

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des
Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger

Abteilung für Orofaziale Prothetik und Funktionslehre
Direktor: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Zum initialen Einfluss des anterioren Führungswinkels
von Oberkiefer-Äquibrierungsschienen auf die
mandibuläre Ruhelage und den minimalen inzisalen
Sprechabstand

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

vorgelegt von

FLAVIO KRUG

geboren in Nürnberg

Marburg an der Lahn, 2023

Angenommen von Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 10.07.23

Gedruckt mit der Genehmigung des Fachbereiches Medizin

Dekanin: Prof. Dr. Denise Hilfiker-Kleiner

Referent: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Korreferent: Prof. Dr. Roland Frankenberger

Gewidmet

meiner Familie

in Liebe für die stetige Unterstützung

INHALT

1.	EINLEITUNG.....	8
2.	GRUNDLAGEN.....	10
2.1	Craniomandibuläre Dysfunktionen.....	10
2.2	Aufbissbehelfe · Formen und Anwendung.....	11
2.3	Lautbildung · Anatomische und Physiologische Grundlagen.....	14
2.4	Lautformung.....	16
2.5	Artikulatorische Phonetik.....	17
2.5.1	Vokale.....	18
2.5.2	Konsonanten.....	19
2.5.3	Instrumentalphonetik · Historie und Grundlagen.....	21
2.6	Einfluss der Zahnstellung auf die Lautbildung.....	23
2.7	Das Posselt-Diagramm in der Sagittal-Vertikal-Ebene.....	27
2.7.1	Ruhelage der Mandibula.....	29
2.7.2	Engster Sprechabstand.....	30
3.	MATERIAL UND METHODE.....	31
3.1	Auswahl und Anzahl der Testpersonen.....	31
3.2	Anfertigen und Inserieren der Testschienen.....	33
3.3	Magnetkinesiographie · K7-Registriersystem.....	38
3.4	Computergestützte Darstellung der Bewegungen.....	41
3.5	Struktureller Aufbau der Studie.....	43
3.6	Auswertung der Aufnahmen.....	46
3.7	Statistische Analyse.....	48
4.	ERGEBNISSE.....	49
4.1	Kondylenbahnneigung und Frontzahnführungswinkel.....	49
4.2	Ruhelage ohne Schiene.....	50
4.3	Mandibuläre Ruhelage bei eingesetzter Schienenvariante S0 oder S2 in Bezug auf die patientenindividuelle Ruhelage ohne Schiene.....	52
4.4	Unterschiede der mandibulären Ruhelagen mit eingesetzten Schienenvarianten S0 und S2.....	53
4.5	Sprechabstand ohne Schiene.....	60
4.6	Engster Sprechabstand bei eingesetzten Schienenvarianten S0 und S2 in Bezug auf den patientenindividuellen Sprechabstand ohne Schiene.....	61
4.7	Unterschiede der engsten Sprechabstände mit eingesetzten Schienenvarianten S0 und S2.....	62

5.	DISKUSSION.....	69
5.1	Methodenkritik.....	69
5.1.1	Magnetkinesiographie · K7-Registriersystem.....	69
5.1.2	Testpersonen.....	70
5.1.3	Aufbissbehelfe.....	71
5.2	Ergebnisdiskussion.....	73
5.2.1	Kondylenbahnneigung und Frontzahnführungswinkel.....	73
5.2.2	Mandibuläre Ruhelage ohne und mit eingesetzten Schienen S0 und S2.....	74
5.2.3	Minimaler Sprechabstand ohne und mit eingesetzten Schienen S0 und S2 ..	79
5.3	Forschungsausblick.....	82
6.	ZUSAMMENFASSUNG · SUMMARY.....	83
7.	LITERATURVERZEICHNIS.....	89
8.	ANHANG.....	95
8.1	CRF.....	95
8.2	Patienteninformation.....	97
8.3	Einwilligungserklärung.....	100
8.4	Anamnesebogen.....	101
8.5	Danksagung.....	102

Abkürzungsverzeichnis und Definitionen

CMD	Craniomandibuläre Dysfunktion
HIKP	Habituelle Interkuspitationsposition
HÖ	Habituelle Öffnungsbahn des Unterkiefers aus der maximalen Interkuspitation startend, dargestellt als Bewegungsspur des Inzisalpunktes in der Sagittal-Vertikalebene
Mean	Durchschnitt
MIKP	Maximale Interkuspitationsposition
MSA	Minimaler Sprechabstand
N	Anzahl der Testpersonen
OK	Oberkiefer
RKP	Okklusaler Kontakt bei retraler Kondylenposition
RL	Ruhelage des Unterkiefers
RÖ	Retrale Öffnungsbahn des Unterkiefers aus der retralen Kontaktposition startend, dargestellt als Bewegungsspur des Inzisalpunktes in der Sagittal-Vertikalebene
SA	Sprechabstand der UK- zu den OK-Frontzähnen, dargestellt in der Sagittal-Vertikalebene
S0	Schienenvariante 0 mit analog zur Frontzahnführung der Testperson gestalteter Frontzahnführung
S2	Schienenvariante 2 mit im Vergleich zur individuellen Frontzahnführung (Schienenvariante 0) 15° steilerer Frontzahnführung
S0T0 - S0T60	Messung mit Schienenvariante S0 zum Zeitpunkt T0 (initial nach Einsetzen Schiene) bis T60 (nach 60 min Tragezeit)
S2T0 - S2T60	Messung mit Schienenvariante S2 zum Zeitpunkt T0 (initial nach Einsetzen Schiene) bis T60 (nach 60 min Tragezeit)
UK	Unterkiefer

Ruhelage	Entspannte Lage der Mandibula bei aufrechter Körper- und Kopfhaltung, bei der sich die anhebenden und absenkenden Kräfte auf den Unterkieferkörper aufheben
Engster Sprechabstand	Kleinster Abstand des Unterkiefers zum Oberkiefer bei der Sprachlautbildung, welcher bei der Formung von Frikativen (Reibelauten), wie z.B. dem s-Laut, eingenommen wird
Interinzisaler Freiraum	Bereich zwischen den Palatinalflächen der oberen Inzisiven und den Labialflächen der unteren Inzisiven bei eingenommener maximaler Interkuspitation, der Freiraum sollte bei Sprechbewegungen kollisionsfreie Bewegungen der unteren Frontzähne ermöglichen
Okklusale Vertikaldimension	Abstand zweier beliebig gewählter Punkte am Unter- und Oberkiefer, idealerweise im Bereich der Mittellinie
Overjet	Horizontaler Überbiss, Abstand der Inzisalkanten der mittleren Inzisiven in der horizontalen Achse (anterior-posterior)
Overbite	Vertikaler Überbiss, Abstand der Inzisalkanten der mittleren Inzisiven in der vertikalen Achse

1. EINLEITUNG

Morphologie, Stellung und Okklusion der Zähne haben einen biomechanischen und neuromuskulären Einfluss auf die intermaxilläre Kieferrelation sowie auf das Bewegungsmuster des Unterkiefers beim Kauen und der Lautbildung [Engelke et al., 1991].

Die Stellung und Neigung der Frontzähne spielen eine besondere Rolle für die Definition der zahngeführten Grenzbewegungen und damit für den Bewegungsraum, in dem die Kaumuskelatur den Unterkiefer bewegen kann. Der Bereich, in dem sich die Mandibula mit den unteren Inzisiven ohne Kollision mit den oberen Frontzähnen bewegen kann, wird als interinzisaler Freiraum (Abb. 1) bezeichnet [Slavicek, 1982].



Abbildung 1: Sagittalschnitt Modelle, Kontakt der Inzisiven in maximaler Interkuspitation (1), der interinzisale Freiraum zwischen dem Oberkiefer- und Unterkieferinzisiven ist weiß markiert, Inzisalkante oberer Schneidezahn (2)

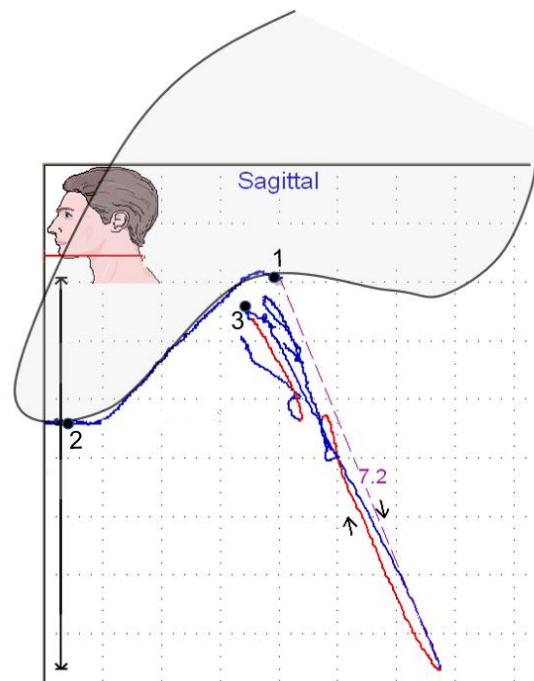


Abbildung 2: Exemplarische magnetkinesiographische Darstellung in der Sagittal-Vertikalebene von Bewegungen des Inzisalpunktes in der zahngeführten Protrusion und beim Sprechen des s-Lautes, zahngeführte Protrusionsbahn an Palatinalfläche des oberen Inzisiven (blaue Spur von Punkt 1 bis Punkt 2), Punkt 1 Maximale Interkuspitation, Punkt 3 minimaler Sprechabstand beim Sprechen des s-Lautes, Rasterhöhe und -weite entspricht je 1 mm

Alle Teildisziplinen der Zahnheilkunde, welche in die Okklusion des Patienten eingreifen, können auch Einfluss nehmen auf die Begrenzung und Ausformung des interinzisalen Freiraums.

Dies gilt für kieferorthopädische, kieferchirurgische, prothetisch-restaurative Maßnahmen wie auch für die okklusale Prä-Therapie von kranio-mandibulären Dysfunktionen mit Aufbissbehelfen.

Unter den unterschiedlichen Aufbiss-schienen zur Behandlung von kranio-mandibulären Dysfunktionen gelten Äquibrierungsschienen mit Front- und/oder Eckzahnführung als der goldene Standard. Dieses exzentrische Okklusionskonzept dient dazu, potenzielle okklusale Interferenzen im Seitenzahn-bereich auszuschalten und die neuromuskuläre Ansteuerung der Mandibula zu verändern. Für die Gestaltung dieser anterioren Führung gibt es in der Literatur hinsichtlich optimaler Länge, Neigung und räumlicher Ausformung keine einheitlichen, allgemein anerkannten Empfehlungen. Änderungen des individuellen interinzisalen Freiraums durch die Okklusionsschiene führen zwangsläufig zu einer veränderten kranialen Grenzführung der Mandibula und haben somit einen biomechanischen Effekt. Welchen neuromuskulären Einfluss Veränderungen der Frontzahnrelation auf nicht zahngeführte Unterkieferstellungen und -bewegungen ausüben können, ist nicht ausreichend untersucht. Dies gilt insbesondere für die mandibuläre Ruhelage und den geringsten Abstand der Frontzähne bei der Lautbildung.

Daher sollen im Rahmen der vorliegenden Studie unter Anwendung der Magnetkinesiographie folgende Hypothesen geprüft werden:

- Bei einer Einschränkung des interinzisalen Freiraums durch artifizielle Verteilung der anterioren Führungsbahn kommt es zu einer dorsokaudalen Verlagerung der mandibulären Ruhelage.
- Die durch den Aufbissbehelf verursachte Sperrung der okklusalen Vertikaldimension führt bereits mit dem Einsetzen des Aufbissbehelfes zu einer Änderung der mandibulären Ruhelage.
- Bei einer Einschränkung des interinzisalen Freiraums durch artifizielle Verteilung der anterioren Führungsbahn kommt es zu einer Veränderung des minimalen Sprechabstandes in dorsaler Richtung.
- Mit Einsetzen des Aufbissbehelfes kommt es initial zu okklusalen Kontakten bei der Lautbildung.

2. GRUNDLAGEN

2.1 Craniomandibuläre Dysfunktionen

Die Craniomandibuläre Dysfunktion (CMD) bezeichnet Symptome und Befunde, welche auf eine Störung der Kaumuskulatur, der Kiefergelenke und/oder der Okklusion hinweisen. Die funktionelle Einheit aus Kiefergelenk, Sehnenapparat, Kau- und Hilfsmuskulatur, auch als temporomandibuläres Gelenk bezeichnet, ist im Rahmen einer solchen Erkrankung in ihrem Zusammenspiel gestört.

Die Symptomatik umfasst Schmerz und Dysfunktion, wobei Schmerzen im Bereich der Kaumuskulatur, des Kiefergelenkes oder parafunktionell bedingt als Zahnschmerz auftreten. Dysfunktionen treten als schmerzhafte oder nicht schmerzhafte Limitation von Unterkieferbewegungen oder in Form von Hypermobilitäten auf.

CMD sind durch eine multifaktorielle Ätiopathogenese gekennzeichnet. Als Ursachen steht neben posttraumatischen Zuständen die muskuläre Fehlfunktion im Mittelpunkt. Physische, psychische und soziale Stressoren nehmen ebenso einen Einfluss auf die Entstehung von CMD wie Körperfehlhaltungen. Arthrogene Störungen sind häufig auf mechanisch bedingte Fehlfunktionen im Gelenk zurückzuführen, beispielsweise eine Diskusverlagerung ohne Reposition, bei welcher die Unterkiefermobilität wie durch einen Hemmschuh behindert wird. Auch Perforationen der knorpeligen Gelenkscheibe können zu schmerzbedingten Funktionseinschränkungen führen.

Muskuläre Störungen haben ebenso verschiedene Einflussfaktoren. Schwer bewert- und beeinflussbare Stressoren und psychische Zustände wirken auf den Tonus der Kaumuskulatur und führen mitunter zu Parafunktionen wie Zähneknirschen und -pressen.

Einflüsse der Okklusion auf myogene Störungen des Kauapparates werden kontrovers diskutiert. Okklusale Einflussfaktoren werden von manchen Autoren als Nebenfaktor eingestuft, auch im europäischen Raum wird das Augenmerk häufiger auf psychosoziale Einflussfaktoren gelegt, wie eine neue Forschungsarbeit von Colonna et al. [2021] zeigt.

Störungen der Okklusion in Form von Frühkontakten oder Hyperbalancen auf der Nichtarbeitsseite können durch Veränderungen des neuromuskulären Bewegungsmusters zu Symptomen in der Kaumuskulatur oder den Kiefergelenken führen. Durch eine Bewegungsänderung bzw. Veränderung von muskulären Rekrutierungsmustern kommt es zu einer unphysiologischen Belastung des Kiefergelenkes, wobei der Kaukraftvektor eine entscheidende Rolle spielt.

Schädigend sind Kraftvektoren einzustufen, welche dorsokraniel und dorsokaudal ausgerichtet sind [Lotzmann, 1998]. In diese Richtungen weist der Gelenkapparat wenig Toleranz auf. Diese Positionen sollten aus prophylaktischen Gründen vermieden werden.

Auch okklusale Zwangsverzahnungen können den Unterkiefer bei Einnehmen der maximalen Interkuspitation in eine pathologische Position und zu einer Schädigung von überbelasteten Strukturen führen. Dies gilt insbesondere, wenn die erzwungene Position eine Kondylenverlagerung nach dorsokraniel oder dorsokaudal zur Folge hat. Die Therapiemöglichkeiten sind multimodal. Es unterscheiden sich kausale von symptomatischen Ansätzen, wobei reversible und minimalinvasive Verfahren im Mittelpunkt der zahnärztlichen Funktionstherapie stehen. Medikamentöse Therapien erweitern lediglich die zur Verfügung stehenden Maßnahmen.

Besonders bei myogenen Leitkomponenten haben sich physiotherapeutische und physikalische Begleitmaßnahmen wie manuelle Therapie und Wärme als Ergänzung zur Therapie mit Aufbissbehelfen bewährt.

Aufbissbehelfe ermöglichen einen reversiblen Eingriff in die Okklusion und somit die Umsetzung verschiedener Okklusionskonzepte mit unterschiedlichem Einfluss auf Rekrutierungsmuster der Kaumuskulatur.

2.2 Aufbissbehelfe · Formen und Anwendung

Die Vielzahl der in der Literatur beschriebenen Aufbisssschienen wird aufgrund ihrer Indikation sowie deren okklusalen Designs in Statik und Dynamik unterschieden. Hinsichtlich ihrer Indikation kann man Aufbissbehelfe einteilen in solche, die primär der Normalisierung des Muskeltonus dienen und zweitens in Behelfe, die primär die Mandibula in eine therapeutische Position bringen.

Hinsichtlich des okklusalen Designs bei muskulär wirkenden Schienen gibt es Aufbissbehelfe, die den okklusalen Kontakt auf eine symmetrische muskelferne Abstützung reduzieren (Reflexschienen). Den goldenen Standard bilden sogenannte Äquilibrationsschienen, auch als Stabilisierungsschienen bezeichnet. Typischerweise werden diese, welche in Statik einen simultanen, gleichmäßigen Zahnkontakt aller Seitenzähne anstreben, mit oder ohne Front- und/oder Eckzahnführung ausgeführt. Äquilibrationsschienen mit Front-Eckzahnführung garantieren darüber hinaus eine interferenzfreie Seitenzahnokklusion bei exzentrischen Bewegungen (Abb. 3, 4 und 5).



Abbildung 3: Oberkiefer-Aufbissschiene mit adjustierter Front-Eckzahn-Führung und zirkulärem Kontakt in MIKP



Abbildung 4: Oberkiefer-Aufbissschiene mit adjustierter Front-Eckzahn-Führung in Laterotrusion, unterer Eckzahn führt und entkoppelt die Seitenzähne

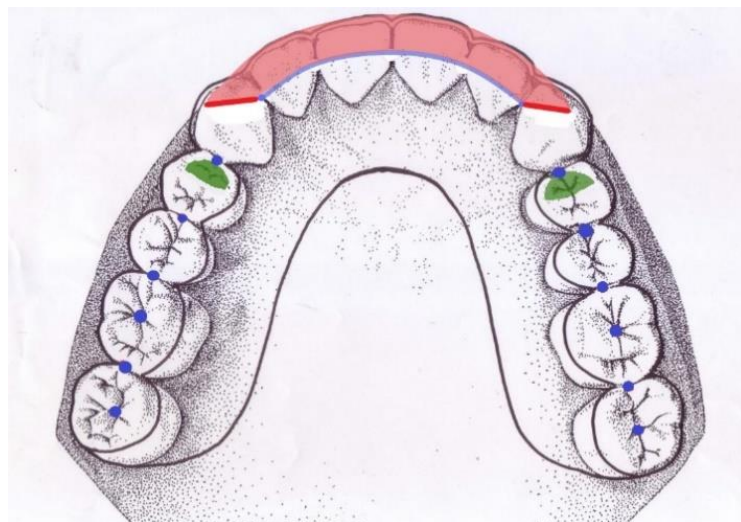


Abbildung 5: Schematische Darstellung Äquilibrationsschiene mit Front-Eckzahn-Führung, statische Kontakte im Seitenzahnbereich blau, Führungsbahnen der Eckzähne rot, Gesamtfläche der Front-Eckzahn-Führung rot schraffiert

Im Rahmen dieser Studie wurden Äquilibrationsschienen mit adjustierter Front-Eckzahn-Führung angewendet. Bei Funktionsgesunden kann die Aktivität in der Kaumuskulatur durch den Einsatz einer Front-Eckzahn-Führung verringert werden – diese Veränderung ist im EMG messbar [Soneda, 1989].

Insbesondere bei Patienten, die bei Vorhandensein von Bruxismus eine höhere Aktivität der Kaumuskulatur im EMG zeigen, kann kein Unterschied bei der Muskelaktivität zwischen Gruppen- oder Eckzahnführung gemessen werden [Rugh et al., 1989]. Bei Vorhandensein einer chronischen CMD-Problematik ist eine Intervention ausschließlich mittels Schiene nicht angezeigt [Raphael und Marbach, 2001].

Eine Front-Eckzahn-Führung umgrenzt den Bewegungsraum des Unterkiefers, die Kräfte werden nicht in vollem Maße auf die führenden Zähne abgegeben, sondern durch Propriozeption werden die Rekrutierungsmuster der Kaumuskulatur derart angepasst, dass der Unterkiefer in seiner Bewegung den begrenzenden Strukturen folgt. Eine Überbelastung der Front- und Eckzähne ist durch physiologische Schutzmechanismen ausgeschlossen.

Beim Abfahren der Führungsbahnen der oberen Frontzähne mit dem Unterkiefer soll durch die Front-Eckzahn-Führung eine Entkoppelung der Seitenzähne stattfinden. Durch diese Disklusion sollen Hyperbalancekontakte vermieden und okklusale Interferenzen ausgeschaltet werden.

Tatsächlich ist eine Gruppenführung bei den Patienten die häufigste physiologisch vorhandene Führungsart. Bei etwa der Hälfte der Patienten sind Balancekontakte vorhanden [Ingervall et al., 1991].

Die hier angewendeten Äquilibrationsschienen weisen eine zirkulär gleichmäßige statische Okklusion ohne Bewegungsspielraum auf. Diese kann verlorene Stützzonen ersetzen und verhindert Elongationen der Gegenzähne. Bei Exkursionen des Unterkiefers setzt sofort eine Entkoppelung der Seitenzähne durch die Front-Eckzahn-Führung ein. Bei protrusiven Bewegungen führen die Inzisiven, bei laterotrusiven die Eckzähne.

Häufig wird zu therapeutischen Zwecken auch das Prinzip der Michiganschiene angewendet, diese weist einen gleichmäßigen zirkulären Kontakt in der Statik mit einer „Freedom in Centric“ und eine reine Eckzahnführung auf [Ommerborn et al., 2010].

Die verschiedenen Formen von Äquilibrationsschienen können eine Aktivitätsreduktion der Kaumuskulatur bewirken.

Alte Rekrutierungsmuster des für Kaubewegungen verantwortlichen Muskelapparates werden unter anderem durch die Vertikalisierung aufgegeben; dies führt vorübergehend zu einer Reorganisation der Muskelfaseraktivität und damit zu veränderten Gelenkbelastungen. Sowohl eine sogenannte Feedbackreduktion, als auch Nozizeption hemmen längerfristig die Muskelaktivität im Rahmen einer Schienentherapie. Ein langfristiger Erfolg beruht zudem auf neuromuskulären Trainingseffekten nach Anwendung entsprechender Aufbisschienen. [Schindler et al., 2013]

Ältere Quellen erklären Behandlungserfolge durch das Korrigieren okklusaler Störkontakte und Abstellen von Parafunktionen mittels Okklusionsschienen. Nach Dao et al. [1994] sollte eine individuelle gelenkbezügliche Repositionierung des Unterkiefers erfolgen. Hier gilt ausschließlich die erfolgte Vertikalisierung als Auslöser der Aktivitätsregulierung der Kaumuskulatur.

Manfredini et al. [2015] stellen fest, dass bei einer Erhöhung der Vertikaldimension von 6 mm Schienen eine geringere detonisierende Wirkung aufweisen als bei einer Erhöhung um 3 mm.

Als weiterer Effekt treten Placeboeffekte bei Anwendung von Aufbissbehelfen auf. Diese können auch zu einer Somatisierung sowie einer Vertuschung tiefergehender Ursachen führen und langfristig eine Chronifizierung bewirken (vgl. 2.1). [Kreiner et al., 2001]

2.3 Lautbildung · Anatomische und Physiologische Grundlagen

Sütterlin [1925] vergleicht in seinem Werk „Die Lehre von der Lautbildung“ die menschliche Stimme mit der Funktionsweise des Dudelsacks: der Blasebalg als druckerzeugender Teil bei der Sackpfeife entspricht beim Menschen der Lunge und Luftröhre. Das Rohrblatt und die veränderliche schwingende Luftsäule als lauterzeugender Teil des Musikinstrumentes gleichen den Stimmlippen, dem Zäpfchen, der Zunge und Lippe. Zuletzt bilden die Spielpfeifen den lautformenden Teil, der dem Ansatzrohr des Menschen (Nasenhöhle, Rachen, Zähne) ähnelt.

Das Zwerchfell, die bei Expiration aktive Brustmuskulatur (Musculi intercostales interni, Musculus transversus thoracis, Musculus subcostalis) sowie die Atemhilfsmuskulatur setzen die in der Lunge enthaltene Luft ähnlich einem Blasebalg unter Druck und lassen einen auswärts gerichteten Luftstrom entstehen.

Bei Ausführung der Atembewegungen ist von großer Bedeutung, dass die Lunge mit ihrer Pleura möglichst reibungsfrei den Expansions- und Kontraktionsbewegungen des Brustkorbes folgen kann, ohne durch ihre Eigenspannung zu kollabieren.

Den lauterzeugenden Teil bildet der Kehlkopf, bestehend aus dem sogenannten Schildknorpel (*Cartilago thyroideus*), dem Ringknorpel (*Cartilago cricoideus*) und den dahinter befindlichen Stellknorpeln, den sogenannten Ary-Knorpeln. Eingestellt von Teilen der neurologisch fein angesteuerten inneren und äußeren Kehlkopfmuskulatur spannen und stellen die L-förmigen Ary-Knorpel die am Schildknorpel aufgehängten Stimmbänder und nähern diese entsprechend der gewünschten Tonhöhe und Lautstärke durch Rotation und Translation einander an. Oberhalb des Kehlkopfes findet sich der ebenfalls aus Knorpel bestehende Kehlideckel, dessen Hauptaufgabe darin besteht, während des Schluckaktes die Trachea zu verschließen. [Schiebler, 1977]

Für einen reinen Gasaustausch im Rahmen der physiologischen Atmung wird die in den sich vereinigenden Alveolen, Bronchiolen und Bronchien gespeicherte Luft möglichst widerstandslos durch das laryngeale System ausgestoßen, wobei die Stimmlippen (*Plicae vocales*) entspannt und geöffnet sind.

Wird nun eine stimmhafte Lautbildung beabsichtigt, werden die Stimmlippen durch oben beschriebenen Muskel-, Sehnen- und Knorpelapparat aneinander gepresst.

Dies unterbricht zunächst den Luftstrom durch den Kehlkopf (Glottisschluss), bis die Stimmlippen dem steigenden Druck im subglottalen System (Lunge, Bronchien, Trachea) nachgeben und kurzzeitig Luft passieren lassen, bis der anliegende Druck derart abfällt, dass die Spannung der Stimmlippen wieder ausreicht, den Kehlkopf zu verschließen. Der sich wiederholende Mechanismus erzeugt eine periodische Schwingung. [Schäffler et al., 2001]

Für die Bildung stimmloser Laute bleiben die Stimmlippen geöffnet und der Luftstrom wird an verschiedenen Stellen gebrochen, z. B. für stimmlose Frikative in einem Spaltraum zwischen den Schneidezähnen, dem Alveolarfortsatz und der Zunge.

2.4 Lautformung

Der entstandene Ton wird im weiteren Verlauf des Sprechtraktes ausgeformt. Die unterschiedlichen Durchmesser und die Formgebung des Ansatzrohres, bestehend aus dem Rachen, der Mundhöhle und den Nebenhöhlen, sorgen für verschiedene Reflexionen und Transmissionen nach den Prinzipien der Akustik. Dies sorgt für die Färbung und Filterung des zugrunde liegenden Klanges und lässt abhängig von der eingenommenen Formgebung für den Hörer interpretierbare Klanglaute entstehen. Auch der harte und weiche Gaumen, das Zäpfchen, die Zunge und die Zähne sind an der Lautformung beteiligt. Hiervon sind einige Parameter statisch und nur durch körpereigene oder iatrogene Umbauprozesse veränderbar, andere im Rahmen der Sprachlautbildung beeinflussbar. Die Bildung der Laute erfolgt also durch Gaumen, Zunge, Zähne und Lippen, der Klang kommt von den Stimmlippen. [Lippert, 2002]

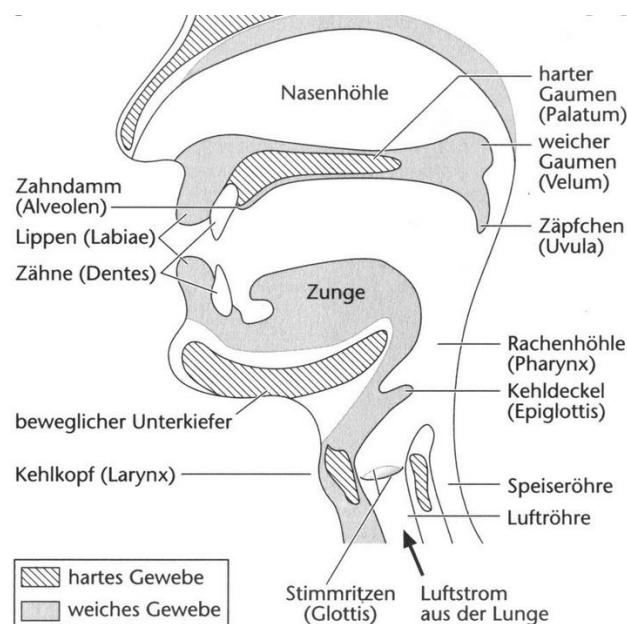


Abbildung 6: Ansatzrohr, umzeichnet nach Thieme

Die ansetzende Muskulatur (Mm. levator und tensor veli palatini sowie M. constrictor pharyngis) kann den weichen Gaumen – auch als Gaumensegel bezeichnet – wie eine Art Dreiwege-Ventil einstellen und entweder Nasenhöhle, Mundhöhle oder beide zum restlichen Sprechtrakt zuschalten. Dies führt zu verschiedenen Volumenverhältnissen sowie akustischen Modifikationen der schwingenden Luftsäule und damit zu einer weiteren Formung des erzeugten Lautes.

Am weichen Gaumen aufgehängt ist das Zäpfchen, weiter vorn befindet sich der harte Gaumen, der vom Alveolarkamm mit den Zahnfächern umgrenzt wird. Die Knochenspanne des Unterkiefers trägt die unteren Frontzähne und die Unterlippe. Die Frontzähne beider Kiefer teilen den Mundvorhof, das Vestibulum oris, welcher von den Umschlagfalten, den Lippen und den Zahnreihen begrenzt wird, vom Rest der Mundhöhle ab. Diese erstreckt sich von den Gaumenbögen mit den Rachenmandeln bis zu den Lippen und wird nach kaudal vom Mundboden begrenzt. [Essen, 1979]

Einen großen Teil der Mundhöhle nimmt die Zunge als Muskelorgan ein. Die innere Zungenmuskulatur gibt der Zunge ihre Form, die äußere ist in der Lage, das Organ im Raum zu bewegen und es an der Sprachlautformung aktiv als Artikulator zu beteiligen. Die Stellung der Zunge spielt bei der Bildung eines Großteils der Laute eine tragende Rolle. Diese wird unter anderem stark von Gaumenform und Zahnstellung beeinflusst.

Insbesondere die Formung von Engstellen bei der Bildung sogenannter Frikative wird bei einer Fehlstellung der Zunge erschwert. Dies führt zu frequenzveränderten Zischlauten; der dadurch entstehende Sigmatismus zählt zu den häufigsten Sprachfehlern. [Wirth et al., 2000]

2.5 Artikulatorische Phonetik

Die Phonetik im Allgemeinen beschäftigt sich mit der Frage, wie Atmung, Stimme und Lautbildung beim Sprechen zusammenwirken, wie das gesprochene Wort gehört und verstanden wird. Sie untersucht Laute unter physikalischen und akustischen Parametern.

Die sogenannte Artikulation bezeichnet in der Phonetik die Ansteuerung der Sprechorgane und deren Bewegungen bei der Lautbildung. [Posselt, 1973]

Für deren korrekte Ansteuerung ist im Frontallappen ein komplexes, recht scharf abgrenzbares Gehirnareal zuständig, das Broca-Sprachzentrum im Frontallappen. Es ist immer Teil der dominanten Gehirnhälfte, also bei Rechtshändern links und v.v., was bei seiner Zerstörung zu großen Schwierigkeiten bei der Kompensation in der gegenüberliegenden Hemisphäre führt. Im Sprachzentrum werden Worte und Sätze geformt, die Ansteuerung der Stimmlippen und Artikulatoren hingegen erfolgt indirekt [Silbernagl et al., 1996].

2.5.1 Vokale

Bei der Bildung von Vokalen ist die Stimmritze geschlossen, es handelt sich daher um stimmhafte Laute. Der entstehende Klang wird bei der Formung von Vokalen mit möglichst geringem Widerstand durch das Ansatzrohr geleitet. Bei dessen Einstellung kommen oben beschriebene Filter- und Resonanzeffekte zum Tragen und formen aus dem zugrundeliegenden Klang, der sich bei allen Vokalen in seiner Grundfrequenz ähnelt, die einzelnen Vokale durch Beimischen von Resonanzschwingungen. [Ladefoged, 1998]

Essen [1979] sieht das Klangspektrum als charaktergebend für die Selbstlaute.

Die Ausformung der Selbstlaute kann mithilfe des Vokaltrapezes nach Jones (siehe Abb. 7) dargestellt werden. Hierfür wird die Abszisse nach den Entstehungsorten der einzelnen Vokale – vorne, mittig oder hinten – aufgeteilt und die Hinter- und Vorderzungenvokale werden dementsprechend eingeordnet. Auf der Ordinate wird die erfolgte Mundöffnung bei Formung des Vokals angetragen. Es werden acht Kardinalvokale definiert, die keiner einzelnen Sprache zugeordnet werden. Die Festlegung der Vokale hängt von den Grenzpositionen ab, die die Zunge im sogenannten Vokalraum einnehmen kann. Die Vokalgrenze wird darüber definiert, ab welcher Lage des Zungenrückens z.B. ein Reibelaut entsteht, oder ab wann kein Vokal mehr gebildet werden kann. Weiterhin sind bei vorderen Vokalen die Lippen eher gespreizt, bei hinteren eher gerundet. [Jones, 2002]

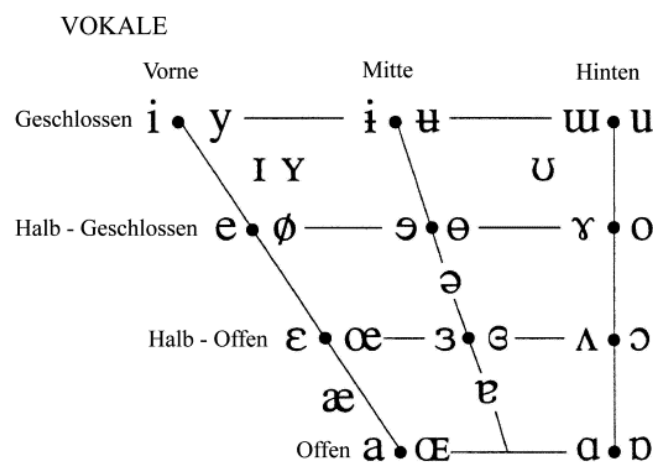


Abbildung 7: Vokaltrapez nach Jones (2002), umzeichnet nach Christian Lehmann

Die sogenannten Morgagnischen Taschen, welche sich direkt oberhalb der Stimmbänder befinden, übernehmen bei der Gestaltung von Vokalen eine wichtige Rolle. [Žinkin, 1968]

Bei engen Selbstlauten nehmen die Taschen eine weitere, bei weiten Lauten eine engere Stellung ein und geben den Vokalen ihren für den Sprecher charakteristischen Klang. [Habermann, 2003]

2.5.2 Konsonanten

Bei der Erzeugung von Konsonanten, auch Mitlaute genannt, können die Stimmlippen entweder geschlossen, was zu stimmhaften Konsonanten und Halbvokalen führt, oder geöffnet sein, was einen stimmlosen Laut entstehen lässt.

Gemeinsam haben alle Konsonanten, dass sie durch Bildung eines speziellen Hindernisses an den Artikulationsstellen erzeugt werden. Diese sind Gaumen, Zähne, Lippen und insbesondere die Zunge als mobilster Artikulator. Die Überwindung der Engstellen im Sprechtrakt lässt ein unspezifisches Frequenzgemisch entstehen, das als Geräusch wahrgenommen wird. Nach Essen [1979] gibt die artikulatorische Ausformung den Konsonanten ihren Charakter.

Die Mitlaute werden nach Artikulationsstelle und -art eingeteilt. Die Artikulationsorte können an den Lippen (labial), an den Zähnen (dental), am Gaumen (palatinal), am Gaumensegel (velar) und zuletzt an den Stimmlippen (glottal) liegen. Je nach Art ihrer Entstehung werden die Mitlaute weiterhin in Reibelaute (Frikative), Verschlusslaute (Plosive) und Zitterlaute (Vibranten) unterteilt. [Jones, 2002]

Die unter Beteiligung der Lingualflächen der oberen Frontzähne oder unter Annäherung der Schneidekanten gebildeten Laute sind hier von besonderem Interesse – dies ist der Fall bei denti-koronalen, alveolar-koronalen und alveolar-prädorsalen Reibelauten. Sütterlin [1925] teilt diese in die vordere Gruppe der Reibelaute ein; in neueren Werken gehören sie der zweiten Artikulationsgruppe an.

Bei der Bildung von denti-koronalen Enge-Lauten legt sich die Zungenspitze zwischen die Lingualflächen und Schneidekanten der oberen und unteren Schneidezähne. Die ausströmende, verwirbelte Luft erzeugt zwischen Zunge und Zahnflächen ein Reibegeräusch. Das hierdurch entstehende „th“ [ð oder θ] kommt in der Deutschen Sprache allenfalls als pathologische Form des s-Lautes beim Sigmatismus vor.

Artikulationszone	1		2		3	
	Lippen, obere Schneidezähne		Alveolen, vorderer Gaumen, Zungenspitze		Gaumen, Zungenrücken	
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
	Stimme		Stimme		Stimme	
Verschlusslaute	b	p	d	t	g	k
Reibelaute	w	f	s	sch	j	ch
Nasallaute	m		n		ng	
Zitterlaute			r		R	

Abbildung 8: Artikulationszonen verschiedener Laute, Spalte 1 Bildungsort Lippen und obere Inzisiven

Als Hauptbeispiel für einen alveolar-koronalen Konsonanten im Deutschen dient das „sch“ [ʃ]. Bei dessen Bildung nehmen die oberen und unteren Schneidekanten einen sehr geringen Abstand ein, allerdings unter Bewahren des Overjets, der auch physiologisch bei maximaler Interkuspitation vorkommt. Der vordere Rand der Zunge bildet gegen die Alveolen einen Spalt und die hindurchströmende Luft bricht sich an den Schneidekanten. Der vordere Zungenrücken bildet eine Einsenkung.

Die s-Laute zählen zu den alveolar-prädorsalen Reibelauten; die nicht in der wissenschaftlichen Bezeichnung vorkommenden Schneidezähne spielen hier eine entscheidende Rolle. Denn wie beim „sch“ stehen sich die Schneidekanten in geringem Abstand gegenüber. Die Zungenspitze liegt hier den Lingualflächen der unteren Frontzahnreihe an, der Zungenrücken bildet durch Wölbung und Bildung einer Falte in Längsrichtung den sogenannten s-Kanal. Die durch den Kanal strömende Luft wird als Strahl auf die Inzisalkanten geleitet und lässt dort ein scharfes Zischen entstehen. [Essen, 1979]

Wängler [1974] beschreibt bei der Bildung des [ʃ] eine weiter zurückgezogene Zunge als bei der Bildung des s-Lautes und einen breiter ausgeformten s-Kanal.

Nach Lettmayer [1937] kommt es bei der Bildung der alveolar-prädorsalen Reibelaute darauf an, die unteren Schneidekanten in den Bereich des durch den s-Kanal erzeugten Luftstrahles zu bringen, um einen entsprechenden Laut erzeugen zu können.

Bei Pathologien, wie z. B. beim Kopfbiss, bei frontal offenem Biss und anderen Zahnstellungsfehlern ist eine Ausgleichsbewegung nur bedingt möglich und führt hier oft zu Sigmatismus. Die Toleranz bei der Bildung des s-Lautes ist aufgrund der geringen Artikulationsbreite sehr gering.

Veränderungen an den Lingualflächen der oberen Frontzähne, die im Rahmen dieser Untersuchungen durch verschiedene Frontzahnführungswinkel entstehen, rufen Veränderungen bei oben genannten vorderen Reibelauten hervor. Phonemveränderungen durch Zahndeformationen wurden unter anderem durch Hohn [1925] nachgewiesen.

(siehe auch 2.6)

2.5.3 Instrumentalphonetik · Historie und Grundlagen

Bisherige Untersuchungen zur Unterkieferbewegung und allgemein zu Bewegungsmustern des Sprechapparates beruhen meist auf klassischen Beobachtungsinstrumenten, Schreibplatten mit Gestängen, Luftkissen etc. wie sie zum Beispiel bereits von Rousselot im ersten Drittel des letzten Jahrhunderts angewendet wurden. Bis heute kommen insbesondere para- und periokklusale Löffel zum Einsatz. Größe und Gewicht dieser Apparaturen bedingen, dass „die Lautbewegung nicht mehr natürlich [ist], weil die umständliche Vorrichtung den Sprechenden in seiner Tätigkeit stört. Auch längere Übung und Gewöhnung wird diese Störung kaum ganz beseitigen“ [Sütterlin, 1925]. Artikulatoren werden auf unphysiologische Weise in ihrer Bewegung behindert; gerade dies führt im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen, eine Anpassung an die Messgeräte verfälscht die Aussagen zusätzlich.

Bereits Jones [2002] weiß bei seinen Untersuchungen, mit der Radiographie eine nicht störende Beobachtungsmethode zu verwenden. Auch Žinkin [1968] zieht für seine Untersuchungen die Röntgentomographie heran. Zur Beobachtung der zugrundeliegenden Abläufe in Mund- und Rachenraum wurde, beispielsweise von Gattozzi [1976], auch noch über die erste Hälfte des vergangenen Jahrhunderts hinaus die Radiographie unter Einsatz entsprechender Kontrastmittel angewendet, wie auch Keller in ihrem Buch „Instrumental Articulatory Phonetics“ festhält.

Diese Methode ist im Gegensatz zu anderen Untersuchungsverfahren, die in Kellers Buch beschrieben werden, die einzig nicht manipulierende; heutzutage ist diese aufgrund der applizierten Strahlendosis obsolet. [Keller, 1971]

Mays/Stone [2011] untersuchen in ihrem Paper „Characterization of mandibular movement during speech in the presence of oral articulatory perturbation“ den Einfluss von Veränderungen im anterioren und posterioren palatinalen Bereich auf die Sprachlautbildung und das Bewegungsmuster des Unterkiefers. Diese Studie liefert wichtige phonetische Erkenntnisgewinne, besonders weil hier, zusätzlich zur akustischen Auswertung, die Magnetkinesiographie Anwendung findet. Da keine Einschränkungen des interinzisalen Freiraums und des mandibulären Bewegungsraumes erfolgen, beobachten die Autoren lediglich eine kompensatorische Verlagerung der Zunge, jedoch keine Lageveränderungen des Unterkiefers.

Heutzutage sind die elektromagnetische Artikulographie, wie sie beispielsweise von Engelke et al. für Untersuchungen zur Zungenmotorik bei der Bildung dentoalveolärer Laute angewendet wird, und elektronische Messverfahren zur Nachverfolgung der Unterkieferbewegungen ebenso gängig wie computergestützte akustische Sprachanalysen. Letztere gehen unter anderem auf Prof. em. Künzel zurück, der diese Verfahren für die kriminalistische Sprachverarbeitung entwickelte.

CLAYTON entwickelt mit dem Pantronic-System ein gelenknahes optoelektronisches und nichtinvasives Messsystem. [Schmidseder/Motsch, 1982]

Bis zur Einführung der computergestützten Registriermethoden waren es mechanisch aufzeichnende Geräte mit paraokklusalen Löffeln oder Gestängen, die Grenzbewegungen des Unterkiefers erfassten. Diese ermöglichen es hingegen wegen Gewicht und Schwerpunktlage nicht, neuromuskuläre Bewegungen wie Sprechmuster weitgehend ungestört aufzuzeichnen. Die Magnetkinesiographie ermöglicht es, mit einem kleinen, wenig störenden intraoral befestigten Magneten, Unterkieferbewegungen in den drei Raumrichtungen nachzuvollziehen. Hierbei ist zusätzlich ein am Kopf befestigtes Kopfgestell notwendig, welches keinen direkten Einfluss auf die Unterkieferbewegungen nimmt. Die Verfolgung der Magnetbewegungen am unteren Inzisalpunkt ist berührungsfrei durch das extraorale Sensorgestell möglich.

Diese Methode betrachtet die Bewegungen der Mandibula in der Nähe des unteren Inzisalpunktes, es ist keine direkte Messung der Kondylenbewegungen möglich. Die Mandibula bildet mit beiden Kondylen und dem unteren Inzisalpunkt eine Einheit und es kann bei Bewegungen in der anterior-posterioren Achse und teilweise in der vertikalen Achse auf Lageveränderungen der Kondylen rückgeschlossen werden. Laterale Bewegungen führen zu seitenungleichen Verlagerungen und machen einen Rückschluss auf genaue Kondylenbewegungen nicht möglich.

2.6 Einfluss der Zahnstellung auf die Lautbildung

Auf den Zähnen stützen sich die Lippen und die Zunge bei der Lautbildung ab und sind damit Artikulationsbasis. Nach deren Durchbruch sind die Zähne an der Bildung zahlreicher Laute beteiligt, nur sie können diese Funktion erfüllen. Das erzeugte Frequenzgemisch ist nicht von anderen Artikulatoren oder Sprechorganen erzeugbar. [Kobes, 1957]

Die Zahnstellung hat einen besonders großen Einfluss bei der Bildung der denti-koronalen, alveolar-koronalen und alveolar-prädorsalen Reibelaute.

Zu deren Bildung ist ein hoher Grad an feinmotorischer Koordination notwendig. Gerade morphologische Abweichungen der Zahnstellung und damit Formveränderungen des Alveolarkammes verursachen oft Schwierigkeiten bei der Lautbildung, so zum Beispiel beim frontal offenen Biss. [Engelke et al., 1991]

Bereits Gutzmann schreibt 1895 über den Einfluss von Zahnstellungsanomalien auf die Aussprache. Er erkennt den Zusammenhang zwischen der Frontzahnokklusion und den daraus resultierenden Kieferpositionen.

Aus der Stellung der Ober- und Unterkieferzähne zueinander ergibt sich der sogenannte interinzisale Freiraum (Abb. 9). Dieser wird von den Palatinalflächen der oberen Frontzähne, von den Labialflächen der unteren Inzisiven sowie vom Kontaktpunkt der oberen und unteren Inzisiven in maximaler Interkuspitation umgrenzt. Den unteren Rand bildet die Tangente am Wendepunkt der Inzisalkante – damit ist die Größe des Raumes auch abhängig vom Overbite. Der Freiraum sollte bei Sprechbewegungen kollisionsfreie Bewegungen der unteren Frontzähne ermöglichen.

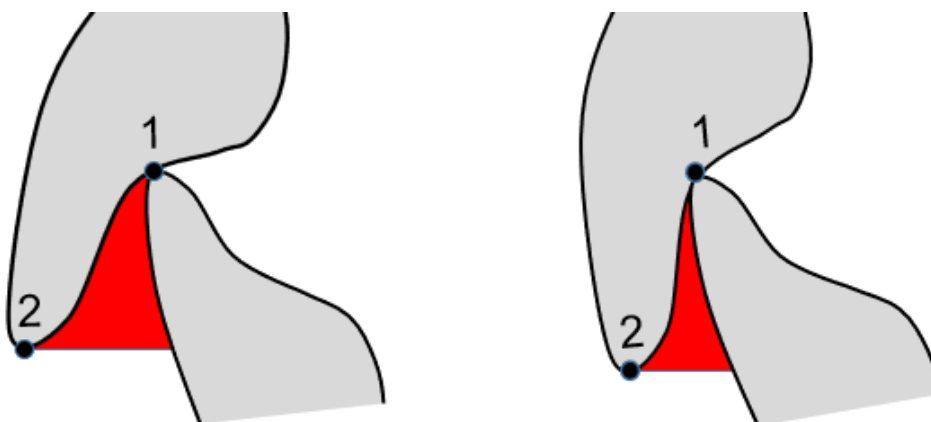


Abbildung 9: Interinzisaler Freiraum (rot) bei unterschiedlichen anterioren Führungswinkeln in der Sagittalen betrachtet, links bei normalem interinzisalem Winkel (Klasse I), rechts verkleinerter interinzisaler Freiraum bei Inklinationsanomalie des oberen Inzisiven und steilerer anteriorer Führung (Klasse II/2) 1 markiert den Kontaktpunkt der Frontzähne in maximaler Okklusion, 2 markiert die Inzisalkante

Seifert et al. [1997] untersuchen die Veränderungen der Sprachlautbildung nach Auftragen von Zement auf die Frontzähne im Sinne von Formveränderungen. Die Erkenntnisse beschränken sich auf akustisch hörbare Parameter, die Bewegungen des Unterkiefers werden nicht berücksichtigt.

Kleinere sagittale Abweichungen der Zahnstellung müssen nicht zwangsläufig zu einem Sigmatismus führen, sofern sie durch Ausgleichsbewegungen des Unterkiefers kompensiert werden können. Es wird ein Gegenüberstehen der Schneidezähne beider Kiefer angestrebt. Liegt beispielsweise bei einem frontal offenen Biss der Unterkiefer im Verhältnis zu den oberen Schneidezähnen zu weit zurück, nimmt auch die Zunge, die sich bei der s-Lautbildung an den unteren Frontzähnen orientiert, eine dorsal verlagerte Position ein. Die Engstelle für die Bildung des s-Lautes wird damit weiter dorsal am Gaumen gebildet; die veränderten Raum- und Abstandsverhältnisse zu den anderen Artikulatoren führen zu palatinalen Sigmatismen. [Reichenbach, 1963]

Subtelny [1972] beobachtet bei der Bildung von s-Lauten einen bei verschiedensten Frontzahnstellungen etwa gleich bleibenden Abstand von etwa 2 mm zwischen Zungenspitze und oberen Schneidezähnen.

Lee [1982] sieht die Möglichkeit, bei Angle-Klasse-II-Patienten oder solchen mit stark ausgeprägtem Overjet, durch palatinales Neigen der oberen Frontzähne diese in Kontakt zu bringen und erwartet trotz der steileren Frontzahnführung keine Beeinflussung der Lautbildung.

Auch bei flacheren Kondylenbahnneigungen empfiehlt Lee [1982] eine davon unabhängige steile Frontzahnführung, um bei zahngeführten Unterkieferbewegungen eine eindeutige und sofortige Entkoppelung der Seitenzähne zu gewährleisten.

Kubein et al. [1984] untersuchten Schnitte von Frontzähnen und Prämolaren. Danach spiegelt sich die Form der Palatinalhöcker der ersten oberen Prämolaren in der Ausformung der Palatinalflächen oberer Inzisiven wider. Die Autoren empfehlen bei einer erforderlichen Rekonstruktion der anterioren Führung die Krümmungsparameter der Palatinalflächen der OK-Inzisiven aus der Form der oberen Prämolaren abzuleiten. Zur technischen Umsetzung dieses Konzeptes wurde der Konturkurvenformer (CCF) entwickelt [Kubein-Meesenburg et al., 1988].

Benediktsson [1958] untersuchte die Zungen- und Unterkieferbewegung bei der s-Lautbildung für verschiedene Frontzahnokklusionen radiographisch. Er vergleicht orthognathe Patienten mit harmonischer Frontzahnokklusion mit solchen, die einen vom Standard abweichenden Overbite und Overjet aufweisen. Es treten Unterschiede bei den eingenommenen Ruhelagen auf. Bei der Bildung des s-Lautes beobachtet Benediktsson kaum Ausgleichsbewegungen des Unterkiefers, welche, wenn messbar, bei vergrößertem Overjet in Form einer Protrusion des Unterkiefers, bei verkleinertem Overjet, also beispielsweise einer Progenie, in Form einer Retrusionsbewegung auftreten.

Lettmayer [1937] untersuchte umfassend den Einfluss der Frontzähne auf den s-Laut und stellt deutlichere Kompensationsbewegungen des Unterkiefers fest. Er postuliert, dass es für eine ungestörte Bildung des s-Lautes auf eine Annäherung der unteren Frontzähne gegen ein entsprechend geformtes Widerlager ankommt, egal, ob gegen die oberen Frontzähne oder den Gaumen allein. Nur die Lokalisation am Ende des s-Röhrchens sei ausschlaggebend. So beobachtet er auch bei Kindern, denen alle vier oberen Schneidezähne fehlen, eine einwandfreie Bildung des s, sofern die Schneidekanten der unteren Inzisiven das Zahnfleisch an den Alveolen der oberen berühren.

Einen wesentlichen Erkenntnisgewinn liefert Slavicek mit seinen umfangreichen Untersuchungen zu den Inklinationen von Inzisiven innerhalb der verschiedenen Verzahnungsklassen. Der Autor beobachtet bei zunehmender Angle-Klasse II eine verstärkte Inklination der Unterkiefer-Frontzähne und damit verkleinerte Interinzisalwinkel [Slavicek, 1982]. Daraus lässt sich ein für den Unterkiefer eingeschränkter Bewegungsraum ableiten.

Etzbach [2002] liefert in ihrer Studie Erkenntnisse zur Sprachlautbildung in Abhängigkeit von der Frontzahnstellung bei Totalprothesen. Sie beobachtet, dass erst bei Aufstellung der Zähne 8 mm vestibulär vom Kieferkamm eine messtechnisch erfassbare Veränderung der Lautbildung auftritt, während bereits Verschiebungen von 2 mm nach palatinal oder lingual sowie kranial oder kaudal deutliche Abweichungen ergeben. Weiterhin stellt die Autorin deutliche lautspezifische Veränderungen bei [s]- und [f]-Lauten fest. Die Sprachaufzeichnungen werden rein instrumentalphonetisch und frequenzanalytisch ausgewertet. Unbeachtet bleiben der jeweils eingenommene engste Sprechabstand oder andere kompensatorische Unterkieferbewegungen.

Teil der meisten Untersuchungen bleiben der offene Biss, die Progenie, die Prognathie und eine durch Protrusion lückige Oberkiefer-Front. Die Häufigkeit der durch Zahnfehlstellungen verursachten Sprachstörungen bei Kindern wird bei verschiedenen Autoren sehr unterschiedlich angegeben, die Angaben bewegen sich zwischen etwa 20 % und 90 %. [Lieb, 1962]

Reichenbach (1963) nennt Zahn- und Kieferfehlstellungen als Erklärung für etwa 60 % bis 70 % der Sprechstörungen. Mit dem Einsetzen jedes Aufbissbehelfes sind mehr oder minder ausgeprägte Lautbildungsstörungen verbunden, wobei Aufbissbehelfe im Unterkiefer die Sprachlautbildung weniger negativ beeinflussen, als im Oberkiefer platzierte Schienen. Soll die Vorbehandlung darauf abzielen, die durch Zahnfehlstellungen, Zahnverlust oder starker Abrasion insuffiziente Frontzahnführung aufzubauen und auf Verträglichkeit hin zu testen, zwingt dies zur Eingliederung des Aufbissbehelfes im Oberkiefer. Nur mit einem Oberkiefer-Aufbissbehelf kann die Länge, Steilheit und Krümmung der Frontzahnführung gezielt modifiziert werden. Da Oberkiefer-Aufbissbehelfe den für die Lautbildung kritischen Bereich der Frontzähne und des anterioren Gaumens bedecken, resultieren mit eingesetzter Schiene Störungen der Sprachlautbildung, insbesondere ein Sigmatismus. Diese Lautbildungsstörungen wirken sich negativ auf die Compliance des Patienten aus und können aufgrund der mangelnden Bereitschaft, den Aufbissbehelf tagsüber – insbesondere während der Berufsausübung – zu tragen, den Therapieerfolg erheblich gefährden. [Ash/Bernhardt, 2006], [Lotzmann, 1983]

Weber [2012] geht in seinen Untersuchungen dem Einfluss des Verlustes von Seitenzähnen auf die Sprachlautbildung nach. Seine Resultate bestätigen Annahmen und Meinungen zahlreicher anderer Autoren. Die abhängig von der Zahnform und -stellung eingenommene Unterkieferposition beeinflusst die Lautbildung.

Die Sigmatismen werden nach der Beteiligung der Zähne eingeteilt. Beim Sigmatismus lateralis etwa, wie er von Reichenbach [1963] untersucht wurde, entweicht durch die Lücken fehlender Seitenzähne Luft in die Wangentaschen. Bei einem Zurückliegen des Unterkiefers, also etwa bei der Prognathie, oder auch bei einer schlechten Anpassung an neue Prothesen kommt es dagegen häufig zu einem Sigmatismus addentalis, wobei die s-Bildung an den Zähnen stattfindet. Beim offenen Biss ist nicht selten ein Sigmatismus interdentalis zu beobachten, bei dem die Zunge zwischen den Zahnreihen liegt und mehrere Laute der zweiten Artikulationsgruppe fehlgebildet werden. [Bauer, 1985]

Müller/Runte [2010] sehen die Bedeutung von Stimme und Sprache in der zahnärztlichen Ausbildung als zu gering an.

2.7 Das Posselt-Diagramm in der Sagittal-Vertikal-Ebene

Bekannte Darstellungen des durch die Zähne und durch die Kiefergelenke anderer anatomischer Strukturen begrenzten mandibulären Bewegungsraumes gehen auf U. Posselt zurück (1969). Dabei illustriert das Posselt-Diagramm unter anderem die Grenzbewegungsspuren des Inzisalpunktes in der Sagittal-Vertikalebene (vgl. Abb. 10). IKP markiert den Punkt der maximalen Interkuspitation, von wo aus eine zahngeführte Protrusion zu Punkt Pr1 durchgeführt wird. Dieser Punkt markiert das Ende der frontzahngeführten Protrusion. Die Bahn von IKP zu Pr1 ist gleichzeitig die anteriore Begrenzung des interinzisalen Freiraums. Punkt RKP definiert die anatomisch begrenzte, retrale Kondylenposition nach Entkoppelung durch die Seitenzähne. Die Ruhelage R liegt auf der gestrichelt markierten Öffnungsbahn.

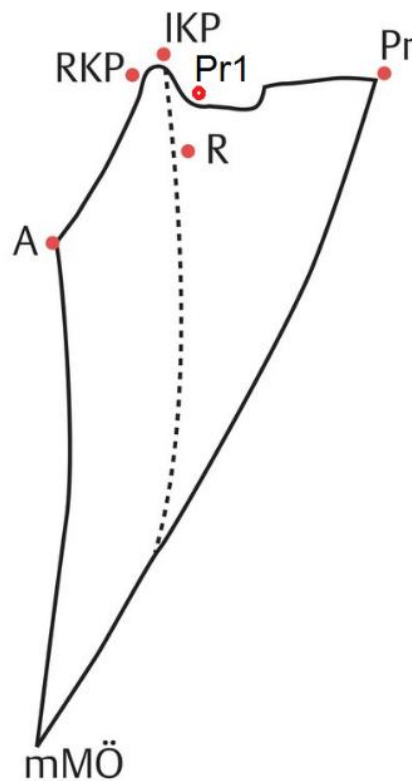


Abbildung 10: Posselt-Diagramm, umzeichnet nach Thieme

Posselt [1969] gibt einen durchschnittlichen Winkel von Kondylenbahn zur Okklusionsebene von 33° an. Wenn die Führungsbahn der Frontzähne parallel zur Kondylenbahn ist, was laut Posselt selten vorkommt, vollzieht der Unterkiefer bei Protrusion eine Parallelverschiebung.

Des Weiteren lässt der Autor die sogenannte Hanau-Formel – eine vereinfachte Form wird als Thielemannformel bezeichnet – mit in sein Werk einfließen. Diese beschreibt Zusammenhänge zwischen Kondylenbahnneigungswinkel (K), Neigung des Frontzahnführungswinkels (I), Höckerneigungsgrad (C) und Neigung bzw. Krümmung der Okklusionsebene (Op , Ok). Damit zeigt die Formel an, welche Parameter bei gegebener Veränderung eines der Werte verändert werden können, um einem Abkippen von Prothesen durch Entstehen einer balancierten Okklusion entgegen zu wirken. Mithilfe dieser Formel kann die Kippneigung von Totalprothesen berechnet, aber es können keine Rückschlüsse auf den optimalen Frontzahnführungswinkel bei Bezahnten gezogen werden.

$$\frac{K \times I}{Op \times C \times Ok}$$

Umfangreichere Untersuchungen zur Bewegung des Unterkiefers stellte GIBBS an, der durch Analyse von Kaubewegungen Rückschlüsse auf Mal- und Parafunktionen im Kausystem zieht. [Schmidseder/Motsch, 1982]

Die Beziehung der Frontzähne beider Kiefer zueinander spielt für eine „ideale Okklusion“ eine entscheidende Rolle. Die eingestellte Okklusion soll das Parodontium physiologisch belasten und innerhalb des temporomandibulären Gelenkes ein neuromuskuläres Gleichgewicht erhalten. Für die Rolle der Frontzähne hierbei existieren zwei Theorien, wobei die erste unter einem gnathologischen Aspekt davon ausgeht, dass die Form der Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne rein durch Grenzbewegungen des Unterkiefers bedingt ist. Die zweite Theorie nach Pankey-Mann-Schuyler fordert eine Form der Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne, welche unabhängig von den Unterkiefergrenzbewegungen ist und eine *long centric*, also eine Freiheit in Zentrik, ermöglicht. [Broderson, 1978]

Schuyler fordert einen okklusalen Freiraum von bis zu 1 mm in sagittaler und transversaler Richtung, in dem die Seitenzähne unter Kontakt frei und ohne Störung gegeneinander verschoben werden können. [Lotzmann, 1998]. Hillebrandt [1950] bezeichnet diesen Raum als „Okklusionsfeld“.

2.7.1 Ruhelage der Mandibula

Unter der Ruhelage der Mandibula versteht man deren Lagebeziehung zum Oberkiefer, welche im Stand oder in sitzender Position eingenommen wird und welche sich einstellt, wenn die den Unterkiefer absenkenden und anhebenden Kräfte sich gegenseitig kompensieren. [Eschler, 1965]

Da der Muskeltonus der Abduktoren und der Adduktoren aufgrund zahlreicher Faktoren schwanken kann, variiert in Konsequenz auch die mandibuläre Ruhelage.

Im Allgemeinen ist die Ruhelage die Haltung des Unterkiefers, bei der die Kau- und Nackenmuskulatur sowie die mimische Muskulatur möglichst entspannt ist. Die Ruhelage des Unterkiefers liegt auf einer seiner jeweiligen Öffnungsbahnen. Einen Einfluss auf die unbewusst eingenommene Position haben zum Beispiel auch die Körperhaltung, seelische Zustände und die Umgebungstemperatur. [Posselt, 1969]

Der untere Inzisalpunkt liegt beim Einnehmen der Ruhelage meist in unmittelbarer Nähe der habituellen Öffnungsbahn (vgl. Punkt R Abb. 10).

Bei Einnehmen einer entspannten Position haben die Zahnreihen etwa einen Abstand von 2-4 mm zueinander und damit keinen Kontakt. Bei Tief- oder Deckbisssituationen weicht daher die Ruhelage von der maximalen Interkuspitationsposition deutlich stärker ab. [Lehmann et al., 2015]

Nielsen et al. [1990] geben im Rahmen ihrer Untersuchungen für 24 Probanden ohne das Vorhandensein von myofunktionellen Einschränkungen oder craniomandibulären Dysfunktionen für die Ruhelage eine Spanne von 1-5 mm an.

Bei der Neubestimmung der vertikalen Relation im Rahmen von prothetischen Neuanfertigungen kann die eingenommene Ruhelage ebenso wie der engste Sprechabstand (siehe 2.7.2) als Hilfs- und Prüfmittel dienen. Die Rastposition ist dabei keineswegs als stabil zu betrachten. Wird die Vertikalrelation in Form der Bisshöhe vergrößert, nimmt auch der Unterkiefer eine angepasste Position an. Diese Anpassungen der Ruhelage und der Einstellung beim Schluckakt wurden insbesondere für Totalprothesen von Souza et al. [2007] sowie von Burnett untersucht. Bei der Erfassung der Ruhelage ist zu berücksichtigen, dass diese unbewusst einzunehmen ist. Wird der Patient aufgefordert, die Ruhelage einzunehmen, führt dies zu einer bewusst erhöhten Grundspannung und willkürlicher Kontraktion, um einen gewissen Abstand einzustellen. Auch abweichende Stellungen können die Folge sein.

Des Weiteren weisen selten Ermüdungserscheinungen auf die unerwünschte Aktivierung von Muskelfasern bei Einnehmen einer verfälschten Rastposition hin, da die Zahl der kontrahierenden Muskelfasern aufgrund der niedrigen aufzubringenden Kraft zu gering ist und ermüdende Fasern durch andere abgelöst werden können. [Eschler, 1965]

Wild [1950] stellt fest, dass die Position des unteren Kiefers bei der Aussprache des „i“ und des „m“ am ehesten der unbewussten Ruhestellung entspricht.

2.7.2 Engster Sprechabstand

Ott [1991] und Foerster [1978] bestätigen, dass, wie im vorhergehenden Punkt (2.7.1) genannt, auch die Sprechprobe bei der Findung der korrekten vertikalen Relation nicht nur im Rahmen der Neuanfertigung von Zahnersatz einen Orientierungspunkt bietet.

Im Allgemeinen wird der engste eingenommene Sprechabstand als der kleinste Abstand zwischen den Zahnreihen beider Kiefer definiert, der bei schnellerem Sprechen, insbesondere bei Zischlauten, eingenommen wird.

Er wird möglichst so gewählt, dass die Artikulatoren ihrer Funktion nachkommen können. So müssen sich beispielsweise für die Bildung von einigen Verschlusslauten wie „b“ und „p“ die Lippen gerade noch berühren können, um den nötigen Druck im Mundraum vor der erwünschten Explosion aufbauen zu können. Bei der Bildung von Enge-Lauten wie „s“ und „sch“ wiederum muss der Zunge in Abhängigkeit von der Lage des Unterkiefers noch genügend Platz eingeräumt werden, sich mit korrektem Abstand dem Gaumen anzunähern und den s-Kanal entsprechend ausformen zu können. (siehe auch 2.5.2)

So kann bei der Bestimmung des engsten Sprechabstands das Aussprechen von Wörtern wie „Mississippi“ oder „Assisi“ dazu dienen, die eingehaltene Distanz der Zahnbögen annähernd zu bestimmen. Der Abstand zwischen den Inzisalkanten beider Kiefer beträgt etwa 1-2 mm und kann als eine sehr konstante Größe bei der Relationsbestimmung angesehen werden. [Bobe, 2018], Stoller [1969], Rizzatti et al. [2007], Clémentçon [1968]

3. MATERIAL UND METHODE

Für die Durchführung dieser Studie liegt ein positives Ethikvotum mit dem Aktenzeichen „Studie 12/21“ vor.

Im Folgenden wird die Durchführung der Studie im Detail beschrieben.

3.1 Auswahl und Anzahl der Testpersonen

Die teilnehmenden Testpersonen waren Studierende der Zahnmedizin und zwischen 18 und 30 Jahre alt. Es ergab sich ein Durchschnittsalter von 25 Jahren. Es nahmen nach Screening, Studienaufklärung und Einwilligung insgesamt 13 weibliche und 8 männliche Testpersonen teil. Alle Testpersonen erfüllten die folgenden Einschlusskriterien:

- Alter zwischen 18 und 30
- vollbezahnt mit stabiler maximaler Okklusion – Weisheitszähne können fehlen
- anteriore Führung mit Disklusion der Seitenzähne
- Klasse I - Verzahnung mit Overbite von 2-3 mm
- Schmerzfreiheit
- keine Störung der Kaumuskel- und Kiefergelenkfunktion

Folgende Kriterien führten zum Ausschluss einer Testperson:

- Tragen einer Okklusionsschiene oder eines abnehmbaren Retentionsgerätes nach Kieferorthopädie
- craniomandibuläre und craniozervikale Dysfunktionen mit Störungen der Kiefergelenkfunktion
- Klasse II oder Klasse III - Verzahnungen
- Dyslalien
- wahrnehmbarer Dialekt oder Akzent
- eingeschränktes Hörvermögen
- Analphabetismus
- Allergien gegen Alginat oder Polyethylene

Der Aufbissbehelf muss vom Teilnehmer toleriert, ein sicherer, spannungsfreier Sitz sichergestellt und umliegende Gewebe dürfen durch den Einsatz der Schiene nicht unnötig gereizt werden. Die Testpersonen müssen bereit sein, die jeweilige Schiene – den Vorgaben entsprechend – zu tragen und an allen anberaumten Kontroll- und Messterminen zu erscheinen. Eine Unterbrechung der einzelnen Messreihen ist aus oben ersichtlichen methodischen Gründen nicht möglich.

Nicht aufgenommen werden konnten Patienten mit myogenen und arthrogenen Beschwerden. Haltungstörungen im Bereich der Halswirbelsäule und Kopfbereich sowie starke Verspannungen oder Myogelosen im umgebenden Muskelbereich des Kauapparates können ebenfalls zu einer verfälschten Position des Unterkiefers führen.

Die Probanden durften keine Dyslalien aufweisen und ein möglichst akzentfreies Deutsch sprechen. Zudem schieden Patienten mit eingeschränktem Hörvermögen aus.

Weiterhin durften keine Allergien gegenüber der in der Studie verwendeten Materialien bekannt sein. Bei deren erstmaligem Auftreten würde die Studie an der jeweiligen Person nicht fortgeführt.

3.2 Anfertigen und Inserieren der Testschienen

Für jede Testperson wurden insgesamt zwei Testschienen angefertigt. Diese unterschieden sich lediglich in der Steilheit der Front-Eckzahn-Führung, nicht aber in der Ausdehnung, Form und Okklusion in Statik.

In Vorbereitung der Schienenherstellung erfolgte eine Alginatabformung beider Kiefer, aus welchen formgetreue Modelle aus Superhartgips erstellt wurden. Mithilfe eines Gesichtsbogens (Firma SAM, München) wurden diese schädelgerecht in maximaler Okklusion im Artikulator montiert.

Die Artikulatorprogrammierung hinsichtlich individueller initialer Gelenkbahnneigung erfolgte mittels Protrusionsregistrator (Registriersilikon Futar D®). Verwendet wurde ein individuell einstellbarer Arcon-Artikulator des Modells SAM 2PX® (Firma SAM München) mit einem justierbaren Frontzahnführungsteller (Abb. 11). Dieser ermöglicht, den inzisalen Führungswinkel eines jeden Patienten durch dynamisches Abfahren der Modelle in 5 mm extendierter Latero- und Protrusion abzutasten und zu erfassen. Im nächsten Schritt wurde für alle Patienten die für die Herstellung eines Aufbissbehelfes kleinstmögliche Sperrung des Artikulators festgelegt. Die zur Anfertigung der Aufbissbehelfe erforderliche Erhöhung der okklusalen Vertikaldimension („Bissperrung“) betrug für die Varianten der Testschienen intra- und interindividuell gemessen am Inzisalteller des Artikulators einheitlich 4,5 mm.

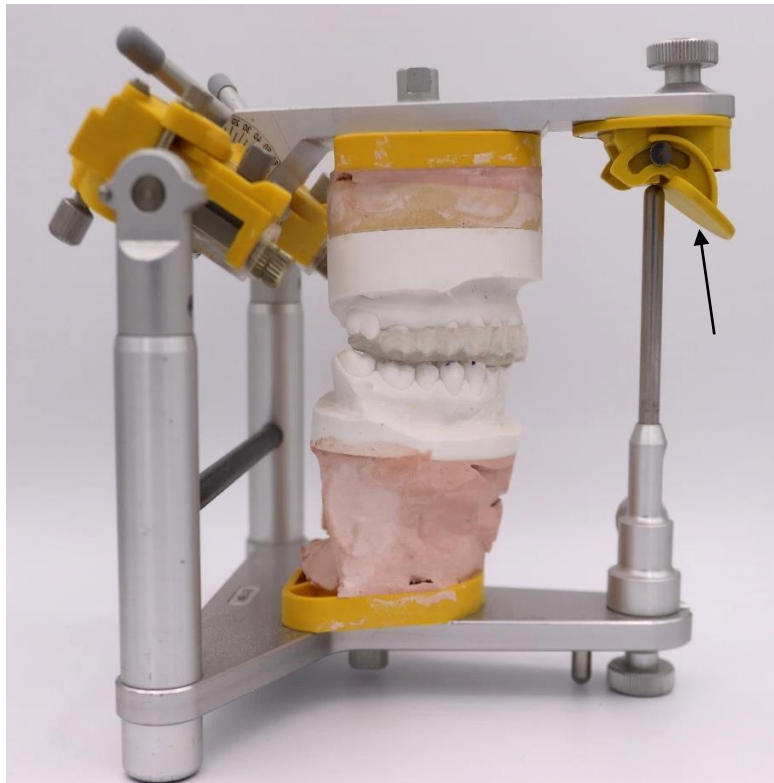


Abbildung 11: SAM 2PX® Artikulator mit justierbarem Frontzahnführungsteller (Pfeil)

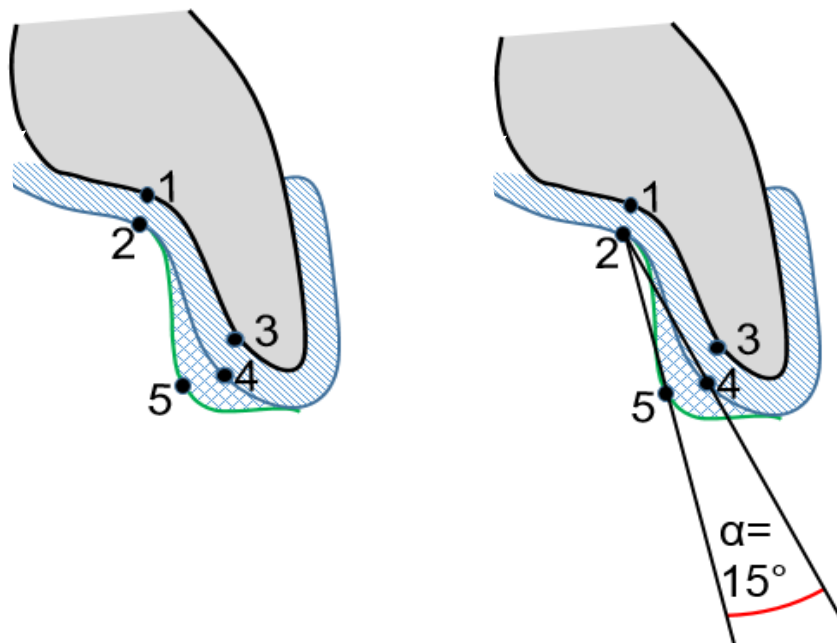


Abbildung 12: Sagittalschnitt durch beide Schienenvarianten im Frontzahnbereich, 1 Kontaktpunkt der Frontzähne in MIKP, 2 um die Dicke des Aufbissbehelfes versetzter Kontaktpunkt in maximaler Schienen-Oklusion, 2 und 4 bezeichnen parallel zur patientenindividuellen Führungsbahn (1 bis 3) verschobene Führungsbahn der **Schienevariante 0** (blau schraffiert), **Schienevariante 2** (blau schraffiert mit grün schraffierter zusätzlicher Steilheit 15°), hier erfolgt Verstellung der durch Schienevariante 0 imitierte physiologischen Führungsbahn (2-4) nach 2-5, die Länge bleibt gleich.

Für jede Testperson wurde der individuelle Frontzahnführungswinkel auf die Schienenvariante S0 übertragen.

Schienenvariante S2 unterschied sich von Variante S0 lediglich durch eine Versteilung des Frontzahnführungswinkels um 15°. Aus dieser Versteilung resultiert zwangsläufig eine Reduktion des interinzisalen Freiraumes.

Die Kriterien zur Festlegung des Versteilungswinkels gehen auf KUBEIN zurück. Dieser teilt die palatinale Gleitfläche der Inzisiven in zwei Sehnen s1 und s2 (siehe Abb. 13), beginnend von F1, dem Kontaktpunkt der unteren Schneidezähne mit der Palatinalfläche. F2 markiert den Nullpunkt der Krümmungen der palatinalen Führungsfläche und gleichzeitig den Schnittpunkt von s1 und s2. Die Zahnachse ist gestrichelt markiert.

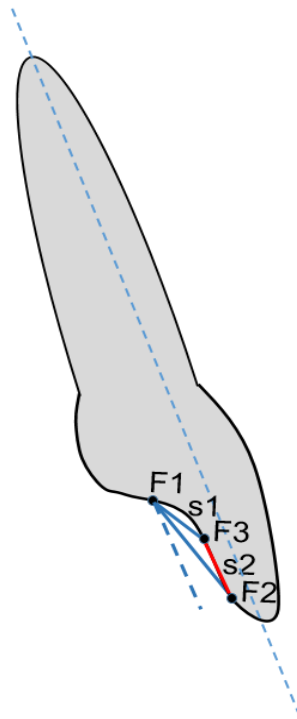


Abbildung 13: Gleitführung auf Palatinalfläche oberer Inzisiven, umzeichnet nach Kubein in Suckert

Die Versteilung der Frontzahnführung simuliert eine Situation, wie sie im Frontzahnsegment innerhalb der Angle-Klasse II Abteilung 2 vorzufinden ist.

Die Testschienen S0 und S2 entsprachen in ihrem okklusalen Design einer Äquilibrungsschiene mit initial einsetzender Front-Eckzahn-Führung.



Abbildung 14: exemplarische Testschiene in okklusaler Aufsicht, Okklusionspunkte in Statik blau, Laterotrusionsbahnen grün, Protrusionsbahnen rot

Alle Testschienen wurden auf einer im Tiefziehverfahren hergestellten Basis aus einer an allen Stellen 0,5 mm starken Duranfolie® der SCHEU-DENTAL GmbH Iserlohn aufgebaut. Die Folien wurden mit dem Tiefziehgerät SCHEU-DENTAL BIOSTAR® tiefgezogen.

Die durch die angewendete Tiefziehfolie einheitlich starken Ränder endeten zum Gaumen hin 1 mm apikal des Zahnäquators, um s-Kanal und Zungenraum gleichbleibend gering einzuschränken.

Im Unterkiefer wurde ein Wachswall labial und lingual der Okklusalfächen in Form eines Plateaus angebracht. Dieses diente beim Erweitern der Schienenbasis mit plastisch angeteigtem Kunststoff als Form und Widerlager. Im halbplastischen Zustand des Wachses wurden einmal ohne Sperrung die Palatinalflächen der oberen Schneidezähne durch Schließen des Artikulators ins Wachs abgedrückt. Durch erneutes Sperren des Artikulators und Einbringen von angeteigtem, transparenten Palapress®-Kunststoff der Firma Kulzer (Hanau) konnte so eine Aufbisschiene mit einem der physiologischen Patientensituation entsprechenden Frontzahnführungswinkel angefertigt werden. Der zunächst plastische Kunststoff presste sich zwischen die Zahnreihen als Aufbiss und wurde anterior und okklusal von den entsprechend gestalteten Wachswällen geformt.

Die Polymerisation des Werkstoffes erfolgte in einem dafür vorgesehenen Drucktopf bei einem Druck von 2 bar.

Für die Herstellung der Schienenvariante S2 wurde der Wachswall an den Labialflächen der Unterkieferfrontzähne reduziert, damit sich für diese Schienenvariante mehr plastisches Material im späteren Bereich der entscheidenden Führungsflächen sammeln und so eine steilere Führungsbahn umgesetzt werden konnte. Hierfür wurde das Oberkiefer-Modell in ein Parallelometer mit Fräsmotor umgesetzt. Die Spezial-Prothesenkunststofffräse Typ K251ACR.104.060® der Firma Komet Lemgo entspricht in ihrer Form annähernd der palatinalen Kurvatur der Oberkieferfrontzähne (siehe Abb. 15).

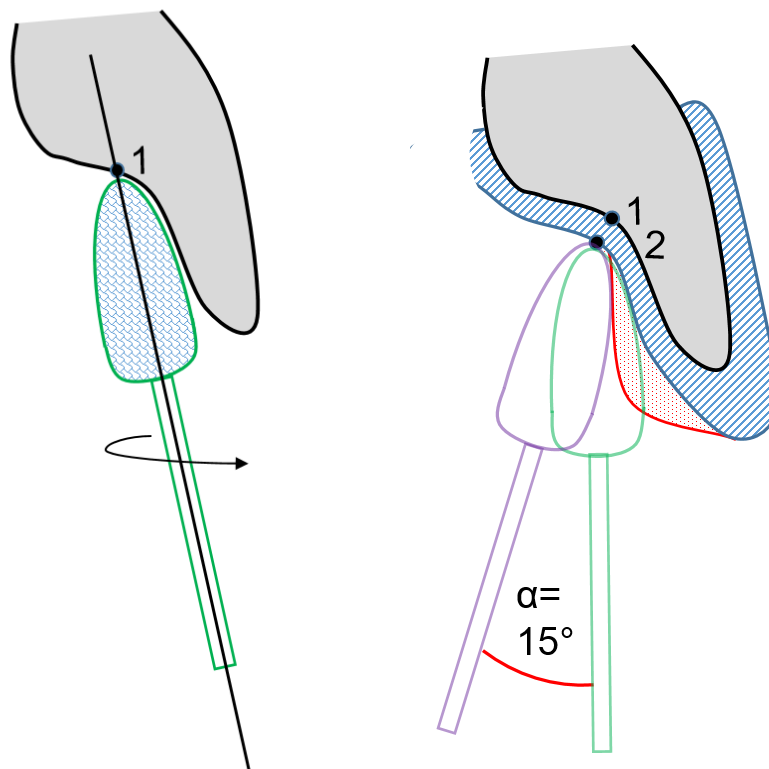


Abbildung 15: Illustration zur Gestaltung der palatinalen Kurvatur der Testschiene S2

Nach der Fertigung wurden die Schienen im Parallelometer im Bereich des Frontzahnschildes nachgearbeitet und der Unterschied der Steilheit verifiziert.

Damit eine gleichartige Ausdehnung der Schienenvarianten der Probanden sichergestellt war, endete der Schienenrand im Frontzahnbereich einheitlich den tiefsten Punkten des Gingivaverlaufes folgend.

Die Länge des Frontzahnschildes und die Form im für die Sprachlautbildung ebenfalls wichtigen alveolären Bereich (siehe 2.5.2) konnte mithilfe eines über der Schienenvariante S0 hergestellten, mehrfach segmentierten Silikonschlüssels verglichen und optional angepasst werden.

Die Schienen wurden nach der Polymerisation des Kunststoffes möglichst weit ausgedünnt, in phonetisch kritischen Bereichen einheitlich auf 1 mm Stärke reduziert. Diese Stärke sollte aus statischen Gründen nicht unterschritten werden. Anschließend wurden die Bukkal- bzw. Palatinalflächen auf Hochglanz poliert. Ungewollte Reize der Zungenfunktion werden hierdurch vermieden.

Eine erste Eingliederung der Testschienen erfolgte in einer von den Messungen zeitlich unabhängigen Sitzung, in der exakte Passung, ausreichende Retention und korrekte Okklusion in Statik und Dynamik überprüft wurden. Im Bedarfsfall erfolgten entsprechende Korrekturen. Der Patient wurde nicht über die okklusalen Charakteristika der Schienenvarianten informiert, um das Verhalten und die Aufmerksamkeit möglichst nicht zu beeinflussen und keine zusätzliche Fixierung auf den Fremdkörper zu bewirken. Nach Kontrolle und ggf. Korrektur der Testschienen S0 und S2 erfolgte die Aufzeichnung der Bewegung des unteren Inzisalpunktes bei Protrusion mit beiden Schienenvarianten mithilfe der Magnetkinesiographie, um den individuellen und den anterioren Führungswinkel der Schienenvarianten zu überprüfen und zu dokumentieren.

3.3 Magnetkinesiographie · K7-Registriersystem

Unter Verwendung des K7-Registriersystems können Bewegungen eines Messpunktes in drei Raumebenen nichtinvasiv und berührungsfrei in Echtzeit erfasst werden. In der zahnmedizinischen Anwendung wird bevorzugt ein Messpunkt gewählt, welcher in Näherung dem durch den Approximalkontakt der beiden unteren zentralen Inzisiven definierten Inzisalpunkt entspricht.

Im Rahmen dieser Studie erfolgte die dreidimensionale Registrierung des genäherten Inzisalpunktes zur Erfassung okklusionsnaher Unterkieferpositionen und -bewegungen mithilfe des K7 Funktionsanalyse-Systems (Myotronics-Noromed Inc., Seattle USA). Die Ansteuerung und Auswertung erfolgte mithilfe der K7-Software.

Ein am Schädel des Patienten befestigtes Kopfgestell mit einem Gewicht von 180 g trägt das Spulensystem mit acht induktiven Spulen, welche die Feldlinien des an den Labialflächen der Unterkiefer-Inzisiven temporär befestigten Magneten erfassen.

Der 2 g wiegende Magnet ist 4 mm hoch, 5 mm breit und 2 mm stark und wird mithilfe von Zahnfleischverband (Reso-Pac®, Hager & Werken GmbH & Co. KG, Duisburg) an den Inzisiven so adaptiert, dass weder die statische noch die dynamische Okklusion der Testperson gestört wird. Der Messmagnet beeinträchtigt die Lautbildung nur in geringem Umfang.



Abbildung 16: intraoral an den unteren Inzisiven mittels Zahnfleischverband befestigter Magnet der K7 ohne störenden Kontakt zu den oberen Inzisiven in statischer und dynamischer Okklusion

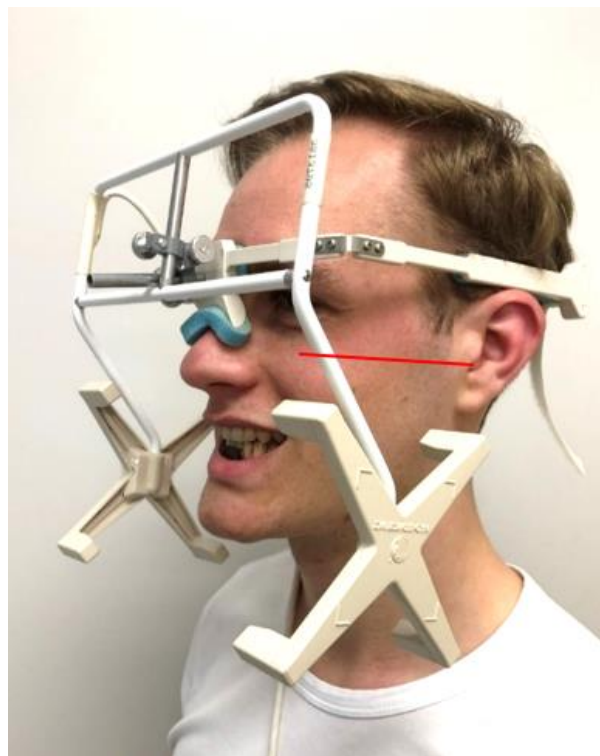


Abbildung 17: der K7-Registrierbogen wird parallel zur Frankfurter Horizontalen (FH) ausgerichtet, die imaginäre FH ist zur besseren Darstellung rot markiert

Das zugehörige Kopfgestell mit den Messspulen wurde parallel zur Frankfurter Horizontale angeordnet, für deren Bestimmung eine Ebene durch die *Porus acustici externi* und die unteren knöchernen Orbitalränder gebildet wird [Lehmann et al., 2015]. Diese Ebene diente bei allen Probanden als Referenz- und Vergleichsebene für die durchgeführten Winkel- und Abstandsmessungen, welche anhand eines Koordinatensystems definiert wurden. Die vom Spulenapparat erfassten Bewegungen des Magneten wurden über einen Messverstärker umgerechnet und mit einer geeigneten Software der Firma Myotronics-Noromed Inc., Seattle (USA) in lineare Bewegungsbahnen umgewandelt.

Die Messgenauigkeit beträgt inzisal in einem okklusionsnahen Raum von 8 cm³ 0,1 mm [Scheele, 2015].

Für die Registrierung der Unterkieferbewegungen stehen verschiedene Aufnahmemodi zur Verfügung. Im Rahmen dieser Studie wurde der Modus 1 „Habituelles Öffnen & Schließen“ in sagittaler und transversaler Ebene verwendet (vgl. Abb. 18 und 19). Im Modus 3 „Ruheschwebe VOR Entspannung“ konnten Bewegungen in Bezug zur sagittalen und transversalen Ebene im zeitlichen Verlauf dargestellt werden (vgl. Abb. 20).

Zur Messung nahm die jeweilige Testperson eine entspannte, natürliche Körper- und Kopfhaltung ein. Der Untersucher trat möglichst aus dem Sichtfeld der Testperson, um zu verhindern, dass Ruhelage und Sprechabstand durch zusätzliche exogene Faktoren beeinflusst wurden. Der Bildschirm war so angeordnet, dass er vom Patienten nicht eingesehen werden konnte und dieser keinerlei Anhaltspunkte auf Veränderungen oder Ausreißer der Messwerte hatte. Bei der Aufzeichnung der Ruhelage war dem Patienten der Startpunkt der Messaufnahme unbekannt und es erfolgte keine Aufforderung seitens des Behandlers zum Einnehmen der Ruhelage. Der Proband erhielt weder eine Rückmeldung noch eine Erläuterung zu den erhobenen Messwerten.

3.4 Computergestützte Darstellung der Bewegungen

Abbildungen der verwendeten Modi der K7-Software werden im Folgenden zum besseren Verständnis der Datenanalyse anhand von Screenshots wiedergegeben. Es erfolgt eine programmgestützte Auswertung der gemessenen Abstände durch das Programm. Die Rasterhöhe und -weite wurde je nach Bedarf auf 1 mm oder 2 mm eingestellt und die horizontale Rasterung war parallel zur Bezugsebene „Frankfurter Horizontale“ ausgerichtet.

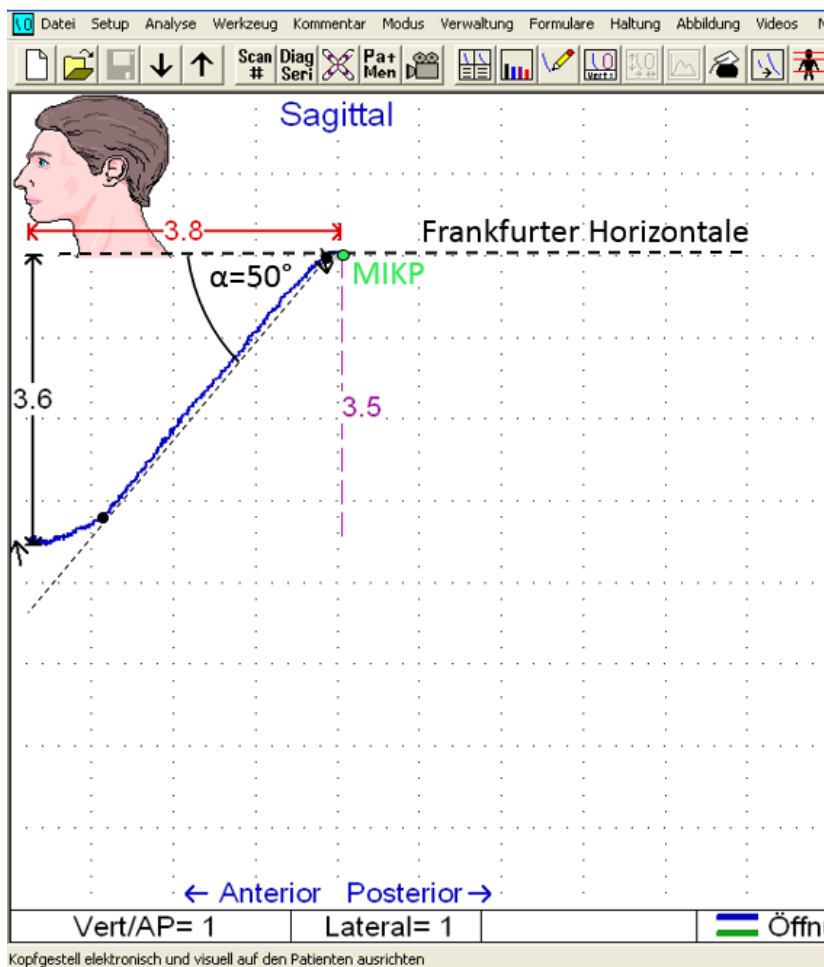


Abbildung 18: blaue Spur: zahngeführte Protrusionsbahn des Inzisalpunktes in der Sagittal-Vertikalebene, grüner Punkt: Lage des Inzisalpunktes bei eingonnener maximaler Interkuspidationsposition (MIKP), Rasterhöhe und -weite entspricht je 2 mm, der Frontzahnführungswinkel beträgt hier 50° gemessen zur Frankfurter Horizontalen

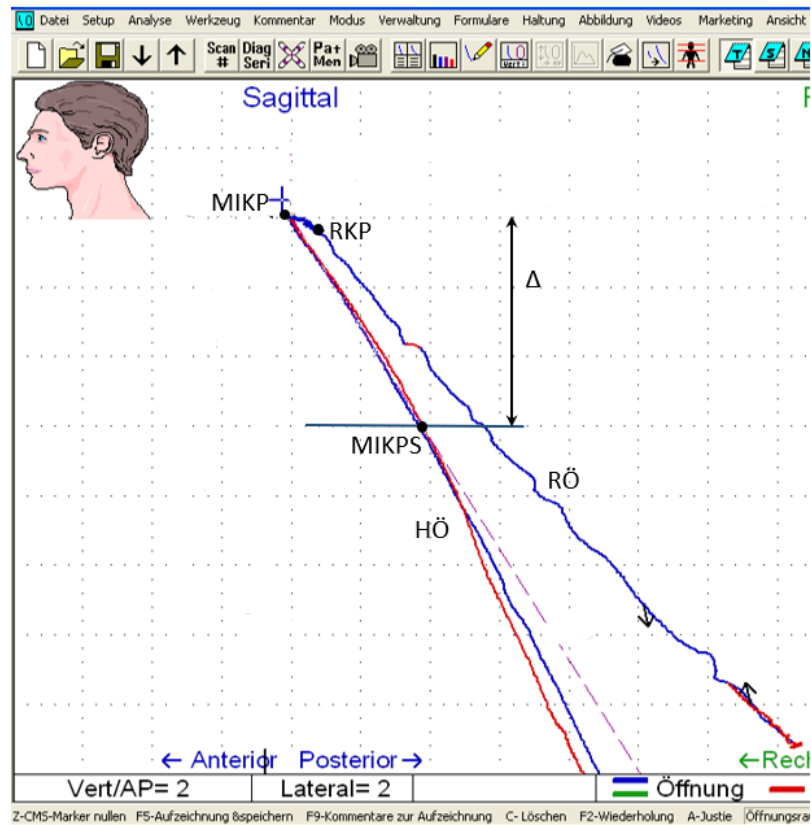


Abbildung 19: Öffnungsbahnen in der Sagittalebene, Habituelle Öffnungsbahn (HÖ) und retral forcierte Öffnungsbahn (RÖ), maximale Interkuspidationsposition (MIKP) und retrale Kontaktposition (RKP); maximale Interkuspidationsposition mit Schiene (MIKPS) liegt auf der habituellen Öffnungsbahn, Δ durch Schiene bedingte Anhebung der okklusalen Vertikaldimension; Rasterhöhe und -weite entspricht hier je 1 mm

3.5 Struktureller Aufbau der Studie

Für jede Testperson erfolgten die vorbereitenden Maßnahmen sowie der klinisch-experimentelle Teil der Studie im Rahmen von fünf Einzelsitzungen.

Sitzung 1:

Bei Erfüllen aller unter 3.1 aufgeführten Einschlusskriterien erfolgte für die Teilnahme an der Studie zunächst eine Aufklärung über die durchzuführenden Handlungen und Messungen. Ein Informationsbogen inklusive einer Einwilligungserklärung wurde ausgehändigt und unterzeichnet zurückerbeten. (beides vgl. 8. Anhang).

Nach Erhalt folgten die Anamnese und ein funktioneller Kurzcheck sowie eine Okklusionsanalyse. (Formblätter siehe 8. Anhang)

Sitzung 2:

In bequemer Sitzposition und gerader Oberkörper- und Kopfhaltung wurden mithilfe der Magnet-Kinesiographie (K7-Registriersystem, Fa. Myotronics, Seattle, USA) zunächst folgende Unterkieferbewegungen und -positionen als Referenz für die weiteren Messungen erfasst:

- zahngeführte Protrusion aus der maximalen Okklusion (MIKP)
- habituelle Öffnungs- und Schließbewegung aus und in die MIKP. Des Weiteren wurde der Unterkiefer unter forcierter Manipulation durch den Untersucher in die retrale Kontaktposition geführt, aus der Öffnungs- und Schließbewegungen ausgeführt wurden; dies erfolgte mit einer Amplitude von mind. 10 mm (vgl. Abb. 19)
- mandibuläre Ruhelage
- minimaler Sprechabstand der Inzisiven bei der Bildung von s-Lauten. Das hierbei verwendete Testwort „Mississippi“ wurde – um es in eine der Alltagssprache entsprechende Situation einzubetten – mit dem Trägersatz „Sag Mississippi nochmal“ gesprochen.

Von den Oberkiefer- und Unterkieferzahnreihen des Patienten wurden Alginatabformungen genommen, ein Gesichtsbogen wurde für die spätere schädelbezügliche Artikulation der Gipsmodelle angelegt und ein Protrusionsregistrar mittels Registriersilikon (Futar D®) zur Artikulatorprogrammierung gewonnen. Die Dauer der Sitzung 2 betrug etwa 60 min.

Sitzung 3:

Die Sitzung 3 diente ausschließlich dem Einsetzen, der Kontrolle und ggf. der Adjustierung der Testschienen S0 und S2. Die Testschienen wurden bis zum Stattfinden der Sitzungen 4 und 5 vom Untersucher einbehalten. Die Dauer der Sitzung 3 betrug etwa 30 min.

Sitzungen 4 und 5:

Nach Anlegen der K7 wurde die Protrusionsbahn erneut abgefahren, um die korrekte Positionierung des Kopfgestells zu überprüfen. Jeweils zu Beginn der Sitzungen 4 und 5 wurden, wie bereits zuvor in Sitzung 2, die aktuelle Ruhelage und der engste Sprechabstand für s-Laute ohne Testschiene magnetkinesiographisch dokumentiert.

Pro Sitzung wurde eine der Schienenvarianten für die gesamte Dauer der Messungen eingesetzt und mögliche Lageveränderungen des Unterkiefers bei Einnehmen der Ruhelage bzw. des engsten Sprechabstandes beim s-Laut erfasst.

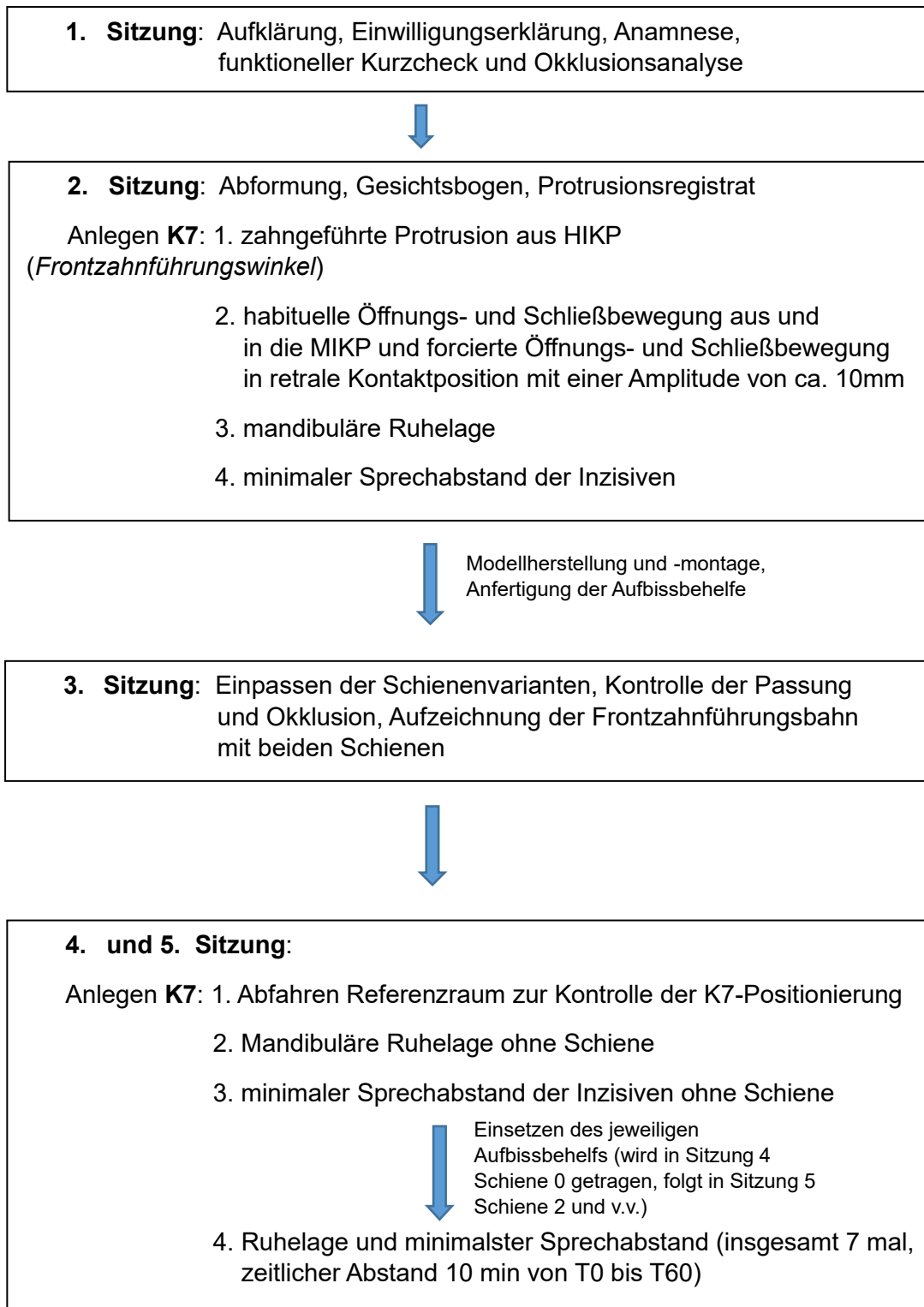
Welche der beiden Testschienen S0 oder S2 in Sitzung 4 eingegliedert wurde, war für den ersten Probanden per Los bestimmt worden. Alle folgenden Probanden begannen in Sitzung 4 im Wechsel mit der jeweils anderen Variante. Trug beispielsweise Testperson 1 beispielsweise S2 in Sitzung 4 und S0 in Sitzung 5, startete Testperson 2 mit S0 in Sitzung 4 und trug S2 in Sitzung 5. Ziel war es, die eine Hälfte der Teilnehmer in Sitzung 4 mit dem Tragen der Testschiene 0, die andere mit der verstellten Variante S2 beginnen zu lassen. Dies diente dazu, möglicherweise durch unterschiedlich schnelle Anpassungsreaktionen und individuelle motorische Fähigkeiten der Probanden verursachte Fehler möglichst klein zu halten.

Zwischen den Sitzungen 4 und 5 musste ein ausreichend großes Zeitfenster liegen, damit eine Gewöhnung an die in Sitzung 4 eingegliederte Schiene und daraus resultierende Bewegungsmuster in Sitzung 5 ausgeschlossen werden konnten ($\Delta t > 2$ w). Ablauf, Aufbau und Methode der Messungen waren für beide Sitzungen und Schienenvarianten identisch. Die Ruhelage und der engste Sprechabstand für den Frikativ [s] in Bezug zur maximalen Interkuspitation wurden im zeitlichen Abstand von 10 min zu 7 Zeitpunkten mithilfe des K7-Gerätes gemessen (T0-T60). Die Messung wurde direkt nach Einsetzen des bereits angepassten Aufbissbehelfes begonnen.

Zur Überprüfung der mit der Testschiene simulierten anterioren Führung wurde darüber hinaus mit dem jeweils eingegliederten Aufbissbehelf die zahngeführte Protrusionsbahn mithilfe der K7-Methode aufgezeichnet. (vgl. Abb. 18)

Die Dauer der Sitzungen 4 und 5 betrug je 70 min.

Das folgende Fließschema fasst Ablauf und Inhalt der Sitzungen zusammen:



3.6 Auswertung der Aufnahmen

Die Vermessung der inzisalen Führungswinkel im K7-Softwaremodus 1 „Habituelles Öffnen & Schließen“ erfolgte visuell anhand der graphischen Darstellung der registrierten Führungsbahnen, wobei ein konstant gewählter Vergrößerungsfaktor sichergestellt wurde. Für alle Führungsbahnen wurde eine Tangente an die aufgezeichnete Bewegungsbahn des unteren Inzisalpunktes angelegt, welche den Startpunkt der Protrusionsbewegung, und damit den Kontaktpunkt der unteren Schneidezähne mit der Schiene in MIKP sowie den Umkehrpunkt der Protrusionsbahn schneidet. (Abb. 18). Auf diese Weise wurden die Winkel der patienteneigenen und der modifizierten Frontzahnführungen überprüft und dokumentiert.

Die Auswertung der eingenommenen Ruhelage und des engsten Sprechabstandes im K7-Softwaremodus 3 „Ruheschwebe VOR Entspannung“ mit Zeitachse erfolgte teilautomatisiert. Das Programm wertet Abstände und Differenzen zur maximalen Interkuspitationsposition aus. Als Referenz- und Kalibrierungspunkt musste während der Messungen immer auch die Maximale Interkuspitationsposition eingenommen werden. Von dieser aus wurden alle weiteren Abstände ermittelt. Durch immer gleiche Abläufe und Testphrasen während einer Messung (siehe 3.4) war es möglich, die aufgezeichneten Abstände im zeitlichen Verlauf den eingenommenen Positionen zuzuordnen. Die Aufzeichnungen erfolgten zu Bestimmung der patientenindividuellen Unterkieferpositionen ohne Schiene, im Weiteren mit beiden Schienenvarianten.

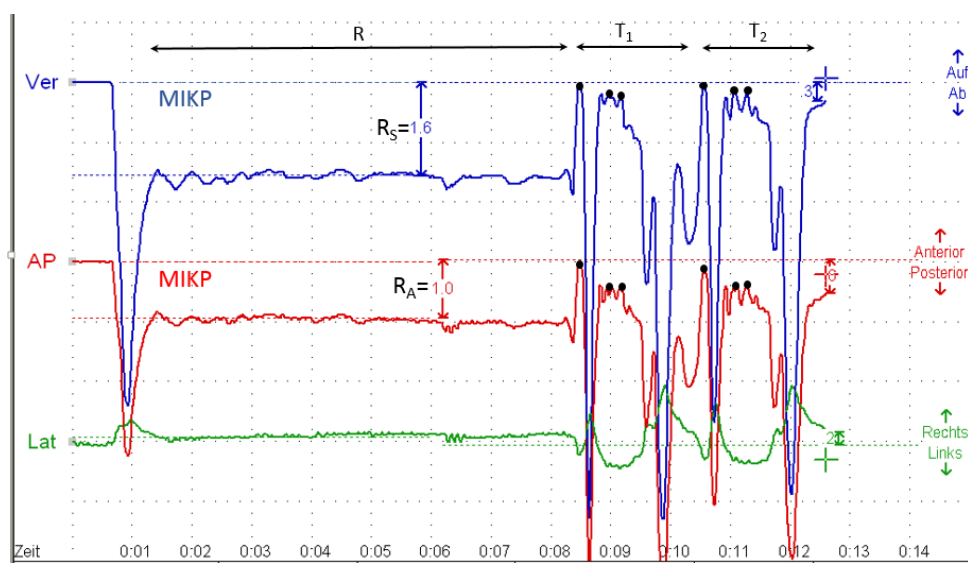


Abbildung 20: Verlagerung des unteren Inzisalpunktes in den drei Raumachsen in der Zeitachse, Ruhelage R von t:0:02 bis t:0:08, zweimal gesprochene Probephase „Sag Mississippi nochmal“ T1 und T2 von t:0:08 bis t:0:13; automatisch ermittelte sagittale Ruhelage RS und anterior-posteriore Ruhelage RA, bezogen auf die MIKP; schwarze Punkte markieren die vorkommenden s-Laute in der Probephase; Raster beträgt in x-Achse 1 s und in y-Achse 1 mm

In untenstehender Abbildung ist die Testphrase „Sag Mississippi nochmal“ den Graphen zeitlich zugeordnet. Dies dient der besseren Zuordnung der Sprachlaute.

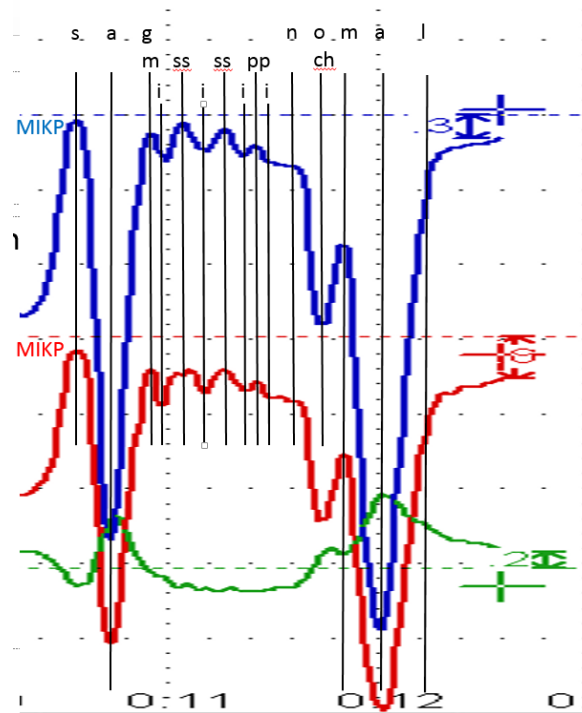


Abbildung 21: Probephrase T2, vergrößert aus Abb. 20; genaue Zuteilung der Laute; minimaler Sprechabstand für s-Laut sagittal (y-Achse) gemittelt 0,15 mm, posterior (x-Achse) gemittelt 0,35 mm

Die so ermittelten Werte wurden innerhalb der zuvor aufgezeichneten Öffnungsbahnen, welche nach kranial-okklusal von der maximalen Interkuspitationsposition und der retralen Unterkieferlage umgrenzt wird (vgl. 3.3) und damit einen Ausschnitt des Posselt-Diagrammes darstellt, angetragen. Anschließend wurde der Abstand a der eingenommenen Ruhelage und des eingenommenen Sprechabstandes zur habituellen Öffnungs- und Schließbahn bestimmt. Die retrale Öffnungsbahn war hier als Referenz von besonderem Interesse, da diese eine anatomisch begrenzte Rotationsbewegung und unabhängig vom Tonus der Kaumuskulatur bzw. deren Ausprägung ist.

3.7 Statistische Analyse

Den primären Endpunkt bildeten der minimale Sprechabstand und die Ruhelage – gemessen in mm – als kürzeste Strecke der unteren Inzisiven zur anterioren Führungsfläche im Oberkiefer für zwei unterschiedlich gestaltete Aufbissbehelfe. Die Ruhelage wurde vor und nach Eingliederung der Aufbisschienen zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt und auf signifikante Veränderung geprüft. Es wurde eine Power von 80% zugrunde gelegt sowie bei einem Signifikanzniveau von 5% geprüft. Alternativ wurde, falls die untersuchten Zielgrößen nicht einer Normalverteilung entsprachen, als nichtparametrischer Test der WILCOXON-Test für Paardifferenzen verwendet.

4. ERGEBNISSE

4.1 Kondylenbahnneigung und Frontzahnführungswinkel

Alle Testpersonen wiesen eine durchschnittliche Kondylenbahnneigung von 42° auf (min. 25°, max. 50°), vgl. Tab. 1. Die Seitendifferenz betrug zwischen 0° und 3°.

Der individuelle Frontzahnführungswinkel betrug im Mittel 50°, wobei der kleinste Winkel mit 31°, der größte mit 70° gemessen wurde. (Tab. 2)

Der Frontzahnführungswinkel war bei den 21 untersuchten Testpersonen im Mittel um 8° steiler als der Kondylenbahnneigungswinkel (normalverteilt nach SHAPIRO-WILK, $p=0,009$). (vgl. Tab. 3)

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
KN [°]	21	42,24	6,18	25,00	50,00	39,00	45,00	46,00

Tabelle 1: Kondylenbahnneigung (KN)

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th Median	75th
Pro [°]	21	50,24	8,07	31,00	70,00	45,50	50,00	54,00

Tabelle 2: individuelle Frontzahnführungswinkel (Pro)

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
Diff. KN - FW [°]	21	-8,00	8,76	-30,00	1,00	-12,50	-7,00	-0,50

Tabelle 3: Differenz Kondylenbahnneigung (KN) – Frontzahnführungswinkel (FW)

4.2 Ruhelage ohne Schiene

Die patientenindividuelle Ruhelage ohne Schiene wurde für jede der 21 Testpersonen zweimal in voneinander unabhängigen Sitzungen bestimmt. Es ergaben sich für die Ruhelage in Bezug zur Frankfurter Horizontalen in der vertikalen Achse (y-Achse) ein interinzisaler Abstand von gemittelt 1,32 mm, in der anterior-posterioren Achse (x-Achse) ein Abstand von 0,65 mm zur MIKP (normalverteilt nach SHAPIRO-WILK, $p=0,002$) (Tab. 4).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
vertikale RL ohne Schiene Sitzung 1 und 2 [mm]	21	1,32	0,78	0,23	2,80	0,70	1,20	1,75
anterior posterior RL Sitzung 1 und 2 [mm]	21	0,65	0,53	0,10	2,35	0,28	0,50	0,92

Tabelle 4: Mittelwert Ruhelage (RL) in der vertikalen und anterior-posterioren Achse für 2 Sitzungen

Wie Tabelle 5 zu entnehmen, befand sich die Ruhelage ohne Schiene bei 21 Probanden im Mittel etwa 0,19 mm anterior der habituellen Öffnungsbahn (normalverteilt nach SHAPIRO-WILK, $p=0,001$), jedoch maximal 0,55 mm posterior der habituellen Öffnungsbahn. Damit liegt die patientenindividuelle Ruhelage in unmittelbarer Nähe oder auf der habituellen Öffnungsbahn.

In Bezug zur retralen Öffnungsbahn wurde gemittelt ein Abstand von 1,08 mm für die Ruhelage eingenommen (normalverteilt nach SHAPIRO-WILK, $p=0,010$).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
RL Abstand von RÖ Sitzung 1 und 2 [mm]	21	1,08	0,92	0,05	3,95	0,46	0,75	1,33
RL Abstand von HÖ Sitzung 1 und 2 [mm]	21	0,19	0,50	-0,55	1,80	-0,08	0,10	0,48

Tabelle 5: Ruhelage (RL) Abstand von RETRALER (RÖ) und HABITUELLER (HÖ) Öffnungsbahn ohne Schiene für 2 Sitzungen

4.3 Mandibuläre Ruhelage bei eingesetzter Schienenvariante S0 oder S2 in Bezug auf die patientenindividuelle Ruhelage ohne Schiene

Die eingenommene Ruhelage beim Tragen von Schiene S0 (mit physiologischer Steilheit der Frontzahnführung) in vertikaler Achse (y-Achse) wies im Vergleich zur patientenindividuellen Ruhelage lediglich zu den Zeitpunkten T0 und T20 einen signifikanten Unterschied auf ($p=0,017$ und $0,036$; WILCOXON-Test für Paardifferenzen). Bei Tragen der Schiene S2 mit steilerer Frontzahnführung konnte in vertikaler Relation (y-Achse) zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied zum Referenzwert der Ruhelage ohne Schiene in situ beobachtet werden.

Eine signifikante Verlagerung des Unterkiefers in anterior-posteriorer Achse (x-Achse) gab es in Bezug zum Referenzwert für die eingenommene Ruhelage ohne Schiene bei Tragen der Schiene S0 zu keinem Zeitpunkt. Lediglich beim Tragen der Schiene S2 (steilere Frontzahnführung) konnte zum Zeitpunkt T10 für die gleichen Testparameter eine signifikante Abweichung vom Bezugswert ohne Schiene nachgewiesen werden ($p=0,039$, WILCOXON-Test für Paardifferenzen).

4.4 Unterschiede der mandibulären Ruhelagen mit eingesetzten Schienenvarianten S0 und S2

Vergleicht man die eingenommenen Ruhelagen in vertikaler Achse (y-Achse) bei Tragen der Schienen S0 und S2 miteinander, bestand lediglich zu den Zeitpunkten T0 und T50 ein signifikanter Unterschied zwischen den durch beide Schienen beeinflussten Ruhelagen ($p=0,041$ und $p=0,003$; WILCOXON-Test für Paardifferenzen).

Die Messergebnisse sind in folgendem Boxplot-Diagramm dargestellt.

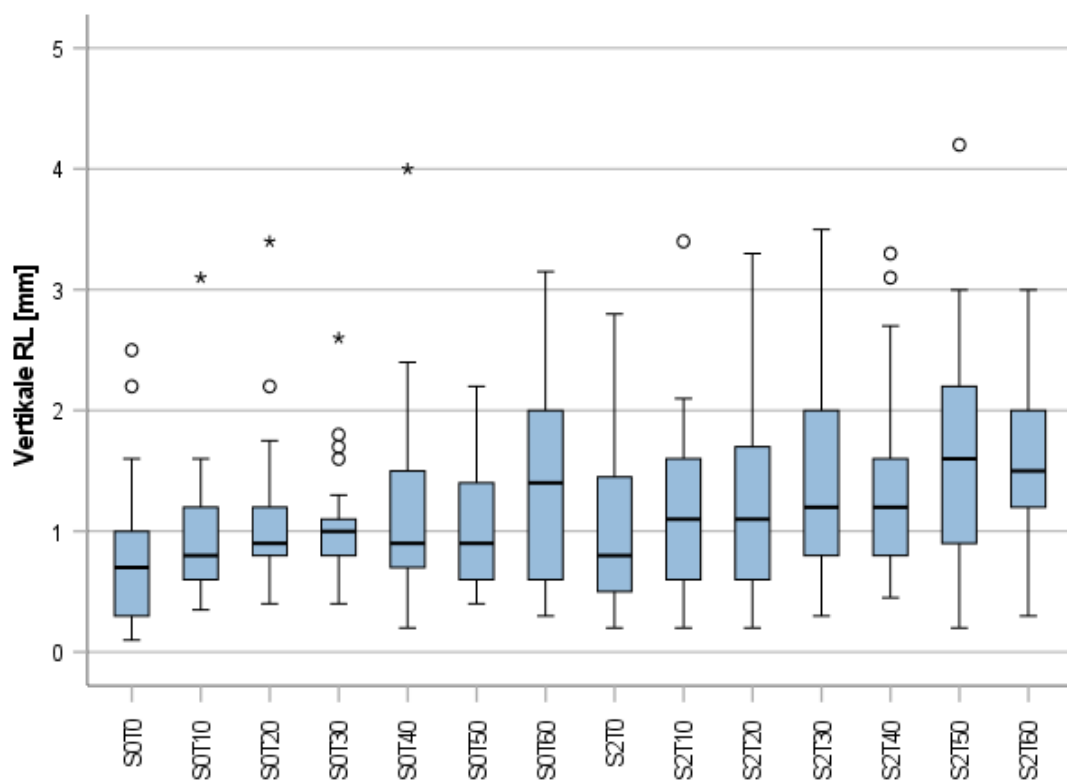


Tabelle 6: Boxplot-Diagramm: Vertikale Achse der Ruhelage mit Schiene S0 und S2 zu den Zeitpunkten T0-60

Bei einem Vergleich der eingenommenen Ruhelagen in anterior-posteriorer Achse (x-Achse) zwischen den Schienen S0 und S2 gab es zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen den Wirkungen beider Schienenvarianten.

Die folgende Boxplot-Graphik illustriert die gemessenen Ergebnisse.

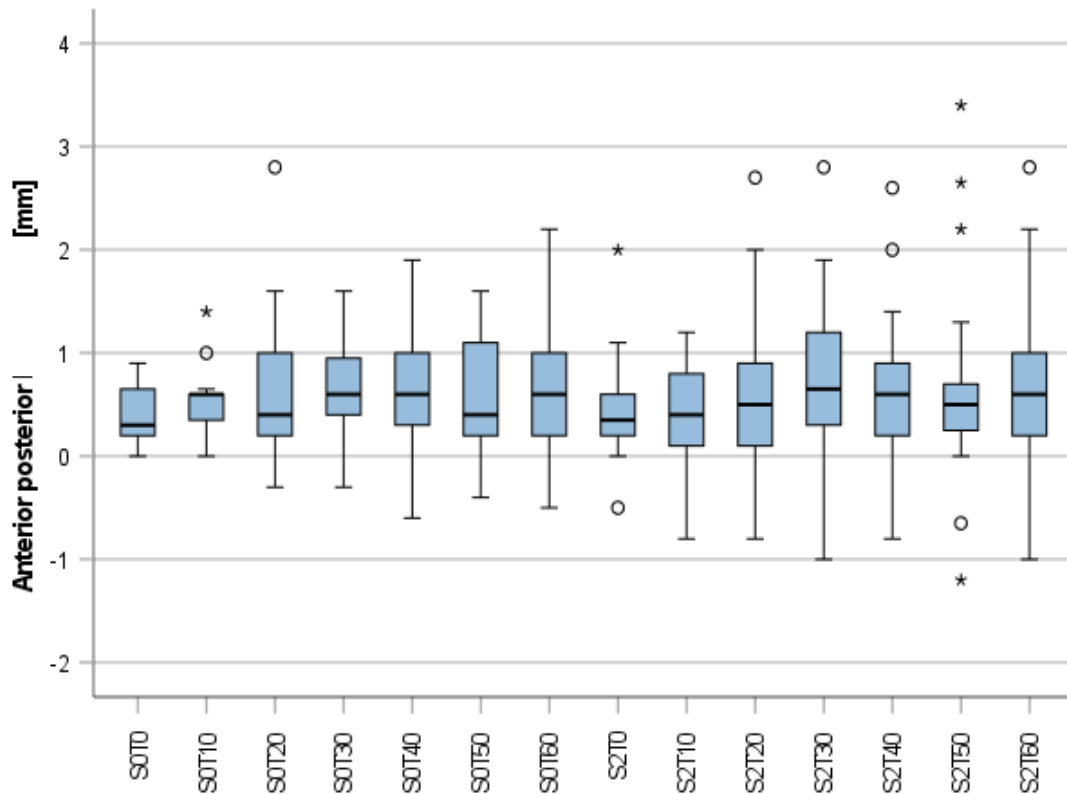


Tabelle 7: Boxplot-Diagramm: anterior-posteriore Achse der Ruhelage mit Schiene S0 und S2 zu Zeitpunkten T0-60

Die gemessenen Daten für die Position der Ruhelage wurden in Bezug zur retrahierten sowie zur habituellen Öffnungsbahn gesetzt, um die Wirkung der durch die Schienen verursachten Lageänderungen des Unterkiefers auf das Kiefergelenk einordnen zu können.

Vergleicht man den Abstand des unteren Inzisalpunktes von der retrahierten Öffnungsbahn bei Einnahme der Ruhelage mit Schiene S0 und den bei Einnahme der Ruhelage mit Schiene S2 von dieser Öffnungsbahn, stellte sich zu den Zeitpunkten T10 ($p=0,006$), T20 ($p=0,042$), T30 ($p=0,016$) und T50 ($p=0,011$) ein signifikanter Unterschied ein (WILCOXON-Test für Paardifferenzen).

Für Schiene S2 mit größerer Einschränkung des interinzisalen Raumes wurde gemittelt eine von der retralen Öffnungsbahn weiter anterior liegende Position eingenommen, kombiniert mit einer größeren vertikalen Öffnungsbewegung (vgl. Tab. 8 und Tab. 6 Vertikale Ruhelage S0 und S2).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
RL Abstand von RÖ S0T0 [mm]	21	2,05	1,25	0,00	6,00	1,45	1,90	2,58
RL Abstand von RÖ S0T10 [mm]	21	2,14	1,30	0,40	6,55	1,33	2,10	2,45
RL Abstand von RÖ S0T20 [mm]	21	2,02	1,31	0,10	6,00	1,25	1,80	2,70
RL Abstand von RÖ S0T30 [mm]	21	2,04	1,03	0,45	4,70	1,40	2,00	2,75
RL Abstand von RÖ S0T40 [mm]	21	2,24	1,35	0,40	5,45	0,90	2,30	3,20
RL Abstand von RÖ S0T50 [mm]	21	2,07	1,28	0,00	5,90	1,33	1,80	2,90
RL Abstand von RÖ S0T60 [mm]	21	2,37	1,54	0,40	6,90	1,20	2,00	3,25
RL Abstand von RÖ S2T0 [mm]	21	2,27	1,38	0,35	5,65	1,30	1,95	3,23
RL Abstand von RÖ S2T10 [mm]	21	2,68	1,56	0,65	6,70	1,60	2,00	3,60
RL Abstand von RÖ S2T20 [mm]	21	2,54	1,55	0,25	6,80	1,40	2,05	3,48
RL Abstand von RÖ S2T30 [mm]	21	2,54	1,60	0,60	6,80	1,48	2,00	3,83
RL Abstand von RÖ S2T40 [mm]	21	2,49	1,64	0,20	6,70	1,45	2,30	3,83
RL Abstand von RÖ S2T50 [mm]	20	2,70	1,60	0,00	6,30	1,49	2,50	3,78
RL Abstand von RÖ S2T60 [mm]	21	2,72	1,71	0,10	6,70	1,50	2,40	3,93

Tabelle 8: Ruhelage (RL), Abstand von RETRALER Öffnungsbahn (RÖ) für Schiene S0 und S2 für alle Zeitpunkte T0-60

Es stellte sich im Mittel zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Abweichung der mit der jeweiligen Schiene in situ eingenommenen Ruhelage von der habituellen Öffnungsbahn ein. Bei Tragen der Schiene S2 wurde durchschnittlich eine minimal weiter anterior liegende Position eingenommen, die Extreme der eingenommenen Ruhelagen bei Tragen der Schiene S2 waren deutlicher in anterior und posteriorer Relation als bei Schiene S0 (vgl. Tab. 9).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
RL Abstand von HÖ S0T0 [mm]	21	0,07	0,45	-0,75	1,40	-0,18	0,05	0,23
RL Abstand von HÖ S0T10 [mm]	21	0,07	0,46	-0,60	1,35	-0,25	0,00	0,35
RL Abstand von HÖ S0T20 [mm]	21	0,12	0,80	-2,20	1,60	-0,18	0,10	0,45
RL Abstand von HÖ S0T30 [mm]	21	0,03	0,46	-0,70	1,00	-0,38	0,00	0,30
RL Abstand von HÖ S0T40 [mm]	21	0,05	0,72	-1,45	1,50	-0,35	-0,05	0,60
RL Abstand von HÖ S0T50 [mm]	21	0,10	0,76	-1,30	1,50	-0,45	0,10	0,55
RL Abstand von HÖ S0T60 [mm]	21	0,11	0,77	-1,40	2,00	-0,45	0,00	0,70
RL Abstand von HÖ S2T0 [mm]	21	0,14	0,70	-1,00	2,00	-0,30	0,15	0,35
RL Abstand von HÖ S2T10 [mm]	21	0,11	0,72	-1,40	1,80	-0,40	0,20	0,48
RL Abstand von HÖ S2T20 [mm]	21	0,11	0,79	-1,70	2,00	-0,25	0,10	0,35
RL Abstand von HÖ S2T30 [mm]	21	0,16	0,78	-1,55	2,00	-0,25	0,20	0,35
RL Abstand von HÖ S2T40 [mm]	21	0,14	0,83	-2,20	1,80	-0,38	0,20	0,50
RL Abstand von HÖ S2T50 [mm]	20	0,11	0,92	-1,85	2,60	-0,28	0,10	0,46
RL Abstand von HÖ S2T60 [mm]	21	0,31	1,34	-1,80	4,00	-0,40	0,25	0,80

Tabelle 9: Ruhelage (RL), Abstand von habitueller Öffnungsbahn (HÖ) für Schiene S0 und S2

Bei Betrachtung der gemittelten Maxima der eingenommenen Ruhelagen mit beiden Schienen ließ sich bei Tragen der Schiene S2 ein größerer maximaler vertikaler Abstand (y-Achse) von 2,22 mm feststellen, wobei mit Schiene S0 das Maximum hierfür 1,87 mm betrug (vgl. Tab. 10).

In anterior-posteriorer Achse (x-Achse) betrug das mittlere Maximum mit Schiene S0 1,20 mm, mit Schiene S2 hingegen 1,05 mm. Somit lag das Maximum der Ruhelage bei Tragen der Schiene S2 für 21 Probanden im Durchschnitt weiter anterior als für Schiene S0 (vgl. Tab. 10).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
Max. vertikale RL S0	21	1,87	0,87	0,60	4,00	1,30	1,70	2,40
Max. vertikale RL S2	21	2,22	0,92	0,60	4,20	1,65	2,10	2,90
Max. anterior posterior RL S0	21	1,20	0,68	0,30	2,80	0,65	1,00	1,83
Max. anterior posterior RL S2	21	1,05	0,85	-0,50	3,40	0,58	1,00	1,20

Tabelle 10: Maxima Ruhelagen (RL) für Schiene S0 und S2

Die eingenommenen Ruhelagen bei Tragen der jeweiligen Schiene wurden über einen Zeitraum von 60 Minuten beobachtet. Die Maxima für alle die Ruhelage betreffenden Parameter stellten sich zwischen T30 und T40 ein (vgl. Tab. 11)

	N	Mean [min]	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
vertikale RL S0 Zeitpunkt Maximum	21	38,57	19,05	10	60	20,00	40,00	60,00
vertikale RL S2 Zeitpunkt Maximum	21	33,81	20,61	0	60	15,00	30,00	50,00
anterior posterior RL S0 Zeitpunkt Maximum	21	36,19	20,37	0	60	25,00	40,00	60,00
anterior posterior RL S2 Zeitpunkt Maximum	21	34,29	16,90	0	60	30,00	30,00	50,00

Tabelle 11: Zeitpunkt Maxima Ruhelagen (RL) für Schiene S0 und S2 in min

In der folgenden Graphik werden die Maxima der Ruhelagen beim Tragen der beiden Schienenvarianten und die patientenindividuelle Ruhelage in Bezug zur habituellen (HÖ) und retral forcierten Öffnungsbahn (RÖ) gesetzt. Die den interinzisalen Bewegungsraum einschränkenden anterioren Führungsbahnen entsprechen in ihrer Farbgebung den dazugehörigen Maxima.

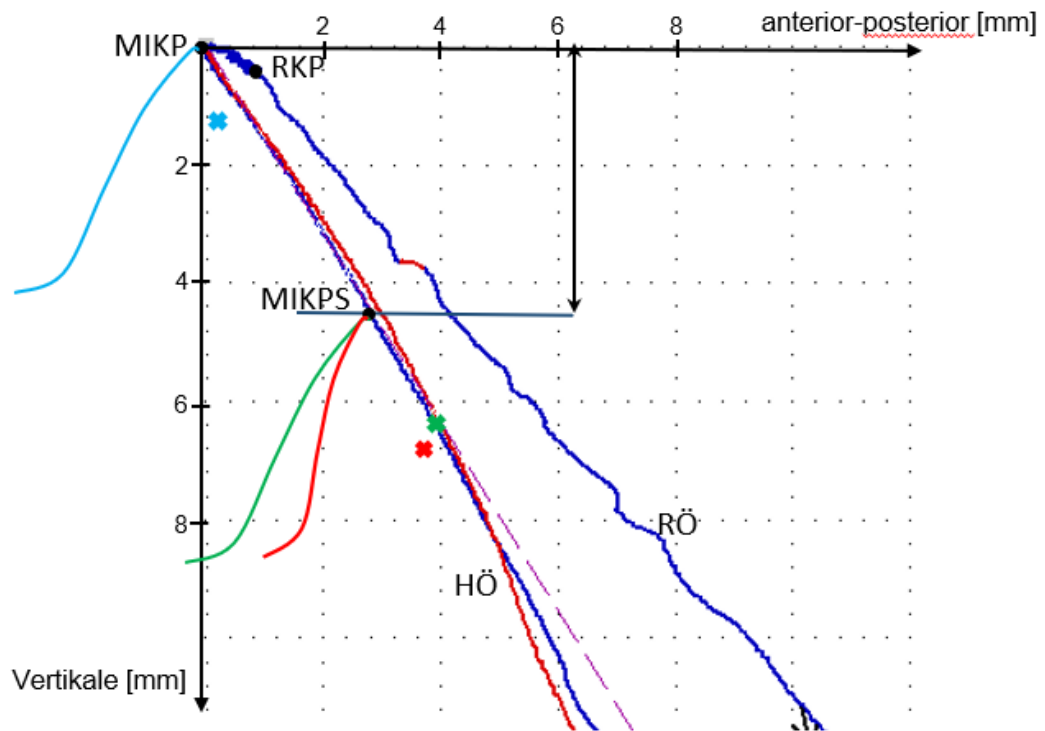


Abbildung 22: Ruhelage ohne Schiene (hellblauer Punkt), Maximum Ruhelage Schiene S0 (grüner Punkt), Maximum Ruhelage Schiene S2 (roter Punkt) ausgehend von Maximaler Okklusion mit Testschiene (MIKPS), die zur jeweiligen Schienenvariante gehörende und patientenindividuelle anteriore Führungsbahn ist in der entsprechenden Farbe exemplarisch eingetragen; alle Maxima für die Ruhelagen liegen in unmittelbarer Nähe der habituellen Öffnungsbahn (HÖ), Rasterhöhe und -weite entsprechen je 1 mm

4.5 Sprechabstand ohne Schiene

Der Sprechabstand bei Formung des s-Lautes im Testwort „Mississippi“ betrug in der vertikalen Achse (y-Achse) gemittelt 2,41 mm, in der anterior-posterioren Achse (x-Achse) von 0,53 mm in Bezug auf die MIKP (vgl. Tab 12).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
vertikale SA ohne Schiene Sitzung 1 und 2 [mm]	21	2,41	1,08	0,35	4,28	1,58	2,38	3,33
anterior- posterior SA Sagittale MSA Sitzung 1 und 2 [mm]	21	0,53	0,90	-1,35	1,85	-0,14	0,73	1,30

Tabelle 12: Mittelwert minimaler Sprechabstand (SA) ohne Schiene für Sitzung 1 und 2

In Relation zu den Öffnungsbahnen ergab sich für den gemessenen gemittelten Sprechabstand ein durchschnittlicher Abstand von 2,20 mm zur retrahierten Öffnungsbahn und ein Abstand von 0,63 mm zur habituelleren Öffnungsbahn (normalverteilt nach SHAPIRO-WILK, $p=0,001$ und $p=0,010$) (vgl. Tab. 13).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
SA Abstand von RÖ Sitzung 1 und 2 [mm]	21	2,20	1,46	-0,30	6,00	1,18	2,00	2,88
SA Abstand von HÖ Sitzung 1 und 2 [mm]	21	0,63	1,30	-2,35	3,50	-0,30	0,60	1,75

Tabelle 13: Sprechabstand in Bezug zur Retralen (RÖ) und Habituellen (HÖ) Öffnungsbahn ohne Schiene für Sitzung 1 und 2

4.6 Engster Sprechabstand bei eingesetzten Schienenvarianten S0 und S2 in Bezug auf den patientenindividuellen Sprechabstand ohne Schiene

Bei Betrachtung der vertikalen Achse der eingenommenen Sprechabstände beim Tragen von Schiene S0 (mit physiologischer Steilheit der Frontzahnführung) zeigt sich im Vergleich zum patientenindividuellen Sprechabstand ohne Testschiene zu allen Zeitpunkten

T0 ($p=0,000$), T10 ($p=0,005$), T20 ($p=0,001$), T30 ($p=0,000$), T40 ($p=0,006$), T50 ($p=0,001$) und T60 ($p=0,002$) ein signifikanter Unterschied (WILCOXON-Test für Paardifferenzen). Bei Tragen der Schiene S2 mit steilerer Frontzahnführung zeigte sich in vertikaler Relation ebenfalls zu allen Zeitpunkten ein signifikanter Unterschied zum Referenzwert der Ruhelage ohne Schiene in situ (T0 $p=0,002$; T10 $p=0,002$; T20 $p=0,011$; T30 $p=0,017$; T40 $p=0,003$; T50 $p=0,019$; T60 $p=0,003$; WILCOXON-Test für Paardifferenzen).

In anterior-posteriorer Achse unterschied sich die Lage des Unterkiefers in Bezug zum Referenzwert für den eingenommenen Sprechabstand ohne Schiene bei Tragen der Schiene S0 zu keinem Zeitpunkt signifikant. Auch bei Tragen der Schiene S2 (steilere Frontzahnführung) kam es zu keinem Zeitpunkt für die gleichen Testparameter zu signifikanten Abweichungen vom Bezugswert ohne Schiene (WILCOXON-Test für Paardifferenzen).

4.7 Unterschiede der engsten Sprechabstände mit eingesetzten Schienenvarianten S0 und S2

Vergleicht man die eingenommenen Sprechabstände in vertikaler Achse bei Tragen der Schienen S0 und S2 miteinander, kann lediglich zu den Zeitpunkten T0 und T30 ein signifikanter Unterschied zwischen den durch beide Schienen beeinflussten Sprechabständen festgestellt werden ($p=0,009$ und $p=0,024$; WILCOXON-Test für Paardifferenzen).

Die nachfolgende Boxplot-Graphik visualisiert die genannten Unterschiede.

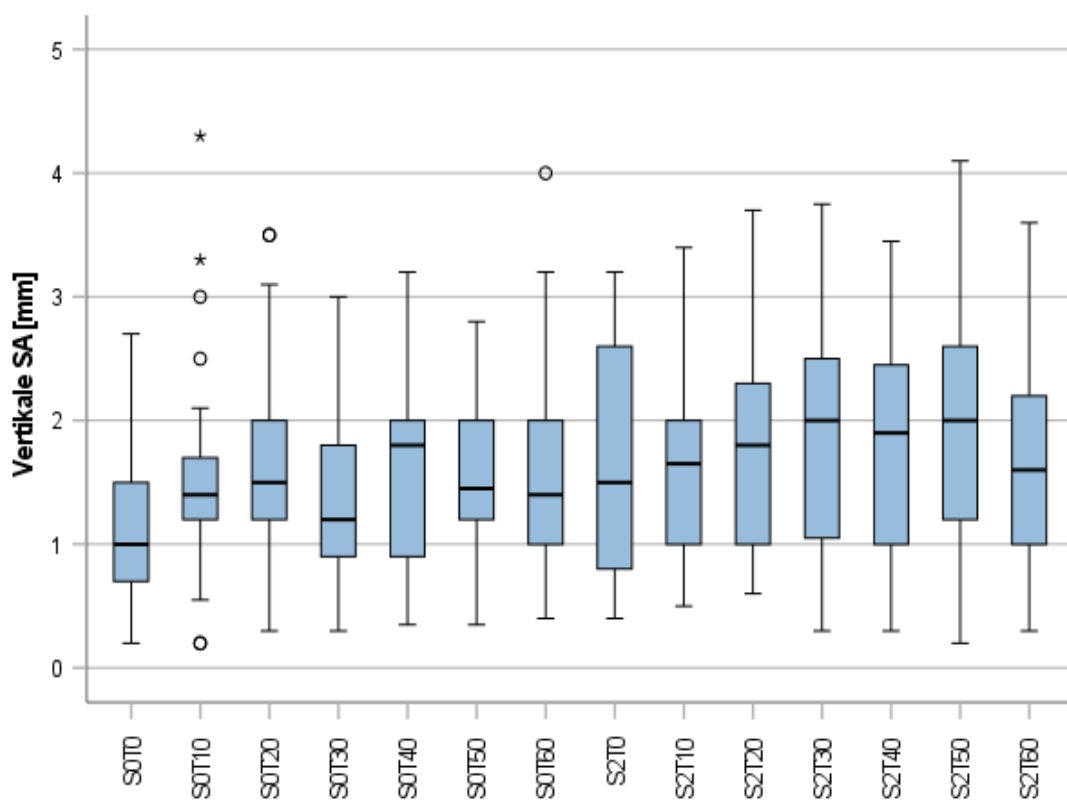


Tabelle 14: Boxplot-Diagramm: Vertikale Achse des engsten Sprechabstandes mit Schiene S0 und S2 zu Zeitpunkten T0-60

Die eingenommenen Sprechabstände unterschieden sich in anterior-posteriorer Achse zwischen den Schienen S0 und S2 zu keinem Zeitpunkt signifikant.

Das folgende Boxplot-Diagramm illustriert die genannten Ergebnisse.

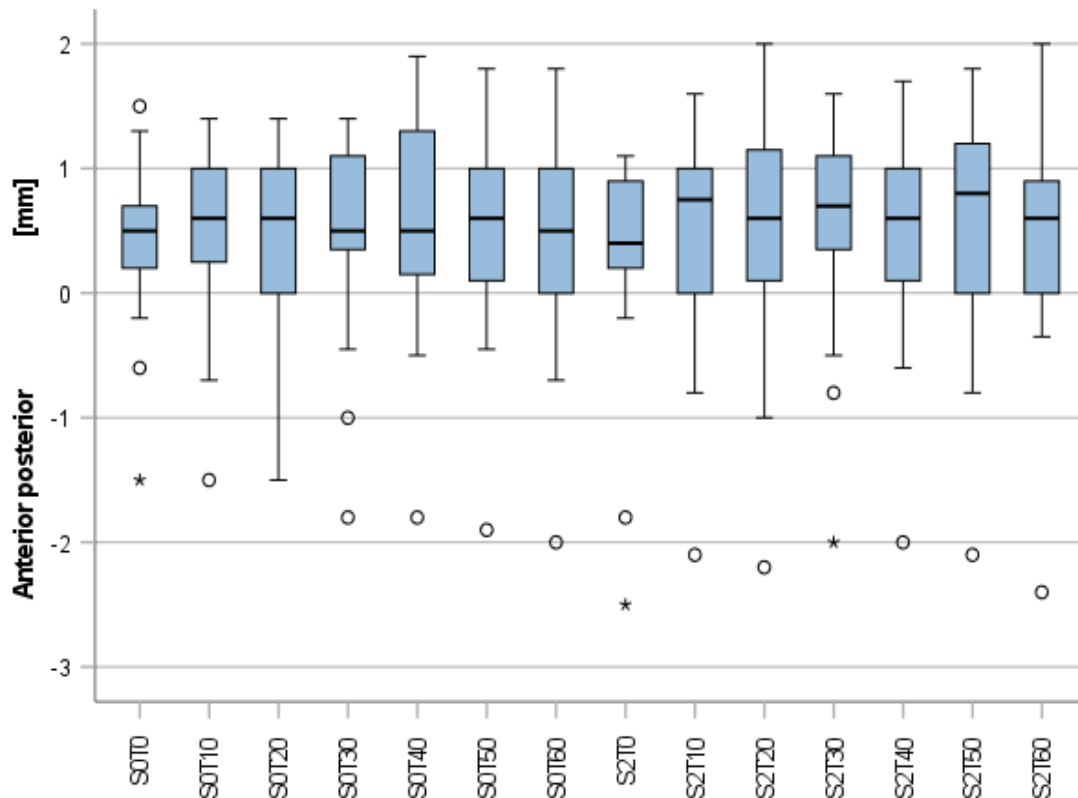


Tabelle 15: Boxplot-Diagramm Anterior-posteriore Achse des engsten Sprechabstandes (SA) für Schienen S0 und S2 zu Zeitpunkten T0-60

Die gemessenen Daten für die Position des Sprechabstandes wurden in Bezug zur retralen Grenzbewegung, sowie zur habituellen Öffnungsbahn gesetzt.

Vergleicht man den Abstand des unteren Inzisalpunktes von der retralen Öffnungsbahn bei Einnahme des Sprechabstandes mit Schiene S0 und den bei Einnehmen des Sprechabstandes mit Schiene S2 von der retralen Öffnungsbahn, kann zu den Zeitpunkten T0 ($p=0,032$) und T30 ($p=0,031$) ein signifikanter Unterschied festgestellt werden (WILCOXON-Test für Paardifferenzen).

Für Schiene S2 mit verstellter Frontzahnführung und daraus resultierender größerer Einschränkung des interinzisalen Raums wird eine anteriore und konstantere Position eingenommen. Diese ist weiter von der retralen Öffnungsbahn entfernt (vgl. Tab. 16).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
SA Abstand von RÖ S0T0 [mm]	21	2,51	1,45	0,00	5,55	1,53	2,35	3,83
SA Abstand von RÖ S0T10 [mm]	21	2,70	1,54	0,40	6,00	1,93	2,40	3,25
SA Abstand von RÖ S0T20 [mm]	21	2,76	1,50	0,50	6,10	1,78	2,00	4,00
SA Abstand von RÖ S0T30 [mm]	21	2,50	1,51	0,35	6,60	1,45	1,85	3,40
SA Abstand von RÖ S0T40 [mm]	21	2,72	1,49	0,20	6,60	1,78	2,50	3,60
SA Abstand von RÖ S0T50 [mm]	21	2,65	1,38	0,25	6,40	1,83	2,20	3,30
SA Abstand von RÖ S0T60 [mm]	21	2,89	1,68	0,10	6,50	1,55	2,20	4,30
SA Abstand von RÖ S2T0 [mm]	21	2,96	1,73	0,50	7,00	1,70	2,50	4,30
SA Abstand von RÖ S2T10 [mm]	21	2,81	1,56	0,20	6,00	1,60	2,50	4,20
SA Abstand von RÖ S2T20 [mm]	21	2,81	1,62	0,40	5,80	1,45	2,55	4,30
SA Abstand von RÖ S2T30 [mm]	21	2,91	1,65	0,30	6,00	1,90	2,50	4,40
SA Abstand von RÖ S2T40 [mm]	21	2,91	1,57	0,10	6,00	1,45	2,80	4,10
SA Abstand von RÖ S2T50 [mm]	21	2,91	1,69	0,35	6,10	1,50	3,20	4,10
SA Abstand von RÖ S2T60 [mm]	21	2,91	1,55	0,70	6,40	1,65	2,90	4,05

Tabelle 16: Sprechabstand (SA), Abstand von RETRALER Öffnungsbahn (RÖ) mit Schienen S0 und S2 zu allen Zeitpunkten T0-60

Es kann im Mittel zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Abweichung des mit der jeweiligen Schiene in situ eingenommenen Sprechabstandes von der habituellen Öffnungsbahn festgestellt werden (vgl. Tab. 17).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
SA Abstand von HÖ S0T0 [mm]	21	-0,04	0,82	-2,30	1,80	-0,50	0,00	0,23
SA Abstand von HÖ S0T10 [mm]	21	0,02	1,09	-2,40	2,70	-0,60	-0,10	0,38
SA Abstand von HÖ S0T20 [mm]	21	-0,03	0,95	-2,50	2,30	-0,40	-0,30	0,20
SA Abstand von HÖ S0T30 [mm]	21	-0,11	1,00	-2,80	2,60	-0,55	-0,20	0,25
SA Abstand von HÖ S0T40 [mm]	21	-0,17	0,95	-2,80	1,90	-0,45	-0,20	0,08
SA Abstand von HÖ S0T50 [mm]	21	-0,10	0,89	-2,90	1,65	-0,35	-0,05	0,35
SA Abstand von HÖ S0T60 [mm]	21	-0,12	1,07	-3,00	2,20	-0,58	-0,10	0,35
SA Abstand von HÖ S2T0 [mm]	21	-0,04	1,19	-3,40	2,20	-0,50	0,10	0,60
SA Abstand von HÖ S2T10 [mm]	21	-0,12	1,04	-3,00	2,00	-0,60	0,00	0,40
SA Abstand von HÖ S2T20 [mm]	21	-0,16	1,12	-2,80	2,00	-0,83	-0,05	0,35
SA Abstand von HÖ S2T30 [mm]	21	0,02	1,14	-2,80	2,50	-0,55	0,00	0,50
SA Abstand von HÖ S2T40 [mm]	21	0,00	1,09	-2,80	2,00	-0,60	-0,05	0,60
SA Abstand von HÖ S2T50 [mm]	21	-0,15	1,01	-2,90	1,90	-0,75	0,00	0,40
SA Abstand von HÖ S2T60 [mm]	21	-0,19	1,05	-3,20	1,40	-0,73	-0,20	0,63

Tabelle 17: Sprechabstand (SA), Abstand von HABITUELLER Öffnungsbahn (HÖ) mit Schiene S0 und S2 zu allen Zeitpunkten T0-60

Bei Betrachtung der gemittelten Maxima der eingenommenen Sprechabstände mit beiden Schienen stellt sich bei Tragen der Schiene S2 ein etwas größerer maximaler vertikaler Abstand von 2,28 mm ein, wobei mit Schiene S0 das Maximum hierfür 2,06 mm beträgt (vgl. Tab. 18).

In anterior-posteriorer Achse beträgt das mittlere Maximum mit Schiene S0 0,93 mm, mit Schiene S2 hingegen 0,87 mm. Somit liegt das Maximum des Sprechabstandes bei Tragen der Schiene S2 für 21 Probanden im Durchschnitt minimal weiter anterior als mit Schiene S0 (vgl. Tab. 18).

	N	Mean	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
Max. vertikale SA S0	21	2,06	0,96	0,80	4,30	1,40	1,90	2,85
Max. vertikale SA S2	21	2,28	0,96	0,80	4,10	1,40	2,30	3,00
Max. anterior posterior SA S0	21	0,93	0,76	-1,50	1,90	0,50	1,00	1,45
Max. anterior posterior SA S2	21	0,87	0,89	-2,00	2,00	0,30	1,20	1,43

Tabelle 18: Maxima Sprechabstände (SA) für S0 und S2

Die eingenommenen Sprechabstände bei Tragen der jeweiligen Schiene wurden über einen Zeitraum von 60 Minuten beobachtet. Die Maxima für alle den Sprechabstand betreffenden Parameter stellten sich bei Tragen der Schiene S0 zwischen T30 und T40 ein, bei Tragen der Schiene S2 etwas früher um den Zeitpunkt T30 (vgl. Tab. 19).

	N	Mean [min]	Std. Deviation	Min	Max	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
vertikale SA S0 Zeitpunkt Maximum	21	36,19	16,272	10	60	20,00	40,00	50,00
vertikale SA S2 Zeitpunkt Maximum	21	29,52	21,325	0	60	10,00	30,00	50,00
anterior posterior SA S0 Zeitpunkt Maximum	21	33,33	17,981	0	60	20,00	40,00	50,00
anterior posterior SA S2 Zeitpunkt Maximum	21	29,52	19,359	0	60	10,00	30,00	50,00

Tabelle 19: Zeitpunkt Maxima der Ruhelage (RL) für S0 und S2 in min

In der folgenden Graphik werden die Maxima der Sprechabstände beim Tragen der beiden Schienenvarianten und der patientenindividuelle Sprechabstand in Bezug zur habituellen (HÖ) und retral forcierten Öffnungsbahn (RÖ) gesetzt. Die den interinzisalen Bewegungsraum einschränkenden anterioren Führungsbahnen entsprechen in ihrer Farbgebung den dazugehörigen Maxima.

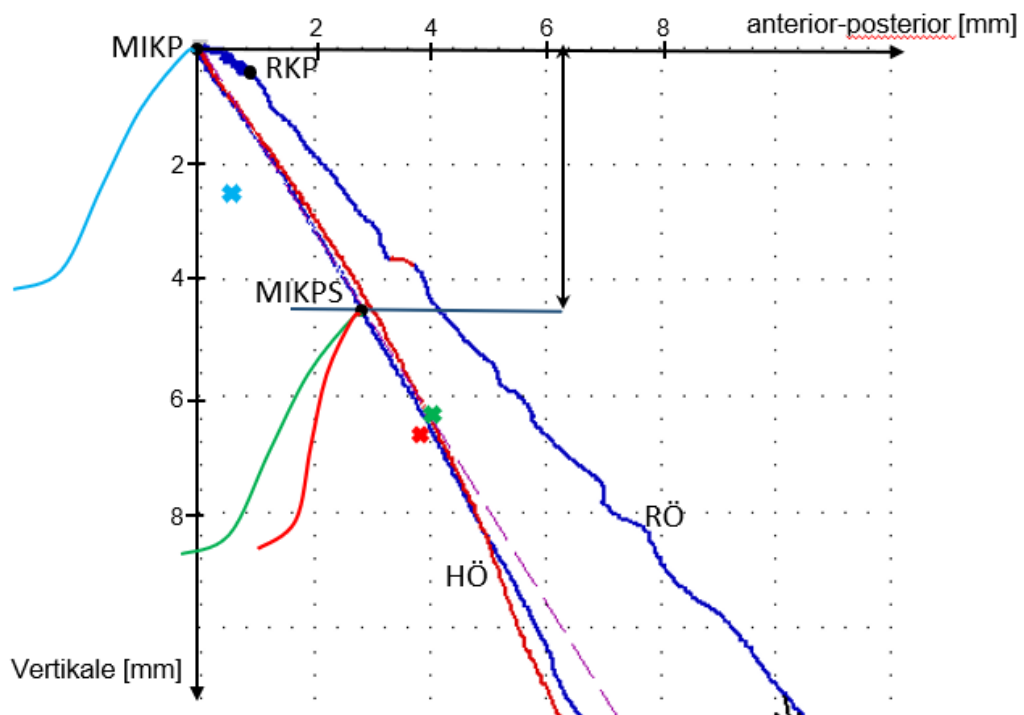


Abbildung 23: Sprechabstand ohne Schiene (hellblauer Punkt), Maximum Sprechabstand Schiene 0 (grüner Punkt), Maximum Sprechabstand Schiene 2 (roter Punkt) ausgehend von Maximaler Okklusion mit Testschiene (MIKPS), die zur jeweiligen Schienenvariante gehörende und patientenindividuelle anteriore Führungsbahn ist in der entsprechenden Farbe exemplarisch eingetragen; die eingenommenen Sprechabstände mit Schienen liegen in unmittelbarer Nähe der habituellen Öffnungsbahn (HÖ)

5. DISKUSSION

5.1 Methodenkritik

Das eingesetzte Registriersystem zur Erfassung der Unterkieferbewegungen sowie das strukturelle Design der Studie werden im Folgenden diskutiert.

5.1.1 Magnetkinesiographie · K7-Registriersystem

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass alle in der Literatur beschriebenen und erhältlichen Registriersysteme zur Erfassung von Unterkieferbewegungen einen mehr oder weniger störenden Effekt auf die Unterkieferpositionen und -bewegungen ausüben können. So führen zum Beispiel die klassischen Registrierverfahren wie Axiographie und Panthographie allein schon aufgrund des hohen Gewichtes des am Unterkiefer angebrachten Registrierbogens zu einer deutlichen Beeinflussung des neuromuskulären Systems [Sütterlin, 1925], [Lotzmann, 1987]. Modernere optoelektronische Registrierverfahren, wie das JMA-Registriersystem der Firma zebri Medical GmbH, zeichnen sich zwar durch eine deutliche Gewichtsreduzierung des Unterkieferregistriermoduls aus (17 g), haben aber weiterhin den Nachteil, dass das Registriermodul über einen die Lippe störenden Stylus und einen paraokklusalen Löffel an den Unterkieferzähnen angebracht werden muss. [Solaberrieta et al., 2018]

Das Registrierverfahren, welches die geringste neuromuskuläre Beeinflussung erwarten lässt, ist die in dieser Studie eingesetzte Magnetkinesiographie. Der an den Labialflächen der Unterkieferfrontzähne angebrachte Magnet hat ein Gewicht von nur 2 g. Da dieser Magnet mit den Maßen 4 x 5 x 2 mm den unteren Inzisiven aufliegt, kann er im Einzelfall einen entspannten Lippenschluss erschweren und damit gegebenenfalls die mandibuläre Ruhelage beeinflussen.

Da jeder Messdurchgang mit oder ohne eingesetzter Testschiene bei eingesetztem Magnet erfolgte, ist der intraindividuelle Vergleich der Messdaten statthaft.

Die Präzision und Reproduzierbarkeit der mithilfe der Magnetkinesiographie erzielten Messergebnisse liegen zahlreichen Studien zugrunde, welche die Ruheposition des Unterkiefers untersuchen [Hunt/Cunningham, 1998]. Das Messverfahren wurde verifiziert und kann, gekoppelt mit digitalen Anzeige- und Auswertungsverfahren, weiterhin als Goldstandard für Analysen von Bewegungs- und Adaptationsmustern des temporomandibulären Systems angesehen werden.

Die K7-Magnetkinesiographie erlaubt systembedingt die Erfassung nur eines Messpunktes, sie kann daher nicht die räumliche Position des Unterkieferkörpers in den drei Raumachsen und damit die Bewegung der Kondylen verfolgen. Jedoch lassen sich durch die Aufzeichnung im Bereich des unteren Inzisalpunktes Rückschlüsse auf die Verlagerung der Kondylen in den Gelenken in Sagittal- und Vertikalebene ziehen, da diese Punkte durch den Mandibularknochen gekoppelt sind. Je näher die registrierte Unterkieferlage an der retral forcierten Öffnungsbahn liegt, desto geringer ist der Translationsanteil. Unterkieferpositionen, die posterior der habituellen Öffnungsbahn liegen, gehen mit einer verstärkten Aktivität der Retraktoren einher. Deren verstärkte Rekrutierung würde einen dorsokraniel gerichteten Kraftvektor verursachen.

Hinweise zur kranialen oder kaudalen Verlagerung der Kondylen in Bezug zur initialen Gelenkbahnneigung können systembedingt nicht untersucht werden. Für einen zuverlässigen Einsatz des Magnetkinesiographen und die Erhebung reliabler Messwerte ist neben der korrekten Magnetposition eine exakte Positionierung des Sensorgestells in Bezug zum Schädel wichtig. Hierfür wird die Frankfurter Horizontale herangezogen. Um eine reproduzierbare Orientierung des Sensorgestells in allen Messsituationen sicherzustellen, wurden die aufgezeichneten Protrusionsbahnen abgeglichen.

5.1.2 Testpersonen

Bei der Auswahl der Testpersonen wurde auf eine homogene Probandengruppe Wert gelegt. Diese umfasst eine möglichst geringe Altersspanne jüngeren Alters, um eingeschränkte Unterkieferbewegungen auszuschließen. Auch wird bei abradierten Gebissen ein größerer interokklusaler Abstand für die Ruhelage gemessen. Mitunter hat auch das Geschlecht der Probanden einen Einfluss auf die Grenzbewegungen des Unterkiefers, wobei Thüer et al. [1989] eine bessere Anpassungsreaktion bei männlichen Probanden feststellen.

Die erforderlichen Veränderungen der Okklusion erfolgten mit abnehmbaren Schienen. Da die Lern- und Anpassungsfähigkeit im Kauorgan im Alter abnimmt, wurde auf eine junge Testpersonengruppe Wert gelegt [Cheynet, 2016].

Aufgenommen wurden des Weiteren nur Probanden, welche eine Klasse I – Verzahnung aufwiesen. Es wurde ein harmonischer Overbite und Overjet von 2-3 mm vorausgesetzt, da bei abweichenden Bisslagen, insbesondere bei Kopf-, Tief- oder Deckbissituationen abweichende kompensatorische Unterkieferlagen, welche nicht auf der habituellen Öffnungsbahn liegen, beobachtet werden. Dies gilt insbesondere für den engsten Sprechabstand. [Benediktsson, 1958]

5.1.3 Aufbissbehelfe

Jeder Aufbissbehelf führt zu einer Veränderung in der Mundhöhle. Sie werden ebenso wie herausnehmbarer Zahnersatz und Aufbissbehelfe als Fremdkörper wahrgenommen. Es gibt Unterschiede hinsichtlich der Adaptations- und Gewöhnungszeit zwischen den Probanden [Rodrigues Garcia et al., 2003], [Souza et al., 2007]. Eine bedingt reversible Möglichkeit zur experimentellen Etablierung verschiedener Führungs- und Okklusionsprinzipien sind grundsätzlich auch Kompositaufbauten oder verschiedene temporär zementierte Kronensätze.

In der vorliegenden Studie wurde der initiale Einfluss des anterioren Führungswinkels auf mandibuläre Bewegungsmuster untersucht, weshalb der Einsatz herausnehmbarer Aufbissbehelfe bevorzugt wurde. Die Fertigung der Testschienen im Labor erlaubt eine präzisere Einstellung der relevanten Parameter beider Schienenvarianten.

Die Testschienen bedingen eine seitliche Einengung der Zunge. Die Materialstärke und die Länge der Schienenränder wurde so gering wie technisch möglich gehalten und möglichst gleich gestaltet, sodass beide Schienenvarianten 1 mm zervikal des prothetischen Äquators endeten. Die Zunge kann bei Bildung des s-Lautes eine schmalere Form annehmen, um den s-Kanal möglichst effektiv zu bilden. Diese veränderte Position kann die Lage des Unterkiefers beim Einnehmen des minimalen Sprechabstandes beeinflussen, da die Zunge für ihre schmalere Form mehr Platz in der Länge benötigt, was durch eine Verlagerung des Unterkiefers nach anterior kompensiert wird [Suter, 1951], [Sütterlin, 1925], [Wisser, 2002], .

Die Testschienen verursachten eine Erhöhung der Vertikaldimension von 4,5 mm am Stützstift. Im Seitenzahnbereich bedeutet dies einen interokklusalen Abstand von ca. 2 mm. Die Erhöhung der Vertikaldimension durch die Schienen wurde so gewählt, dass die Aufbissbehelfe eine ausreichende Stabilität im Seitenzahnbereich aufweisen und einer in der Patientenbehandlung verwendbaren Versorgung entsprechen.

Beide Schienenvarianten griffen auf gleiche Weise in die Vertikaldimension ein. Die Testschienen glichen sich in Form, Ausdehnung und der Okklusion in Statik. Lediglich die anteriore Führungsbahn unterschied sich zwischen Schiene S0 und S2. Somit lassen sich die gemessenen Werte für die mandibuläre Ruhelage und den minimalen Sprechabstand bei Tragen beider Schienen miteinander vergleichen.

Eine durch die neue Vertikaldimension beider Aufbissbehelfe bedingte Relaxation der Kaumuskulatur und die Neuprogrammierung von Rekrutierungsmustern kann zu einer weiter dorsal liegenden Ruhelage führen. Die Auswirkungen der Versteilung der anterioren Führungsbahn würde sich in abweichenden Werten widerspiegeln (5.2.2).

Zwischen den Messsitzen mit den verschiedenen Schienenvarianten wurde ein ausreichend großes Zeitfenster gewählt, damit eine Gewöhnung an die in Sitzung 4 eingegliederte Schiene und daraus resultierende Bewegungsmuster in Sitzung 5 ausgeschlossen werden konnte. Der Zeitabstand betrug mindestens zwei Wochen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden werden die statistisch aufbereiteten Messdaten diskutiert.

5.2.1 Kondylenbahnneigung und Frontzahnführungswinkel

Anhand der im Artikulator vermessenen Protrusionsregistrare wiesen die Testpersonen eine auf die Frankfurter Horizontale (FH) bezogene durchschnittliche Kondylenbahnneigung von 42° auf. Die Seitendifferenz betrug zwischen 0° und 3° .

Der Wert der mittleren Kondylenbahnneigung deckt sich mit Angaben in der Literatur. [Bumann/Lotzmann, 2000], [Lehmann et al., 2015], [Posselt, 1973]

Eine Artikulatorprogrammierung hinsichtlich der patientenindividuellen Kondylenbahnneigung ist somit mithilfe eines korrekt ausgeführten Protrusionsregistriertes zuverlässig möglich.

Der individuelle Frontzahnführungswinkel betrug in Bezug zur Frankfurter Horizontalen im Mittel 50° , wobei der kleinste Winkel mit 31° , der größte mit 70° gemessen wurde.

Der ermittelte Frontzahnführungswinkel war im Mittel um 8° steiler als der Kondylenbahnneigungswinkel.

Dieser Wert deckt sich mit den im internationalen Schrifttum angegebenen Werten. Unterschiede in den Messdaten ergeben sich durch unterschiedliche Start- und Endpunkte bei den aufgezeichneten Bewegungen, die differierende Festlegung der Referenzpunkte auf der Gelenkbahn und den Zähnen sowie unterschiedliche Messmethoden. [Bumann/Lotzmann, 2000], [Kubein-Meesenburg et al., 1988], [Lee, 1982], [Posselt, 1969]

Die durchschnittliche Differenz zwischen Kondylenbahnneigungswinkel und Frontzahnführungswinkel kann bei Rekonstruktion einer verlorengegangenen Frontzahnführung als Orientierung für den Behandler dienen. Vor einer definitiven Etablierung einer Frontführung ist es sinnvoll, diese im Rahmen einer okklusalen Prätherapie auf Akzeptanz hin zu testen.

5.2.2 Mandibuläre Ruhelage ohne und mit eingesetzten Schienen S0 und S2

Die mandibuläre Ruhelage ist ein Indikator für die muskuläre Rekrutierungssituation der gesamten Kaumuskulatur. Neben der Kopf- und Körperhaltung haben alle Faktoren, die zu einer Tonus- und Aktivitätsänderung der Kau- und Kauhilfsmuskulatur führen, einen Einfluss auf die Ruhelage. So können Stressoren via das limbische System und Gamma-Motorik zu einer Tonussteigerung der Adduktoren, Protraktoren und Retraktoren führen, was zu einer Kranialverlagerung der Ruhelage mit Verringerung des interokklusalen Abstandes führt. [Eschler, 1965], [Ramfjord/Ash, 1968]

Andere Faktoren wie Müdigkeit, Einnahme von Muskelrelaxantien oder Sedativa können die Ruhelage absinken lassen, der interokklusale Abstand vergrößert sich. [Souza et al., 2007; Burnett, 2000]

Um Störgrößen, welche Einfluss auf die Ruhelage nehmen könnten, klein zu halten, wurde auf gleiche Untersuchungsbedingungen geachtet.

Die Testperson wurde vor Beginn jeder Messsitzung nach ihrem Wohlbefinden befragt. Fühlte sich die Testperson unpässlich oder stand sie unter den Muskeltonus verändernden Medikamenteneinfluss, wurde die Messsitzung verschoben.

Die gemessene Ruhelage mit einem interinzisalen Abstand von gemittelt 1,32 mm in der vertikalen Achse und einem anterior-posterioren Abstand von 0,65 mm entspricht den Studienergebnissen anderer Autoren. Gross [2015] gibt von verschiedenen Autoren ermittelte Ruhelagen zwischen $0,8 \pm 0,8$ mm und $4,6 \pm 1,42$ mm an. Michelotti et al. [1997] geben eine klinische, also eine auf Befehl eingenommene Ruhelage für 40 Probanden mit einem interinzisalen Abstand von durchschnittlich $1,44 \pm 1,1$ mm an. Untersuchungen von George [1983] unter Einsatz eines Kinesiographen ergaben im Durchschnitt für die Ruhelage eine Position 0,3 mm posterior der Maximalen Interkuspitation. Ramfjord/Ash [1968] geben einen interokklusalen Abstand beim Einnehmen der Ruhelage von 1-3 mm an und bezeichnen die verschiedenen eingenommenen Unterkieferpositionen als „Ruhebereich“.

Unterschiede lassen sich durch verschiedene Messmethoden und Untersuchungsbedingungen sowie unterschiedlich gewählte Positionen der interokklusalen Abstände erklären.

Hunt/Cunningham [1998] unterscheiden in ihrer Studie eine sogenannte „klinische Ruhelage“ von einer „physiologischen Ruhelage“, wobei letztere gezielt durch eine transkutane Nervenstimulation der motorischen Äste des N. trigeminus eingestellt wird, um eine möglichst reproduzierbare Position zu erhalten. Erstere wird natürlicherweise durch äußere Umstände wie Alter, Stress etc. beeinflusst. Das Verfahren der transkutanen Nervenstimulierung wird bevorzugt zur intermaxillären Einstellung in der „Myozentrik“ verwendet. Insofern ist der Begriff „physiologische Ruhelage“ irreführend und sollte vermieden werden.

Aufgrund der funktionellen Abhängigkeit der Kau-, Hals- und Nackenmuskulatur kommt es mit Veränderung der Kopf- und Körperhaltung auch zu einer Veränderung der mandibulären Ruhelage.

Bei zervikalen Haltungsfehlern im Bereich der Halswirbelsäule stellen Tomita et al. [2021] eine erhöhte Aktivität der Kaumuskulatur bis hin zum okklusalen Pressen fest. Dies kann in Zusammenhang mit einer erhöhten Aktivität des Musculus sternocleidomastoideus einhergehen.

Daher wurde bei der Durchführung dieser Studie auf eine für alle Probanden gleich gewählte aufrechte Sitzposition im selben Behandlungsstuhl und ein freies Halten des Kopfes während der Registrierung Wert gelegt. Eine ungleiche Beeinflussung der Kopfhaltung wurde möglichst vermieden.

Im Mittelpunkt dieser Studie stand die Frage nach dem Einfluss der unterschiedlichen Frontzahnführungswinkel der Aufbissbehelfe auf die Ruhelage.

Beim Vergleich der Ruhelagen mit Schiene S0 in situ (identische Frontzahnführung zur patientenindividuellen) mit der Ruhelage ohne Schiene stellt sich lediglich zu zwei früheren Zeitpunkten ein signifikanter Unterschied ein (vgl. 4.3). Diese Abweichungen können durch die schnell stattfindende muskuläre Reaktion auf die durch die Aufbissbehelfe bedingte Sperrung von 4,5 mm erklärt werden. Beim Tragen der Schiene S2 konnte hier zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Abweichung zur Ruhelage ohne Schiene festgestellt werden. Daraus folgt, dass der interokklusale Abstand zwischen Ruhelage und MIKP und zwischen der Ruhelage und maximaler Interkuspidation mit Schiene weitgehend konstant bleibt.

Vergleicht man die vertikalen Daten der eingenommenen Ruhelagen mit den Schienenvarianten S0 und S2 in situ, kann auch hier nur zu zwei Zeitpunkten ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Insgesamt war der vertikale interokklusale Abstand beim Tragen der verstellten Schiene S2 stets größer als bei Schiene S0.

Somit kann kombiniert mit der sich ähnelnden anterior-posterioren Komponente der Ruhelagen festgestellt werden, dass sich für Schiene S2 mit steilerer Führungsbahn ein signifikant größerer Abstand zur retrahierten Öffnungsbahn zu 4 von 6 Messzeitpunkten einstellt.

Es ist schlusszufolgern, dass dies durch die unterschiedlichen Frontzahnführungswinkel bedingt wird und eine Ausweichbewegung im Sinne einer vertikalen Öffnung und leichten Verlagerung des Unterkiefers nach anterior stattfindet. Hierbei findet eine stärkere Rekrutierung der Protraktoren sowie eine Relaxierung der Adduktoren statt. Dies ist im Sinne einer Entlastung des Kiefergelenks und würde also bei Umsetzung einer steileren anterioren Führungsbahn am Patienten wohl zunächst keine Kompression des Kiefergelenkes durch eine Rückverlagerung des Unterkiefers bewirken. Der Unterkiefer scheint sogar eine Art Schonhaltung durch eine Ausweichreaktion einzunehmen, wie dies auch bei Kiefergelenksproblematiken der Fall sein kann.

Ob und in welchem Ausmaß der okklusale Kontakt beim ersten Einnehmen der maximalen Schieneninterkuspitation oder Reaktionen der Zunge und der Lippen als anatomisch propriozeptive Strukturen Einfluss auf die rasche Anpassungsreaktion nehmen, ist nicht hinreichend untersucht.

Unabhängig vom Frontzahnführungswinkel bewirkt die Eingliederung einer Apparatur mit veränderter Vertikalrelation einen neuromuskulären Entspannungseffekt und eine Auflösung von eingeübten muskulären Rekrutierungsmustern oder eine Fremdkörperreaktion, welche zu Parafunktionen der Zunge oder einer erhöhten Aktivität der Kaumuskelatur führen können. Da die beiden Testschienen sich bis auf den anterioren Führungswinkel in allen Parametern entsprechen, ist ein Vergleich der gemessenen Ergebnisse statthaft.

Thüer et al. [1989] beobachten nach Eingliederung von Aktivatoren mit verschiedenen Vertikaldimensionen eine in anterior-posteriorer Relation stabile Ruhelage, obwohl während der Therapie eine Kippung der Frontzähne stattgefunden hat. Im Beobachtungszeitraum von durchschnittlich 245 Tagen kam es in deren Studie gemittelt zu einer Vergrößerung des interokklusalen Abstands von 4,2 mm auf 5,5 mm, wobei sich die eingenommene Ruhelage stets posterior der therapeutisch protrusiven Interkuspitationsposition befindet und gegen Ende ihrer Studie wieder nahezu mit der Ursprungslage deckt.

Hunt/Cunningham [1998] beobachten nach Umstellungsosteotomien leicht unterschiedliche resultierende Ruhelagen für länglichere und kürzere Schädelformen. Nach Anhebung der Vertikalen Kieferrelation um 6,2 mm (am Gonionpunkt gemessen) lässt sich für die durch transkutane Nervenstimulation (s.o.) herbeigeführte Ruhelage eine Vergrößerung des interokklusalen Abstandes von 1,6 mm beobachten. Nach 24 Monaten ist dieser Abstand auf 5,1 mm angestiegen, was sich durch veränderte muskuläre Rekrutierungsprozesse und anatomische Umbauvorgänge der Muskulatur erklären lässt. Eine „klinische Ruhelage“ stellt sich trotz Vergrößerung der Vertikaldimension ein.

Das Maximum wurde beim Tragen beider Schienen in dieser Studie zwischen den Zeitpunkten T30 und T40 erreicht, am Ende der Messung zum Zeitpunkt T60 nähern sich die Werte wieder denen der mittleren Ruhelage ohne Schiene bzw. entsprechen diesen. Insofern könnte eine folgenschwere funktionelle Problematik bei Eingliederung einer prothetischen Versorgung mit steilerer Frontzahnführung oder einer kieferorthopädisch durchgeführten Inklination der oberen Inzisiven etc. als unwahrscheinlich angesehen werden.

In der vorliegenden Studie stellte sich sofort nach Eingliederung für beide Schienenvarianten mit einer vertikalen Anhebung von 4,5 mm eine mittlere vertikale Ruhelage von 0,81 mm für Testschiene S0 und 1,00 mm für Testschiene S2 ein. Es kam bei keinem Probanden hierbei zu Zahnkontakt (vgl. 4.3).

Damit kann die Hypothese, dass die durch den Aufbissbehelf verursachte Sperrung der okklusalen Vertikaldimension bereits mit dem Einsetzen des Aufbissbehelfes zu einer Änderung der mandibulären Ruhelage führt, angenommen werden.

Die Erhebung bestätigt Daten von Hellsing [1984] welcher angibt, dass sich im Rahmen seiner Untersuchungen bereits nach einmaligem Schließen des Unterkiefers mit gerade eingegliedertem Aufbissbehelf bei einer Anhebung der vertikalen Dimension auf 6,05 mm ein neuer interokklusaler Abstand von durchschnittlich 1,33 mm für die Ruhelage einstellt.

Nach einer Stunde Tragezeit stellte sich für Schiene S0 gemittelt ein vertikaler Ruheabstand von 1,43 mm, für Schiene S2 von 1,58 mm ein. Im Vergleich zu der mittleren vertikalen Ruhelage von 1,32 mm ohne Schiene bedeutet dies eine Vergrößerung des interinzisalen Abstandes mit Schienen in situ, was auf eine vorübergehende Neuprogrammierung und Relaxation der Kaumuskulatur zurückgeführt werden könnte.

Die Ruhelage befand sich nach Anpassung auf die verschiedenen vertikalen Höhen und die anterioren Führungsbahnen in unmittelbarer Nähe oder auf der habituellen Öffnungs- und Schließbahn. Daraus folgt, dass es unter Einnahme dieser neuen Unterkieferposition zu keiner Zu- oder Abnahme in den Rotations- oder Translationsanteilen der Öffnungsbewegung der Kondylen kommt. Damit muss die Hypothese, dass es bei Einschränkung des interinzisalen Freiraums durch artifizielle Versteilung der anterioren Führungsbahn zu einer dorsokaudalen Verlagerung der mandibulären Ruhelage kommt, verworfen werden.

5.2.3 Minimaler Sprechabstand ohne und mit eingesetzten Schienen S0 und S2

In allen Teilgebieten der Zahnmedizin, in denen die okklusale Vertikaldimension verändert wird, dient der geringste Sprechabstand zur klinischen Überprüfung der gewählten Vertikaldimension [Ott, 1991], [Foerster, 1978]. Der gemittelte geringste Sprechabstand aller Testpersonen betrug für die Situation ohne Schiene in der vertikalen Achse 2,4 mm. Dieser Wert deckt sich mit Angaben aus der Literatur [Bobe, 2018], Stoller [1969], Rizzatti et al. [2007], Clémençon [1968].

Auffällig sind allerdings die interindividuellen großen Schwankungen hinsichtlich des geringsten Sprechabstandes. Der kleinste gemessene Sprechabstand in der vertikalen Achse betrug 0,4 mm, der größte 4,3 mm.

Daraus ist abzuleiten, dass sich dieser Test nur eignet, um aufgrund von beim Sprechen auftretenden Zahnkontakten eine artifiziell überhöhte Vertikaldimension zu erkennen. Beträgt der geringstmögliche Sprechstand hingegen mehr als der hier gemessene Mittelwert von 2,4 mm, kann dies nicht als Beweis für eine zu niedrig eingestellten Vertikaldimension verwendet werden.

George [1983] stellte fest, dass abhängig von den gebildeten Lauten, welche vor und nach dem s-Laut gebildet werden, stärker differierende Unterkieferpositionen eingenommen werden. Im Rahmen dieser Studie wurde daher für die Untersuchung des Sprechabstandes ein Testwort festgelegt, was in eine gleichbleibende Phrase eingebettet ist (vgl. 3.4). So bleibt die eingenommene Unterkieferposition weitgehend vergleichbar und es können Rückschlüsse auf den mit den Testschienen eingenommenen Sprechabstand gezogen werden. Anpassungsreaktionen lassen sich hiermit leicht nachweisen.

Im Rahmen dieser Studie trat zu keinem Zeitpunkt ohne und mit eingegliederten Schienenvarianten S0 und S2 beim Einnehmen des engsten Sprechabstandes Zahnkontakt auf. Dies deckt sich mit Angaben von Gross (2015), der einen vom Overbite abhängigen minimalen Sprechabstand beobachtete. Probanden mit einer skelettalen Klasse II – Abteilung 2, also inklinierten Inzisiven mit stark ausgeprägtem Overbite, zeigten bei der Lautbildung einen größeren interinzisalen Abstand. Er führt die Veränderungen auf die tiefen Bissverhältnisse zurück. Die Inklination der Frontzähne und die damit verbundene steilere Frontzahnführung fanden keine Berücksichtigung in seiner Studie. Er weist hin, dass in keinem Fall bei der Bildung von Frikativen Zahnkontakt bestehen sollte, da ansonsten kein Luftdurchfluss stattfinden kann.

Damit muss die Hypothese, dass es mit Einsetzen des Aufbissbehelfes initial zu okklusalen Kontakten bei der Lautbildung kommt, verworfen werden.

Unterschiede beim minimalen eingenommenen Sprechabstand mit und ohne Schiene in situ ergaben sich zu allen Zeitpunkten, sowohl mit Schiene S0 als auch mit Schiene S2 signifikante Abweichungen zum Sprechabstand ohne Schiene in situ. Zum Teil spielt die eingestellte Sperrung in der vertikalen Relation und die seitliche Einengung der Zunge durch die palatinalen Anteile der Aufbissbehelfe eine Rolle im Sinne einer muskulären Anpassung.

Beim Vergleich der Sprechabstände mit Schienen S0 und S2 gibt es nur zu zwei früheren Zeitpunkten einen signifikanten Unterschied im vertikalen interinzisalen Abstand. Insgesamt ist letzterer mit Schiene S2 in situ etwas größer als der mit Schiene S0 in situ.

Insofern kann ein geringer Einfluss der steileren anterioren Führungsbahn auf die vertikale Komponente beim Sprechabstand abgeleitet werden, Faktoren wie eine Zungeneinengung oder die Vertikalisierung scheinen ebenso eine Rolle zu spielen [Lettmayer, 1937; Hohn, 1925].

Bei Betrachtung der anterior-posterioren Achse kann jedoch zu keinem Zeitpunkt, weder beim Tragen der Schiene S0, noch beim Tragen der Schiene S2, ein signifikanter Unterschied zum Sprechabstand ohne Schiene beobachtet werden.

Letzterer Aspekt deckt sich wiederum mit den Aussagen von Thüer et al. [1989], welche eine stabile Lage des Unterkiefers in anterior-posteriorer Relation auch nach Pro- oder Reklination der Frontzähne und Erhöhung der Vertikalen Dimension beobachten.

Auch beim Vergleich der beiden Schienen miteinander gibt es bei Betrachtung der anterior-posterioren Komponente zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Abweichung voneinander; tendenziell wird bei Tragen der steileren Schiene S2 eine etwas mehr anteriore Position eingenommen.

Der Sprechabstand mit beiden Schienen war in vertikaler Dimension am Ende der Messungen mit gemittelt 1,62 mm für Schiene S0 und 1,74 mm für Schiene S2 kleiner als der mittlere Sprechabstand ohne Schiene von 2,41 mm. Kombiniert mit der anterior-posterioren Komponente ohne Schiene von 0,53 mm, mit Schiene S0 zum Zeitpunkt T60 im Mittel 0,41 mm und mit Schiene S2 hier 0,48 mm ergibt dies, dass bei Tragen der steileren Schiene S2 ein größerer Abstand zur retralen Öffnungsbahn eingehalten wird. Dieser Abstand stellte sich nahezu konstant ein.

Eine artifizielle Versteilung der Frontzahnführung und die daraus resultierende Einengung des interinzisalen Freiraumes verlagert den Sprechabstand zumindest initial nicht dorsal der habituellen Öffnungsbahn. Damit ist die Aktivität der Rekraktoren nicht erhöht, eine dorsale Belastung der Gelenkstrukturen kann ausgeschlossen werden. [Bumann und Lotzmann, 2000]

Die getroffenen Aussagen gelten nur für eine stabile maximale Interkuspitationsposition sowohl mit, als auch ohne Schiene.

Damit muss die Hypothese, dass es bei einer Einschränkung des interinzisalen Freiraums durch artifizielle Versteilung der anterioren Führungsbahn zu einer Veränderung des minimalen Sprechabstandes in dorsaler Richtung kommt, verworfen werden.

5.3 Forschungsausblick

Alle Studien, die darauf abzielen, Unterkieferpositionen und -bewegungen am Patienten zu dokumentieren, stehen vor dem prinzipiellen Problem, dass auch moderne, computergestützte Registriersysteme die neuromuskuläre Steuerung des Unterkiefers beeinflussen. Von allen Systemen weist das in der vorliegenden Studie verwendete K7-System die geringsten Interferenzen auf das neuromuskuläre System auf. Der einzige systembedingte Nachteil besteht darin, dass der Registriermagnet auf die Labialflächen der unteren Frontzähne geklebt werden muss. Dieser Nachteil könnte bei Patienten mit Unterkieferprothesen zum Ersatz der unteren Frontzähne, die an Restzähnen oder Implantaten eindeutig und stabil fixiert, vermieden werden. Bei dieser intraoralen Situation könnte der Magnet passgenau in die künstlichen Frontzähne eingearbeitet werden. So könnte ausgeschlossen werden, dass die Dicke des Magneten die Unterlippe und damit neuromuskuläre Bewegungsmuster beeinflusst. In Rahmen einer solchen Studie könnten außerdem Messungen mit dem Magneten in der Prothesenbasis sowie Messungen mit dem auf der Prothesenbasis und den Labialflächen der unteren Frontzähne befestigten Messmagneten verglichen werden, um so den tatsächlichen Einfluss des Registriermagneten zu verifizieren.

Aus ethischen Gründen wurden in dieser Studie die erforderlichen Veränderungen des interinzisalen Freiraumes mithilfe abnehmbarer Aufbissbehelfe nur reversibel und kurzfristig ausgeführt. In weiterführenden Studien sollte der Effekt und die Langzeitwirkung definitiver Veränderungen des interinzisalen Freiraumes, wie er durch kieferorthopädische, kieferchirurgische und prothetisch-restaurative Maßnahmen erfolgen kann, auf Veränderungen der Unterkieferbewegungen und -positionen untersucht werden.

Aus klinischer Sicht wäre auch von Interesse, inwiefern sich Overbite, Overjet, Frontzahnführungswinkel sowie der interinzisale Freiraum auf die Sprachlautbildung auswirken. Hierfür würde sich eine Kombination instrumentalphonetischer und akustischer Untersuchungen eignen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden auch digitale Sprachaufnahmen unter den hier beschriebenen unterschiedlichen Testbedingungen gemacht. Diese Aufzeichnungen stünden sowohl für eine akustische, subjektive als auch für eine spektralanalytische Auswertung durch Phonetiker zur Verfügung.

6. ZUSAMMENFASSUNG · SUMMARY

Die Gestaltung der Frontzahnführung ist klinisch bedeutsam, da sie unter Anderem den individuellen interinzisalen Freiraum definiert, in dem sich der Unterkiefer ohne Zahnkollisionen frei bewegen kann.

Bei der Prätherapie von Craniomandibulären Dysfunktionen gilt die Äquilibrationsschiene mit Front-Eckzahn-Führung als Goldstandard. Je nach Länge, Krümmung und Steilheit der gewählten anterioren Führung kann der interinzisale Freiraum maßgeblich beeinflusst werden. Allgemein anerkannte Vorgaben hinsichtlich Länge, Neigung und räumlicher Ausformung der anterioren Führungsbahn von Aufbissbehelfen fehlen bislang.

Änderungen der anterioren Führungsbahn und damit des individuellen interinzisalen Freiraums führen zwangsläufig zu einer veränderten kranialen Grenzführung der Mandibula und haben somit einen biomechanischen Effekt. Welchen neuromuskulären Einfluss Veränderungen der Frontzahnrelation auf nicht zahngeführte Unterkieferstellungen und -bewegungen ausüben, ist nicht ausreichend untersucht. Dies gilt insbesondere für die mandibuläre Ruhelage und den geringsten Abstand der Zähne bei der Lautbildung.

Folgende Hypothesen wurden im Rahmen der vorliegenden Studie geprüft:

- Bei einer Einschränkung des interinzisalen Freiraums durch artifizielle Versteilung der anterioren Führungsbahn kommt es zu einer dorsalen Verlagerung der mandibulären Ruhelage.
- Die durch den Aufbissbehelf verursachte Sperrung der okklusalen Vertikaldimension führt bereits mit dem Einsetzen des Aufbissbehelfes zu einer Änderung der mandibulären Ruhelage.
- Bei einer Einschränkung des interinzisalen Freiraums durch artifizielle Versteilung der anterioren Führungsbahn kommt es zu einer Veränderung des minimalen Sprechabstandes in dorsaler Richtung.
- Mit Einsetzen des Aufbissbehelfes kommt es initial zu okklusalen Kontakten bei der Lautbildung.

An der Studie nahmen 13 weibliche und 8 männliche funktionsgesunde Testpersonen mit einem durchschnittlichen Alter von 25 Jahren teil. Weitere Einschlusskriterien waren eine stabile und interferenzfreie Okklusion mit Klasse I Verzahnung mit harmonischem Overbite und Overjet.

Zur Prüfung der Hypothesen wurden für jede der 21 Testpersonen zwei bis auf die Steilheit der anterioren Führungsbahn nahezu identische Aufbissschienen hergestellt, wobei Variante S0 die patientenindividuelle Steilheit der Frontzahnführung enthält, Variante S2 eine um 15° steilere. Als Bestandteile des mandibulären Bewegungsmusters wurden am Unterkiefer die Parameter Ruhelage und deren Adaptation sowie aus phonetischer Sicht die Anpassung des engsten Sprechabstandes während der ersten Stunde Tragezeit der jeweiligen Testschiene untersucht.

Die Bewegungsmuster des Unterkiefers wurden während einer Stunde Tragezeit zu definierten Zeitpunkten (T0-T60, $\Delta t=10$ min) mithilfe der Magnetkinesiographie (K7) bestimmt. Hierfür wurde ein Registriermagnet (Gewicht 2 g, Abmessungen 4 x 5 x 2 mm) an den Labialflächen der unteren Inzisiven ohne okklusale Interferenzen reversibel befestigt. Der Lippenschluss blieb durch diesen Magneten nahezu unbeeinflusst. Die Messungen erfolgten mithilfe eines Sensorbogens, welcher am Kopf der Testperson angelegt wurde.

Mögliche Veränderungen der Unterkieferpositionen mit oder ohne Testschienen wurden in der Sagittal-Vertikal-Ebene dokumentiert und auf Abweichungen in der vertikalen (y-Achse) und sagittalen Achse (x-Achse) in Bezug zur Frankfurter Horizontalen (FH) geprüft.

Die K7-Magnetkinesiographie erlaubt systembedingt die Erfassung nur eines Messpunktes und kann daher nicht die räumliche Position des Unterkieferkörpers in den drei Raumachsen und damit die Bewegung der Kondylen verfolgen. Durch die K7-Aufzeichnung im Bereich des Inzisalpunktes lassen sich Rückschlüsse auf die Verlagerung der Kondylen in den Gelenken in Sagittal- und Vertikalebene ziehen, da diese Punkte durch den Mandibularknochen gekoppelt sind.

Je näher die registrierte Unterkieferlage an der ebenfalls aufgezeichneten retrahierten Öffnungsbahn liegt, desto geringer ist der Translationsanteil in der Kondylenbewegung. Unterkieferpositionen, die posterior der habituellen Öffnungsbahn liegen, lassen auf eine verstärkte Aktivität der Retraktoren schließen. Mit der Hypervalenz der Retraktoren geht eine ungünstige Dorsalkippung des Kraftvektors in den Kiefergelenken einher.

Für die statistische Auswertung wurde eine Power von 80% sowie ein Signifikanzniveau von 5% zugrunde gelegt. Falls die untersuchten Zielgrößen nicht einer Normalverteilung entsprachen, wurde als nichtparametrischer Test der WILCOXON-Test für Paardifferenzen verwendet.

Aufgrund der Datenanalysen muss die Hypothese, dass es bei einer Einschränkung des interinzisalen Freiraums durch artifizielle Versteilung der anterioren Führungsbahn zu einer dorsokaudalen Verlagerung der mandibulären Ruhelage kommt, verworfen werden. Die eingenommene Ruhelage mit Testschiene S0 (patientenindividuelle Steilheit der anterioren Führung) und Testschiene S2 (15° Versteilung der anterioren Führung) befand sich während je einer Stunde Tragezeit in unmittelbarer Nähe der habituellen Öffnungsbahn. Eine verstärkte Aktivität der Retraktoren und daraus resultierende dorsokranial gerichtete Kraftvektoren im Kiefergelenk können somit ausgeschlossen werden.

Für beide Schienenvarianten mit einer vertikalen Anhebung von 4,5 mm stellte sich sofort nach Eingliederung eine mittlere vertikale Ruhelage von 0,81 mm für Testschiene S0 und 1,00 mm für Testschiene S2 ein. Es kam bei keiner Testperson hierbei zu Zahnkontakt.

Damit kann die Hypothese, dass die durch den Aufbissbehelf verursachte Sperrung der okklusalen Vertikaldimension bereits mit dem Einsetzen des Aufbissbehelfes zu einer Änderung der mandibulären Ruhelage führt, angenommen werden.

Die Hypothese, dass es bei einer Einschränkung des interinzisalen Freiraums durch artifizielle Versteilung der anterioren Führungsbahn zu einer Veränderung des minimalen Sprechabstandes in dorsokaudaler Relation kommt, muss abgelehnt werden.

Es kann im Mittel zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Abweichung des mit der jeweiligen Schiene in situ eingenommenen Sprechabstandes von der habituellen Öffnungsbahn festgestellt werden; die durchschnittlichen Positionen für den Sprechabstand befanden sich zu allen Zeitpunkten in der Umgebung der habituellen Öffnungsbahn. Bei Tragen der Schiene S2 wurde durchschnittlich eine minimal weiter anterior liegende Position eingenommen.

Zu keinem Zeitpunkt kam es beim Einnehmen des engsten Sprechabstandes zu Zahnkontakt, auch nicht direkt nach erstmaligem Eingliedern der Schienen.

Damit muss die Hypothese, dass es mit Einsetzen des Aufbissbehelfes initial zu okklusalen Kontakten bei der Lautbildung kommt, verworfen werden.



The design of anterior tooth guidance is of great importance for dental restorations, as it defines the individual interincisal free space, in which the mandibular rest position and the closest speaking space are usually located. In this space, the lower jaw can move freely without tooth collision. All sub-disciplines of dentistry can influence the shaping and limitation of the interincisal space. When bite splints are inserted as part of the pre-therapy of craniomandibular dysfunctions, the equilibration splint with anterior canine guidance is considered the gold standard. Depending on the length, curvature and steepness of the selected anterior guide, the interincisal space can be significantly influenced. Generally accepted guidelines regarding the length, inclination and spatial shape of the anterior guidance of bite splints and the anterior guidance in general are still lacking.

Changes in the anterior guidance path and thus in the individual interincisal space inevitably lead to a changed cranial border guidance of the mandible. This has a biomechanical effect. The neuromuscular influence of changes in the anterior relation on non-tooth-guided mandibular postures and movements has not been sufficiently investigated. This is especially true for the mandibular rest position and the closest speaking space.

The following hypotheses were part of the present study:

- Restriction of the interincisal space by artificially dividing of the anterior guidance results in a dorsocaudal shift of the mandibular rest position.
- Increasing the occlusal vertical dimension caused by the bite splint leads to a initial change in the mandibular rest position after inserting the bite splint.
- Restriction of the interincisal space by artificially dividing of the anterior guidance leads to a dorsocaudal shift of the closest speaking space.
- Occlusal contacts initially occur during phonation after inserting the bite splint.

In this study, 13 female and 8 male subjects with an average age of 25 years were involved. To participate in the study, they had to be fully dentate and have a stable occlusion with class I occlusion. Furthermore, they had to have anterior guidance with posterior tooth disclusion for dynamic occlusion and no disturbance of masticatory muscle and temporomandibular joint function.

To test the hypotheses, two bite splints were fabricated for each of the 21 test subjects, which were almost identical except for the steepness of the anterior guidance path. Variant S0 contains the patient-specific steepness of the anterior guidance, variant S2 a steeper one by 15°. As components of the mandibular movement, the parameters of rest position and its adaptation as well as, from a phonetic point of view, the adaptation of the closest speaking space during the first hour of wearing the test splint were examined on the mandible.

The movements of the lower jaw were determined at defined points in time using the K7 method, which works according to the magnetic kinesiographic principle. For this, only a small magnet (weight 2 g, dimensions 4 x 5 x 2 mm) had to be reversibly attached to the labial surfaces of the lower incisors; the lip closure remains almost unaffected by this magnet. The measurements were taken with the help of a sensor array that was placed on the subject's head.

Changes in the mandibular positions were observed in the sagittal plane and checked for deviations in the vertical (y-axis) and anterior-posterior axis (x-axis).

Due to its system, K7 magnetic kinesiography only allows the recording of one measuring point and therefore cannot track the spatial position of the mandibular body in the three spatial axes and thus the movement of the condyles. However, by recording in the area of the lower incisal point, conclusions can be drawn about the displacement of the condyles in the joints in the sagittal and vertical planes, as these points are coupled by the mandibular bone.

The closer the registered mandibular position is to the retrally forced opening path, the lower the translational component of the mandibula. Mandibular positions posterior to the habitual opening path are associated with increased retractor activity. Their increased recruitment would cause a dorsocranially directed force vector.

A power of 80% and a significance level of 5% were used for the statistical evaluation. If the investigated target variables did not correspond to a normal distribution, the WILCOXON test for pair differences was used as a non-parametric test.

Based on the data analyses, the hypothesis that a dorsocaudal shift of the mandibular rest position occurs when the interincisal space is restricted by artificial steepening of the anterior guidance must be rejected. The assumed resting position with test splint S0 (patient-specific steepness of the anterior guide) and test splint S2 (15° offset of the anterior guide) was in the immediate vicinity of the habitual opening path during one hour of wear. Increased activity of the retractors and resulting dorsocranially directed force vectors in the temporomandibular joint can be excluded.

In the present study, a mean vertical rest position of 0.81 mm for test splint S0 and 1.00 mm for test splint S2 was achieved immediately after insertion for both splint variants with a vertical elevation of 4.5 mm. None of the test subjects had tooth contact.

Thus, the hypothesis that the blocking of the occlusal vertical dimension caused by the bite splint initially by insertion of the bite splint leads to a change of the mandibular rest position can be accepted.

The hypothesis that a change in the minimum speaking distance in dorsocaudal relation is caused by a restriction of the interincisal space due to an artificial division of the anterior guide path must be rejected.

On average, there was no significant deviation from the habitual opening path at any point in time; the average positions for the speaking distance were in the vicinity of the habitual opening path at all points in time. When the S2 splint was worn, a minimally more anterior position was assumed on average.

In the course of this study, no tooth contact was detected at any time when the closest speaking space was adopted, not even initially after the splints were inserted for the first time or at any other time with the splints in situ.

Therefore, the hypothesis that occlusal contacts during phonation occur initially with the insertion of the bite splint must be rejected.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Ash, M.M., Bernhardt, O. (2006): Schienentherapie, Evidenzbasierte Diagnostik und Behandlung bei TMD und CMD. 3. Aufl., Elsevier Urban & Fischer, München.

Bauer, H. (1985): Mundhöhle und Sprache. in: ZWR - Das Deutsche Zahnärzteblatt, 94, S. 214–18.

Benediktsson, E. (1958): Variation in tongue and jaw position in "s" sound production in relation to front teeth occlusion. in: Acta Odontologica Scandinavica, 15, S. 275–303.

Bobe, V. (2018): Med. Diss., Kieferrelationsbestimmung beim zahnlosen Patienten in Deutschland - eine Literaturrecherche.

Broderson, S.P. (1978): Anterior guidance—The key to successful occlusal treatment. in: J Prosthet Dent, 39, 4, S. 396–400.

Bumann, A., Lotzmann, U. (2000): Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien, Stuttgart, Thieme, NewYork.

Burnett, C.A. (2000): Clinical rest and closest speech positions in the determination of occlusal vertical dimension. in: J Oral Rehabil, 27, 8, S. 714–19.

Cheyne, F. (2016): ATM, manducation et ventilation. in: Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale, 117, 4, S. 199–206.

Clémençon, R. (1968): Der engste Sprechabstand. in: Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde, 78, S. 1028.

Colonna, A., Guarda-Nardini, L., Ferrari, M., Manfredini, D. (2021): COVID-19 pandemic and the psyche, bruxism, temporomandibular disorders triangle. in: Cranio, S. 1–6.

Dao, T.T., Lavigne, G.J., Charbonneau, A., Feine, J.S., Lund, J.P. (1994): The efficacy of oral splints in the treatment of myofascial pain of the jaw muscles: a controlled clinical trial. in: Pain, 56, 1, S. 85–94.

Engelke, W., Schönle, P.W., Schwarzwäller, W., Zink, U. (1991): Untersuchungen zur Motorik der Zungenspitze bei der Bildung dentoalveolärer Konsonanten. in: Folia Phoniatr Logop, 43, 3, S. 105–14.

Eschler, J. (1965): Zur Physiologie und Pathologie der Ruhelage des Unterkiefers. in: Fortschr. Kieferorthop., 26, 1, S. 31–42.

- Essen, O. von (1979): Allgemeine und angewandte Phonetik. 5. Aufl., Akademie-Verlag, Berlin.
- Etzbach, S. (2002): Der Einfluss der Frontzahnstellung von Totalprothesen auf die Lautbildung von Frikativen, Marburg.
- Foerster, H. (1978): Der engste Sprechabstand - ein Faktor bei der Kieferrelationsbestimmung. in: ZWR - Das Deutsche Zahnärzteblatt, 87, 19, S. 900–07.
- Gattozzi, J. (1976): Variations in mandibular rest positions with and without dentures in place. in: J Prosthet Dent, 36, S. 159–63.
- George, J.P. (1983): Using the Kinesiograph to measure mandibular movements during speech: A pilot study. in: J Prosthet Dent, 49, 2, S. 263–70.
- Gross, M. (2015): The Science and Art of Occlusion and Oral Rehabilitation, New Malden, Surrey.
- Gutzmann, H. (1895): Über Untersuchung und Behandlung der durch Gaumen- oder Zahndefekte entstehenden Sprachstörungen (mechanische Dyslalien). in: Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift, 14.
- Habermann, G. (Hrsg.) (2003): Stimme und Sprache, Thieme, Stuttgart.
- Helsing, G. (1984): Functional adaptation to changes in vertical dimension. in: J Prosthet Dent, 52, 6, S. 867–70.
- Hiltebrandt, C. (1950): Die Arbeitsphysiologie des menschlichen Kauorganes, Werk-Verlag, Bad Wörishofen.
- Hohn, W. (1925): Experimentelle Untersuchungen zur Klärung der Lautbildung bei künstlicher Deformation des Gebisses der Naturvölker. in: Vox, 27.
- Hunt, N.P., Cunningham, S.J. (1998): The use of kinesiography to assess mandibular rest positions following corrective orthognathic surgery. in: Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 26, 3, S. 179–84.
- Ingervall, B., Hähner, R., Kessi, S. (1991): Pattern of tooth contacts in eccentric mandibular positions in young adults. in: J Prosthet Dent, 66, 2, S. 169–76.
- Jones, D. (2002): The Pronunciation of English. 21. Aufl., Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Keller, K. (1971): Instrumental Articulatory Phonetics, An Intruduction to techniques and results.

Kobes, L. (1957): Med. Diss., Betrachtungen und experimentelle Untersuchungen zum Problem der phonetischen Adaptation von totalem und partiellem Zahnersatz sowie Angabe der Konstruktion eines die Bildung der Sprachlaute unterstützenden Zahnersatzes im Oberkieferbereich.

Kreiner, M., Betancor, E., Clark, G.T. (2001): Occlusal stabilization appliances. Evidence of their efficacy. in: J Am Dent Assoc, 132, 6, S. 770–77.

Kubein, D., Jäger, A., Paschereit, F. (1984): Untersuchungen zum individuellen Interinzisalwinkel und individuellen Wurzeltorque oberer und unterer Frontzähne. in: Fortschr. Kieferorthop., 45, 3, S. 187–97.

Kubein-Meesenburg, D., Naegerl, H., Meyer, G., Buecking, W. (1988): Individual reconstruction of palatal concavities. in: J Prosthet Dent, 60, 6, S. 662–72.

Künzel, H.J. http://www.physikalischer-verein.de/pv/aus_naturwissenschaft_und_technik_SS04.htm., zuletzt aufgerufen am 15.07.22

Ladefoged, P. (1998): Elements of acoustic phonetics. 2. Aufl., Univ. of Chicago Press, Chicago.

Lee, R. (1982): Anterior guidance.
https://panadent.com/1ADVANCES_IN_OCCLUSION.pdf., zuletzt aufgerufen am 14.08.22

Lehmann, K.M., Hellwig, E., Wenz, H.-J. (2015): Zahnärztliche Propädeutik, Einführung in die Zahnheilkunde : mit 304 Abbildungen in 401 Einzeldarstellungen. 13. Aufl., DZV, Köln.

Lettmayer, O. (1937): Die Abnormität in der Zahnstellung und ihre Bedeutung für das richtige S. in: Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 11.

Lieb, G. (1962): Gebissform und Sprachanomalien. in: Fortschritte der Kieferorthopädie, 23, S. 203–12.

Lippert, H. (2002): Lehrbuch Anatomie, 184 Tabellen. 5. Aufl., Urban & Fischer, München.

Lotzmann, U. (1983): Okklusionsschienen und andere Aufbissbehelfe, Grundlagen zu Theorie und Praxis, Verlag Neuer Merkur, München.

Lotzmann, U. (1987): Parraokklusale Achsiographie mit dem Scharnierachsen-Schreibsystem nach Meyer/dal Ri im Rahmen einer funktionsanalytischen Studie, Med Diss Göttingen.

- Lotzmann, U. (1998): Die Prinzipien der Okklusion, Eine Einführung in das okklusionsgerechte Arbeiten. 5. Aufl., Verlag Neuer Merkur München.
- Manfredini, D., Ahlberg, J., Winocur, E., Lobbezoo, F. (2015): Management of sleep bruxism in adults: a qualitative systematic literature review. in: *J Oral Rehabil*, 42, 11, S. 862–74.
- Mays, K.A., Stone, M. (2011): Characterization of mandibular movement during speech in the presence of oral articulatory perturbation. in: *Arch Oral Biol*, 56, 5, S. 474–82.
- Michelotti, A., Farella, M., Vollaro, S., Martina, R. (1997): Mandibular rest position and electrical activity of the masticatory muscles. in: *J Prosthet Dent*, 78, 1, S. 48–53.
- Müller, R., Runte, C. (2010): Stimme und Sprache aus phoniatischer und zahnärztlicher Sicht. in: *Zahnmedizin up2date*, 4, 02, S. 191–209.
- Nielsen, I.L., Marcel, T., Chun, D., Miller, A.J. (1990): Patterns of mandibular movements in subjects with craniomandibular disorders. in: *J Prosthet Dent*, 63, 2, S. 202–17.
- Ommerborn, M.A., Kollmann, C., Handschel, J., Deprich, R.A., Lang, H., Raab, W.H.-M. (2010): A survey on German dentists regarding the management of craniomandibular disorders. in: *Clin Oral Investig*, 14, 2, S. 137–44.
- Ott, R. (1991): Interokklusalabstand und Bisslageänderung beim Bezahnten und Zahnlosen. in: *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 46.
- Posselt, U. (1969): *Physiology of Occlusion and Rehabilitation*. 2. Aufl., Oxford, London. Edinburgh, Melbourne.
- Posselt, U. (1973): *Physiology of occlusion and rehabilitation*, Blackwell Scientific, Oxford.
- Ramfjord, S.P., Ash, M. (1968): *Physiologie und Therapie der Okklusion*, Die Quintessenz, Berlin.
- Raphael, K.G., Marbach, J.J. (2001): Widespread pain and the effectiveness of oral splints in myofascial face pain. in: *J Am Dent Assoc*, 132, 3, S. 305–16.
- Reichenbach, E. (1963): Neuere Beobachtungen und Untersuchungen über orale organische Sigmatismen in Zusammenhang mit Zahnstellungs- und Kieferanomalien. in: *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 24, S. 1–11.

- Rizzatti, A., Ceruti, P., Mussano, F., Erovigni, F., Preti, G. (2007): A new clinical method for evaluating the closest speaking space in dentulous and edentulous subjects: a pilot study. in: *Int J Prosthodont*, 20, 3, S. 259–62.
- Rodrigues Garcia, R.C.M., Oliveira, V.M.B., Del Bel Cury, A.A. (2003): Effect of new dentures on interocclusal distance during speech. in: *Int J Prosthodont*, 16, 5, S. 533–37.
- Rousselot, P.-J. (o.J.): *Principes de phonetique experimentale*, Berlin/Paris.
- Rugh, J.D., Graham, G.S., Smith, J.C., Ohrbach, R.K. (1989): Effects of canine versus molar occlusal splint guidance on nocturnal bruxism and craniomandibular symptomatology. in: *J Craniomandib Disord*, 3, 4, S. 203–10.
- Schäffler, A., Schmidt, S., Amberg, S.C. (Hrsg.) (2001): *Biologie, Anatomie, Physiologie, Kompaktes Lehrbuch für die Pflegeberufe*. 4. Aufl., Gustav Fischer, München.
- Scheele, R. (2015): Digitale Funktionsregistrierung des Unterkiefers mit dem K7-System. in: *Quintessenz der Zahntechnik*, 41(11), S. 1410–20.
- Schiebler, T.H. (1977): *Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen, Cytologie Histologie Entwicklungsgeschichte Makroskopische und Mikroskopische Anatomie*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Schindler, H.J., Türp, J.C., Nilges, P., Hugger, A. (2013): Therapie bei Schmerzen der Kaumuskulatur: Aktualisierung der Empfehlungen. in: *Schmerz*, 27, 3, S. 243–52.
- Schmidseder, J., Motsch, A. (Hrsg.) (1982): *Registrierung der Unterkieferbewegung*, Quintessenz, Berlin.
- Seifert, E., Runte, C., Lamprecht-Dinnesen, A. (1997): Dentistry and speech production. Correlations between the morphology of the articulation zone and acoustics exemplified in /s/ articulation. in: *J Orofac Orthop*, 58, 4, S. 224–31.
- Silbernagl, S., Klink, R., Bauer, C. (Hrsg.) (1996): *Lehrbuch der Physiologie*, 52 Tabellen. 2. Aufl., Thieme, Stuttgart.
- Slavicek, R. (1982): Prinzipien der Okklusion. in: *Informationen aus Orthopädie und Kieferorthopädie*, 4, 3.
- Slavicek, R. (1988): Hauptvortrag I. in: *Fleischer, K., Wigand, M.E.: Teil II: Sitzungsbericht*, Berlin, Heidelberg, S. 10–17.

Solaberrieta, E., Barrenetxea, L., Minguez, R., Iturrate, M., Prado, I. de (2018): Registration of mandibular movement for dental diagnosis, planning and treatment. in: *Int J Interact Des Manuf*, 12, 3, S. 1027–38.

Soneda, K. (1989): Effect of lingual surface inclination of maxillary canine on jaw muscle activity. in: *Kokubyo Gakkai Zasshi*, 56, 1, S. 162–81.

Souza, R.F. de, Marra, J., Pero, A.C., Compagnoni, M.A. (2007): Effect of denture fabrication and wear on closest speaking space and interocclusal distance during deglutition. in: *J Prosthet Dent*, 97, 6, S. 381–88.

Stoller, C. (1969): Reihenuntersuchungen über den engsten Sprechabstand an 2000 Probanden. in: *Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde*, 79, S. 735–51.

Subtelny, J.D. (1972): Cineradiographic study of sibilants. in: *Folia Phoniatr Logop*, 24.

Suter, T. (1951): *Frontzähne und S-Lautbildung*, Zürich.

Sütterlin, L. (1925): *Die Lehre von der Lautbildung*. 3. Aufl., Quelle&Meyer, Leipzig.

Thüer, U., Ingervall, B., Bürgin, W. (1989): Does the mandible alter its functional position during activator treatment? in: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 96, 6, S. 477–84.

Tomita, Y., Suzuki, Y., Tanaka, Y., Hasegawa, Y., Yoshihara, Y., Okura, K., Matsuka, Y. (2021): Effects of sitting posture and jaw clenching on neck and trunk muscle activities during typing. in: *J Oral Rehabil*, 48, 5, S. 568–74.

Wängler, H.H. (1974): *Grundriss einer Phonetik des Deutschen*, Marburg.

Weber, D. (2012): Zum Einfluss des Verlustes von Seitenzähnen auf die Sprachlautbildung – Eine klinische Simulation. in: *Dtsch med Wochenschr*, 137, S 03.

Wild, W. (1950): *Funktionelle Prothetik*, Benno & Schwabe Co., Basel.

Wirth, G., Ptok, M., Schönweiler, R. (2000): *Sprachstörungen, Sprechstörungen, kindliche Hörstörungen*, Lehrbuch für Ärzte, Logopäden und Sprachheilpädagogen. 5. Aufl., Köln.

Wisser, F. (2002): *Der Einfluss der Seitenzahnstellung in der Totalprothetik auf die Sprachlautbildung*, Marburg.

Žinkin, N. (1968): *Mechanisms of speech*, The Hague, Paris.

8. ANHANG

Hinweis: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde in der Dissertationsarbeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für alle Geschlechter.

8.1 CRF

CRF

für die Studie:

Zum initialen Einfluss des anterioren Führungswinkels von Oberkiefer-Äquilibrierungsschienen auf die mandibuläre Ruhelage und den minimalen inzisalen Sprechabstand

Patientencode: _____ Alter [a]: _____ Geschlecht: _____

Knirschiene vorhanden	Nein ()	Ja ()
Retentionsgeräte nach KFO-Behandlung	Nein ()	Ja ()
Dyslalien	Nein ()	Ja ()
Dialekt/Akzent	Nein ()	Ja ()
Analphabetismus	Nein ()	Ja ()
Eingeschränktes Hör- und Sehvermögen	Nein ()	Ja ()
CMD-Vorbehandlung	Nein ()	Ja ()
Kompensierte CMD	Nein ()	Ja ()
Schmerzen im Areal Kiefergelenk	Nein ()	Ja ()
Schmerzen im Areal Kaumuskulatur	Nein ()	Ja ()
Schmerzdauer [min/h]		
Schmerzhäufigkeit [permanent, täglich, wöchentlich, nur einmal, provozierbar]		
Stresslevel [0-10]		
Schmerzzeitpunkt [variierend, tags, nachts, abnehmend, zunehmend]		
Diskopathien:	Nein ()	Ja (), _____
Arthropathien:	Nein ()	Ja (), _____
Myopathien:	Nein ()	Ja (), _____
Vollbezahnung	Nein ()	Ja ()
Angle-Klasse		
Overbite [mm]		
Overjet [mm]		
Maximale Mundöffnung [mm]		

Deviation	Nein ()	Ja ():	
Deflexion	Nein ()	Ja ():	
Eckzahnführung RE [°]	Initial()	Verzögert ()	
Eckzahnführung LI [°]	Initial()	Verzögert ()	
Frontzahnführung [°]	Initial()	Verzögert ()	
Initiale Gelenkbahnneigung RE [°]			
Initiale Gelenkbahnneigung LI [°]			
Ruhelage ohne Testschiene [mm]	Sitzung 1: /	Sitzung 2: /	
Minimalster Sprechabstand beim s-Laut ohne Testschiene [mm]	Sitzung 1: /	Sitzung 2: /	
Beginn mit Schienenvariante			
Ruhelage Schiene S0 [kaudale / posteriore Abweichung in mm, T in min]	T 0: /	T 10: /	T 20: /
	T 30: /	T 40: /	T 50: /
	T 60: /		
Ruhelage Schiene S2 [kaudale / posteriore Abweichung in mm, T in min]	T 0: /	T 10: /	T 20: /
	T 30: /	T 40: /	T 50: /
	T 60: /		
MSA beim s-Laut Schiene S0 [kaudale / posteriore Abweichung in mm, T in min]	T 0: /	T 10: /	T 20: /
	T 30: /	T 40: /	T 50: /
	T 60: /		
MSA beim s-Laut Schiene S2 [kaudale / posteriore Abweichung in mm, T in min]	T 0: /	T 10: /	T 20: /
	T 30: /	T 40: /	T 50: /
	T 60: /		

8.2 Patienteninformation

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg

Abteilung für Orofaziale Prothetik und Funktionslehre

Direktor: Prof. Dr. med. dent. Ulrich Lotzmann

Georg-Voigt-Straße 3

35039 Marburg

06421-58-6 32 16

lotzmann@med.uni-marburg.de



Patienteninformation

zur Teilnahme an der Studie:

„Zum initialen Einfluss des anterioren Führungswinkels von Oberkiefer-Äquilibrationsschienen auf die mandibuläre Ruhelage und den minimalen inzisalen Sprechabstand“

Betreuer: Prof. Dr. med. dent. Ulrich Lotzmann, Dr. med. dent. Daniel Weber

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg, Abteilung für Orofaziale Prothetik und Funktionslehre

06421-58-6 32 16

lotzmann@med.uni-marburg.de

Doktorand: Flavio Krug

Sehr geehrte Frau, sehr geehrter Herr,

wir bitten Sie um Teilnahme an der oben genannten Studie, mit welcher der Einfluss von zwei verschiedenen gestalteten Aufbisssschienen, wie sie typischerweise zur Behandlung von Zähneknirschen und anderen Kaufunktionsstörungen eingesetzt werden, auf Bewegungen und Positionen des Unterkiefers beim Sprechen untersucht werden soll.

Die Ergebnisse der Studie könnten helfen, die therapeutische Funktion sowie den Tragekomfort für Patienten zu verbessern.

Ablauf und projektbedingte Handlungen:

Die Teilnahme an dieser Studie erstreckt sich über insgesamt fünf Sitzungen, welche jeweils zwei Wochen auseinanderliegen. Die Dauer der einzelnen Sitzungen beträgt genähert für Sitzung 1 30 min, für Sitzung 2 60 min, für Sitzung 3 30 min und für die Sitzungen 4 und 5 jeweils 70 min.

Alle mit der Studie verbundenen Handlungen an ihrem Gebiss sind schmerzfrei sowie vollkommen reversibel und entsprechen konventionellen zahnmedizinischen und zahntechnischen Verfahren unter Nutzung ausschließlich bewährter Geräte und Materialien.

Für die Anfertigung der Testschienen werden in der ersten Sitzung Alginatabformungen Ihrer Zahnreihen genommen. Zusätzlich wird Ihnen für wenige Minuten ein sogenannter Gesichtsbogen brillenartig aufgesetzt, um die anatomische Lage Ihrer Zahnreihen zu Ihren Kiefergelenken zu bestimmen.

In Sitzung 2 werden die beiden Testschienen in Ihrem Mund auf ihren genauen und spannungsfreien Sitz hin überprüft.

In den Sitzungen 3 und 4 werden die Testschienen für jeweils 60 min getragen.

Die eigentlichen Messungen für die Erfassung der Positionen und Bewegungen des Unterkiefers erfolgen in den Sitzungen 1, 3 und 4 mit dem sogenannten K7-Registriersystem. Hierzu wird Ihnen ein 180 g wiegendes Sensorgestell brillenartig auf die Nase gesetzt (vgl. untenstehende Abb.). Mittels eines speziellen, gesundheitlich unbedenklichen, Klebestreifen, wie er in der Zahnmedizin als Zahnfleischverband genutzt wird, wird ein kleiner, lediglich 2g leichter Magnet an den Vorderflächen der unteren Frontzähne für die Dauer der Messungen angebracht. Nach Abschluss der Messungen werden Magnet und Klebestreifen leicht und rückstandlos entfernt.



Angelegter K7-Registrierbogen (mit freundlicher Genehmigung der Fa. Sinfomed)

Ein Testdurchlauf wird abgebrochen, wenn Sie sich psychisch oder physisch nicht in der Lage fühlen, den Durchlauf zu absolvieren oder abzuschließen, es entstehen hierdurch keinerlei Nachteile.

Ein weiteres Abbruchkriterium wäre ein technischer Defekt an einem der Registriersysteme, welcher zu keiner oder zu einer falschen Datenerfassung führt oder führen könnte.

Unabhängig davon können Sie jederzeit ohne Nennung von Gründen die Teilnahme an dieser Studie beenden, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile entstehen.

Die Speicherung, Auswertung und Publikation von Messdaten erfolgt pseudonymisiert.

Dies bedeutet, dass bei der Speicherung und Verwertung der Messdaten keine persönlichen Angaben wie Ihr Name oder Geburtsdatum verwendet werden, sondern nur ein Ihnen zugeordneter Nummern- und/oder Buchstabencode. Nur der Studienleiter könnte über eine separat und sicher aufbewahrte Schlüsselliste, den Code Ihnen zuordnen. Diese Schlüsselliste wird sofort nach Beendigung der Studie vernichtet.

8.3 Einwilligungserklärung

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Marburg

Abteilung für Orofaziale Prothetik und Funktionslehre

Direktor: Prof. Dr. med. dent. Ulrich Lotzmann

Georg-Voigt-Straße 3

35039 Marburg

06421-58-6 32 16

lotzmann@med.uni-marburg.de



Einwilligungserklärung

zur Teilnahme an der Studie:

„Zum initialen Einfluss des anterioren Führungswinkels von Oberkiefer-Äquilibrationsschienen auf die mandibuläre Ruhelage und den minimalen inzisalen Sprechabstand“

Ich, (Name des Patienten/Probanden in Blockschrift)

.....

bin über Wesen, Bedeutung und Tragweite der o.g. Studie aufgeklärt worden und habe die Patienteninformation/-aufklärung gelesen und verstanden.

Alle Fragen zu dieser vorgesehenen Studie wurden zu meiner Zufriedenheit beantwortet.

Ich hatte genügend Zeit für meine Entscheidung und bin bereit, an der o.g. Studie teilzunehmen.

Ich bin mit der im Rahmen der Studie erfolgenden Aufzeichnung von personenbezogenen Daten und ihrer Weitergabe entsprechend den datenschutzrechtlichen Ausführungen in der Patienteninformation einverstanden.

Ich weiß, dass ich jederzeit und ohne Angaben von Gründen meine Einwilligung zur Teilnahme an dieser Studie widerrufen kann, ohne dass mir daraus Nachteile erwachsen.

Eine Ausfertigung des Aufklärungs-/Informationsblatts und der Einwilligungserklärung habe ich erhalten.

Datum und Unterschrift des Patienten/Probanden

Ort, **Datum**, Stempel und Ort, **Unterschrift des aufklärenden Zahnmediziners**

8.4 Anamnesebogen

Klinikum der Philipps-Universität
Medizinisches Zentrum für ZMK-Heilkunde
Abteilung für Orofaziale Prothetik und Funktionslehre

Patient : _____ geb.: _____

Anschrift : _____

Pat. Nr.: _____ überwiesen von: _____

wegen : _____

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

viele Krankheiten oder die Einnahme von Medikamenten beeinflussen die zahnärztliche Behandlung. Füllen Sie daher bitte den Fragebogen gewissenhaft aus. Alle Angaben unterliegen der ärztlichen Schweigepflicht. Danke.

Sind Sie in ärztlicher Behandlung? Weshalb? _____ **Ja** **Nein** **Nehmen Sie Medikamente? Welche?** _____ **Ja** **Nein**

Leiden oder littten sie an folgenden Erkrankungen?

Herz:

Herzerkrankungen (Angina pectoris, Infarkt, o.ä.)

Hoher Blutdruck

Niedriger Blutdruck

Haben Sie einen Herzschrittmacher?

Sonstiges

Bluterkrankungen:

Blutungsneigung

Blutarmut

Gerinnungshemmende Medikamente

Thromboseerkrankung

Allergien (Überempfindlichkeit):

Haben Sie einen Allergiepass

Penicillin

Medikamente, Betäubungsspritzen

Zahnärztliche Materialien

Sonstiges

Infektionskrankheiten:

Tuberkulose

Hepatitis (Gelbsucht)

Geschlechtskrankheiten

HIV

Sonstiges

Notizen:

Nehmen Sie Beruhigungsmittel?

Nehmen Sie Schmerzmittel?

Erkrankungen der Atemorgane

Asthma

Zuckerkrankheit (Diabetes)

Magen-/Darmerkrankung

Epileptische Anfälle

Nervenerkrankungen

Schlaganfall

Schilddrüsenerkrankung

Nierenerkrankung

Rheuma

Migräne

Häufige Kopfschmerzen

Andere Erkrankungen

Welche? _____

Unfall oder Operation im Kopfbereich?

Wann? _____

Röntgenaufnahmen im Kopfbereich?

Besteht eine Schwangerschaft?

Rauchen Sie?

Wenn ja, wie viele Zigaretten pro Tag _____

Marburg, den _____

Unterschrift des Patienten oder des Erziehungsberechtigten

Bei Unklarheiten bitte unbedingt den Arzt fragen.

8.5 Danksagung

Ich bedanke mich bei Allen, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Ulrich Lotzmann für die ausgezeichnete Betreuung der gesamten Arbeit.

Außerdem möchte ich Allen meinen Dank aussprechen, die mich im Rahmen meines Studiums und auf meinem Weg mit Rat und lieben Worten zur Seite gestanden haben.

8.6 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren Damen und Herren:

Althaus, Arweiler, Auschill, Baranowski, Bertoune, Bette, Brandt, Bremmer, Cetin, Draenert, Frankenberger, Feuser, Gente, Gloerfeld, Hildebrandt, Höffken, Huster, Jablonski-Momeni, Kinscherf, Korbmacher-Steiner, Lill, Lotzmann, Mengel, Milani, Mittag, Moll, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Ramaswamy, Roggendorf, Schütz, Steiniger, Wilhelm, Weber, Weihe, Westermann, Wrocklage, Ziebart