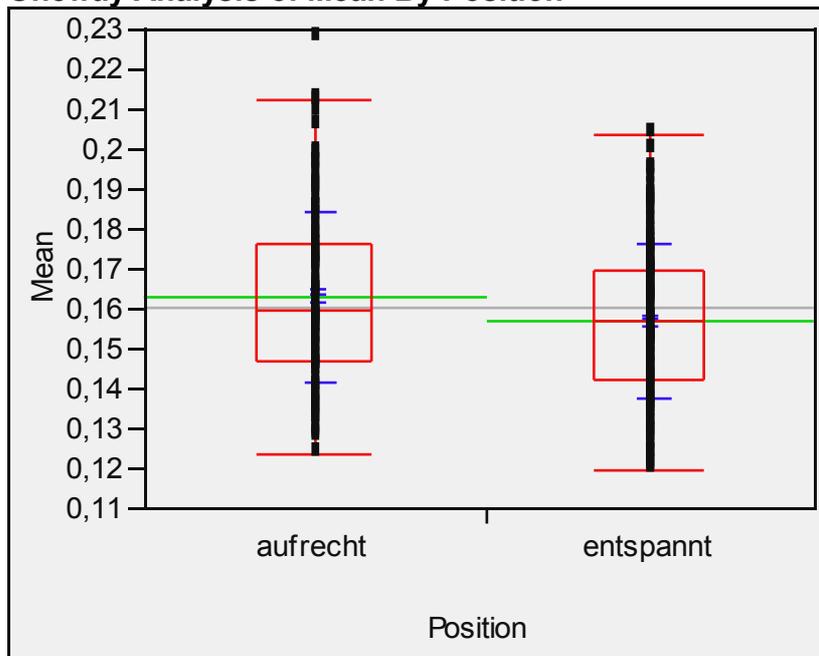
S	Z	Prob> Z
12892	-2,24330	0,0249

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
5,0366	1	0,0248

T6:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows10

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,1236	0,1357	0,147	0,15963	0,1765	0,19222	0,228
entspannt	0,1197	0,1299	0,14252	0,157	0,16965	0,18422	0,20367

Ergebnisse

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	123	0,163089	0,021187	0,00191	0,15931	0,16687
entspannt	117	0,156859	0,019287	0,00178	0,15333	0,16039

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	123	15928,5	129,500	2,058
entspannt	117	12991,5	111,038	-2,058

2-Sample Test, Normal Approximation

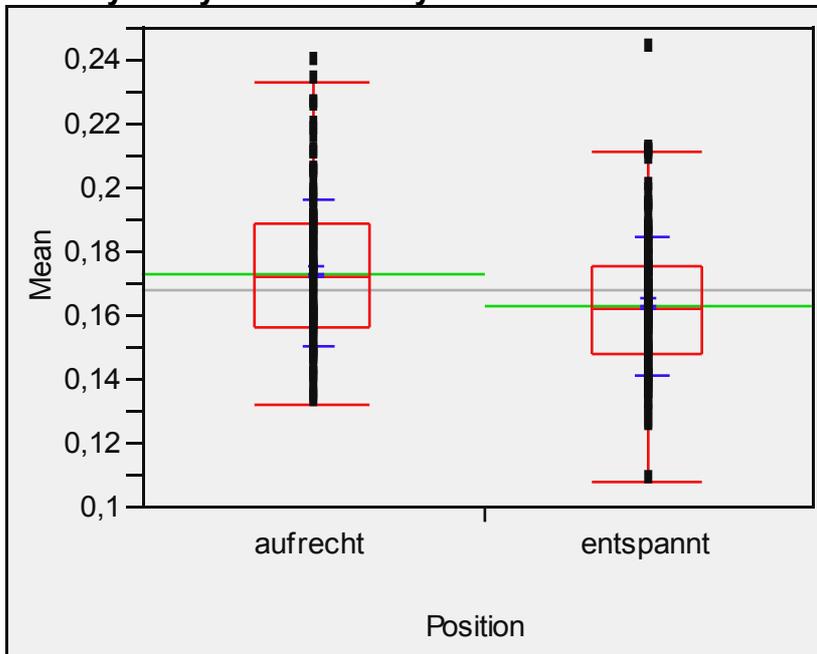
S	Z	Prob> Z
12991,5	-2,05821	0,0396

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
4,2401	1	0,0395

T7:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows10

Ergebnisse

Quantiles

Level	Mini- mum	10%	25%	Median	75%	90%	Maxi- mum
aufrecht	0,1323	0,14556	0,1559	0,1723	0,1887	0,2044	0,2384
entspannt	0,1077	0,1377	0,14815	0,1617	0,17545	0,19262	0,24267

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	123	0,173142	0,023478	0,00212	0,16895	0,17733
entspannt	117	0,163212	0,021595	0,00200	0,15926	0,16717

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	123	16499,5	134,142	3,120
entspannt	117	12420,5	106,158	-3,120

2-Sample Test, Normal Approximation

S	Z	Prob> Z
12420,5	-3,12034	0,0018

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
9,7424	1	0,0018

Bei den vorhergehenden Daten wurden nicht alle Sweeps in die Analyse integriert, da nur die Zunge analysiert werden sollte. Zur Vervollständigung, eine Tabelle der p-Werte mit metafate und metakate:

Variable	Prob.-Wert
T1	0,0022
T2	0,1413
T3	0,2242
T4	0,4449
T5	0,0139
T6	0,2131
T7	0,0016
T8	0,1771

Tabelle (7): p-Werte der Zeitintervalle mit metafate und metakate

Metafate und metakate wurden bei der ersten Analyse herausgenommen, da bei metafate die Lippenspule und bei metakate die Zungengrundspule zur Beurteilung hergenommen wurden und nicht wie bei den anderen Sweeps die Zungenspitzenspule.

Bei den Variablen T1, T5 und T7 zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen aufrechter und entspannter Körperhaltung. Alle oneway-Analysen mit metafate und metakate befinden sich im Anhang.

Zusätzlich wurde noch über jeden Sweep, über alle Zeitintervalle eine oneway-Analyse durchgeführt, ob die Position einen oder keinen Einfluss auf die wahren Werte der Sweeps hat. Die Tabelle mit den p-Werten befindet sich im Anhang.

Bei dem Sweep metanate im Zeitintervall T1 und bei dem Sweep metaschate im Zeitintervall T2, T6 und T7 zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen aufrechter und entspannter Körperhaltung.

3.3 Normwarterstellung

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Mittelwerte der Mittelwerte der Variablenmesswerte, beginnend mit den niedrigsten Messfehlern, welche mit drei Sternen kategorisiert sind und endend mit den höchsten Messfehlern, welche mit einem Stern kategorisiert sind. Je geringer ein Messfehler ist, desto besser ist der Mittelwert zu beurteilen, denn desto weniger haben die gemessenen Werte gestreut.

Diese Werte kann man nun als Normwerte bezeichnen.

Ergebnisse

3.3.1 Zeitintervalle

Sweep	Variablen	Position	Messfehler	Messfehler ^{1,96*}	Messfehler ^{2,77*}	$\sqrt{<=0,05(**)<=0,075(*)}<=0,025(***)}\text{Messfehler}^{*1,96}$	Mean (Mean 1)
Metakate	T1 [s]	aufrecht	0,008	0,017	0,0244	***	0,06
Metakate	T1 [s]	entspannt	0,010	0,020	0,0287	***	0,06
Metalate	T1 [s]	aufrecht	0,010	0,020	0,0276	***	0,08
Metanate	T1 [s]	aufrecht	0,011	0,022	0,0305	***	0,08
Metasate	T1 [s]	aufrecht	0,013	0,025	0,0347	***	0,09
Metasate	T1 [s]	entspannt	0,009	0,018	0,0254	***	0,08
Metaschate	T1 [s]	aufrecht	0,010	0,019	0,0275	***	0,08
Metaschate	T1 [s]	entspannt	0,011	0,021	0,0292	***	0,08
Metatate	T1 [s]	aufrecht	0,010	0,019	0,0275	***	0,08
Metatate	T1 [s]	entspannt	0,010	0,019	0,0274	***	0,07
Metakate	T2 [s]	aufrecht	0,008	0,015	0,0218	***	0,1
Metakate	T2 [s]	entspannt	0,009	0,018	0,0249	***	0,1
Metalate	T2 [s]	aufrecht	0,009	0,018	0,0252	***	0,08
Metalate	T2 [s]	entspannt	0,009	0,018	0,0247	***	0,08
Metanate	T2 [s]	aufrecht	0,010	0,019	0,0265	***	0,08
Metanate	T2 [s]	entspannt	0,009	0,017	0,0235	***	0,08
Metasate	T2 [s]	aufrecht	0,009	0,018	0,0255	***	0,1
Metasate	T2 [s]	entspannt	0,011	0,022	0,0307	***	0,09
Metaschate	T2 [s]	aufrecht	0,012	0,023	0,0319	***	0,1
Metaschate	T2 [s]	entspannt	0,010	0,021	0,0299	***	0,09
Metatate	T2 [s]	aufrecht	0,010	0,018	0,0254	***	0,08
Metatate	T2 [s]	entspannt	0,009	0,018	0,0251	***	0,08
Metalate	T3 [s]	aufrecht	0,008	0,016	0,0224	***	0,07
Metalate	T3 [s]	entspannt	0,009	0,018	0,0258	***	0,07
Metanate	T3 [s]	aufrecht	0,011	0,022	0,0313	***	0,07
Metanate	T3 [s]	entspannt	0,009	0,018	0,0255	***	0,07
Metasate	T3 [s]	aufrecht	0,011	0,021	0,0301	***	0,07
Metaschate	T3 [s]	aufrecht	0,013	0,025	0,0351	***	0,08
Metaschate	T3 [s]	entspannt	0,012	0,024	0,0343	***	0,08
Metatate	T3 [s]	aufrecht	0,010	0,021	0,0299	***	0,08
Metatate	T3 [s]	entspannt	0,010	0,020	0,0278	***	0,08
Metatate	T4 [s]	entspannt	0,013	0,025	0,0351	***	0,1
Metalate	T6 [s]	aufrecht	0,011	0,022	0,0305	***	0,15
Metalate	T6 [s]	entspannt	0,010	0,019	0,0274	***	0,15
Metanate	T6 [s]	aufrecht	0,012	0,026	0,0318	***	0,15
Metanate	T6 [s]	entspannt	0,009	0,018	0,0255	***	0,15

Ergebnisse

Metasate	T6 [s]	aufrecht	0,012	0,023	0,0328	***	0,17
Metaschate	T6 [s]	aufrecht	0,011	0,022	0,0313	***	0,18
Metaschate	T6 [s]	entspannt	0,012	0,023	0,0324	***	0,17
Metatate	T6 [s]	aufrecht	0,011	0,022	0,0314	***	0,16
Metatate	T6 [s]	entspannt	0,010	0,020	0,0276	***	0,16
Metafate	T7 [s]	aufrecht	0,010	0,019	0,0266	***	0,18
Metafate	T7 [s]	entspannt	0,010	0,019	0,0273	***	0,17
Metakate	T7 [s]	aufrecht	0,010	0,020	0,0276	***	0,17
Metakate	T7 [s]	entspannt	0,012	0,024	0,0343	***	0,16
Metatate	T7 [s]	aufrecht	0,012	0,023	0,0324	***	0,16
Metafate	T8 [s]	aufrecht	0,012	0,024	0,0345	***	0,17
Metafate	T1 [s]	aufrecht	0,017	0,034	0,0477	**	0,07
Metafate	T1 [s]	entspannt	0,014	0,027	0,0375	**	0,07
Metalate	T1 [s]	entspannt	0,022	0,043	0,0607	**	0,08
Metanate	T1 [s]	entspannt	0,024	0,047	0,0663	**	0,07
Metafate	T2 [s]	aufrecht	0,016	0,031	0,0443	**	0,11
Metafate	T2 [s]	entspannt	0,013	0,025	0,0354	**	0,11
Metakate	T3 [s]	aufrecht	0,017	0,033	0,0470	**	0,1
Metakate	T3 [s]	entspannt	0,021	0,041	0,0586	**	0,11
Metasate	T3 [s]	entspannt	0,013	0,025	0,0354	**	0,07
Metakate	T4 [s]	entspannt	0,024	0,047	0,0668	**	0,06
Metalate	T4 [s]	aufrecht	0,014	0,028	0,0399	**	0,1
Metalate	T4 [s]	entspannt	0,024	0,046	0,0652	**	0,1
Metanate	T4 [s]	aufrecht	0,017	0,033	0,0469	**	0,1
Metasate	T4 [s]	entspannt	0,013	0,026	0,0366	**	0,11
Metaschate	T4 [s]	aufrecht	0,015	0,029	0,0415	**	0,09
Metaschate	T4 [s]	entspannt	0,013	0,025	0,0357	**	0,09
Metatate	T4 [s]	aufrecht	0,015	0,029	0,0403	**	0,09
Metafate	T5 [s]	aufrecht	0,014	0,028	0,0395	**	0,35
Metafate	T5 [s]	entspannt	0,015	0,030	0,0428	**	0,34
Metakate	T5 [s]	entspannt	0,018	0,035	0,0491	**	0,33
Metasate	T5 [s]	entspannt	0,017	0,033	0,0464	**	0,35
Metaschate	T5 [s]	aufrecht	0,018	0,035	0,0487	**	0,36
Metaschate	T5 [s]	entspannt	0,017	0,033	0,0467	**	0,35
Metatate	T5 [s]	aufrecht	0,016	0,032	0,0450	**	0,34
Metatate	T5 [s]	entspannt	0,016	0,032	0,0447	**	0,33
Metakate	T6 [s]	aufrecht	0,019	0,037	0,0523	**	0,2
Metakate	T6 [s]	entspannt	0,023	0,045	0,0636	**	0,21
Metasate	T6 [s]	entspannt	0,014	0,027	0,0376	**	0,16
Metalate	T7 [s]	aufrecht	0,013	0,025	0,0358	**	0,16
Metalate	T7 [s]	entspannt	0,024	0,047	0,0660	**	0,16
Metanate	T7 [s]	aufrecht	0,014	0,028	0,0390	**	0,16
Metanate	T7 [s]	entspannt	0,025	0,050	0,0702	**	0,16
Metasate	T7 [s]	aufrecht	0,015	0,029	0,0407	**	0,19
Metasate	T7 [s]	entspannt	0,014	0,027	0,0377	**	0,18
Metaschate	T7 [s]	aufrecht	0,014	0,027	0,0384	**	0,18
Metaschate	T7 [s]	entspannt	0,013	0,026	0,0363	**	0,17
Metatate	T7 [s]	entspannt	0,013	0,026	0,0372	**	0,16
Metafate	T8 [s]	entspannt	0,014	0,028	0,0392	**	0,17
Metakate	T8 [s]	entspannt	0,016	0,031	0,0435	**	0,17
Metalate	T8 [s]	aufrecht	0,016	0,031	0,0438	**	0,17
Metalate	T8 [s]	entspannt	0,024	0,048	0,0676	**	0,16

Ergebnisse

Metanate	T8 [s]	aufrecht	0,020	0,038	0,0542	**	0,17
Metasate	T8 [s]	entspannt	0,015	0,029	0,0416	**	0,17
Metaschate	T8 [s]	aufrecht	0,017	0,032	0,0459	**	0,17
Metaschate	T8 [s]	entspannt	0,016	0,031	0,0442	**	0,17
Metatate	T8 [s]	aufrecht	0,017	0,033	0,0464	**	0,17
Metatate	T8 [s]	entspannt	0,015	0,030	0,0419	**	0,17
Metakate	T4 [s]	aufrecht	0,036	0,069	0,0987	*	0,07
Metanate	T4 [s]	entspannt	0,028	0,056	0,0784	*	0,1
Metasate	T4 [s]	aufrecht	0,027	0,052	0,0734	*	0,11
Metakate	T5 [s]	aufrecht	0,034	0,073	0,1032	*	0,34
Metasate	T5 [s]	aufrecht	0,034	0,067	0,0942	*	0,36
Metakate	T8 [s]	aufrecht	0,034	0,066	0,0938	*	0,17
Metanate	T8 [s]	entspannt	0,029	0,056	0,0790	*	0,17
Metasate	T8 [s]	aufrecht	0,030	0,060	0,0843	*	0,17

Tabelle (8): Normwerttabelle der Zeitintervalle

4. Diskussion

4.1 Methodenbeurteilung

Das Verfahren der elektromagnetischen Artikulographie (EMA) ist eine Methode, Bewegungsbahnen der Zunge aufzuzeichnen und auszuwerten.

Seit ca. 13 Jahren wird an diesem System weiter geforscht und entwickelt, um es für den Alltag in der Klinik nutzen zu können.

Im Gegensatz zu anderen EMA-Systemen, welche eine geringere Messgenauigkeit aufweisen, ist bei dieser Weiterentwicklung die Messgenauigkeit verbessert worden. Verdrehungen der Empfängerspulen werden durch Drehwinkelmessungen rechnerisch ausgeglichen und die Senderspulen beeinflussen sich gegenseitig nicht mehr. Auch kann die Aufzeichnungsdauer des Versuches beliebig lang durchgeführt werden.

Mit Hilfe der angefertigten Kauebenenschablone ist es möglich, zu einem späteren Zeitpunkt Messungen an einem Patienten zu wiederholen und zum Beispiel Vergleiche mit der Ausgangsaufzeichnung durchzuführen. Diese Beobachtungen bzw. Aufzeichnungen der Zungenbewegung über längere Zeiträume kann es ermöglichen, aus teilweise nur subjektiv beurteilbaren Therapieerfolgen oder Misserfolgen z. B. bei myofunktionellen Behandlungen, objektive Erfolge oder Misserfolge beurteilen zu können.

Durch die Weiterentwicklung der Helmkonstruktion wurde, im Vergleich zu anderen Studien wie Kretschmer, Müllauer und Luther, der Tragekomfort und die Handhabung verbessert^{26,29,30}. Der Messhelm wurde leichter konstruiert, indem das Gestell aus Carbonstäben errichtet und der Helm an sich durch eine Hartschaumschale ersetzt wurde. Am Helm angebrachte Klettverschlüsse ermöglichen es, diesen an die Kopfform des zu Untersuchenden anzupassen. Dadurch und durch Benutzen eines kleineren Helms können nun Aufzeichnungen auch bei Kindern durchgeführt werden, jedoch ist die Adaptation bei Kindern an die Elektroden im Mund und Gesichtsbereich fraglich und gewiss vom Alter abhängig.

Auch bei längerem Tragen dieses neuen, leichteren Helms kam es bei den Probanden nach längerer Tragezeit in ein und derselben Position zu Druckschmer-

zen im Bereich der Kalotte und auf dem Nasenrücken, auf dem zur weiteren Stabilität eine Nasenstütze angebracht war. Trotz all der angebrachten Fixierungshilfen konnte keine optimale Fixierung des Helms am Probanden erreicht werden. Somit muss jedes Mal ein Mittelweg zwischen Komfort und nötiger Fixierung bzw. Stabilität gefunden werden.

In anderen Studien versuchte man mit einem Vakuumkissen, welches auf die Schultern aufgelegt wurde, das Problem des nicht so guten Komforts zu lösen, jedoch mit mäßigem Erfolg⁴⁶.

4.2 Bisherige Verfahren im Vergleich

Es gibt verschiedenste Möglichkeiten Zungenbewegungen beim Sprechen und Schlucken zu untersuchen.

Eines der kostengünstigsten und am einfachsten durchführbaren Verfahren ist das der akustischen Analyse, bei der auf reine Erfahrungswerte und sprachwissenschaftliche Grundsätze zurückgegriffen wird. Es können damit zwar in bestimmten Bereichen Ergebnisse erzielt werden⁴, jedoch ist dies eher subjektiv und man kann keine objektiven Aussagen über die Sprach- bzw. Zungenbewegung machen.

Bei der Palatographie bzw. der Weiterentwicklung, der Elektropalatographie, können Zungenpositionen am Gaumen erfasst werden. Hierbei muss individuell für den zu messenden Probanden eine spezielle Gaumenplatte hergestellt werden. Bei Berührung dieser Platte mit der Zunge entsteht ein elektrisches Signal, welches aufgezeichnet wird. Somit können nur Positionen erfasst, jedoch nicht die freien Bewegungsabläufe oder zeitliche Verhältnisse bestimmt werden. Dies wäre wichtig, wenn man Zungenfehlfunktionen im gesamten Bewegungsablauf der Zunge beurteilen möchte. Auch kann es durch schlechte Oberflächengestaltung der Gaumenplatte zu unphysiologischen Positionen der Zunge während der Aufzeichnung kommen³⁸. Mit der EMA ist es möglich, Gaumenkontaktpunkte und die Bewegungsbahn der Zunge zu beurteilen. Eine gute Methode zur Untersuchung der Zunge und des Velums ist die Kombination der Funktionspalatographie mit der EMA¹².

Bei den verschiedenen Ultraschallverfahren zur Untersuchung der Zunge und deren Umgebung gibt es Vor- aber auch Nachteile. Die Sonographie ist eben-

falls eine, den Patienten oder Probanden nicht belastende Untersuchungsmethode, die je nach Bedarf wiederholt werden und speziell bei nicht kooperativen Patienten angewendet werden kann²⁵. Jedoch ist es oft nötig, mehrere Ultraschallverfahren wie, zum Beispiel Sonographie in M-Mode- und B-Mode-Bildern, aufwendig zu kombinieren, um auf ein auswertbares Ergebnis zu kommen². Dabei ist kein dynamischer Ablauf der Zungenbewegungen verfolgbar, sondern kurz aufeinander folgende Einzelbildanalysen^{15,43}. Bei sonographisch aufgezeichneten Zungenbewegungen lassen sich vor allem Weichgewebe und Muskeln von Zunge und Mundboden darstellen, selten der Gaumen^{33,49} bzw. die dentoalveolären Strukturen. Auch ist mit Luft gefüllter Raum für das Ultraschallgerät problematisch, und gerade die Zungenspitze liegt meist im Schallschatten des Unterkiefers⁴⁹. Es ist zwar möglich, eine zeitliche Erfassung der Zungenbewegung zu tätigen jedoch nicht objektiv³³. Es wurde sogar in manchen Studien gesagt³⁶, dass bei einigen Studien, in denen der Kopf der Patienten und ebenso der Schallkopf nicht fixiert wurden^{15,32,44}, es nicht zu einer korrekten Aufzeichnung der Zungenbewegung gekommen sein kann.

Mit optoelektronischen Systemen, wie zum Beispiel dem ELITE-System, können Bewegungen der Lippen und des Unterkiefers aufgezeichnet und analysiert werden. Untersuchungen der Sprache und der äußerlichen Bewegungsabläufe sind möglich¹⁸, jedoch lassen sich keine intraoralen Gaumenstrukturen oder Zungenbewegungen erfassen.

Ebenfalls ein relativ einfach anwendbares Verfahren zur Untersuchung des Mundraums ist das Myometer, mit diesem man lediglich Kräfte der Zunge und Lippe messen, aber keine Bewegungsabläufe dieser bestimmen kann. Im Rahmen der Diagnostik zur Untersuchung orofazialer Dyskinesien ist es eher fraglich²¹, und sei deshalb nur noch am Rande erwähnt.

All diese Methoden sind wie schon erwähnt biologisch verträglich, relativ einfach im Umgang und kostengünstiger in der Anschaffung bzw. im Unterhalt, im Vergleich zu den folgenden Verfahren.

Eine weitere finanziell und technisch aufwendigere Methode ist die Röntgenkinesematographie. Bei diesem Verfahren muss der zu Untersuchende einen Kontrastmittelbrei, meist ein Barium-Sulphat-Gemisch, zu sich nehmen, welches

über Mund oder Nase verabreicht wird. ⁴⁵Oftmals wird auch die Zunge mit einem Kontrastmedium versehen. Parallel wird mit Hilfe von Röntgenstrahlen der gesamte Bewegungsablauf des Mundes bis hin zum Verdauungstrakt, aufgezeichnet. Somit kann ein größerer Bereich als mit der EMA erfasst werden. Als nachteilig ist zu nennen, dass keine Einzelbildanalyse zur Auswertung durchgeführt werden kann. Allerdings müssen hier störende Überlagerungsphänomene von Strukturen unterschiedlicher Röntgendichte in Kauf genommen werden⁴⁴.

Eine Weiterentwicklung stellt das Röntgenmikrostrahlverfahren dar²⁷. Es hat die Möglichkeit, wie die EMA, mehrere Artikulationspunkte zu registrieren. Dennoch überwiegen Nachteile wie sehr hohe Betriebskosten, großer technischer Aufwand und Störwirkungen durch metallische Werkstoffe im Mund.

Ein weiterer großer Nachteil beider Verfahren ist die resultierende Strahlenbelastung, wodurch Wiederholungsmessungen oder Verlaufskontrollen speziell bei schon vorbelasteten Patienten, wie Tumorpatienten, ausgeschlossen werden sollten.

Durch die biologische Unbedenklichkeit liegt ein eindeutiger Vorteil bei der EMA²⁸. Ein weiterer ist, dass der gesamte Bewegungsablauf der Zunge im Bezug zum Gaumen und der Kauebene aufgezeichnet werden kann. Durch möglichst klein gehaltene Elektroden wird versucht, sprachliche Veränderungen oder Beeinträchtigungen zu minimieren und durch sprachliche Vorübungen sich daran zu gewöhnen.

Bei den meisten möglichen Untersuchungsmethoden ist es nötig, verschiedene Verfahren zu kombinieren, da sie manche Bereiche nicht messen oder erfassen können. Ein Bereich, welchen die EMA auch nicht erfassen kann, ist die Druck- oder Kraftmessung der Zunge und ihrer Umgebung.

4.3 Andere EMA-Studien im Vergleich

In den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts begann die Untersuchung von Bewegungstrajektorien bei Schluckvorgängen und Sprachbildung mittels EMA. Schönle et al. 1987³⁹, Engelke et al. 1989¹³ und Schwestka-Polly et al. 1992⁴¹ begannen mit der visuellen Analyse, bei der die Bewegungsbahnen und Bewegungsrichtungen bei der Untersuchung im Vordergrund standen.

Die EMA-Untersuchung, mit der Engelke et al. 1989 Bewegungstrajektorien bei Schluck- und Sprachbewegung auf die Reproduzierbarkeit untersuchte, richtete sich fast nur auf die Sprechbewegungsbahnen bzw. ist eine eher deskriptive Analyse¹³.

Tuller et al. betrachtete die EMA als Untersuchungsmöglichkeit an sich. Es wurde nur ein Proband untersucht, bei dem die Sprachbewegungen und nicht die Schluckbewegungen angeschaut wurden⁴⁶.

Eine weitere beschreibende Analyse von Engelke et al. führte 1990 an, dass die Diagnosestellung von Fehlfunktionen der Zunge mit objektiven Daten über Bewegungsabläufe in der Mundhöhle dokumentiert, und damit klinisch brauchbar gemacht werden sollten⁷. 1991 machten Engelke et al. weitere Analysen zur präziseren Beurteilung der EMA in Bezug auf die physiologische Bewegung der Zungenspitze beim Sprechen¹⁴. Dabei zeigte sich, dass die Artikulationsbewegungen der Zungenspitze mit Hilfe der EMA interindividuell lautspezifisch differenziert werden konnten, doch war die Fallzahl zu gering, um sich verifizieren zu lassen.

Daneben hat Schwestka-Polly et al. 1992 versucht, physiologische von unphysiologischen Bewegungsmustern der Zunge zu vergleichen⁴¹. Es wurde vor allem die sagittale und vertikale Bewegungsrichtung der Zunge beurteilt. Hierbei stellte man fest, dass es Unterschiede zwischen Patienten ohne Fehlfunktion und Patienten mit frontal offenem Biss gibt.

1992 verglich Perkell et al. zwei etwas unterschiedliche elektromagnetische Artikulographen während Sprechbewegungen der Zunge, des Velums und der Lippen³⁷. Dabei wurden lediglich die Gerätetypen miteinander, in ihrer Handhabung und ihrem Aufbau, verglichen. Ebenso beschrieb Nguyen et al. nur einen EMA (Movetrack) in Anwendung und Problemkompensation³⁴.

Weiter erforschte Engelke et al. mit der EMA die Sphinkterfunktion bei Sprechbewegungen bei nur einer gesunden Versuchsperson. Es wurde keine Zungen- oder Lippenbewegung begutachtet. Bei der Analyse stellte sich heraus, dass die Diagnostik velopharyngealer Sphinkterbewegungen beim Sprechen eine systematische mehrdimensionale Untersuchungstechnik erfordert, wobei bei

anderen bestimmten orofazialen Dysfunktionen die elektromagnetische Artikulographie allein bereits wichtige Aussagen erlaubt⁸.

Auf der Basis der elektromagnetischen Untersuchungsmethode wurden ebenfalls von Engelke et al. Probanden untersucht und Bewegungsmorphologie von Schluckbewegungen dargestellt. Bei der Analyse wurden Zeit, maximale Bewegungsamplituden und Geschwindigkeit beurteilt. In einer zweiten Studienpopulation wurden Koordination von Velum, Zungenrücken, Zungenspitze und Unterkiefer beim Schlucken untersucht. Es wurden keine Sprachbewegungen durchgeführt¹⁰.

Schweska-Polly et al. hat ebenfalls weitere Untersuchungen der Bewegungsbahn der Zunge beim Sprechen, im Hinblick auf ihre Reproduzierbarkeit, gemacht⁴². Die Zungenbewegungen wurden mittels EMA bei einem Patienten mit frontal offenem Biss ohne und mit kieferorthopädischer Apparatur (spikes) aufgezeichnet. Bei Konsonanten, welche dentoalveolär gebildet werden (z. B. -s-), veränderte sich die Bewegungsbahn der Zunge beim Tragen der KFO-Apparatur.

1996 forschte Engelke et al. weiter mit der elektromagnetischen Artikulographie, wobei er vor allem die velum- und velopharyngealen Funktionen beim Sprechen analysierte und mit Videoendoskopieaufnahmen verglich und abglich, ohne dabei die Zungentrajektorien zu erforschen^{6,9}.

Horn et al. testete 1997 die Zuverlässigkeit der elektromagnetischen Artikulographie beim Aufzeichnen bzw. Auswerten von Bewegungen der Zunge, beim Sprechen und ob das Verfahren geeignete und verwertbare Ergebnisse liefert²². Dabei zeigte sich, dass die aufgezeichneten Winkel und Distanzen zwischen den einzelnen Bewegungspunkten genau waren und somit eine systematische Beurteilung mit der elektromagnetischen Artikulographie möglich ist. Hingegen ergaben gekennzeichnete Flächen, welche mit der EMA aufgezeichnet und bearbeitet wurden, unverwertbare Ergebnisse.

2002 - 2003 untersuchten Murdoch et al. die Zungenbewegungen während des Sprechens bei Kindern mit Kiefergelenkserkrankungen und traumatischen Gehirnverletzungen mit Hilfe der EMA³¹. Durch die Mittelwerte einer Kontrollgruppe, welche acht Kinder in ähnlichem Alter enthielt, verglich man die Bewe-

gungsbahnen der Zunge und bestimmte auch die Zeitintervalle der gesprochenen Worte, bzw. Konsonanten. Dabei stellte man Unterschiede in der Sprachrate und der Wortlänge im Vergleich zur Kontrollgruppe fest.

4.4 Ergebnisdiskussionen

Bei der Diskussion der Ergebnisse wird die Reihenfolge des Ergebniskapitels eingehalten.

4.4.1 Messfehlerdiskussion der Zeitintervalle

Wie in Kapitel 3.1 schon erwähnt, wurden die Messfehler kategorisiert, damit sehr große Messfehler, welche bei der Auswertung $>0,075$ sein mussten, herausgenommen wurden. Positiv zu bewerten ist, dass keiner der Messfehler diesen Wert überschritten hat. Auch ist die Kategorie mit nur einem Stern, in welcher der Messfehler gerade noch akzeptabel ist, sehr klein, bzw. die Kategorien mit drei und zwei Sternen sind wesentlich größer. Daher kann man sagen, dass mit allen Zeitintervallen, Angaben über Reproduzierbarkeit gemacht, und zur Normwertdefinition herangezogen werden können.

Es stellte sich heraus, dass die Sweeps *metatate* und *metaschate* von der Bewertung des Messfehlers her weit oben einzustufen sind und die anderen, bis auf *metafate*, im guten Mittelfeld liegen. Bei der Bewertung der Messfehler der Variablen sind die Variable T2 und die Variable T1 sehr weit oben einzuordnen, T3, T6 und T7 sind im Mittelfeld und T8, T4 und T5 im unteren Drittel.

Ein Grund für das gute Abschneiden von *metatate* könnte sein, dass der Vokal -t- während des Versuchsablaufs ständig, und häufiger ausgesprochen wurde und dadurch ein gewisser Übungseffekt bei allen Teilnehmern und schneller eine Regelmäßigkeit im zeitlichen Ablauf, eingetreten ist. Bei dem schlechter abgeschnittenen *metafate* stellte sich die Zungenspule an der Spitze der Zunge als sehr unregelmäßig und nicht verwendbar heraus, wodurch schon von Beginn an die Unterlippenspule zur Darstellung des Konsonanten -f- herangezogen wurde. Trotzdem wurde dieser Lippenlaut in der Auswertung belassen, da man mit der Unterlippe einen relativ konstanten Punkt zur Analyse gefunden hatte und auch um eventuelle Verbindungen zwischen Zungen und Lippenposition darzustellen. Dass der Sweep *metafate* bei Betrachtung des Messfehlers

schlechter abgeschnitten hat, könnte daran liegen, dass der Konsonant -f- in der Bildung schwieriger ist. Er erfordert bessere motorische Fähigkeiten in Lippe und Zunge als andere Konsonanten. Auch hat jeder Proband eine individuelle, im zeitlichen Ablauf eigene Art das -f- auszusprechen, und manche Probanden, die vielleicht länger brauchen, sind weniger motorisch entwickelt wie andere.

Bei der Betrachtung der Messfehler der Variablen liegen wie schon erwähnt T2 und T1 im oberen Drittel. Die Variablen sind kurze Zeitintervalle. T1 ist das Intervall vom ersten -t- zum ersten Vokal der t-VCV-t-Sequenz. Das Intervall T2 geht vom ersten Vokal zum Konsonanten der t-VCV-t-Sequenz. Dagegen sind die Zeitintervalle, welche schlechter abgeschnitten haben, längere Intervalle. T5, welches am schlechtesten abschnitt, ist das Intervall vom ersten -t- zum letzten -t- der t-VCV-t-Sequenz. Man könnte vermuten, dass je länger eine Sprachsequenz ist, desto deutlicher Unterschiede zwischen den Probanden sichtbar sind, und somit jeder Proband einen eigenen zeitlichen Ablauf hat.

Daneben können auch durch Einflüsse von außen die Zeitintervalle verschieden sein. Wenn während des Aufzeichnungsvorganges Zugspannung auf die Spulen gekommen ist, könnte dies eine kleine Verzögerung im zeitlichen Muster ergeben, aber auch durch leichte Abweichungen im Anbringen der Spulen je Proband. Andere Einflussgrößen sind das versehentlichem Abgehen einer oder mehrerer Spulen während des Aufzeichnens, wonach nie exakt derselbe Punkt zum Anbringen wieder gefunden wird. Es können jedoch ebenso anatomische Unterschiede der Probanden eine Rolle spielen, was bei ungleichem Geschlecht der Fall ist. Durch verschieden große Mundhöhlen oder Zungen könnten sich größere oder kleinere Distanzen und dadurch zeitliche Unterschiede ergeben.

Mit der Kovarianzanalyse, welche mit denselben bearbeiteten Daten durchgeführt wurde, will man den Einfluss von Sweep, Variable und Position auf das Gesamtmodell betrachten. Über den RSquare-Wert kann man ersehen, wie viel Einfluss die drei Parameter haben. Mit gerade mal 45% haben der Sweep, die Variable und die Position Einfluss auf das Gesamtmodell. Die übrigen 55% begründen sich auf andere Einflüsse. Mögliche Beeinflussung durch die Herkunft

des Probanden, was oft einen anderen Dialekt bzw. eine andere Aussprache mit sich bringt, ist denkbar. Die Herkunft betrachtet auch den sozialen Status, bzw. die Bildung, wobei die Probanden durch das vorhandene Abitur alle auf einem relativ gleichen Niveau lagen. Jedoch kann auch das Alter oder Geschlecht eine Rolle bei der Beeinflussung haben. Weiter zu erwähnen wären eventuelle Erkrankungen, vor allem der Mund und Atemwege, welche jedoch ausgeschlossen wurden.

Bei der Untersuchung vor der Analyse wird deutlich, dass die Variable den größten signifikanten Einfluss hat, danach kommt erst der Sweep, der ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Messfehler im Gesamtmodell hat. Die Position jedoch beeinflusst den Messfehler nicht, was aussagt, dass die aufrechten und entspannten Werte miteinander vergleichbar sind.

Wird nun der Einfluss des Sweeps alleine auf das Modell geprüft, ergibt sich ein Einfluss von 11%. Bei den Sweeps an sich zeigt sich nur bei metakate ein signifikanter Einfluss auf das Modell, mit einem p-Wert von 0,0085. Bei den anderen Sweeps liegen die p-Werte alle, bis auf metatate mit einem p-Wert von 0,0745, deutlich über 0,05.

Die alleinige Betrachtung der Variablen ergibt, dass hier ein Einfluss von 33% vorliegt. Nur die Variablen T6 und T7 haben keinen signifikanten Einfluss im Einzelmodell auf den Messfehler bei Überprüfung der p-Werte. Bei allen anderen Variablen liegen die p-Werte deutlich über 0,05.

Nach Überprüfung der Position auf Einfluss im Einzelmodell auf den Messfehler ist kein signifikanter Einfluss der Position aufrecht und entspannt vorhanden. Damit kann man festhalten, dass die Sitzposition keinen Einfluss auf den Messfehler hat.

Des Weiteren wurde zur Wertung des Messfehlers für jede Variable eine one-way-Analyse erstellt. Mit Hilfe der p-Werte der Zeitintervalle wurden die Unterschiede der aufrechten und entspannten Messfehler verdeutlicht, bzw. in diesen Fällen liegt der p-Wert über 0,05, und somit gibt es zwischen aufrechter und entspannter Körperposition keine signifikante Unterscheidung.

4.4.2 Diskussion über den Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung (oneway-Analysen)

Man prüfte die wahren gemessenen Werte, um aufzuzeigen ob die Körperhaltung einen oder keinen Einfluss auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung hat. Dabei wurde, wie schon genannt, eine Paarbildung, mit dem jeweiligen aufrechten und entspannten Messpartner, und eine Einteilung durchgeführt, um eine oneway-Analyse durchführen zu können.

Indem in der ersten oneway-Analyse die Sweeps metafate und metakate entfernt wurden, sollte eine „Verbesserung“ der Ergebnisse erzielt werden, da bei diesen Sweeps nicht die Zungenspitzenspule zur Analyse herangezogen wurde, sondern bei metafate die Unterlippenspule und bei metakate die Zungengrundspule. Denn während der Datenverarbeitung stellte sich heraus, dass die Zungenspitzenspule bei metafate keine verwertbaren Ergebnisse liefert. Somit wurde die Unterlippenspule verwendet, da das „f“ durch eine gute und immer wieder reproduzierbare Position dieser an den Oberkieferfrontzähnen, analysiert werden konnte. Ebenso wie beim „f“ war beim Laut „k“ die Zungenspitzenspule unbrauchbar und es wurde die Zungengrundspule eingesetzt. Zu erklären ist dies damit dass der Laut „k“ durch Verschluss des velopharyngealen Bereiches am Gaumen mittels Zungenrücken entsteht⁴⁰ und somit die Zungengrundspule eine reproduzierbarere Position einnimmt als die Zungenspitzenspule.

Die gemessenen Werte wurden nach den Variablen geordnet und über die Sweeps gemittelt.

Es stellte sich heraus, dass sich bei den Variablen T1, T3, T5, T6 und T7 ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen aufrechter und entspannter Körperhaltung ergab.

T1, mit einem p-Wert von 0,0003, ist das Zeitintervall vom ersten -t- bis zum ersten Vokal, dem -a- der t-VCV-t-Sequenz. Das nächste signifikante Zeitintervall, T3, hat einen p-Wert von 0,0318 und geht vom zu untersuchenden Konsonanten zum zweiten Vokal, dem -a-. T5 hat einen p-Wert von 0,0249, ist somit statistisch signifikant und ist das Intervall vom ersten zum letzten -t- welche die interessante VCV-Sequenz einbetten und damit versuchen, der Zunge den gleichen Ausgangs- und Endpunkt zu geben und die Sweeps miteinander verglei-

chen zu können. Die nächste signifikante Variable T6, mit einem p-Wert von 0,0396, und beginnt mit dem ersten -t- und endet mit dem Konsonanten. T7 ist ebenfalls wie T5 und T6 eine etwas weitspannigere Variable, welche vom ersten zum zweiten -a-, von Vokal zu Vokal, reicht.

Es könnte somit sein, auch wenn T8 nicht betroffen ist, dass die Körperhaltung vor allem bei längeren, zu untersuchenden Sequenzen eine Rolle spielt, bzw. sich auf die Zunge und deren zeitlichen Verlauf auswirkt. Man muss jedoch bedenken, dass jeder Konsonant auf unterschiedliche Weise und an unterschiedlichen Stellen im Mundraum gebildet wird.

Bei allen anderen Intervallen, T2, T4 und T8 liegt der p-Wert über 0,1 und es besteht folglich kein Unterschied zwischen aufrechten und entspannten Messungen.

Betrachtet man die Mittelwerte aller Zeitintervalle und vergleicht die aufrechte und die entspannte Körperposition jeweils miteinander, zeigt sich eine Tendenz dahingehend, dass die entspannten Mittelwertdaten niedriger sind. Durch die entspannte Position könnten auch andere Muskeln etwas entspannter gewesen sein. Bei der aufrechten Position, in welcher mehr Muskeln angespannt sind, und die Konzentration eventuell erhöht ist, könnte es sein, dass der Aussprache mehr Aufmerksamkeit gewidmet ist, und dadurch die zeitliche Aussprache gering länger ausfällt als im entspannten Zustand.

Als nächstes wurde die gleiche oneway-Analyse mit den Sweeps metafate und metakate durchgeführt, wobei sich nun bei T1 ein statistisch signifikanter Unterschied mit dem p-Wert 0,0022, zeigt, ebenso bei T5 und T7. Es sind weniger Intervalle signifikant als bei der Analyse ohne die beiden betreffenden Sweeps.

Zusätzlich wurde noch über jeden Sweep und jede Variable eine oneway-Analyse durchgeführt und untersucht, ob die Position einen oder keinen Einfluss auf die wahren Werte der Sweeps hat. Bei dem Sweep metanate im Zeitintervall T1, mit einem p-Wert von 0,0384, und bei dem Sweep metaschate im Zeitintervall T2, mit einem p-Wert von 0,0454, T6, mit einem p-Wert von 0,0361, und T7,

mit einem p-Wert vom 0,0443, zeigt sich eine statistisch signifikanter Unterschied zwischen aufrechter und entspannter Körperhaltung. Im Sweep metasate und dem Intervall T7 ist ein sehr grenzwertiger p-Wert von 0,0512 vorhanden.

4.4.3 Normwertdiskussion

Letztendlich können nun die in der Tabelle erstellten Werte dazu hergenommen werden, um Messwerte von gemessenen Patienten, welche eventuell pathologisch sind, zu vergleichen und Rückschlüsse daraus zu ziehen. Damit soll die Diagnostik von Fehlfunktionen der Zunge vereinfacht und auch messtechnisch erfasst werden können.

Auch kann der Datenpool vergrößert werden, und die dabei entstehenden Daten die Normwerte noch verbessern.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie, wurde mit Hilfe des Prinzips der elektromagnetischen Artikulographie, intraorale Zungenbewegungen beim Sprechen bestimmter Sprachsequenzen aufgenommen, zeitgleich mit der dabei entstehenden Akustik.

Dabei ist die elektromagnetische Artikulographie eine biologisch bedenkenlose, nicht invasive Methode und ist durch die relativ einfache Anwendung, Reproduzierbarkeit und objektive Analyse gekennzeichnet. In dieser Studie wurde mit einem neu entwickelten Gerät gearbeitet, bei dem einige Fehlerquellen bisheriger Geräte beseitigt wurden, auch Langzeitaufzeichnungen möglich sind und ebenso Aufzeichnungen bei Kindern durchführbar sind.

Insgesamt nahmen an der Studie 25 Probanden teil. Diese wurden vor den Messungen untersucht, da sie verschiedene Ausschlusskriterien nicht vorweisen durften.

Mit Hilfe von elektronischen Spulen, die an Oberkiefer, Unterkiefer, Zunge und Gesicht befestigt wurden, wurden Funktionsbewegungen beim Sprechen und Schlucken aufgezeichnet und ausgewertet. Um Referenzebenen und Punkte zu erhalten, erwiesen sich Nasion- und Oberkieferspule, Gaumennaht und Kauebene als geeignet, dadurch ist die Wiedergabe identischer Versuchsbedingungen bei Wiederholungsmessungen ermöglicht.

Der gesamte Versuchsablauf bestand aus fünf Teilen, welcher jeweils zwei Mal durchlaufen wurde, einmal in sitzender entspannter Körperhaltung und einmal in sitzender aufrechter Körperhaltung.

Als erstes wurden sieben Vokal-Konsonant-Vokal-Sequenzen gesprochen, die in dem Satz „ich habe me-t- (afa/aka/ala/ana/asa/ata/ascha) -te gesagt“ zur Beurteilung der Zungenbewegung eingebettet waren. Als zweites wurden fünf Vokal-Konsonant-Vokal Sequenzen gesprochen zur Beurteilung der Lippenfunktion. Dritter und Vierter Teil bestanden aus Lesen eines ausgewählten Textes und Schlucken von 10ml Wasser im Wechsel zu Leerschlucken. Letzter Teil war die zehnminütige Aufzeichnung von unwillkürlichem Schlucken.

Zusammenfassung

In dieser Studie wurde nur die VCV- Sequenz zur Beurteilung der Zungenbewegung ausgewertet, und dabei die Zeitintervalle betrachtet.

Nach der Messfehleranalyse wurden die Daten in vier Einteilungen kategorisiert, ab wann die Messfehler nicht mehr geeignet waren. Es mussten keine Daten aus der weiteren Verarbeitung entfernt werden.

Mit Hilfe von oneway-Analysen wurde gezeigt, dass die Position, in aufrechter und entspannter Körperhaltung, keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Messfehler ergibt.

Einfluss der Körperhaltung auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung wurde durch oneway-Analysen mit den ermittelten Daten erarbeitet. Dabei zeigte sich bei den Zeitintervallen T1, T3, T5, T6 und T7 ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen aufrechter und entspannter Körperhaltung. Die VCV- Sequenzen, bei welchen die Unterlippe und der Zungenrund mit beteiligt waren, metafate und metakate, wurden aus den Daten herausgenommen und nur die Sweeps mit reiner Zungenspitzenbeteiligung belassen.

Mit der erstellten Normwerttabelle kann man zukünftig gemessene Daten vergleichen und dementsprechend beurteilen.

Hiermit kann eine sinnvolle, objektivierte Beurteilung der Zungenbewegung stattfinden, und mit den Normwerten verglichen werden. Insbesondere für kieferorthopädische und phoniatische Zwecke können diese herangezogen, und Zungenhabits beziehungsweise Zungenfehlfunktionen und dentoalveoläre Dysgnathien oder Sprachfehler untersucht werden. Eine frühe Diagnostik kann Therapien vereinfachen, und Veränderungen ins Negative rechtzeitig erkennen lassen.

Auf diesen grundlegenden Ergebnissen kann weiter aufgebaut werden. Eine Möglichkeit wäre, jüngere oder ältere Probanden zu Vergleichsstudien heranzuziehen.

Ebenfalls darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Körperposition eine Rolle bei den Messungen ergeben hat und man diese bei der Diagnostik von

Zusammenfassung

Patienten, welche pathologische Abweichungen der Norm aufweisen, berücksichtigen sollte.

6. Literaturverzeichnis

Reference List

1. **Bland J.M. Altman D.G.** 1996. Statistics Notes: Measurement error. *BMJ* **313**:744-746.
2. **Böckler R. Wein B. Klajmann S.** 1989. Ultraschalluntersuchung der aktiven und passiven Beweglichkeit der Zunge. *Folia Phoniatr.* **41**:277-282.
3. **Cayley A.S. Tindall A.P. Sampson W.J. Butcher A.R.** 2000. Electropalato-graphic and cephalometric assessment of tongue function in open bite and non-open bite subjects. *Eur. J. Orthod.* **22**:463-474.
4. **Clausnitzer R. Clausnitzer V.** 1989. Zusammenhänge zwischen Dysgnathien, Bildungsmodus des S und fehlerhaftem Schlucken. *Stomatol. DDR* **39**:569-572.
5. **Ekberg O. Hillarp B.** 1986. Radiologic evaluation of the oral stage of swallowing. *Acta. Radiol. Diagn.* **27**:533-537.
6. **Engelke W. Bruns T. Striebeck M. Hoch G.** 1996. Midsagittal Velar Kinematics during Production of VCV Sequences. *Cleft Palate Craniofac J* **33**:236-244.
7. **Engelke W. Engelke D. Schwestka R.** 1990. Zur klinischen und instrumentellen Untersuchung motorischer Zungenfunktionen. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* **45**:11-16.
8. **Engelke W. Hoch G.** 1994. Simultane elektromagnetische Artikulographie und Videoendoskopie. *Fortschr. Kieferorthop.* **55**:297-303.
9. **Engelke W. Hoch G. Bruns T. Striebeck M.** 1996. Simultaneous Evaluation of Articulatory Velopharyngeal Function under Different Dynamic Conditions with EMA and Videoendoscopy. *Folia Phoniatr. Logop.* **48**:65-77.
10. **Engelke W. Müller C. Petersen C.** 1995. Elektromagnetische Untersuchungen zur Physiologie oropharyngealer Schluckbewegung. *Sprache Stimme Gehör* **19**:105-113.
11. **Engelke W. Schönle P.W.** 2005. Elektromagnetische Artikulographie: Eine neue Methode zur Untersuchung von Bewegungsfunktionen des Gaumensegels. *Folia Phoniatr.* **43**:147-152.
12. **Engelke W. Schönle P.W. Engelke D.** 1990. 2 objektive Verfahren zur Untersuchung motorischer Funktionen nach Eingriffen an Zunge und Velum. *Dtsch Z Mund Kiefer GesichtsChir* **14**:348-358.

13. **Engelke W.Schönle P.W.Kring R.A.Richter C.** 1989. Zur Untersuchung orofazialer Bewegungsfunktionen mit der elektromagnetischen Artikulographie. Dtsch. Zahnärztl. Z. **44**:618-622.
14. **Engelke W.Schönle P.W.Schwarzwäller W.Zink U.** 1991. Untersuchungen zur Motorik der Zungenspitze bei der Bildung dentoalveolärer Konsonanten. Folia Phoniatr. **43**:105-114.
15. **Fuhrmann R.Diedrich P.** 1993. Videogestützte dynamische B-mode-Sonographie der Zungenfunktion während des Schluckens. Fortschr. Kieferorthop. **54**:17-26.
16. **Hahn V.** 2004. Prävention und Frühbehandlung orofazialer Dyskinesien. Spitta Verlag GmbH&Co. KG **6**.
17. **Hardcastle W.J.Gibbon F.E.Jones W.** 1991. Visual display of tongue-palate contact: electropalatography in the assessment and remediation of speech disorders. Br. J. Disord. Commun. **26**:41-74.
18. **Hertrich I.Ackermann H.** 1997. Articulatory control of phonological vowel length contrasts: Kinematic analysis of labial gestures. J. Acoust. Soc. Am. **102**:523-535.
19. **Hoening J.F.Schoener W.F.** 1992. Radiological survey of the cervical spine in cleft lip and palate. Dentomaxillofac. Radiol. **21**:36-39.
20. **Hoole P.Gfroerer S.Tillmann H.H.** 1990. Electromagnetic articulography as a tool in the study of lingual coarticulation. Forschungsber. D. Inst. F. Phonetik u. sprachl. Kommunik. der Univ. München (FIPKM) **28**:107-122.
21. **Horn H.-J.Göz G.Bacher M.Koch J.Axmann-Krcmar D.** 1995. Maximalkraftmessungen des Lippen- und Zungendrucks und ihre Bedeutung für die klinische Diagnostik orofazialer Dyskinesien. Fortschr. Kieferorthop. **56**:187-189.
22. **Horn H.Göz.G.Bacher M.Müllauer M.Kretschmer I.Axmann-Krcmar D.** 1997. Reliability of electromagnetic articulography recording during speaking sequences. Eur. J. Orthod. **19**:647-655.
23. **Kahl-Nieke B.** 1995. Einführung in die Kieferorthopädie.
24. **Klink A.** 2006. Räumliche Darstellung von Zungenbewegungen bei Sprachsequenzen mittels elektromagnetischer Artikulographie. med. Dissertation, Univ. Tübingen.
25. **Koppenburg P.Leidig E.Bacher M.Dausch-Neumann D.** 1988. Die Darstellung von Lage und Beweglichkeit der Zunge bei Neugeborenen mit oralen Spaltfehlbildungen durch transorale Ultraschallsonographie. Dtsch. Zahnärztl. Z. **43**:806-809.

26. **Kretschmer I.M.** 1996. Untersuchungen zur Analyse von Sprech- und Schluckbewegungen mit Hilfe der elektromagnetischen Artikulographie. med. Dissertation, Univ. Tübingen.
27. **Kritiani S.H.Itho K.Fujimura O.** 1975. Tongue-Pellet Tracking by Computer-Controlled X-Ray Microbeam System. *J. Acoust. Soc. Am.* **57**:1516-1520.
28. **Leitgeb N.** 1993. Analyse epidemiologischer Studien über magnetfeldbedingte Krebsrisiken. *Biomed. Technik* **38**:111-116.
29. **Luther C.J.** 1999. Funktionelle Besonderheiten beim unreifen Schluckakt. med. Dissertation, Univ. Tübingen.
30. **Müllauer M.O.F.** 1996. Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit von Sprechbewegungen mit Hilfe der elektromagnetischen Artikulographie. med. Dissertation, Univ. Tübingen.
31. **Murdoch B.C.Goozee J.V.** 2003. EMA analysis of tongue function in children with dysarthria following traumatic brain injury. *Brain Injury* **17**:79-93.
32. **Müssig D.** 1992. Die Sonographie- ein diagnostisches Mittel zur dynamischen Funktionsanalyse der Zunge. *Fortschr. Kieferorthop.* **53**:338-343.
33. **Neuschaefer-Rube C.Wein B.B.Angerstein W.Klajman jr.S.Fischer-Wein G.** 1997. Sektorbezogene Grauwertanalyse videasonographisch aufgezeichneter Zungenbewegungen beim Schlucken. *HNO* **45**:556-562.
34. **Nguyen N.Marchal A.** 1993. Assessment of an electromagnetometric system for the investigation of articulatory movements in speech production. *J. Acoust. Soc. Am.* **94**:1152-1155.
35. **Ohkiba T.Hanada K.** 1989. Adaptive functional changes in swallowing pattern of the tongue following expansion of the maxillary dental arch in subjects with and without cleft palate. *Cleft Palate* **26**:21.
36. **Peng C.L.Jost-Brinkmann P.G.Yoshida N.Chou H.H.Lin C.T.** 2004. Comparison of tongue functions between mature and tongue-thrust swallowing--an ultrasound investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* **125**:562-570.
37. **Perkell J.S.Cohen M.H.Svirsky M.A.Matthies M.L.Garabieta I.Jackson M.T.T.** 1992. Electromagnetic midsagittal articulometer systems for transducing speech articulatory movements. *J. Acoust. Soc. Am.* **92**:3078-3095.
38. **Reinicke C.Obijou N Tränkmann J.** 1998. Die palatinale Gestaltung von Oberkieferplattenapparaturen. *Fortschr. Kieferorthop.* **59**:202-207.
39. **Schönle P.W.Gräbe K.Wenig P.Höhne J.Schrader J.Conrad B.** 1987. Electromagnetic Articulography: Use of Alternating Magnetic Fields for Tracking Movements of Multiple Points Inside and Outside the Vocal Tract. *Brain and Language* **31**:26-35.

40. **Schwarz C.** 1985. Systematische Logopädie. Verlag Hans Huber, Bern.
41. **Schweska-Polly R.Engelke W.Engelke D.** 1992. Bedeutung der elektromagnetischen Artikulographie bei der Untersuchung der motorischen Zungenfunktion im Rahmen kieferorthopädischer Diagnostik. Fortschr. Kieferorthop. **53**:3-10.
42. **Schweska-Polly R.Engelke W.Hoch G.** 1995. Electromagnetic articulography as a method for detecting the influence of spikes on tongue movement. Eur. J. Orthod. **17**:411-417.
43. **Shawker T.H.Sonies B.Hall T.Baum B.J.** 1984. Ultrasound Analysis of tongue,hyoid and larynx activity during swallowing. Invest. Radiol. **19**:309-320.
44. **Shawker T.H.Sonies B.Stone B.Baum B.J.** 1983. Real-Time Ultrasound Visualization of Tongue Movement During Swallowing. J. Clin. Ultrasound **11**:485-490.
45. **Tanimoto K.Henningsson G.Isberg A.Ren Y.F.** 1994. Comparison of Tongue Position during Speech before and after Pharyngeal Flap Surgery in Hypertrophic Speakers. Cleft Palate Craniofac J **31**:280-286.
46. **Tuller B.Shao S.Scott J.A.** 1990. An evaluation of an alternating magnetic field device for monitoring tongue movements. J. Acoust. Soc. Am. **88**:674-679.
47. **Wein B.Angerstein W.Klajman S.** 1993. Suchbewegungen der Zunge bei einer Sprechapraxie: Darstellung mittels Ultraschall und Pseudo-3D- Abbildung. Nervenarzt **64**:143-145.
48. **Wein B.Angerstein W.Klajmann S.Zimmermann R.** 1993. Zungensonographie und Druckmessungen beim Säuglingssaugen. Klin. Pädiatr. **205**:103-106.
49. **Wein B.Klajmann S.Huber W.Döring W.H.** 1988. Ultraschalluntersuchungen von Koordinationsstörungen der Zungenbewegungen beim Schlucken. Nervenarzt **59**:154-158.

7. Danksagung

Bei Herrn Prof. Dr. Dr. Göz bedanke ich mich für die Überlassung des Themas. Besonders herzlich bedanke ich mich bei Herrn Dr. Hansjörg Horn für die hervorragende Betreuung während den gesamten durchzuführenden Versuchen und auszuwertenden Datenmengen.

Ebenso danke ich Herrn Diplomphysiker Edgar Schaupp, der uns während der Versuchsmessungen außerordentlich gut betreut hat.

Herrn Dr. D. Axmann danke ich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. Bernd Koos für die computertechnischen Ratschläge und Durchführungshilfen und bei Frau Dr. Andrea Klink für die gemeinsame Durchführung der Versuchsmessungen sehr herzlich bedanken.

Und nicht zuletzt bedanke ich mich bei meinem Freund Gregor für die Geduld, bei meinen Eltern für die Unterstützung während des Studiums und bei meiner Schwester für das Korrekturlesen des Manuskripts.

Lebenslauf

8. Lebenslauf

Name: Evelyn Viehweger

Geburtsdatum: 13. 12. 1978

Geburtsort: Ostfildern- Ruit

Schulbildung: 1985- 1989 Grundschule in Filderstadt- Sielmingen
1989- 1995 Realschule in Filderstadt- Bonlanden
1995 mittlere Reifeprüfung
1995- 1998 Gymnasium der dreijährigen Aufbauform
-ernährungswissenschaftliche Richtung- in Stuttgart

Schulabschluss: 1998 Allgemeine Hochschulreife

Studium: Seit WS 1998: Studium der Zahnmedizin an der
Eberhard- Karls- Universität in Tübingen
15. Oktober 1999: Naturwissenschaftliche Vorprüfung
04. April 2001: Zahnärztliche Vorprüfung
30. November 2004: Zahnärztliche Prüfung

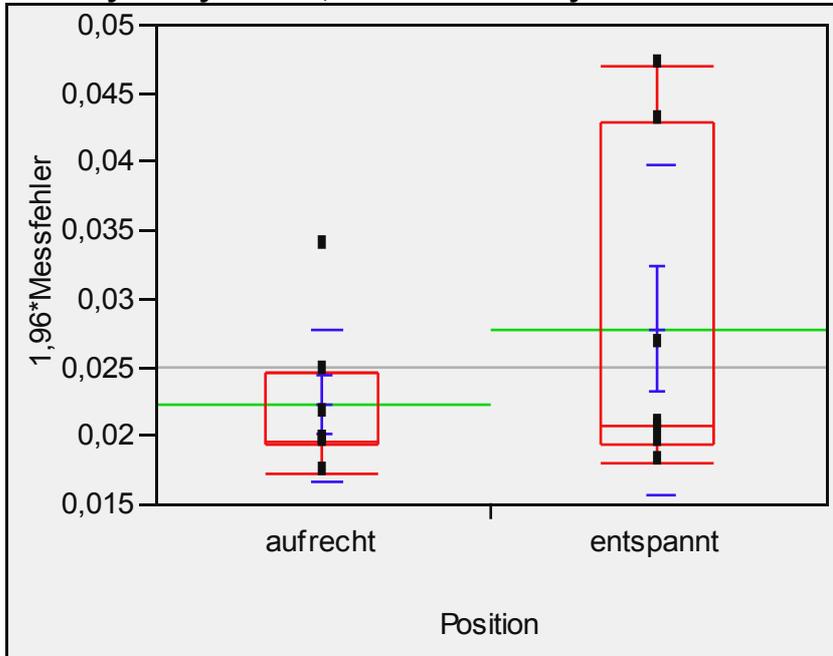
Berufstätigkeit: November 2005 bis Februar 2007 Anstellung in einer
zahnärztlichen Praxis mit Schwerpunkt Implantologie
in Stuttgart.
März 2007 bis März 2009 Anstellung in einer zahn-
ärztlichen Praxis mit Schwerpunkt craniomandibulä-
rer Dysfunktion in München.
Seit April 2009 Anstellung in einer zahnärztlichen
Praxis mit Schwerpunkt Implantologie in München.

9. Anhang

9.1 Einfluss der Position auf den Messfehler (oneway- Analysen)

T1:

Oneway Analysis of 1,96*Messfehler By Position



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,0173	0,0173	0,0195	0,01954	0,0246	0,0338	0,033775
entspannt	0,0179	0,0179	0,0194	0,02065	0,0430	0,0469	0,046897

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	7	0,022243	0,00557	0,00210	0,0171	0,02739
entspannt	7	0,027807	0,01205	0,00456	0,0167	0,03895

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	7	47	6,71429	-0,639
entspannt	7	58	8,28571	0,639

2-Sample Test, Normal Approximation

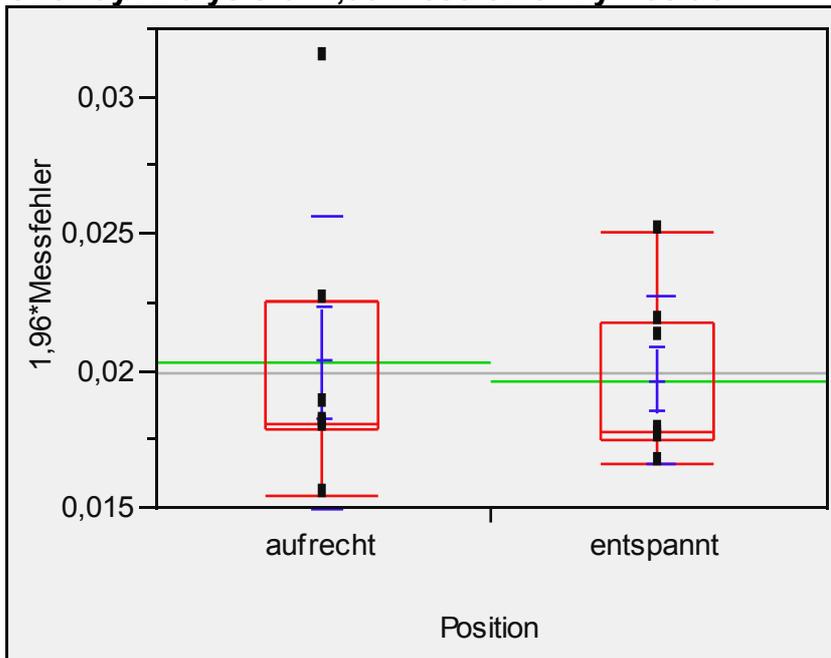
S	Z	Prob> Z
58	0,63888	0,5229

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,4939	1	0,4822

T2:

Oneway Analysis of 1,96*Messfehler By Position



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,015409	0,0154	0,01784	0,01807	0,0225	0,0314	0,031362
entspannt	0,016644	0,0166	0,01749	0,01779	0,0217	0,0250	0,025032

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	7	0,020269	0,005329	0,00201	0,01534	0,02520
entspannt	7	0,019639	0,003080	0,00116	0,01679	0,02249

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	7	57	8,14286	0,511
entspannt	7	48	6,85714	-0,511

2-Sample Test, Normal Approximation

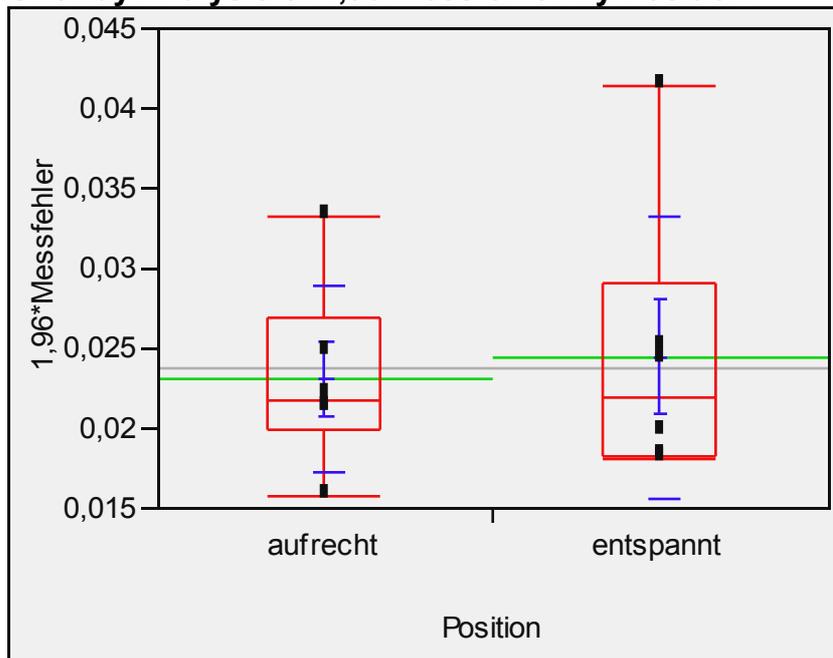
S	Z	Prob> Z
48	-0,51110	0,6093

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,3306	1	0,5653

T3:

Oneway Analysis of 1,96*Messfehler By Position



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,015824	0,0158	0,01984	0,02172	0,02694	0,0333	0,03327
entspannt	0,018053	0,0181	0,01823	0,02198	0,02914	0,0415	0,04147

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	6	0,023086	0,005783	0,00236	0,01702	0,02915
entspannt	6	0,024467	0,008852	0,00361	0,01518	0,03376

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
-------	-------	-----------	------------	-------------------

Anhang

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
entspannt	6	39	6,50000	0,000

2-Sample Test, Normal Approximation

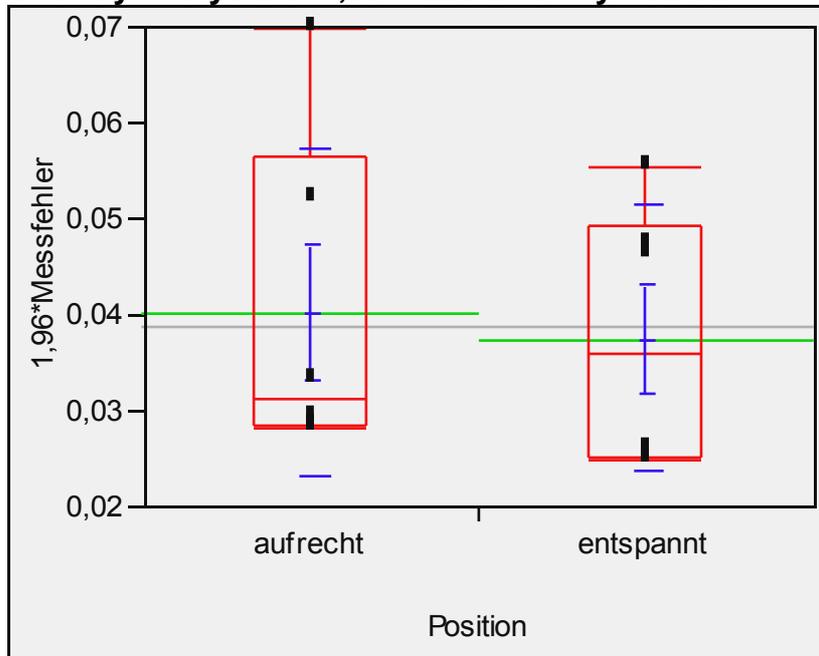
S	Z	Prob> Z
39	0,00000	1,0000

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,0000	1	1,0000

T4:

Oneway Analysis of 1,96*Messfehler By Position



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,028261	0,0283	0,02846	0,03126	0,05642	0,0698	0,0698
entspannt	0,024819	0,0248	0,02514	0,03602	0,04929	0,0555	0,0555

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	6	0,040177	0,017093	0,00698	0,02224	0,05812
entspannt	6	0,037464	0,013695	0,00559	0,02309	0,05184

Anhang

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
-------	--------	------	---------	--------------	-----------	-----------

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	6	44	7,33333	0,721
entspannt	6	34	5,66667	-0,721

2-Sample Test, Normal Approximation

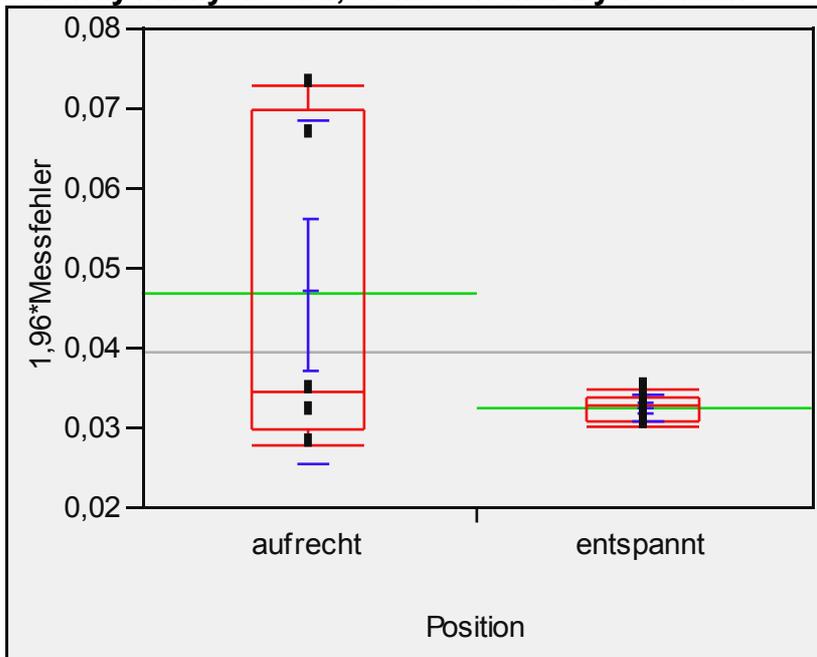
S	Z	Prob> Z
34	-0,72058	0,4712

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,6410	1	0,4233

T5:

Oneway Analysis of 1,96*Messfehler By Position



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,027916	0,0279	0,0299	0,034459	0,0698	0,0730	0,07299
entspannt	0,030278	0,0303	0,03095	0,032862	0,0339	0,0347	0,03473

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	5	0,046766	0,021284	0,00952	0,02034	0,07319
entspannt	5	0,032511	0,001668	0,00075	0,03044	0,03458

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	5	31	6,20000	0,627
entspannt	5	24	4,80000	-0,627

2-Sample Test, Normal Approximation

S	Z	Prob> Z
24	-0,62668	0,5309

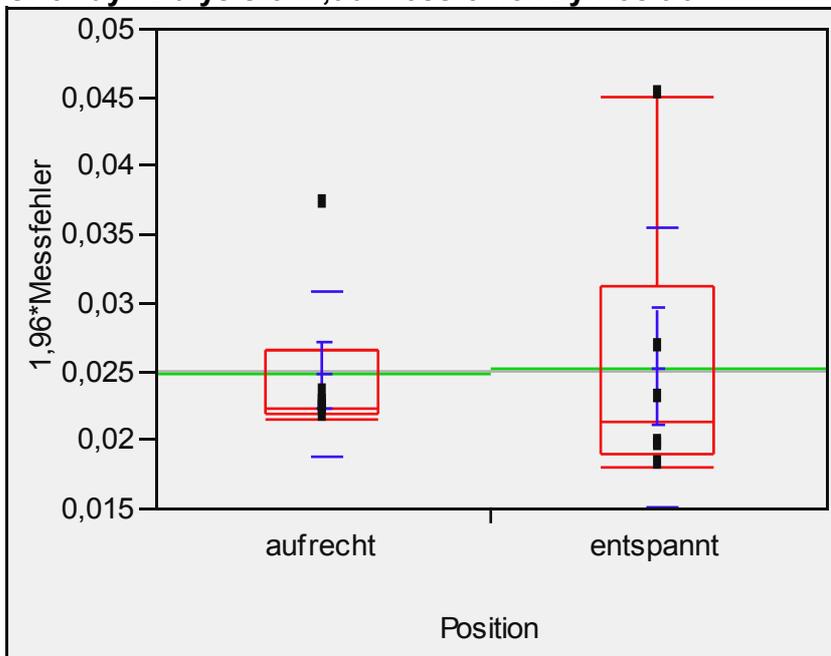
1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,5345	1	0,4647

Small sample sizes. Refer to statistical tables for tests, rather than large-sample approximations.

T6:

Oneway Analysis of 1,96*Messfehler By Position



Anhang

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,02158	0,0216	0,0220	0,02239	0,0267	0,0370	0,03703
entspannt	0,01802	0,0180	0,0191	0,02124	0,0320	0,0450	0,04503

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	6	0,024782	0,006022	0,00246	0,01846	0,03110
entspannt	6	0,025251	0,010173	0,00415	0,01458	0,03593

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	6	42	7,00000	0,400
entspannt	6	36	6,00000	-0,400

2-Sample Test, Normal Approximation

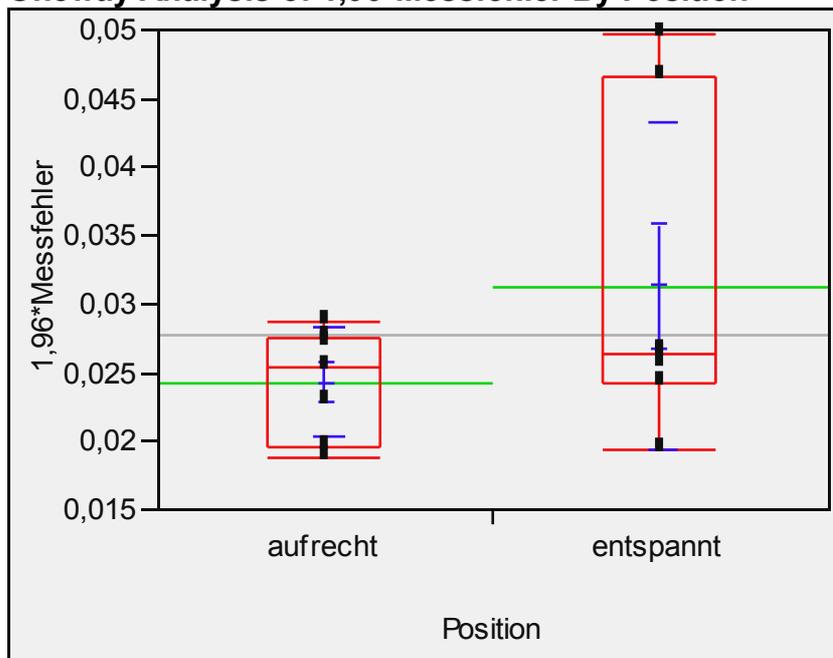
S	Z	Prob> Z
36	-0,40032	0,6889

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,2308	1	0,6310

T7:

Oneway Analysis of 1,96*Messfehler By Position



Anhang

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,01883	0,0188	0,01956	0,02536	0,02757	0,02877	0,02877
entspannt	0,01932	0,0193	0,02428	0,02631	0,04668	0,04964	0,04964

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	7	0,024310	0,003964	0,00150	0,02064	0,02798
entspannt	7	0,031223	0,011859	0,00448	0,02025	0,04219

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	7	47	6,71429	-0,639
entspannt	7	58	8,28571	0,639

2-Sample Test, Normal Approximation

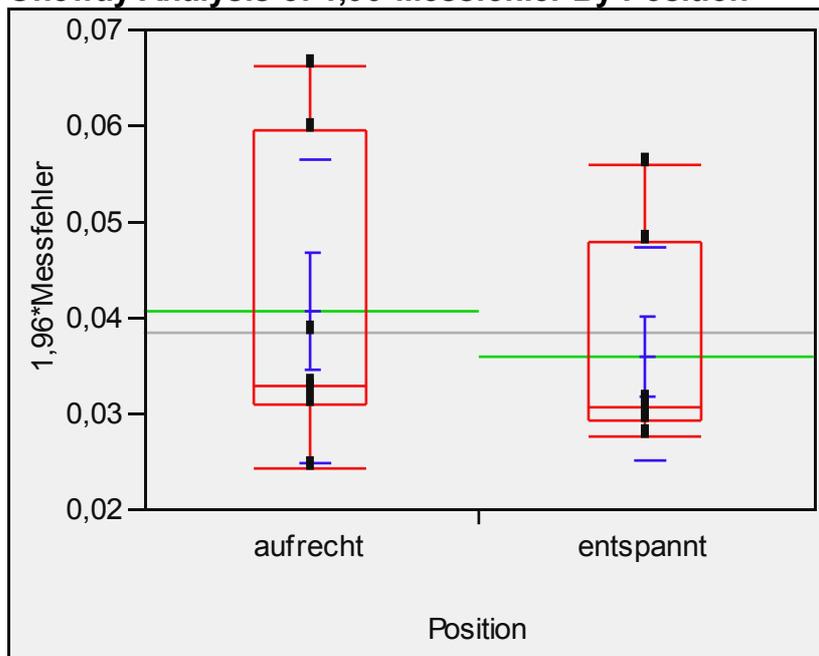
S	Z	Prob> Z
58	0,63888	0,5229

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,4939	1	0,4822

T8:

Oneway Analysis of 1,96*Messfehler By Position



Anhang

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,02439	0,02439	0,03097	0,03284	0,05966	0,0664	0,06638
entspannt	0,02771	0,02771	0,02943	0,03079	0,04784	0,0559	0,05587

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	7	0,040718	0,015890	0,00601	0,02602	0,05541
entspannt	7	0,036080	0,011079	0,00419	0,02583	0,04633

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	7	61	8,71429	1,022
entspannt	7	44	6,28571	-1,022

2-Sample Test, Normal Approximation

S	Z	Prob> Z
44	-1,02220	0,3067

1-way Test, ChiSquare Approximation

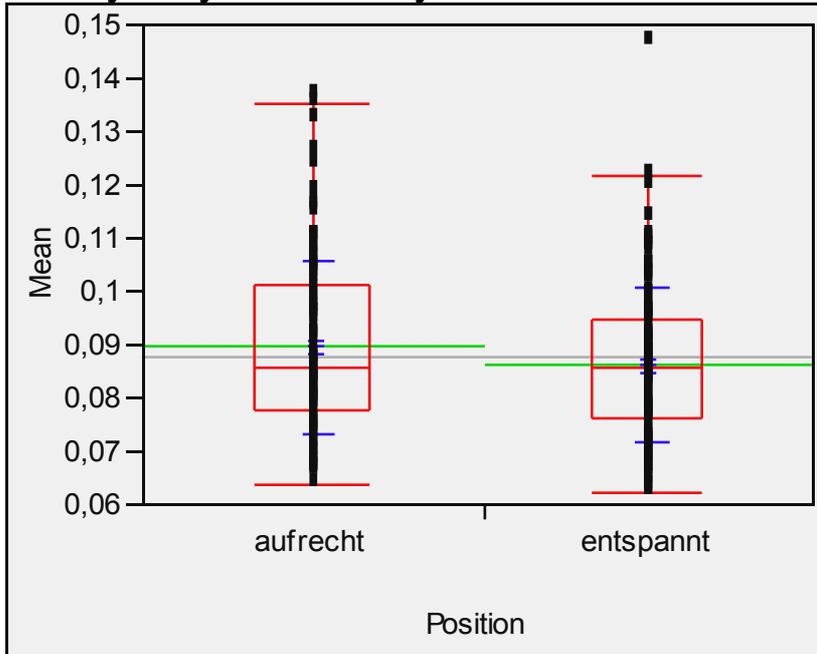
ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
1,1796	1	0,2774

9.2 Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung (oneway-Analysen)

9.2.1 Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung ohne metafate und metakate

T2:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows10

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,0636	0,06978	0,0777	0,086	0,1011	0,1102	0,136778
entspannt	0,062	0,06814	0,0764	0,0856	0,0947	0,1049	0,146778

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	123	0,089519	0,016057	0,00145	0,08665	0,09239
entspannt	117	0,086051	0,014324	0,00132	0,08343	0,08867

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	123	15606,5	126,882	1,459
entspannt	117	13313,5	113,791	-1,459

2-Sample Test, Normal Approximation

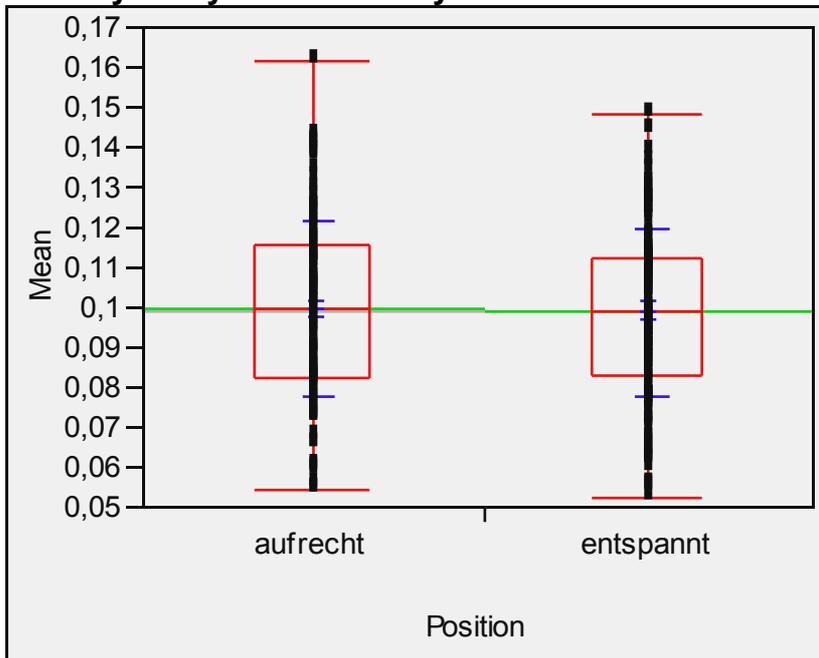
S	Z	Prob> Z
13313,5	-1,45926	0,1445

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
2,1322	1	0,1442

T4:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows10

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,0543	0,07272	0,0825	0,0995	0,116	0,12818	0,1615
entspannt	0,0522	0,06896	0,08295	0,0992	0,1125	0,1272	0,1486

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	123	0,099608	0,021982	0,00198	0,09568	0,10353
entspannt	117	0,098796	0,021019	0,00194	0,09495	0,10264

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	123	14858,5	120,801	0,068
entspannt	117	14061,5	120,184	-0,068

2-Sample Test, Normal Approximation

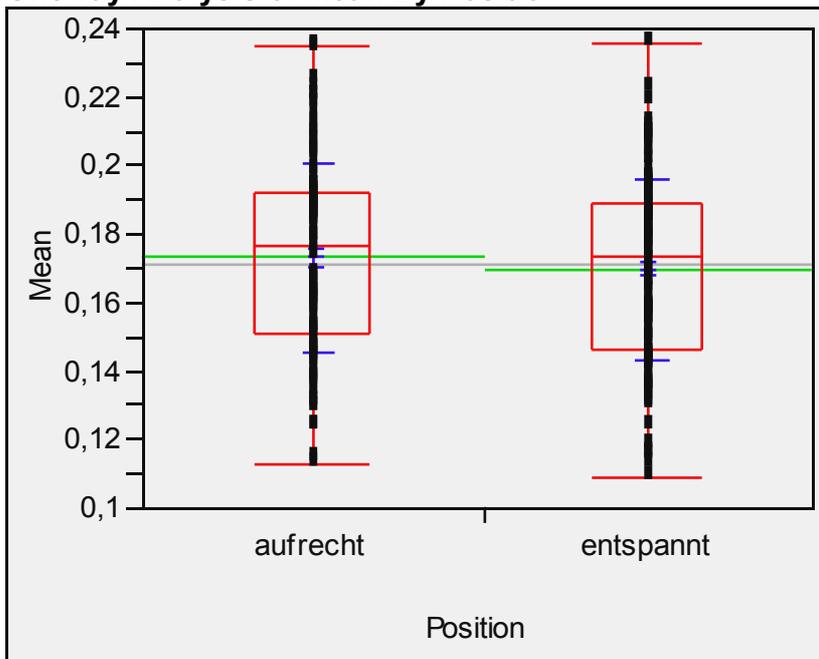
S	Z	Prob> Z
14061,5	-0,06789	0,9459

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,0047	1	0,9451

T8:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows10

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,1125	0,1372	0,1507	0,1769	0,1919	0,20906	0,2348
entspannt	0,1089	0,13498	0,1465	0,1733	0,18885	0,2043	0,2361

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	123	0,173155	0,027299	0,00246	0,16828	0,17803
entspannt	117	0,169560	0,026690	0,00247	0,16467	0,17445

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	123	15355	124,837	0,991
entspannt	117	13565	115,940	-0,991

2-Sample Test, Normal Approximation

S	Z	Prob> Z
13565	-0,99144	0,3215

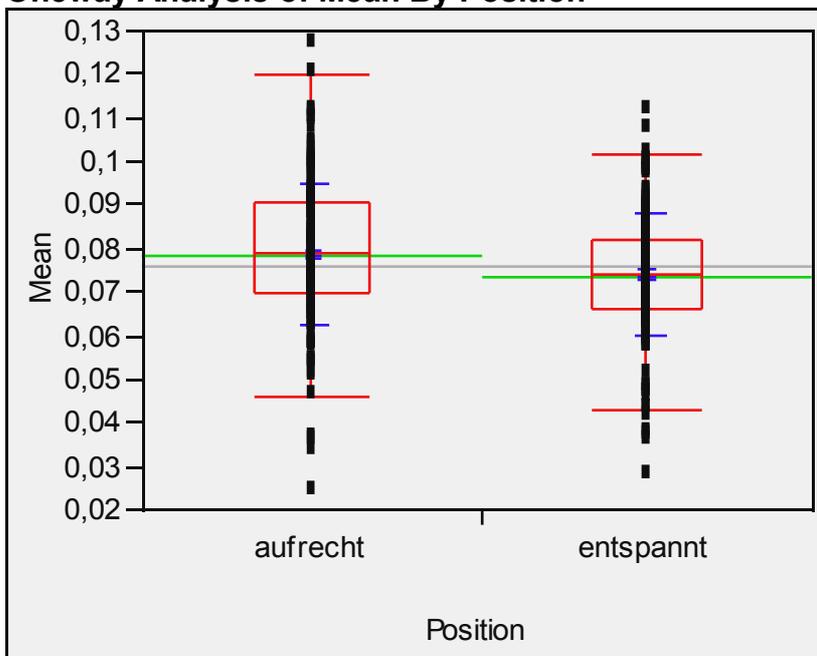
1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,9848	1	0,3210

9.2.2 Einfluss der Position auf den zeitlichen Ablauf der Zungenbewegung mit metafate und metakate

T1:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows12

Anhang

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,0241	0,05916	0,0697	0,0789	0,0903	0,0989	0,1266
entspannt	0,0274	0,05762	0,0661	0,0739	0,0819	0,08944	0,1113

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	173	0,078645	0,016104	0,00122	0,07623	0,08106
entspannt	165	0,073450	0,013927	0,00108	0,07131	0,07559

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	173	32078	185,422	3,067
entspannt	165	25213	152,806	-3,067

2-Sample Test, Normal Approximation

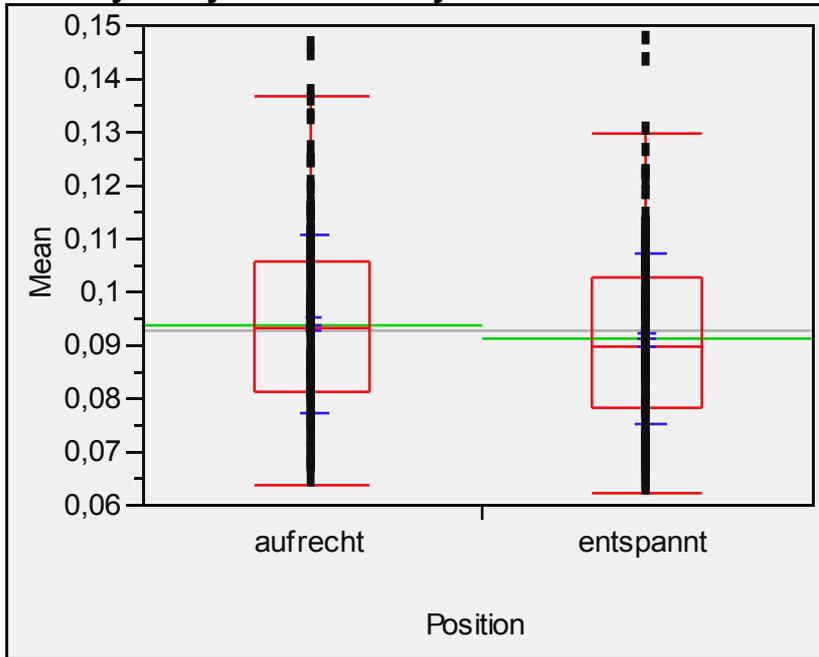
S	Z	Prob> Z
25213	-3,06685	0,0022

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
9,4090	1	0,0022

T2:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows12

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,0636	0,0719	0,0812	0,0934	0,10585	0,1149	0,1459
entspannt	0,062	0,07	0,0785	0,0897	0,1029	0,10998	0,146778

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	173	0,093994	0,016932	0,00129	0,09145	0,09653
entspannt	165	0,091117	0,015963	0,00124	0,08866	0,09357

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	173	30645	177,139	1,471
entspannt	165	26646	161,491	-1,471

2-Sample Test, Normal Approximation

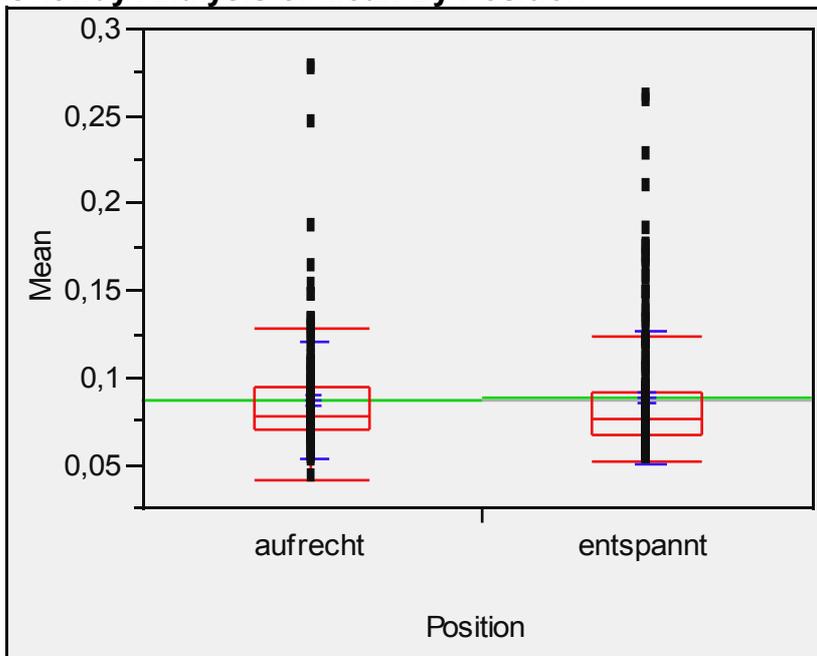
S	Z	Prob> Z
26646	-1,47106	0,1413

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
2,1657	1	0,1411

T3:

Oneway Analysis of Mean By Position



2-Sample Test, Normal Approximation

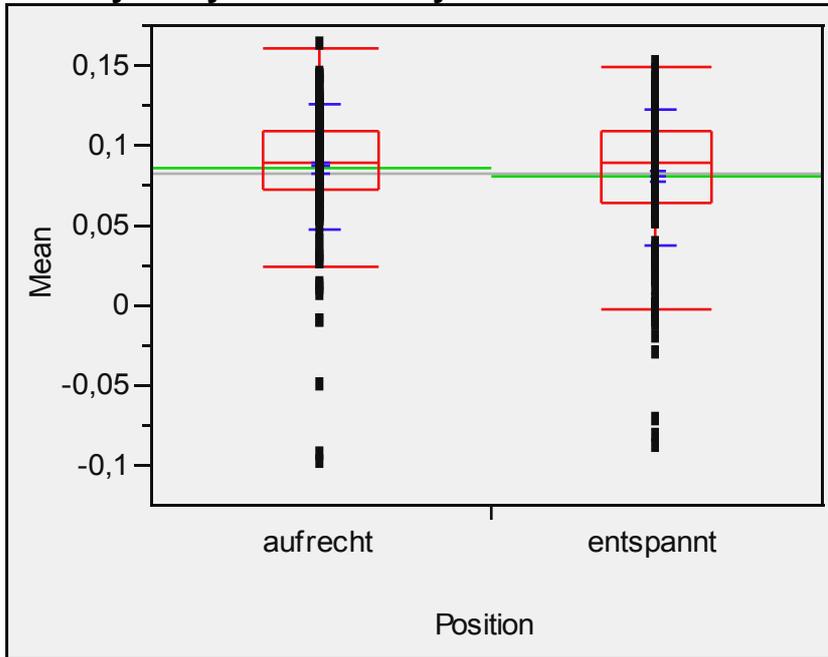
S	Z	Prob> Z
26875,5	-1,21549	0,2242

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
1,4788	1	0,2240

T4:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows12

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	-0,1002	0,04958	0,0724	0,0895	0,1099	0,12492	0,1615
entspannt	-0,0903	0,02112	0,06375	0,089556	0,11	0,12358	0,1486

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	173	0,085852	0,038149	0,00290	0,08013	0,09158
entspannt	165	0,080583	0,042346	0,00330	0,07407	0,08709

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	173	30010	173,468	0,764
entspannt	165	27281	165,339	-0,764

2-Sample Test, Normal Approximation

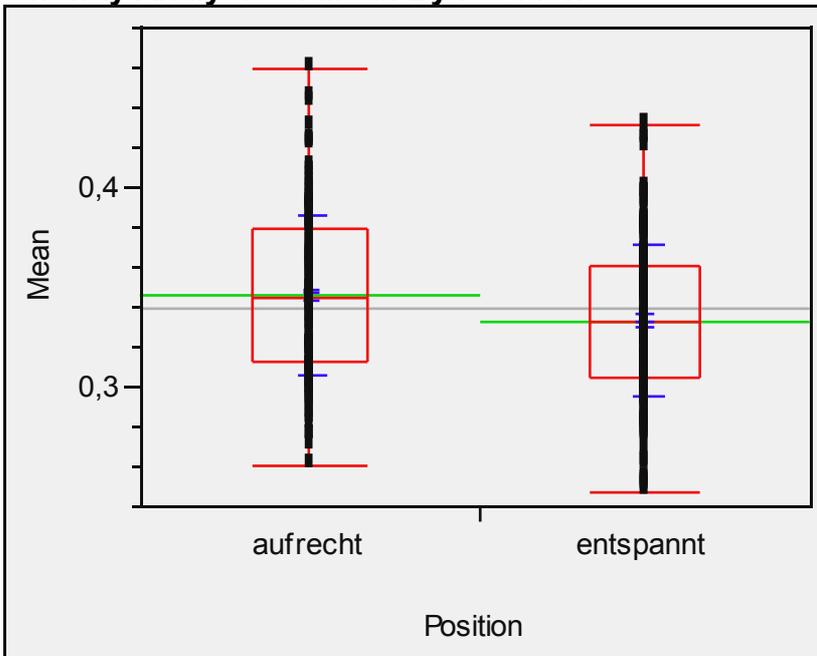
S	Z	Prob> Z
27281	-0,76393	0,4449

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
0,5844	1	0,4446

T5:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows12

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,2609	0,29658	0,31235	0,3444	0,37875	0,39552	0,4596
entspannt	0,2472	0,28312	0,30445	0,3328	0,36025	0,3813	0,4313

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	173	0,345395	0,040193	0,00306	0,33936	0,35143
entspannt	165	0,333063	0,037869	0,00295	0,32724	0,33888

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	173	31532,5	182,269	2,459
entspannt	165	25758,5	156,112	-2,459

2-Sample Test, Normal Approximation

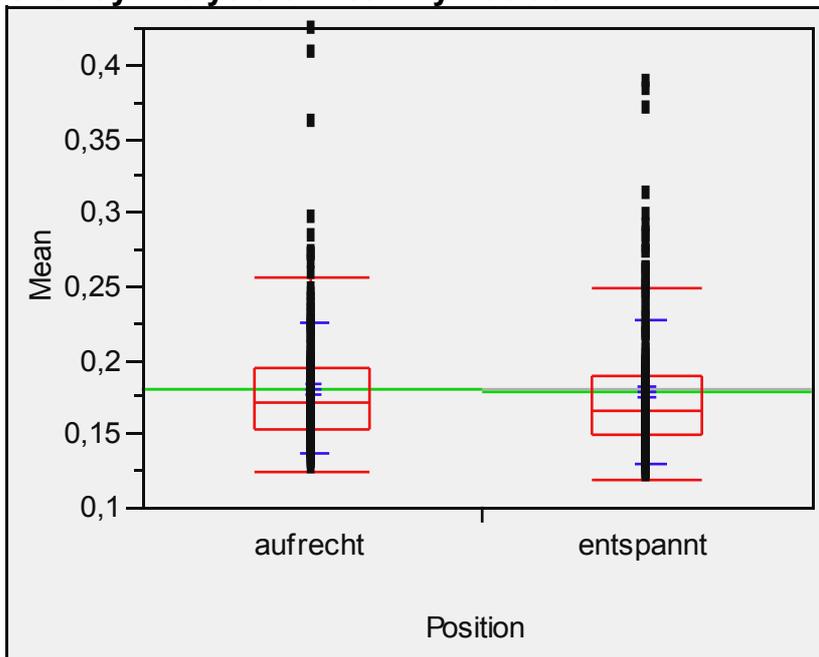
S	Z	Prob> Z
25758,5	-2,45937	0,0139

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
6,0513	1	0,0139

T6:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows12

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,1236	0,13912	0,15275	0,1721	0,19565	0,22992	0,422
entspannt	0,1197	0,13428	0,15025	0,1664	0,1902	0,24918	0,3869

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	173	0,180888	0,044336	0,00337	0,17423	0,18754
entspannt	165	0,179140	0,048522	0,00378	0,17168	0,18660

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	173	30442	175,965	1,245
entspannt	165	26849	162,721	-1,245

2-Sample Test, Normal Approximation

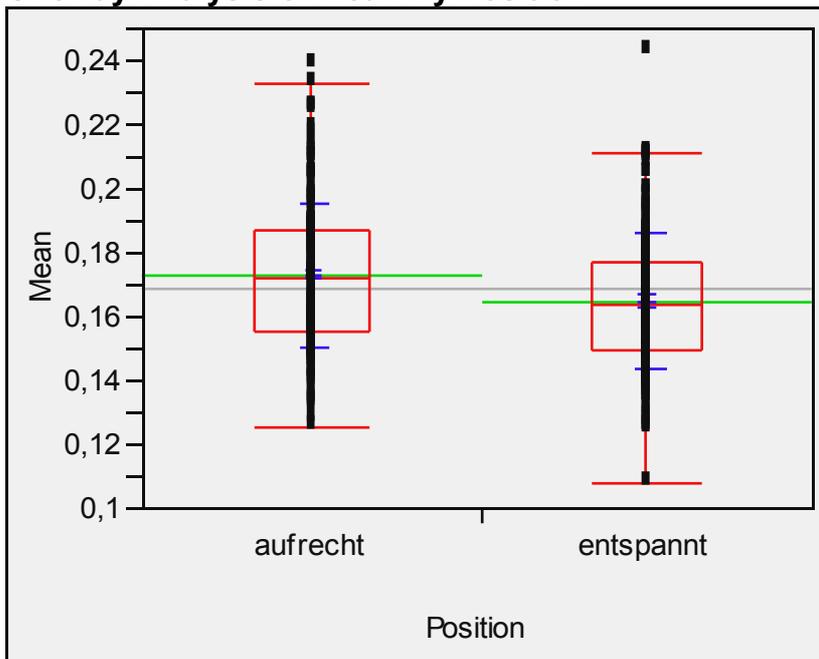
S	Z	Prob> Z
26849	-1,24500	0,2131

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
1,5514	1	0,2129

T7:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows12

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,1255	0,14592	0,1558	0,1723	0,18745	0,20396	0,2384
entspannt	0,1077	0,1389	0,14925	0,1636	0,17725	0,19274	0,24267

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	173	0,172674	0,022621	0,00172	0,16928	0,17607
entspannt	165	0,164550	0,020959	0,00163	0,16133	0,16777

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	173	32157	185,879	3,155
entspannt	165	25134	152,327	-3,155

2-Sample Test, Normal Approximation

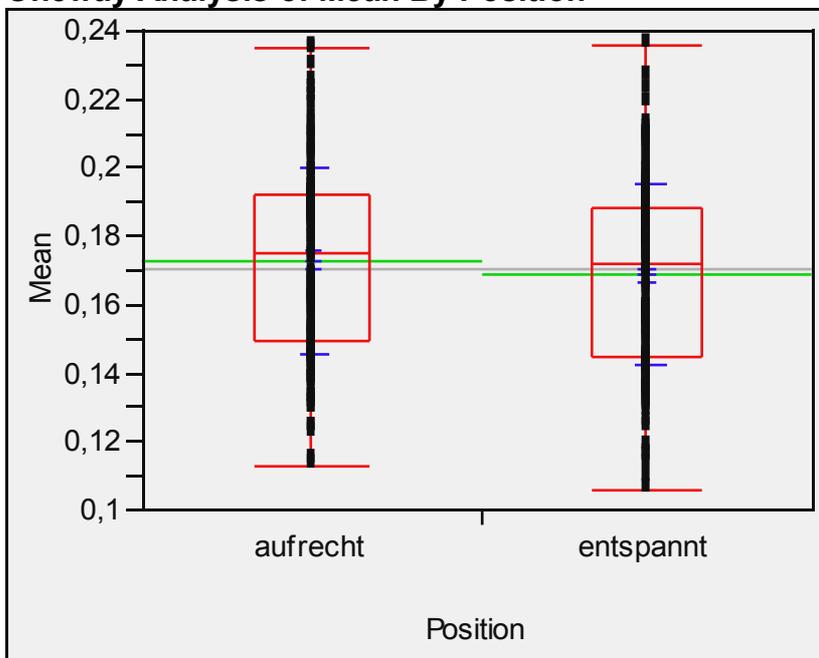
S	Z	Prob> Z
25134	-3,15482	0,0016

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
9,9564	1	0,0016

T8:

Oneway Analysis of Mean By Position



Missing Rows12

Anhang

Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
aufrecht	0,1125	0,1376	0,14975	0,175	0,1918	0,209	0,2348
entspannt	0,1055	0,1345	0,1448	0,1716	0,1886	0,20158	0,2361

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
aufrecht	173	0,172719	0,027028	0,00205	0,16866	0,17677
entspannt	165	0,168576	0,026544	0,00207	0,16450	0,17266

Wilcoxon / Kruskal-Wallis Tests (Rank Sums)

Level	Count	Score Sum	Score Mean	(Mean-Mean0)/Std0
aufrecht	173	30536	176,509	1,350
entspannt	165	26755	162,152	-1,350

2-Sample Test, Normal Approximation

S	Z	Prob> Z
26755	-1,34968	0,1771

1-way Test, ChiSquare Approximation

ChiSquare	DF	Prob>ChiSq
1,8231	1	0,1769

9.2.3 Einfluss der Position auf die Variablen der einzelnen Sweeps

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
metafate	0,7338	0,5823	0,0703	0,0910	0,4065	0,1868	0,3575	0,5552
metakate	0,6455	0,8729	0,8415	0,3472	0,4593	0,8966	0,6818	0,4654
metalate	0,0577	1,0000	0,1792	0,5364	0,1531	0,3592	0,3067	0,3267
metanate	0,0384	0,5892	0,2113	0,6455	0,2224	0,5419	0,0687	0,5419
metasate	0,0750	0,2040	0,5552	0,8181	0,2380	0,2340	0,0512	0,8181
metaschate	0,5947	0,0454	0,3223	0,9068	0,2593	0,0361	0,0443	0,5728
metatate	0,1100	0,7649	0,3864	0,5576	0,5848	0,4394	0,2277	0,9589

Tabelle (9): p-Werte der oneway-Analysen der Sweeps, berechnet über alle Variablen

9.3 Fragebogen zur Erfassung relevanter Daten für die EMA- Messungen

Datum:

Name:

Vorname:

Straße:

PLZ:

Ort:

Geb:

Telefonnr.:

1. Anamnese:

Prä-, peri-, postnatale Auffälligkeiten:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , welche:
Stillen:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , wie lange:
Flasche, welcher Sauger:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , wie lange:
Schnuller, welcher:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , wie lange:
Feste Nahrung, ab wann:		
Essstörungen:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Schluck-, Verdauungsprobleme:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Entwicklungsstörung der Motorik: (Verzögerung beim Laufen lernen, ...)	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Entwicklungsstörung des Sprechens:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Lutschgewohnheiten, Habits:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , welche:
Auffälligkeiten in der Familie/Geschwister:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , welche:

Allgemeinerkrankungen:

Stoffwechselerkrankungen: nein ja , welche:

Verdauungsprobleme: nein ja , welche:

Adipositas: nein ja

Größe:

Gewicht:

Anhang

Allergien:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , welche:
Asthma:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
HNO: häufige Erkrankungen:		
Tonsillenerkr., Adenoide:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Atmung:	MA <input type="checkbox"/>	NA <input type="checkbox"/>
Septumabweichung:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Nebenhöhlenerkr.:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Luftschlucken, Globusgefühl:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>
Muskeltonus Körperhaltung:		
Traumen:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , welche:
Operationen:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , welche:
Neurologische Befunde:	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , welche:
Verhalten, Psyche (Erkrank.):	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> , welche

2. Befunde:

2.1 Zahnmedizin:

Pflegezustand, Mundhygiene:

Okklusion:

Klasse:

Offener Biss:

nein ja |

Kreuzbiss:

nein ja |

Schneidezahnstufe (mm): vertikal:

saggital:

Diastema:

nein ja |

Protrusion, OK,UK:

nein ja |

Zungenband (eingeschränkte Bewegl., ...):

nein ja |

Lippenband (hoch ansetzend, ...):

nein ja |

LKG- Spalte:

nein ja |

Kiefergelenk (Auffälligkeiten):

nein ja |

SKD:

Mundöffnung:

 bogenförmig:

 s- förmig:

 termin. Abweichung:

Knirschen:

nein ja |

Pressen:

nein ja |

Anhang

Atmung: Mund
 Nase
 Mischatmung
 Nasenlochtest (Spiegel): positiv negativ
 Beim Schlafen:

Besonderheiten:

Zahnwechsel: normal verzögert

Sonstiges:

9.4 Probandenfragebogen

(zur Analyse von Lippen- und Zungenbewegungen mittels elektromagnetischer Artikulographie)

Ziel der durchzuführenden Untersuchung ist die Analyse von Lippen- und Zungenbewegungen bei Sprech- und Schluckbewegungen zur Untersuchung des Einflusses von muskulären Fehlfunktionen, Kieferfehlstellungen und deren Korrekturen auf die Lippen- und Zungenmotorik.

Aus der Studie werden neue Erkenntnisse über den Einfluss kieferorthopädischer, kieferchirurgischer und funktionsverbessernder Maßnahmen auf die Muskulatur im Lippen-, Zungen- und Kieferbereich erwartet, um die Stabilität kieferorthopädischer Behandlungsergebnisse zu verbessern.

Die Analyse der Bewegungen erfolgt mit der so genannten elektromagnetischen Artikulographie. Dabei werden zunächst auf die zu untersuchenden Stellen (Lippen, Zunge, Kiefer) kleine Empfängerspulen (Durchmesser: 3x2x1,5 mm) geklebt, an denen jeweils ein dünnes Kabel befestigt ist. Die Kabel der Empfän-

Anhang

gerspulen werden am Messgerät angeschlossen. Ein Ablösen der Empfängerspulen während der Untersuchung kann es erforderlich machen, diese zu unterbrechen und die Spulen erneut wieder zu befestigen.

Anschließend wird auf den Kopf des Probanden ein Messhelm mit drei Senderspulen, welche elektromagnetische Felder ausstrahlen, aufgesetzt. Die dabei ausgestrahlten Felder bedeuten keinerlei Risiko für die zu untersuchende Person. Ein Verschlucken der Empfängerspulen ist durch die daran befestigten Kabel praktisch ausgeschlossen.

Während der Untersuchung werden bestimmte Sprech- und Schluckbewegungen aufgezeichnet. Die Untersuchungsdauer beträgt ca. 30 min.

Am Untersuchungsende werden die Empfängerspulen wieder vorsichtig abgelöst, ohne dass dabei die Haut oder Schleimhaut verletzt wird. Möglicherweise kann durch verbliebene Klebereste die Tastempfindung an der Zunge bis zu 30 min. beeinträchtigt sein.

Bei der Studie handelt es sich um eine so genannte offene Studie, bei der die Probanden nach bestimmten Krankheitskriterien bzw. als Kontrollgruppe gesunde Probanden ausgewählt werden.

Die Teilnahme an der Studie hat keinerlei Auswirkung auf die Art der durchgeführten therapeutischen Maßnahmen und ist für die zu untersuchende Person freiwillig. Der Proband hat das Recht, jederzeit und ohne Angabe von Gründen und ohne Benachteiligung bei der weiteren Behandlung aus der Studie auszuscheiden. Es wird darauf hingewiesen, dass das Arztgeheimnis gewahrt bleibt und Daten nur in anonymer Form weitergegeben bzw. veröffentlicht werden.

Der Proband kann selbst erwägen, ob er für die oben genannten Ziele die aufgeführten Risiken auf sich nehmen will.

Einverständniserklärung:

Mit der Unterschrift erklärt sich der Unterzeichnende bereit, dass er über die Ziele der Studie, die Untersuchungsmethoden und deren Risiken, über die Freiwilligkeit der Teilnahme sowie die Möglichkeit, jederzeit und ohne Angabe von Gründen und ohne Benachteiligung bei der weiteren Behandlung aus der Studie ausscheiden zu können, ausreichend informiert, ausreichend informiert worden ist und keine weiteren Fragen mehr hat.

Datum, Unterschrift (Proband):

Datum, Unterschrift (Untersucher):