

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie  
(Prof. Dr. med.dent. P. Meyer-Marcotty)  
im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Zum Zusammenhang von Malokklusion und  
intraoraler Kompartimentbildung  
in Ruhelage**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades  
für Zahnheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der  
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

**Carolin Nüser**

aus

Itzehoe

Göttingen 2018

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer  
Referent: Prof. Dr. med. dent. M. Knösel  
Ko-Referent: Prof. Dr. med. A. Olthoff  
Drittreferent: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. H. Schliephake

Datum der mündlichen Prüfung: 25.09.2019

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung und Literaturübersicht .....</b>	<b>1</b>
1.1 Diskutierte Ursachen von Malokklusionen des humanen Gebisses .....	2
1.2 Die Klassifizierung von Malokklusionen.....	4
1.2.1 Sagittale Abweichungen.....	4
1.2.2 Vertikale craniofaziale Abweichungen .....	8
1.2.3 Offener Biss .....	8
1.3 Genese von Malokklusionen: Bedeutung der Weichteilumgebung.....	10
1.4 Das biofunktionelle Modell nach Engelke .....	13
1.4.1 Biomechanische Bedingungen der Mundhaltung .....	14
<b>2. Ziele der Arbeit .....</b>	<b>19</b>
<b>3. Probanden und Methode .....</b>	<b>20</b>
3.1 Probanden .....	20
3.2 Differenzdruckbestimmung .....	23
3.3 Studienablauf .....	27
3.3.1 Genehmigung .....	27
3.3.2 Prüfort .....	27
3.3.3 Ablauf der Differenzdruckmessung.....	27
3.3.4 Statistische Methodik.....	30
3.3.5 Definition der untersuchten Parameter .....	31
3.3.6 Messfehleranalyse.....	31
<b>4. Ergebnisse.....</b>	<b>32</b>
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>42</b>
5.1 Ziel der Arbeit und Nullhypothese .....	42
5.2 Interpretation der Messwerte der einzelnen Parameter .....	43
5.3 Limitationen .....	47
5.3.1 Vergleichbarkeit des durchschnittlichen Alters der Untersuchungsgruppen.....	47
5.3.2 Robustheit des Messverfahrens .....	48
5.4 Klinische Aspekte und Schlussfolgerungen.....	48
<b>6. Zusammenfassung .....</b>	<b>50</b>

7.	Literaturverzeichnis .....	52
8.	Abkürzungsverzeichnis .....	57
9.	Abbildungsverzeichnis .....	58
10.	Tabellenverzeichnis .....	59
11.	Anhang .....	60

## 1. Einleitung und Literaturübersicht

Als Malokklusionen werden unterschiedliche Abweichungen von einer als Norm festgelegten, ‚idealen‘ Anordnung der Zähne und Kiefer subsumiert. Diese Abweichungen können grundsätzlich alle 3 Raumebenen betreffen, die je nach Art und Ausprägung unterschiedliche Folgen für die Mundgesundheit des betroffenen Individuums haben können. Hierzu zählen ein erhöhtes Risiko für Karies und Parodontopathien (Hafez et al. 2012), craniomandibuläre Dysfunktionen (CMD; Seligman und Pullinger 1991, Pullinger et al. 1993), ein erhöhtes Risiko für Zahntraumata (Staufer und Landmesser 2004) oder auch eine als vermindert empfundene mundbezogene Lebensqualität (health-related quality of life, hrQoL; Moreno Uribe und Miller 2015).

Das Entstehen von Malokklusionen wird als multifaktorielles Zusammenspiel und Überlagern hereditär bedingter Ursachen und erworbener Faktoren angesehen. Zu letzteren gehören vor allem die die Zahnreihen umgebenden Weichgewebe, wie die Zungen- und Wangenmuskulatur, deren Ruhetonus, Dynamik sowie die habituelle Mundhaltung (Mew 2004, Proffit 1978). Eine dauerhaft offene Mundhaltung kann auf Basis einer behinderten Nasenatmung erfolgen, kann jedoch auch rein habituell bedingt sein (Angle 1900). Typischerweise verändert sich durch eine offene Mundhaltung das Schluckmuster (Melsen et al. 1979, Mew 2004), was wiederum das Entstehen frontoffener Bisse und ausgeprägter Unterkieferrücklagen fördert (Melsen et al. 1987). In ähnlicher Weise kann ein Daumnuckeln zu einer Entstehung von abweichenden Schluckmustern und frontoffenen Malokklusionen beitragen (Melsen et al. 1987). Die Komplexität der Überlagerung genetischer und habitueller Faktoren und die Schwierigkeit des Differenzierens der Rolle der einzelnen Faktoren erklärt, warum kieferorthopädische Maßnahmen auch heute noch überwiegend auf die Behandlung der Symptome, also der

Zahnfehlstellungen (und weniger auf die Korrektur der Ursachen, wie z. B. einer abweichenden Zungendynamik) abstellen (Moreno Uribe und Miller 2015).

In der vorliegenden Arbeit wird der Faktor der Dynamik der intraoralen Weichgewebe anhand des Musters der aus der Funktion resultierenden intraoralen Kompartimentbildung der Weichgewebe isoliert betrachtet, um den Einfluss auf das Entstehen unterschiedlicher typischer Malokklusionen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit neutraler Okklusion bewerten zu können.

## **1.1 Diskutierte Ursachen von Malokklusionen des humanen Gebisses**

Malokklusionen entstehen durch ein Zusammenspiel unterschiedlicher Faktoren und können genetischer Herkunft und/oder durch äußere Einflüsse erworben sein (Proffit 1978, Angle 1932). Eine wichtige Rolle spielt hier der Tonus bzw. der Weichteildruck der Zahn-umgebenden Strukturen (Lippen, Zunge und Wangenmuskulatur), die habituelle Mundhaltung (offen oder geschlossen), aber auch sog. Habits wie z. B. ein anhaltendes Daumenlutschen oder habituelles Lippeneinsaugen sowie reduzierte Ausprägung der Kaumuskulatur und verringerte Abrasion durch prozessierte Nahrung.

Der Einfluss genetischer Faktoren auf Malokklusionen wird mit über 60 % beziffert (Moreno Uribe und Miller 2015). Zu den genetisch bedingten Ursachen zählen die Größe und Form der Zähne sowie des Kieferknochens, woraus Zahnengstände oder Lückenbildung resultieren können. Zum anderen gehören überzählig und unterzählig angelegte Zähne, Zahndisformierung, Zahn- und Kieferentwicklungsstörungen, Zahndurchbruchsstörungen und im extremen Fall auch Syndrome (wie zum Beispiel: Apert-Syndrom, Down-Syndrom, Franceschetti-Syndrom oder Christ-Siemens-Touraine-Syndrom) und Geburtsfehler zu den genetisch bedingten Ursachen.

Habits sind erworbene „Fehlfunktionen der stomatognathen Muskulatur, der ein unwillkürlich ablaufendes Reflexmuster zu Grunde liegt“ (Kahl-Nieke 2001). Dazu gehört neben Daumnuckeln, Lippensaugen, Lippenbeißen und Zungenstossen auch eine habituell offene Mundhaltung. Persistierende Milchzähne oder zu früh verloren gegangene Milchzähne, dadurch entstandene Lücken und durch Aufwanderung posteriorer Zähne eingebrochene Stützzonen können ebenso Zahnfehlstellungen verursachen (Angle 1932).

Das Wachstum und die Entwicklung der Kiefer- und Gesichtsstruktur sind mit der oralen Muskulatur eng verbunden. Jedes Problem im Wachstum oder in der Entwicklung des Mundkomplexes kann Malokklusionen verschiedener Arten und Schweregrade zur Folge haben. Orale Funktionen wie Schlucken, Kauen und Atmen könnten durch äußere oder innere Faktoren beeinflusst werden (Alwarawreh et al. 2014).

In dem Zusammenhang spielt auch der Einfluss der Weichteile wie der Muskeltonus und die Mundhaltung eine entscheidende Rolle bei erworbenen Malokklusionen.

Die evolutionsbedingte Nahrungsumstellung zu den heutigen weichen und industriell hergestellten Lebensmitteln hat ebenso zu einer Häufung von Malokklusionen beigetragen. Schädeluntersuchungen ergaben, dass es vor Jahrhunderten offenbar weniger Zahnfehlstellungen gab (Mew 2004). Ein Zusammenhang wird hierbei unter anderem zu einer durch weiche und vor-prozessierte Nahrung verminderten kaumuskulären Aktivität gesehen.

## 1.2 Die Klassifizierung von Malokklusionen

### 1.2.1 Sagittale Abweichungen

Edward Hartley Angle publizierte 1899 erstmals eine Klassifikation von Malokklusionen, indem er richtungsverschiedene sagittale Bissanomalien in Klassen einteilte und so Dysgnathien erstmals systematisch erfassen konnte (Angle 1899). Ausgangspunkt seiner Klassifizierung war die sagittale Relation des Oberkiefers zum Unterkiefer, als Referenz nutzte er die Position der Sechsjahrmolaren. Diese Klassifizierung basiert auf einem dentoalveolären Erscheinungsbild, ohne jedoch diagnostische Aussagen über eine skelettale Komponente zu treffen.

Die Angle-Klasse I ist gleichzusetzen mit der Normverzahnung und bedeutet, dass der mesiobukkale Höcker des Oberkiefer-Sechsjahrmolaren in die mittlere Fissur des Unterkiefer-Sechsjahrmolaren greift.

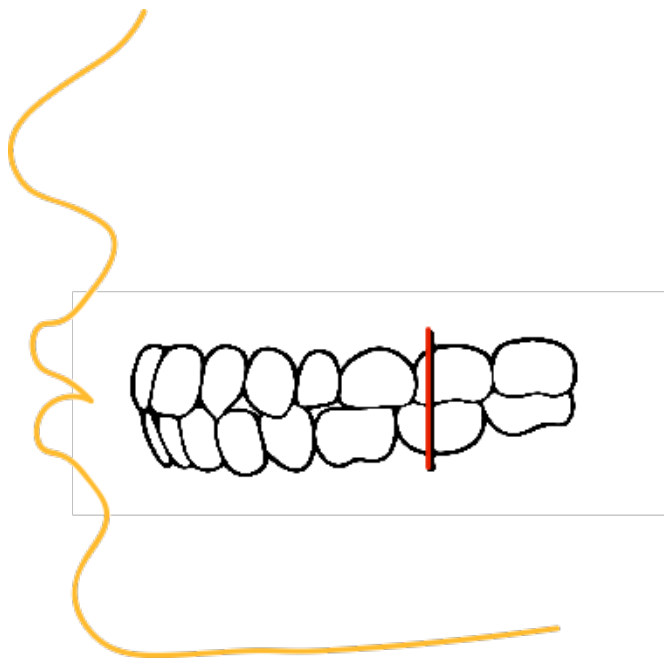


Abbildung 1: Angle-Klasse I



Bei der Angle-Klasse II greift der Oberkiefer-Sechsjahrmolar vor die zentrale Fossa des Unterkiefer-Sechsjahrmolaren, der Unterkieferzahnbogen ist also relativ zum Oberkieferzahnbogen distal positioniert, was den Begriff der Distalverzahnung geprägt hat.

Je nach Schneidezahnstellung werden bei Angle-Klasse II zwei weitere Untergruppen unterschieden, Klasse II/1 bei proklinierten oberen Schneidezähnen (bei vergrößerter sagittaler Frontzahnstufe) und Klasse II/2 bei reklinierten oberen Schneidezähnen im Zusammenhang mit einem Tiefbiss.

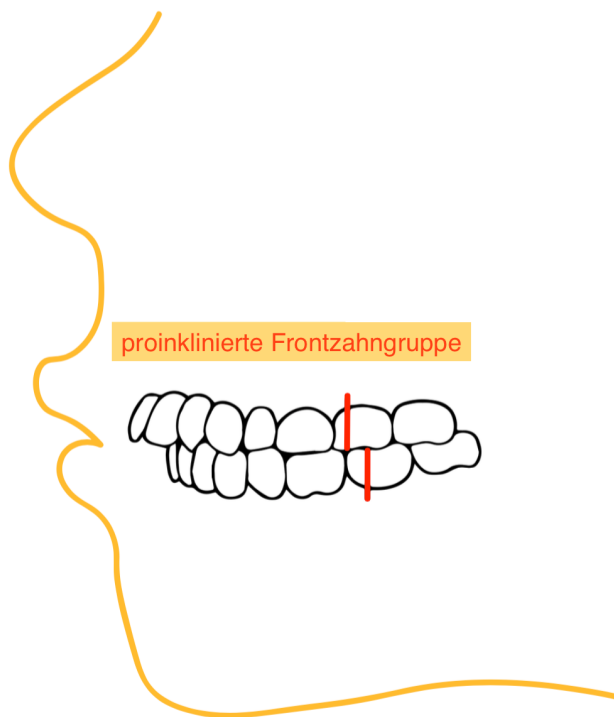


Abbildung 2: Angle-Klasse II/1

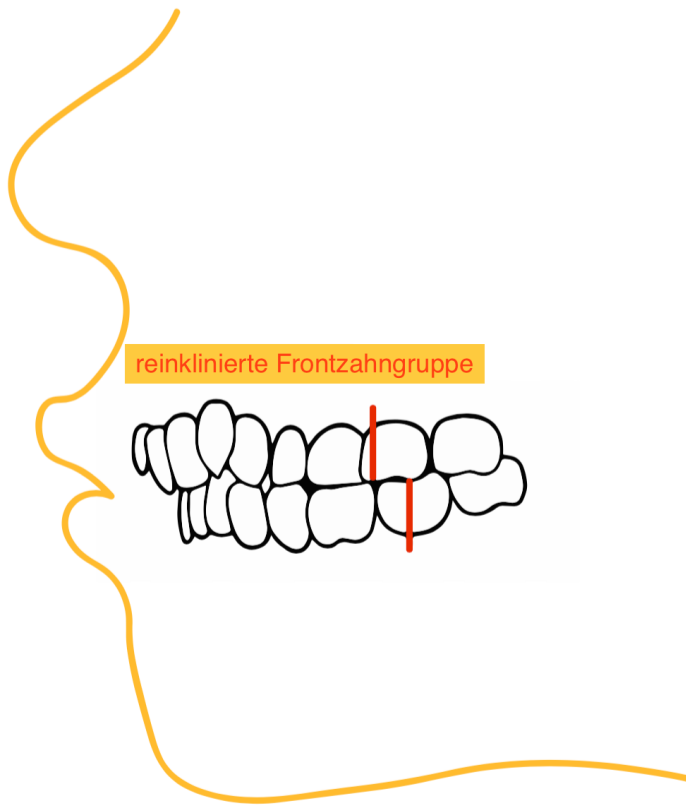


Abbildung 3: Angle-Klasse II/2

Bei der Angle-Klasse III kontaktiert der mesiobukkale Höcker des Oberkiefer-Sechsjahrmolaren distal der zentralen Fossa des Unterkiefer-Sechsjahrmolaren und wird dementsprechend auch als Mesialbiss bezeichnet.

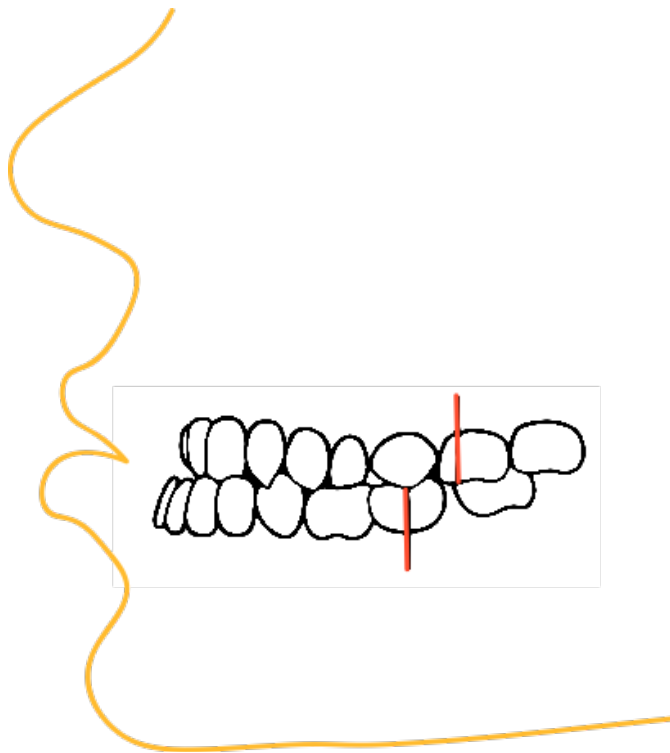


Abbildung 4: Angle-Klasse III

### **1.2.2 Vertikale craniofaziale Abweichungen**

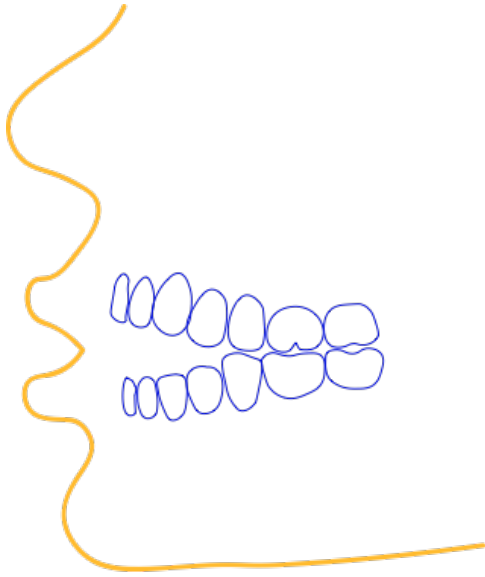
Vertikale craniofaziale Abweichungen können einzelne Zähne, Zahngruppen oder den gesamten zahntragenden knöchernen Komplex betreffen. Dazu gehören die Infraokklusion bei verkürzten Zähnen oder Zahngruppen, die Supraokklusion bei Verlängerung von Zähnen oder Zahngruppen, der vergrößerte oder verkleinerte Overbite und der offene Biss (Kahl-Nieke 2001).

Ein vergrößerter Overbite wird als Tiefbiss bezeichnet. Im Regelfall bedecken die oberen Schneidezähne 2-3 mm der unteren Schneidezähne; liegt der Wert über 3 mm, besteht ein Tiefbiss. Dieser kommt gehäuft bei der Angle-Klasse II vor und kann bei reklinierten Zähnen (Angle-Klasse II/2) auch als Sonderform „Deckbiss“ auftreten, dabei können die unteren Schneidezähne den Gaumen berühren oder es kann sogar ein traumatischer Schleimhautkontakt bestehen, bei dem die unteren Schneidezähne die palatinale Gingiva verletzen.

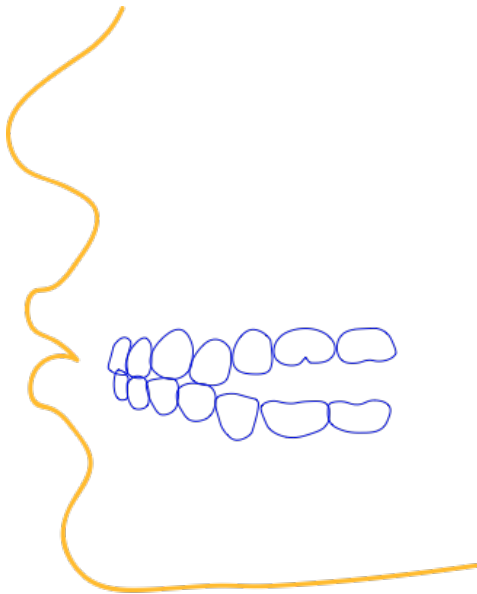
### **1.2.3 Offener Biss**

Der offene Biss kann in verschiedenen Formen auftreten: Frontal offen, einseitig lateral offen, beidseitig offen und zirkulär offen.

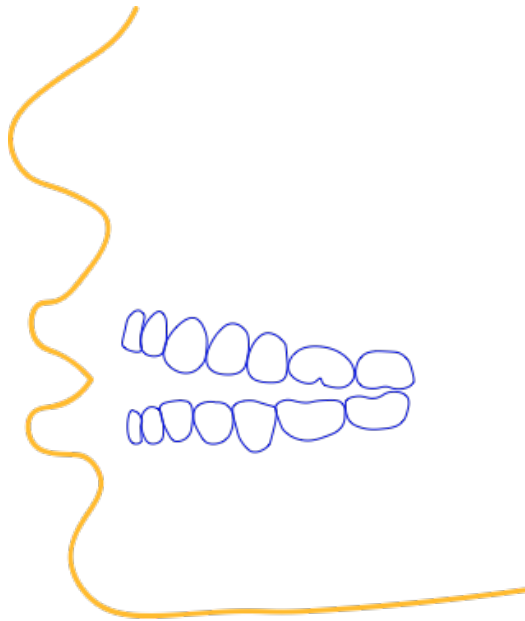
Der frontal offene Biss ist gekennzeichnet durch das Nicht-Kontaktieren der oberen und unteren Schneidezähne in Schlußbisslage. Der frontal offene Biss tritt in den meisten Fällen in Kombination mit einem insuffizienten Lippenschluss auf, daraus resultiert eine habituell bzw. permanent offene Mundhaltung.



**Abbildung 5: frontal offener Biss**



**Abbildung 6: seitlich offener Biss**



**Abbildung 7: zirkulär offener Biss**

Neben genetischen Faktoren spielen Habits als Ursache für Malokklusionen eine große Rolle (Angle 1932, Mew 2004). Sie können den hereditären Faktor verstärken, da mit einem frontal offenen Biss meist auch Zungendysfunktion einhergeht (Fujiki et al. 2004).

### **1.3 Genese von Malokklusionen: Bedeutung der Weichteilumgebung**

Bereits im Jahre 1873 verwies Tomes auf die Tatsache, dass bei regelverzahnten Gebissen zwischen der Krafteinwirkung der Lippen und Wangen auf der Außenseite des Zahnbogens mit dem Druck der Zunge auf dessen Innenseite eine Symmetrie besteht (Tomes 1873). Diese Auffassung einer Gleichgewichtssituation, dass also die Zähne und Alveolen in einem Gleichgewicht mit Zunge, Wange und Lippen stehen, wurde in der

Folge von zahlreichen Autoren aufgegriffen und zum Teil experimentell belegt (Angle 1907, Abrams 1963, Proffit 1978, Mew 2004).

Jegliche Störung dieses Gleichgewichtes über einen längeren Zeitraum, insbesondere während der Wachstumsphase, kann zu strukturellen Veränderungen des zahntragenden Komplexes führen (Mew 2004, Proffit 1978), wobei kurzfristig einwirkende Kräfte jedoch keine Auswirkung auf die Position der Zähne haben (Proffit 1978).

Eine Triggerung derartiger Dysbalancen kann zum Beispiel durch eine behinderte Nasenatmung oder auch habituelle Veränderungen des Schluckmusters (Vorschubbewegung der Zunge statt Anlagerung an die Gaumenmitte während des Schluckenakts) oder Habits wie Daumnuckeln sein. Als Folge kann sich ein frontal offener Biss, ein seitlicher Kreuzbiss oder auch ein schmaler Oberkiefer manifestieren. Meist entwickeln sich diese bereits im frühen Kindesalter (Lindner und Modeer 1989, Modeer et al. 1982).

Harvold et al. haben experimentell die Zungen von 36 Rhesusaffen aus der Normallage verdrängt bzw. in weiteren Versuchen ektomiert, und dabei ausgedehnte okklusale und skelettale Folgen bei jedem Jungtier mit erheblicher Reduzierung der Oberkieferzahnbogenbreite beobachtet (Harvold et al. 1972)

Der Einfluss der Zungenposition wurde 1982 von Lundeen und Gibbs (Lundeen und Gibbs 1982) und 1987 von Melsen et al. (Melsen et al. 1987) durch klinische und experimentelle Forschung bestätigt. Sie haben eine geringere Häufung von Zahnfehlstellungen bei Personengruppen festgestellt, die die Zähne in der Ruhelage der Kiefer sowie beim Schlucken okkludieren. Im Umkehrschluss würde die Zunge in habitueller Position zwischen den Zahnreihen eingelagerter Position zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Zahnfehlstellungen beitragen.

Zahn- und Kieferfehlstellungen stehen folglich im direkten Zusammenhang mit myofunktionellen Störungen, und die Zungendynamik hat daran einen entscheidenden Einfluss (Engelke et al. 2006, Engelke 2003, Proffit 1978).

Eine therapeutische Normalisierung der Zungenlage ist daher von grundlegender Wichtigkeit für eine erfolgreiche kieferorthopädische Behandlung, da ohne die Beseitigung der Ursache das Missverhältnis der auf die Zahnreihen ausgeübten Kräfte weiterhin besteht und das kieferorthopädisch erzielte Ergebnis in hohem Ausmaß anfällig gegenüber Behandlungsrezidiven ist (Angle 1907, Mew 2004).

Die habituell offene Mundhaltung gilt als eine der häufigsten Störungen der Mundhaltung (Mew 2004). Gross et al. haben festgestellt, dass Patienten mit vorwiegender Mundatmung und damit offener Mundhaltung eine wesentlich geringere transversale Entwicklung des Oberkiefers zeigen (Gross et al. 1994, Mew 2004). Die habituell offene Mundhaltung wird bei Kindern zwischen 9 Monaten und 3 Jahren als normal angesehen, in der Folge sollte sich jedoch eine habituell geschlossene Mundhaltung ergeben. Die anschließende Entwicklung eines natürlichen Lippenschlusses scheint jedoch bei den meisten Kindern in den Industrieländern verloren gegangen zu sein (Glatz-Noll und Berg 1991). Einige von ihnen entwickeln einen kompetenten Lippenschluss aus sozialen Gründen, aber viele behalten die offene Lippenhaltung bei, insbesondere während des Schlafens (Mew 2004).

Um das beschriebene Kräftegleichgewicht der die Zahnreihen umgebenden Weichgewebe sowie Störungen dieses komplexen Systems veranschaulichen und parametrisieren zu können, wurde das ‚Biofunktionelle Modell der Mundhöhle‘ entwickelt (Engelke et al. 2011).



## 1.4 Das biofunktionelle Modell nach Engelke

Grundidee des sog. biofunktionellen Modells der Mundhöhle nach Engelke ist die Erkenntnis, dass sich während biologischer oraler Funktionen wie Schlucken, Sprechen und Atmen biofunktionelle Kompartimente separieren. Die verschiedenen intraoralen Kompartimente sind von funktionellen Einheiten und funktionellen Verschlüssen begrenzte Räume (Engelke 2009). Das Modell integriert neben den Hartgewebsanteilen, der Zunge und dem anterioren Schluss der Mundhöhle durch die Lippen auch den in bisherigen Modellen wenig beachteten posterioren Abschluss, der von Zungengrund, Gaumensegel, Epipharynx und Pharynx gebildet wird; es erlaubt die Beschreibung unterschiedlicher in Funktion entstehender Weichteilkammern oder Kompartimente und bildet damit die Grundlage, um die Weichteilkompartimentbildung in der Mundhöhle manometrisch zu parametrisieren und zu analysieren (Engelke et al. 2011) (Abb. 8). Es lässt sich somit das gesamte orofaziale System, einschließlich des Epipharynx und des Pharynx als funktionelle Einheit erfassen und die am Schluckvorgang beteiligten Strukturen als Wechselwirkung von biofunktionellen Kompartimenten und biofunktionalen Klappen beschreiben (Santander et al. 2013).

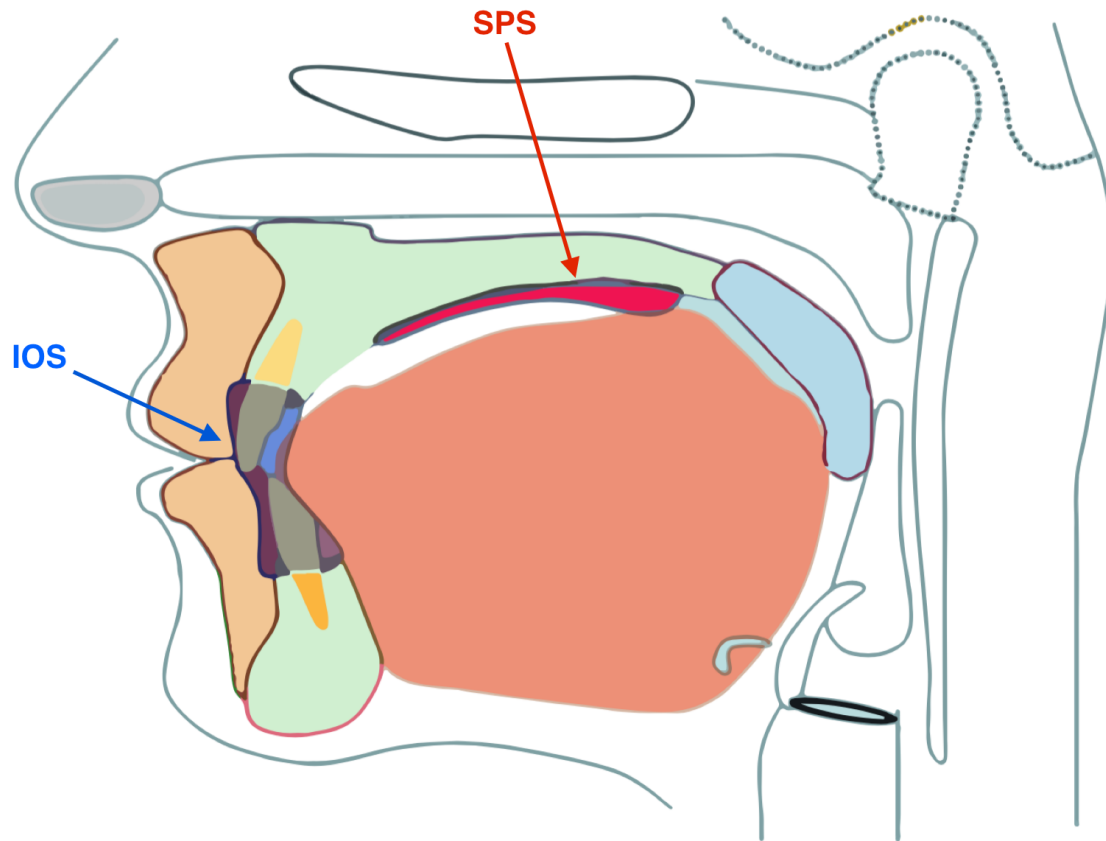
Andere Ansätze, wie die Verwendung der Kernspintomographie oder sogar radiographische Methoden sind ethisch fraglich (Engelke et al. 2014).

### 1.4.1 Biomechanische Bedingungen der Mundhaltung

Die orale Mundhaltung ist nicht nur von aktiv aufrechterhaltenen Muskelkräften abhängig, sondern auch von biomechanischen Bedingungen, wie der Bildung von abgeschlossenen oralen Funktionskammern mit positiven oder negativen Druckverhältnissen, die die Lage der Weichgewebe passiv stabilisieren können. Diesen Bedingungen wurde in der Literatur bislang wenig Aufmerksamkeit geschenkt (Engelke et al. 2011).

Intraorale Funktionskammern oder Kompartimente wurden erstmals 1953 von Eckert-Möbius als „funktionelle Saugräume“ beschrieben, wovon einer den Zahnbogen umgibt, während ein zweiter unter der Gaumenwölbung durch den angelagerten Zungenrücken begrenzt wird (Eckert-Möbius 1953).

Das biofunktionelle Modell nach Engelke bietet eine Möglichkeit, durch die genaue Definition aller möglicher unter Funktion entstehenden Kompartimente, orale Muskelfunktionen während des Schluckakts manometrisch zu messen und Abweichungen des oralen Gleichgewichts zu parametrisieren und zu analysieren (Engelke et al. 2011).



**Abbildung 8: Das biofunktionelle Modell (modifiziert nach Engelke et al. 2011, S. 167) mit beiden Kompartimenten, dargestellt mit unterschiedlichen Farben: interokklusaler Raum (IOS) in blau, subpalatinaler Raum (SPS) in rot**

Für die Betrachtung der Ätiologie von Zahnfehlstellungen sind vor allem der im Modell beschriebene interokklusale Raum (IOS) (Fränkel 1967) und der subpalatinale Raum (SPS) von hohem Stellenwert:

Der interokklusale Raum wird nach außen von der Lippen-, perioralen und bukkalen Muskulatur begrenzt, und nach innen von der Zungenmuskulatur. Ober- und Unterlippe bilden den vorderen muskulären Verschluss, und der anteriore Teil der Zunge mit dem

anterioren Anteil des harten Gaumens den posterioren Verschluss. Beide Verschlüsse besitzen eine Ventilfunktion. In normaler Ruhelage bei geschlossenen Lippen ist dieser Raum geschlossen, und es besteht ein Gleichgewicht zwischen den beteiligten Weichgeweben.

Der subpalatinale Raum wird begrenzt von dem harten Gaumen und dem sich anlagernden Zungenrücken. Auch hier gibt es zwei Ventile, das vordere bestehend aus hartem Gaumen und anteriorem Zungenbereich, das dorsale bestehend aus posteriorem Zungenbereich und weichem Gaumen (Engelke et al. 2011). Beim Schlucken entsteht zwischen Gaumen und Zunge durch ein Absenken der Zunge nach Anlagerung ein Kompartiment mit Unterdruck. Bei der offenen Mundhaltung bestehen keine funktionellen Verschlüsse der beiden Kompartimente, die Zunge hat keinen Kontakt mit dem Gaumen und die Lippen sind geöffnet, der intraorale Druck entspricht somit dem Umgebungsdruck.

Die Biomechanik des orofazialen Systems und die einzelnen Systemzustände werden im Folgenden in Bezug auf das biofunktionelle Kompartiment-Modell im Detail beschrieben.

### **Offener Zustand der Mundhöhle (OZ)**

Beim offenen Zustand der Mundhöhle besteht kein Lippenschluss. Im Falle eines sichtbaren insuffizienten Lippenschlusses kommunizieren das intraorale Kompartiment, d. h. Intraoralflächen, mit der Umgebung bei atmosphärischem Druck. Die Position der oralen Strukturen im OZ hängt hauptsächlich von dem Muskeltonus und der Schwerkraft ab (Ballard 1966, Eckert-Möbius 1953, Fränkel 1967).

### **Halb-geschlossener Zustand der Mundhöhle (HGZ)**

Die Mundhöhle stellt ein teilweise geschlossenes Kompartiment dar, wenn die Lippen geschlossen sind, jedoch kein posteriorer Schluß der Mundhöhle gegeben ist. Eine Kommunikation kann über einen unvollständigen Abschluss zum mesopharyngealen Atemweg einen offenen Zustand für das orale Kompartiment bedeuten.

### **Geschlossener Zustand der Mundhöhle (GZ)**

Der geschlossene Zustand (GZ) unterscheidet sich von dem halb-geschlossenen Zustand, indem die Mundhöhle druckfest durch die Lippen verschlossen ist.

Das sog. Wangenblasmanöver (Engelke et al. 2011) ist ein Beispiel für den geschlossenen Zustand mit positivem intraoralen Druck (PGZ: positiver geschlossener Zustand). Der Lippenschluss und der hintere Mundschluss werden aktiv durch Muskelkontraktion unterstützt, und die Zunge ist mobil. Das Zungenrepositionsmanöver (**TRM**) (Engelke 2003) ist ein Beispiel für den geschlossenen Zustand mit negativem intraoralen Druck (NGZ: negativer geschlossener Zustand); es wurde erstmals von Körbitz (Körbitz 1914) beschrieben. Die Zunge ist dabei in einer palatinalen Position passiv durch den subpalatinalen Unterdruck stabilisiert.

Es gibt biomechanische Unterschiede zwischen dem PGZ und dem NGZ: Der PGZ ist ein aktives Manöver. Der NGZ ist eine passive Weichgewebshaltung, die keinen kontinuierlichen aktiven Mundschluss erfordert. Der NGZ entsteht während des Schluckaktes, indem ein negativer Druck mit der Zunge am harten Gaumen erzeugt wird. Durch Bewegungseinschränkung der umgebenden Weichteile kann die Zunge am Gaumen stabilisiert werden, ohne dass eine neuromuskuläre Aktivität erforderlich ist. Im

Gegensatz zum PGZ, welcher ein aktives orales Manöver erfordert (aktiver Lippenschluss und Verschluss des Zungenrückens mit dem weichen Gaumen).

### **Schlucken (S)**

Der Ablauf des Schluckakts besteht aus zwei Phasen, der oralen Schluckphase und der nachfolgenden pharyngealen Phase.

Die erste Phase besteht aus der Schließung der Kompartimente IOS und SPS, wodurch eine anteriore (harter Gaumen und Zunge) und posteriore Abdichtung (durch den Zungenrücken und den weichen Gaumen) des Mundraumes entsteht. Mit Erzeugung eines intraoralen subatmosphärischen Druckes zwischen Gaumen und Zunge, der Anhebung des weichen Gaumens und der Kontraktion des velopharyngealen Schließmuskels, wird der pharyngeale Teil des Schluckaktes eingeleitet. Dabei kann eine negative Druckwelle beobachtet werden (Kieser et al. 2008, Lindner und Hellsing 1991). Um einen NGZ zu erreichen, ist die erste Schluckphase Voraussetzung (Körbitz 1914).

## 2. Ziele der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist der Vergleich der Charakteristika der Druckverlaufskurven (phasenunspezifisch zwischen den verschiedenen Gruppen, phasenspezifisch während der unter 1.4 beschriebenen Funktionsphasen bzw. Funktionszustände) in den intraoralen biofunktionellen Kompartimenten bei Probanden mit normaler Zahnstellung sowie bei Probanden mit Malokklusionen.

Es erfolgt das Testen der Nullhypothese, dass in Abhängigkeit von verschiedenen Malokklusionen (Angle-Kl. I; Angle-Kl. II/1; Angle-Kl. II/2; front-offener Biss) während der Funktionsphasen keine signifikanten Unterschiede bzgl. der Druckverlaufskurven im (a) subpalatinalen Raum (SPS) und (b) interokklusalen Raum (IOS) bestehen. Die Untersuchung der Kompartimentdifferenzierung erfolgt manometrisch, d. h. es wurden Druck-Verlaufsprofile im Bereich des Vestibulums (zwischen Wange und Zahnreihe) sowie subpalatinal (zwischen Zungenrücken und Hartgaumen) erstellt.

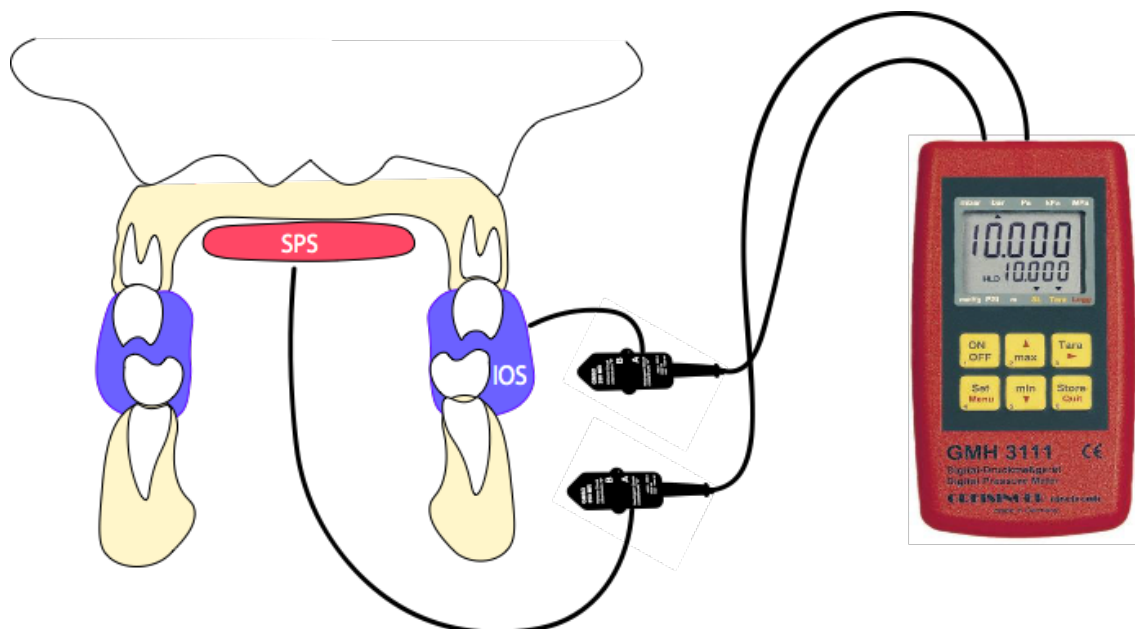


Abbildung 9: Darstellung der Mundhöhle, Platzierung der beiden Messsensoren (am Gaumen (SPS - roter Bereich) und zwischen Wange und Zähnen (IOS - blauer Bereich)) und Messgerät.

### **3. Probanden und Methode**

#### **3.1 Probanden**

Die Anzahl der Versuchspersonen wurde auf mindestens 15 auswertbare Patienten pro Untergruppe festgelegt. Es handelt sich hierbei um konsekutive Patienten der Abteilung Kieferorthopädie, des Zentrums ZMK der Universitätsmedizin Göttingen, weiterhin der kieferorthopädischen Praxis Mühlstädt, Dr. Behrends und Dr. Otto sowie der zahnärztlichen Praxis Dr. Nüser in Itzehoe. Potentielle Probanden wurden initial ihrer zahnärztlichen Behandlung auf die Möglichkeit der Teilnahme an der Studie hingewiesen, sofern die Zahnstellung eine Zuordnung zu einer der vier Untersuchungsgruppen zuließ.

Die initiale Auswahl wurde konsekutiv anhand von Situationsmodellen von Neupatienten getroffen. Die Probanden wurden auf Basis ihrer Zahnstellung, die an den Modellen diagnostiziert wurde, zunächst einer der vier Gruppen zugeordnet. Es wurde im Folgenden die Zustimmung des Patienten und /oder der Eltern der Patienten für eine Eingangsuntersuchung mit eventueller Druckmessung eingeholt (Anhang 11.2, 11.3).

Die anschließende Eingangsuntersuchung diente dem Testen auf Einschluss- und Ausschlusskriterien, die sich wie folgt darstellten:

#### **Einschlusskriterien:**

Patienten beiderlei Geschlechts und aller Altersgruppen mit vollständiger Dentition (Wechselgebiss und Erwachsenengebiss, jeweils ohne fehlende Zähne/mit geschlossener Zahnreihe) und der Fähigkeit, den Anweisungen während der Druckmessungen folgen zu können.



**Ausschlusskriterien:**

Patienten mit bekannten konsumierenden Erkrankungen oder manifesten dekompensierten kardiovaskulären Erkrankungen, Patienten mit behinderten Atemwegen und klinisch behinderter Nasenatmung und Patienten mit unzureichender Kooperation.

Von insgesamt 89 potentiell geeigneten Probanden haben sich zehn Patienten gegen eine Teilnahme entschieden.

Bei der Untersuchungsgruppe der Angle-Klasse I konnten alle 20 einbestellten Patienten ohne Ausschluss gemessen werden. In der Untersuchungsgruppe der Angle-Klasse II/1 wurden 19 Patienten einbestellt, zwei von ihnen mussten aufgrund fehlender Zähne (unvollständig geschlossener Zahnreihe) ausgeschlossen werden, während zwei weitere kooperationsunwillig waren und ebenfalls ausgeschlossen wurden.

Bei der Untersuchungsgruppe der Angle-Klasse II/2 wurden zwei Patienten ausgeschlossen, da auch hier keine vollständig geschlossene Zahnreihe vorlag.

Bei der Untersuchungsgruppe des offenen Bisses wurden 21 Patienten einbestellt und vier von ihnen ausgeschlossen, da keine vollständig geschlossene Zahnreihe vorlag.

In den Untersuchungsgruppen der Angle-Klassen II/1 und II/2 und jener des offenen Bisses hatten je vier Patienten noch teilweise Milchzähne. Einschlusskriterium bei diesen Patienten war mindestens das Endstadium der ersten Wechselgebissphase und eine geschlossene Zahnreihe; gleichbedeutend mit dem vollständigen Durchbruch des Sechsjahrmolaren, den permanenten Frontzähnen und der Milchstützzone.

**Tabelle 1: Definition der Einschlusskriterien, Probanden- und Gruppencharakteristik**

Die Tabelle wurde unterteilt in die vier verschiedenen Untersuchungsgruppen I, II1, II2 und O sowie alle Untersuchungsgruppen vereint. Für jede Gruppe wurde die Definition der Einschlusskriterien angegeben, der Mittelwert und die Standardabweichung (SD) des Alters der Probanden pro Gruppe und insgesamt, die Anzahl der Probanden pro Gruppe und insgesamt, sowie die Anzahl der eingeschlossenen und ausgeschlossenen Probanden mit Begründung.

	Gruppe				
	I	II1	II2	O	Alle
Definition der Einschlusskriterien	Normalverzahnung ohne Kreuzbiss, und ohne sagittaler oder vertikaler Stufe ohne Engstand >2mm bitte prüfen und korrigieren	Angle-Klasse II Distalverzahnung mindestens ½ Prämolarenbreite und proklinierte Inzisivi	Angle-Klasse II Distalstandverzahnung von mindestens ½ Prämolarenbreite und reklinierte Inzisivi	Negativer Überbiss ( offener Biss) von mindestens -1mm	
Mean Age (SD) [Min; Max]	26,45 (7,42) [23; 57]	11 (1,56) [8;14]	19,29 (9,54) [10;35]	15,12 (7,79) [8; 37]	17,97 (6,58) [8;57]
potentielle Probanden (n)	20	19	19	21	79
ausgeschlossene Probanden (n), mit Begründung	0	unvollständig geschlossene Zahnreihe: n=2 nicht kooperativ n=2	unvollständig geschlossene Zahnreihe: n=2	unvollständig geschlossene Zahnreihe: n=4	10
eingeschlossene Probanden (n)	20 (männlich: n=9 weiblich: n=11 )	15 (männlich: n=8 weiblich: n=7 )	17 (männlich: n=6 weiblich: n= 11)	17 (männlich: n=6 weiblich: n=11 )  (Angle-Klasse I: n=5, Angle-Klasse II: n=11, Angle-Klasse III: n=1)	69 (männlich: n=29 weiblich: n=40)

### 3.2 Differenzdruckbestimmung

Unterschiedliche Drücke wurden mit einem digitalen Präzisionsdruckmessgerät (GMH3156; mit zwei piezoresistenten Relativdrucksensoren GMSD 350MR; Messbereich / Auflösung von 500 / 0,1 mbar (rel.), und der Software GSOF3050; Greisinger, Regenstau, Deutschland) im interokklusalen Raum (IOS) und im subpalatinalen Raum (SPS) erfasst (Abbildung 10, 11). Die Abtastrate der Drucksensoren lag bei einem Hertz, es wurde eine Messung pro Sekunde aufgezeichnet.

Eine Verbindung zu den Sensoren wurde durch zwei PVC-Schläuche (4 mm Innendurchmesser) ermöglicht. Ein Schlauch wurde am Ende mit einer dünnen flexiblen Kunststoffkanüle eines Venenkatheters (B. Braun, Melsungen, Deutschland) verbunden (Abbildung 12). Diese Kunststoffkanüle wurde durch den Zahnbogen zum subpalatinalen Raum (SPS) geführt und auf der Zunge des Probanden platziert, wobei das Ende der Kunststoffkanüle im Bereich der Mitte des Gaumens lag (Abbildung 14).

Auf das Ende des anderen Schlauches wurde ein zahnärztlicher Speichelzieher (Einmal-Artikel; mit abnehmbarer Kappe) gesteckt (Abbildung 13) und dieser zwischen Wange und Zahnreihe seitlich der Prämolarenregion in den interokklusalen Raum (IOS) eingeführt (Abbildung 14).

Das Druckmessgerät stand dabei nicht in direktem Kontakt zum Probanden, es befand sich extraoral auf einem Ablagetisch (Abbildung 10). Der Kontakt zum Patienten bestand lediglich über das Schlauchsystem, die Kunststoffkanüle und den Speichelzieher; es handelte sich jeweils um steril verpackte Medizinprodukte (Schlauchsystem, Kanüle und Speichelzieher), die üblicherweise in der MKG-Chirurgie am Patienten verwendet werden. Schlauch bzw. Kanüle wurden dabei vom Probanden locker bei geschlossenen Lippen im Mund gehalten, ähnlich der Verwendung eines Trinkhalmes, um somit den Luftdruck im

Mund an das extraorale Messgerät zu übertragen, ohne dabei störenden Einfluss auf die Mundhaltung zu nehmen. Eine Verletzungsgefahr konnte hierbei ausgeschlossen werden.



Abbildung 10: Messgerät: Präzisionsdruckmessgerät (GMH 3156)



Abbildung 11: Sensoren: piezoresistente Relativdrucksensoren (GMSD 350MR)

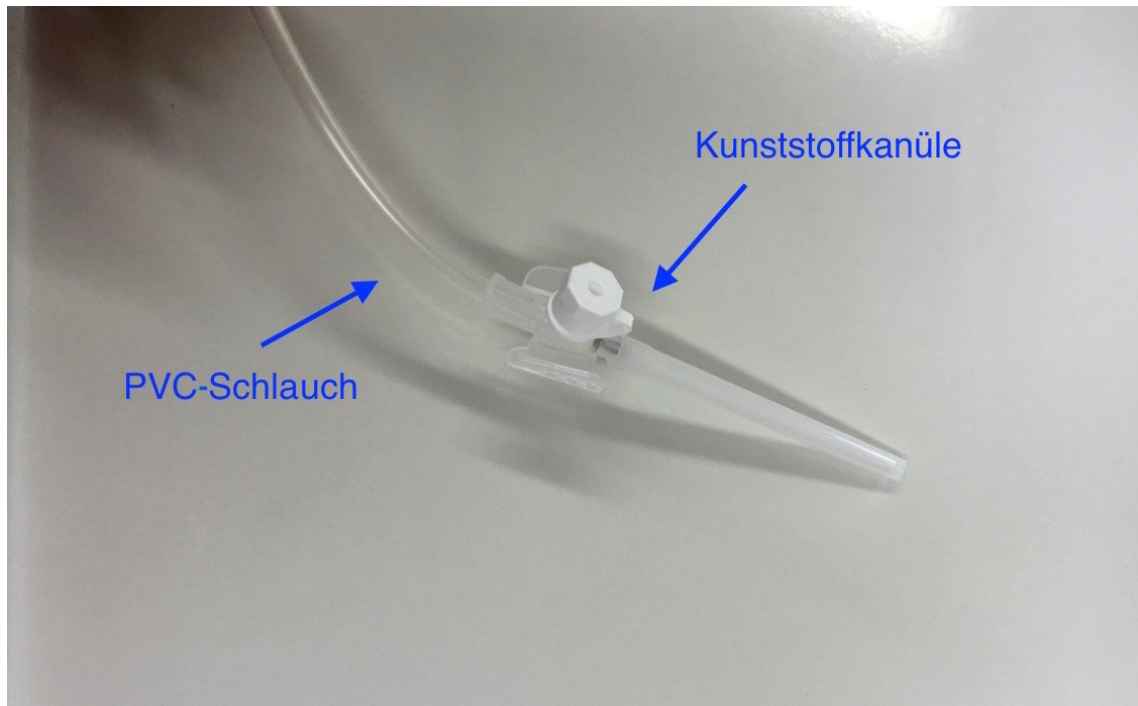


Abbildung 12: Kunststoffkanüle auf PVC-Schlauch

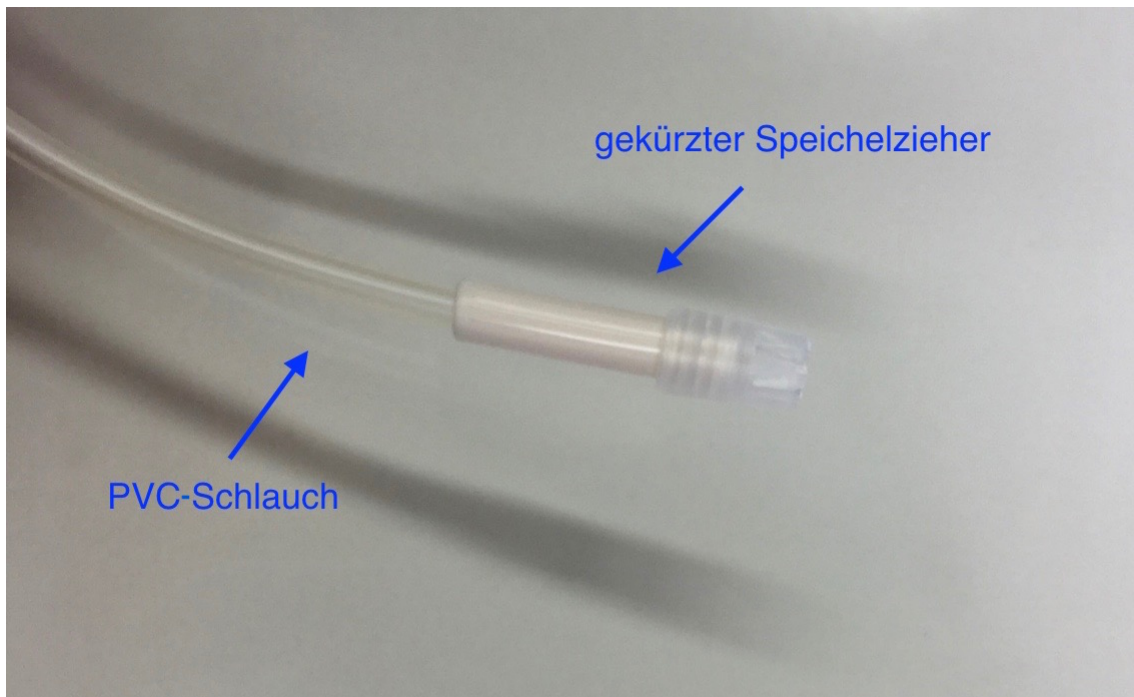


Abbildung 13: gekürzter Speichelzieher auf PVC-Schlauch

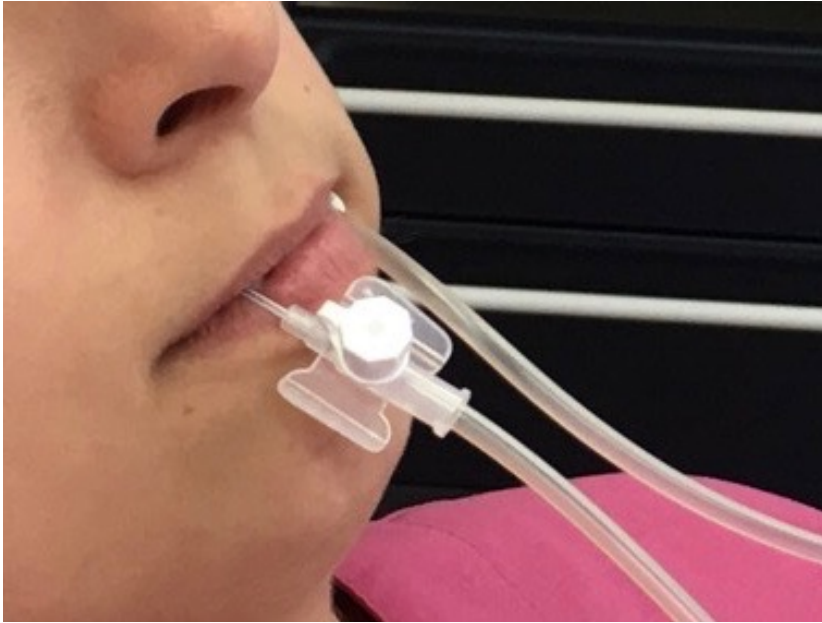


Abbildung 14: Patient während der Messung

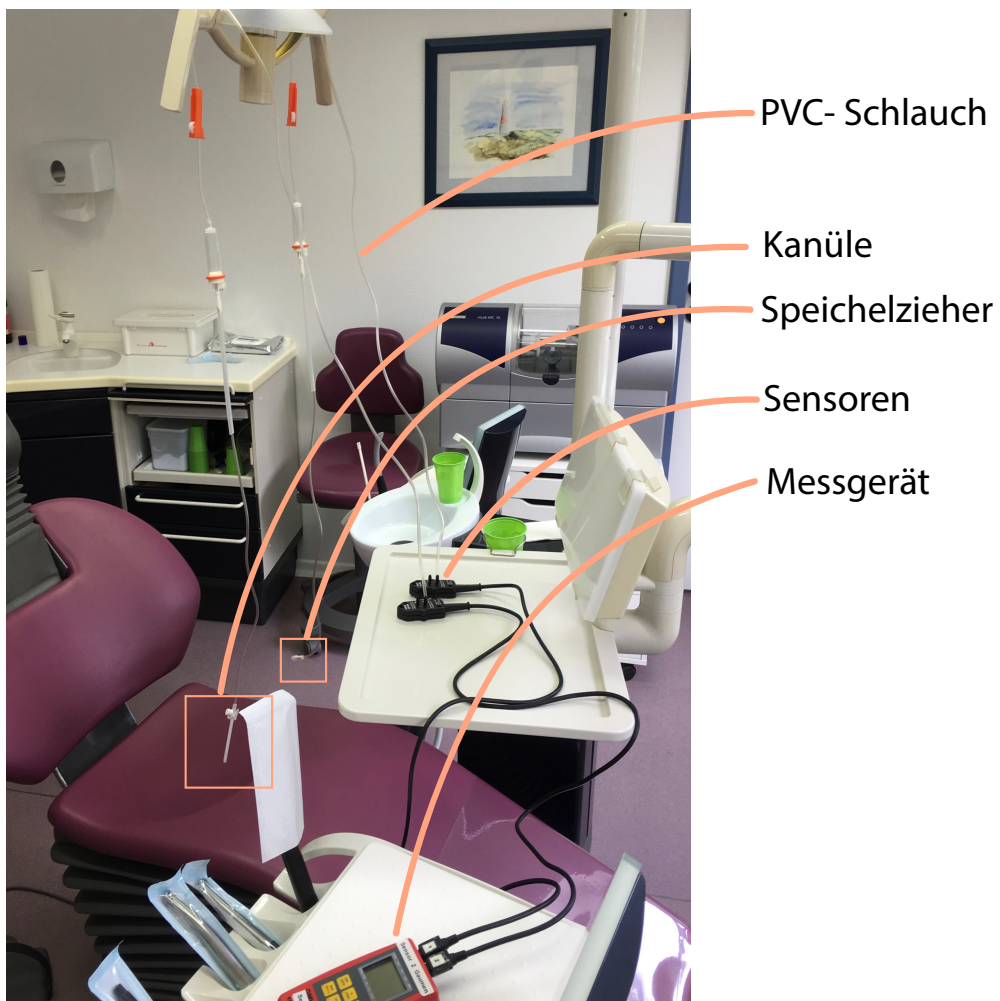


Abbildung 15: Studienaufbau am Behandlungsstuhl: PVC-Schläuche, Kanüle, Speichelzieher, Sensoren und Messgerät

### **3.3 Studienablauf**

#### **3.3.1 Genehmigung**

Erst nach der vollständigen Genehmigung der Studie durch die Ethikkommission der Universitätsmedizin Göttingen (Anhang 11.4) wurden am Klinikum der Universitätsmedizin Göttingen, der kieferorthopädischen Praxis Mühlstädt, Dr. Behrends und Dr. Otto sowie der zahnärztlichen Praxis Dr. Nüser in Itzehoe im Zeitraum von Juli 2009 bis November 2012 in Frage kommende Probanden auf die Möglichkeit einer Teilnahme an der Studie angesprochen und gegebenenfalls rekrutiert.

#### **3.3.2 Prüfort**

Standorte des wissenschaftlichen Versuches waren die Abt. Kieferorthopädie der UMG in Göttingen, die kieferorthopädische Praxis Mühlstädt, Dr. Behrends und Dr. Otto in Itzehoe sowie die zahnärztliche Praxis Dr. Nüser in Itzehoe. Die teilnehmenden Probanden unterzogen sich einer Eingangsuntersuchung, wobei eine anamnestiche Erhebung mittels Fragebogen zur Abklärung von Risikofaktoren und Entscheidung über Eignung stattfand.

#### **3.3.3 Ablauf der Differenzdruckmessung**

An jedem rekrutierten Probanden wurden die Untersuchungen dreimal nach dem folgenden Schema durchgeführt: Die ersten 30 Sekunden wurde bei geöffnetem Mund gemessen, danach 60 Sekunden bei Lippenschluss. Es folgte ein Schluckmanöver, bei dem die Probanden automatisch die Zunge an den Gaumen legten und somit einen

Unterdruck erzeugten, dieser Zustand wurde 60 Sekunden gehalten. Anschließend wurde auf Anweisung ein weiteres Mal geschluckt und daraufhin ein Wangenblasmanöver von 5 Sekunden durchgeführt. Der Schlauch und die Kanüle wurden nun aus dem Mund des Probanden entfernt und das Messgerät zur Kontrolle für ca. 5 Sekunden weiterlaufen gelassen:

Phase 1: 30 s offener Mund ( OZ )

Phase 2: 60 s geschlossene Lippen ( HGZ )

Phase 3: 60 s Schlucken ( S ) mit TRM Zungenrepositionsmanöver (NGZ)

Phase 4: 5 s TRM Zungenrepositionsmanöver/Schlucken ( S )

Phase 5: 5 s Wangenblasmanöver ( PGZ )

Phase 6 : 5 s extraorale Kontrolle/ Testphase (I)

**Tabelle 2: Definition und Länge der Phasen der Druckmessung**

Die Tabelle wurde in die sechs Phasen der Differenzdruckmessung aufgeteilt (1-6), jede Phase wurde mit einer Beschreibung und Abkürzung definiert, die Länge der Phasen wurde in Sekunden angegeben. Des Weiteren zeigt die Tabelle die Anweisung pro Phase welche die Patienten während des Messvorgangs erhalten haben.

Phase	Beschreibung (Abkürzung)	Dauer	Anweisung für die Patienten während der Messung
1	offener Zustand (OZ)	0 - 30 s	Lippen entspannt ein wenig offen lassen und dabei ruhig atmen
2	halbgeschlossener Zustand (HGZ)	31 - 90 s	Lippen sanft schließen und dabei weiter ruhig atmen



3	geschlossener Zustand mit Zungerepositionsmanöver (NGZ (tongue-repositioning maneuver ( <b>TRM</b> )) Engelke et al. 2011 )	91 - 150 s	die Zunge an den Gaumen legen, Speichel sammeln und diesen schlucken und dabei ruhig weiteratmen für 60s
4	Schlucken ( <b>S</b> )	151 - 155 s	Speichel sammeln und diesen schlucken und dabei ruhig weiteratmen für weitere 5s
5	Wangenblasmanöver ( <b>PGZ</b> )	156 - 160 s	um einen positiven Druck zu erreichen, die Wangen aufblasen
6	Testphase für eventuell von Speichel blockierte Schläuche; fällt der Wert auf Umgebungsdruck zurück? ( <b>T</b> )	161 - 165 s	intraorale Schläuche entfernen/ Sensoren; Aufzeichnung läuft 5 s weiter

Die Speicherung der erhobenen Daten erfolgte in pseudonymisierter Form, d.h. den Patienten wurde eine laufende Nummer zugeordnet. Diese wurde an eine weitere Ziffer angehängt, welche die Verzahnung nach den in der Kieferorthopädie üblichen Klassifizierung nach Angle angibt. Bei dieser Klassifizierung wurde die Verzahnung der Seitenzähne in Regelverzahnung (Angle-Klasse I), Distalverzahnung mit protrudierter Front (Klasse II/1) bzw. retrudierter Front (Angle-Klasse II/2) und frontoffenem Biss unterteilt. Die pseudonymisierten Probandenkürzel sind somit z.B. 1/1, 1/2, 1/3...etc. bzw. 2/1, 2/2, 2/3 ...3/1, 3/2, 3/3 etc.

Bei fast allen Probanden konnte ohne Unterbrechung gemessen werden. Unterbrochene Messungen wurden wiederholt.

### **3.3.4 Statistische Methodik**

Zum Vergleich der vier Studiengruppen (Kontrolle (Angle-Klasse I, Angle-Klasse II/1, Angle-Klasse II/2 und offener Biss) sowie der Lokalisation der Messkanüle (IOS, SPS) wurden aus den Druckkurven verschiedene Kenngrößen in den unter Tabelle 2 beschriebenen 6 Phasen getrennt extrahiert, um den möglichen Einfluss der Faktoren auf Zahnfehlstellungen zu erhalten. Diese waren im einzelnen die Fläche unter der Kurve (AUC), die Anzahl der Peaks, die mediane Peakhöhe, die Plateaufrequenz, die mediane Plateauhöhe und die Dauer der Plateaus. Zur Signalextrahierung wurden von Jung et al. (2011) beschriebene Verfahren angewendet. Die ersten und letzten 5 Sekunden der einzelnen Messzyklen wurden entfernt, um Messwerte im Ruhezustand der Patienten zu erhalten. Die AUC sowie mediane Peak- und Plateauhöhen charakterisieren den allgemeinen negativen Gesamtdruck. Die Anzahl an Peaks bzw. die Plateaufrequenz und der mediane Druck können als Merkmale für die Aktivität in den jeweiligen Messkompartimenten betrachtet werden.

Zunächst wurden die extrahierten Kurvenparameter aller Gruppen global mit dem Kruskal-Wallis-Test je nach Messintervall und Lokalisation der Messung verglichen.

Im Falle eines signifikanten Unterschiedes wurden paarweise Vergleiche der Gruppen untereinander, getrennt nach der Location (IOS oder SPS), mit dem Mann-Witney U-Test umgesetzt. Alle Analysen wurden mit der Software R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)) erstellt. Alle Tests wurden demnach mit einem Signifikanzniveau von  $\alpha=5\%$  durchgeführt.

### **3.3.5 Definition der untersuchten Parameter**

Definition Peak:

Als Peak wurde eine Niveauänderung von mehr als fünf Millibar in weniger als einer Sekunde und mit einem Druckabfall innerhalb fünf Sekunden gewertet. Erfolgte der Abfall nach mehr als 5 Sekunden, wurde die Phase als Plateauwechsel definiert.

Definition Plateau:

Als Plateau wurden die Phasen bezeichnet, die über mindestens fünf Sekunden keine Schwankungen größer als fünf Millibar aufwiesen.

### **3.3.6 Messfehleranalyse**

Da wiederholte intraorale Druckmessungen Variationen aufweisen können (Day und Foster 1970, Thüer et al. 1999, Kieser et al. 2008, Engelke et al. 2011), wurden alle intraoralen Messungen dreimal mit jedem Probanden wiederholt, um die Robustheit der Parameter zu bewerten. Für wiederholte Messungen wurde ANOVA pro Kurvencharakteristik verwendet, um zu beurteilen, ob es einen signifikanten Messwert der Wiederholungen gab oder ob es ein Einzeleffekt war.

## 4. Ergebnisse

Mittelwert und Standardabweichung aller extrahierten Kurvenparameter wurden in Tabelle 3 für die Kompartimente IOS und SPS getrennt angegeben.

**Tabelle 3: Mittelwert +/- Standardabweichung der Unterdruckeigenschaften, getrennt für Phase und Gruppe bei den Messungen im IOS und SPS.**

Der Mittelwert und die Standardabweichung wurden aus den Messwerten aller Probanden der jeweiligen Gruppe ermittelt. Die Tabelle wurde unterteilt in die sechs Phasen der Differenzdruckmessung (OZ, HGZ, TRM, S, PGZ und T; Tabelle 2). Jede Phase wurde wiederum in die vier Untersuchungsgruppen (I, II/1, II/2 und O) unterteilt. Für jede Gruppe wurden Mittelwert und Standardabweichung je Phase für die Anzahl der Peaks, die Mediane Peakhöhe, die Anzahl der Plateaus, die Mediane Plateauhöhe und die Plateaulänge an der Wange (IOS) und am Gaumen (SPS) ausgewertet. Dauer der Phasen 4, 5, und 6 (Schlucken, Wangenblasmanöver und Testphase) ermöglichten keine Bewertung der Peak- und Plateau-Eigenschaften. Die Mediane Peakhöhe und Mediane Plateauhöhe sind angegeben in -mbar. Die positiven Werte entsprechen dem erzeugten Unterdruck und die negativen Werte dem erzeugten Überdruck.

Phase	Gruppe	Peaks (n)		Mediane Peakhöhe (-mbar)		Plateaus (n)		Mediane Plateauhöhe (-mbar)		Plateaulänge (s)		AUC	
		IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS
OZ	I	0,1+/-0,2	0,2+/-0,4	25,3+/-23,9	16,3+/-16,6	0+/-0,1	0+/-0	5,9+/-NA		11,5+/-NA		9,1+/-14,9	14,2+/-12,1
OZ	II/1	0,3+/-0,4	0,3+/-0,3	14,5+/-10,6	20,6+/-15,1	0+/-0,2	0,1+/-0,3	9,6+/-NA	14,1+/-13	14,5+/-NA	14,7+/-11,5	11,9+/-13,5	33,5+/-73,2
OZ	II/2	0,2+/-0,3	0,3+/-0,4	12,9+/-9,8	39+/-31,8	0+/-0,1	0,2+/-0,4	11,8+/-8	37,9+/-23	17+/-2,8	20,8+/-9,5	15,3+/-25,7	96,6+/-245,7
OZ	O	0,2+/-0,4	0,3+/-0,7	13,1+/-4,1	12,9+/-4,4	0+/-0	0,1+/-0,3		9,8+/-3,9		18,6+/-9,1	7,5+/-7,6	25,8+/-34,3
HGZ	I	1+/-0,7	1,1+/-0,9	28,7+/-20,9	25,8+/-11,9	0,2+/-0,4	0,1+/-0,3	9,6+/-4,6	7,7+/-3	20,1+/-2,5	13,9+/-2,1	73,1+/-61,1	67,9+/-43,7
HGZ	II/1	1,7+/-1,1	1,8+/-0,9	31,3+/-14,4	37+/-21,3	0,6+/-0,7	0,6+/-0,9	14,5+/-7,5	17,3+/-14,5	24+/-12,8	24,3+/-5,2	180,2+/-199	219,8+/-256,4

Phase	Gruppe	Peaks (n)		Mediane Peakhöhe (-mbar)		Plateaus (n)		Mediane Plateauhöhe (-mbar)		Plateaulängen (s)		AUC	
		IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS
HGZ	II/2	1,1+/-1	1,2+/-0,9	19,6+/-8,8	28,4+/-27,2	0,4+/-0,8	0,5+/-0,6	10,7+/-4,5	19,6+/-27,2	20,9+/-9,6	19+/-8,6	105,8+/-137,9	256,2+/-585,8
HGZ	O	1+/-0,9	1,3+/-1	19,3+/-13,5	35+/-32,9	0,4+/-0,8	0,6+/-0,9	15,9+/-9,5	12,3+/-6,9	22,7+/-6,2	21,8+/-10,2	127,9+/-198,4	179,7+/-247,2
TRM	I	1,7+/-0,6	1,8+/-0,6	34,5+/-23,3	50+/-30,1	1+/-0,6	1,3+/-1	20,9+/-17,6	34,7+/-24,4	38,5+/-17,6	35,4+/-16,4	539+/-483,3	871,8+/-810,7
TRM	II/1	2+/-1,1	2,1+/-0,8	39,6+/-22,6	46,2+/-34,8	1,4+/-1,2	1,3+/-1,1	21,1+/-11	29,4+/-18,3	25+/-14,4	22,1+/-9,1	444,1+/-387,8	637+/-619,5
TRM	II/2	1,5+/-1	1,6+/-0,9	24,6+/-17,5	32,2+/-30,8	0,7+/-0,9	0,8+/-0,8	15,9+/-9,1	18,4+/-24,6	37,6+/-16,2	28,1+/-18,2	249+/-304,5	342,1+/-666,3
TRM	O	1,4+/-0,8	1,6+/-0,9	24,4+/-25,5	40,2+/-51,1	0,8+/-0,9	1,1+/-0,9	21,6+/-21,3	31,1+/-44,4	23,2+/-9,3	28,6+/-15,5	349,2+/-592,1	678,2+/-1285,8
S	I											45,1+/-49,3	49,2+/-45,3
S	II/1											57,4+/-58,5	72,2+/-88,2
S	II/2											34,9+/-29	48,4+/-59,5
S	O											48,8+/-54,1	63,4+/-95
PGZ	I											0,2+/-0,7	0,1+/-0,2
PGZ	II/1											6,7+/-19,5	3,8+/-6,3
PGZ	II/2											1,3+/-3,1	1,9+/-3,7
PGZ	O											3,3+/-9,2	4,1+/-13,8
T	I											0,9+/-0,4	1,2+/-0,7
T	II/1											1+/-1,3	1+/-1,3
T	II/2											0,7+/-0,6	1,5+/-3,1
T	O											1,6+/-2,2	1,4+/-2

Globale Vergleiche aller vier Untersuchungsgruppen wurden getrennt für die Kompartimentdrücke IOS und SPS ausgewertet (Tabelle 4) und ergaben einen signifikanten Unterschied in Bezug auf Plateaulänge und mediane Peakhöhe am IOS während der TRM-Phase und in Bezug auf die AUC am IOS während der PGZ-Phase.

Am SPS gab es einen signifikanten Unterschied in Bezug auf die AUC während der PGZ- und der TRM-Phase.

**Tabelle 4: p- Werte für den globalen Vergleich (aller vier Untersuchungsgruppen), aufgeteilt in Phasen, für die Messungen im IOS und SPS.**

Die Tabelle ist aufgeteilt in die sechs Phasen der Differenzdruckmessung. Es wurden alle vier Untersuchungsgruppen global auf signifikante Unterschiede an der Wange (IOS) und am Gaumen (SPS) untersucht. Signifikante Werte sind fett geschrieben.

Phase	Peaks (n)		Mediane Peakhöhe (-mbar)		Plateaus (n)		Mediane Plateauhöhe (-mbar)		Plateaulänge (s)		AUC	
	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS
OZ	0,066	0,339	0,859	0,388	0,563	0,180	0,407	0,094	0,259	0,692	0,055	0,444
HGZ	0,067	0,153	0,122	0,531	0,324	0,087	0,450	0,484	0,949	0,122	0,515	0,288
TRM	0,068	0,226	<b>0,045</b>	0,122	0,105	0,338	0,774	0,058	<b>0,039</b>	0,214	0,061	<b>0,049</b>
S											0,913	0,910
PGZ											<b>0,041</b>	<b>0,002</b>
T											0,309	0,370

In der Tabelle 5 wurden die paarweise Vergleiche der einzelnen Malokklusionen in die einzelnen Phasen aufgeteilt und getrennt für die Messungen im IOS und SPS angegeben.

**Tabelle 5: p-Werte für paarweise Vergleiche von allen vier Gruppen , getrennt nach Phase, für Messungen im IOS und SPS.** Die Tabelle ist aufgeteilt in die sechs Phasen der Differenzdruckmessung. Pro Phase wurden die einzelnen Untersuchungsgruppen jeweils miteinander verglichen und auf signifikante Unterschiede an der Wange (IOS) und am Gaumen (SPS) geprüft. Die p-Werte wurden für die Anzahl der Peaks, die mediane Peakhöhe, die Anzahl der Plateaus, die mediane Plateauhöhe, die Plateaulänge und die AUC dargestellt. Fett geschriebene Werte sind signifikant. Zusätzliche Einzelwerte in dieser Tabelle mit  $p < 0,05$  sind statistisch nicht signifikant, sondern ein Zufallsergebnis, da sie nicht im globalen Vergleich als signifikant identifiziert wurden.

Phase	Gruppe	Peaks (n)		Mediane Peakhöhe (-mbar)		Plateaus (n)		Mediane Plateauhöhe (-mbar)		Plateaulänge (s)		AUC	
		IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS
OZ	I vs. II/1	0,016	0,095	0,682	0,262	0,836	0,039	0,317		0,317		0,017	0,334
OZ	I vs. II/2	0,069	0,188	0,425	0,156	0,499	0,024	0,221		0,221		0,072	0,127
OZ	I vs. O	0,740	0,791	0,513	0,465	0,357	0,053					0,522	0,465
OZ	II/1 vs. II/2	0,561	0,904	0,817	0,386	0,681	0,938	1,000	0,154	0,221	0,445	0,880	0,485
OZ	II/1 vs. O	0,081	0,249	1,000	0,386	0,287	0,803		0,825		0,507	0,067	0,637
OZ	II/2 vs. O	0,222	0,396	0,425	0,380	0,151	0,678		0,034		0,721	0,125	0,408

Phase	Gruppe	Peaks (n)		Mediane Peakhöhe (-mbar)		Plateaus (n)		Mediane Plateauhöhe (-mbar)		Plateaulänge (s)		AUC	
		IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS
HGZ	I vs. II/1	0,060	0,023	0,439	0,361	0,070	0,019	0,143	0,164	0,91	0,005	0,205	0,033
HGZ	I vs. II/2	0,963	0,519	0,396	0,565	0,295	0,036	0,685	0,440	0,569	0,315	0,903	0,394
HGZ	I vs. O	0,841	0,549	0,232	0,796	0,599	0,054	0,347	0,235	0,600	0,174	0,927	0,465
HGZ	II/1 vs. II/2	0,133	0,094	0,050	0,154	0,434	0,706	0,354	0,401	0,908	0,215	0,249	0,299
HGZ	II/1 vs. O	0,083	0,166	0,030	0,435	0,260	0,689	1,000	0,500	0,714	0,563	0,234	0,439
HGZ	II/2 vs. O	0,664	0,917	0,354	0,408	0,628	0,956	0,291	0,773	0,808	0,630	0,418	0,744
TRM	I vs. II/1	0,477	0,210	0,552	0,617	0,364	0,973	0,386	0,760	0,060	0,032	0,527	0,386
TRM	I vs. II/2	0,212	0,246	0,161	0,033	0,031	0,090	0,930	0,019	0,809	0,215	0,019	<b>0,006</b>
TRM	I vs. O	0,322	0,544	<b>0,044</b>	0,045	0,254	0,634	0,934	0,109	<b>0,020</b>	0,265	0,024	0,072
TRM	II/1 vs. II/2	0,166	0,070	0,057	0,268	0,064	0,192	0,291	0,049	0,091	0,666	0,180	0,146
TRM	II/1 vs. O	0,183	0,123	<b>0,017</b>	0,323	0,172	0,746	0,490	0,126	0,948	0,337	0,282	0,558
TRM	II/2 vs. O	0,972	0,876	0,459	0,910	0,488	0,185	0,944	0,526	<b>0,038</b>	0,714	0,718	0,361
S	I vs. II/1											0,739	0,714



Phase	Gruppe	Peaks (n)		Mediane Peakhöhe (-mbar)		Plateaus (n)		Mediane Plateauhöhe (-mbar)		Plateaulänge (s)		AUC	
		IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS	IOS	SPS
S	I vs. II/2											0,831	0,648
S	I vs. O											0,927	0,784
S	II/1 vs. II/2											0,439	0,533
S	II/1 vs. O											0,692	0,584
S	II/2 vs. O											0,654	0,986
PGZ	I vs. II/1											<b>0,017</b>	<b>0,001</b>
PGZ	I vs. II/2											0,138	<b>0,003</b>
PGZ	I vs. O											<b>0,010</b>	<b>0,001</b>
PGZ	II/1 vs. II/2											0,273	0,527
PGZ	II/1 vs. O											0,892	0,790
PGZ	II/2 vs. O											0,305	0,862
T	I vs. II/1											0,605	0,092
T	I vs. II/2											0,278	0,222
T	I vs. O											0,169	0,322
T	II/1 vs. II/2											0,664	0,835
T	II/1 vs. O											0,213	0,546
T	II/2 vs. O											0,134	0,535

In Tabelle 6 wird die Signifikanz der Messungen im IOS und SPS getrennt für die Phasen und Gruppen dargestellt. Dementsprechend gibt es in der OZ-Phase in Bezug auf die AUC einen signifikanten Unterschied in jeder Untersuchungsgruppe zwischen den beiden Lokationen IOS und SPS, wobei der Druck im SPS negativer ist, als der Druck im IOS (Tabelle 3).

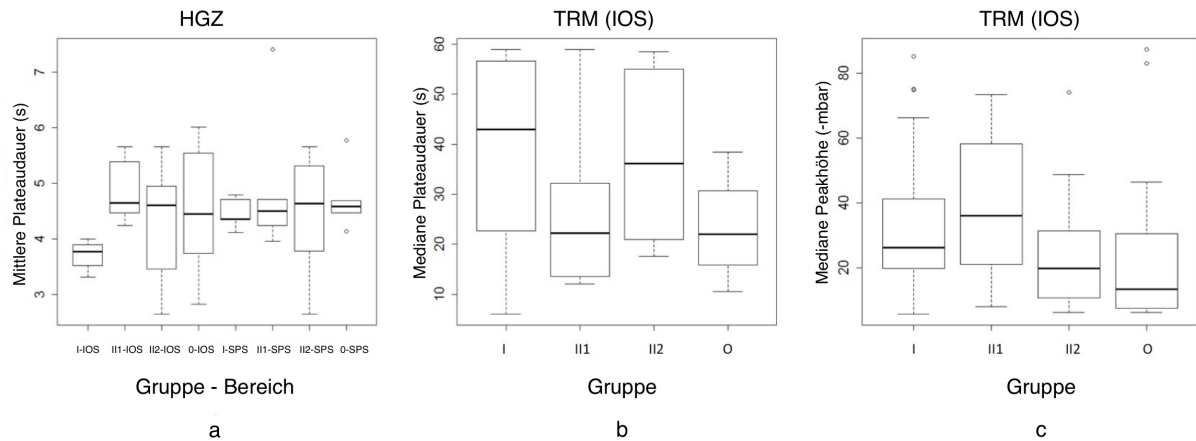
Auch gibt es einen signifikanten Unterschied in der Kontrollgruppe (I) in Bezug auf die Plateaulänge im SPS und im IOS, diesen Unterschied gibt es jedoch in keiner Untersuchungsgruppe.

**Tabelle 6: p- Werte für den Vergleich der Messungen im IOS und SPS, getrennt für Phase und Gruppe**

Die Tabelle ist aufgeteilt in die sechs Phasen der Differenzdruckmessung. Pro Phase wurde in jeder Untersuchungsgruppe geprüft, ob es eine Signifikanz der Messungen an der Wange (IOS) im Vergleich zum Gaumen (SPS) gab.

Phase	Gruppe	Peaks (n)	Mediane Peakhöhe (-mbar)	Plateaus (n)	Mediane Plateauhöhe (-mbar)	Plateaulänge (s)	AUC
OZ	I	0,258	0,606	0,317			<b>0,002</b>
OZ	II/1	0,789	0,289	0,291	0,637	0,637	<b>0,044</b>
OZ	II/2	0,542	0,083	0,349	0,064	0,475	<b>0,027</b>
OZ	O	0,404	0,882	0,074			<b>0,004</b>
HGZ	I	0,880	0,945	0,657	0,624	<b>0,014</b>	0,850
HGZ	II/1	0,692	0,528	0,727	0,847	0,335	0,494
HGZ	II/2	0,579	0,879	0,500	0,634	0,711	0,294
HGZ	O	0,365	0,123	0,354	0,661	0,608	0,109
TRM	I	0,581	0,094	0,469	0,063	0,772	0,317
TRM	II/1	0,587	0,793	0,833	0,250	0,767	0,419

<b>Phase</b>	<b>Gruppe</b>	<b>Peaks (n)</b>	<b>Mediane Peakhöhe (-mbar)</b>	<b>Plateaus (n)</b>	<b>Mediane Plateauhöhe (-mbar)</b>	<b>Plateaulänge (s)</b>	<b>AUC</b>
TRM	II/2	0,579	0,719	0,547	0,429	0,210	0,418
TRM	O	0,578	0,221	0,279	0,938	0,500	0,197
S	I						0,8076
S	II/1						0,7244
S	II/3						0,823
S	O						0,823
PGZ	I						0,753
PGZ	II/1						0,719
PGZ	II/2						0,305
PGZ	O						0,821
T	I						0,045
T	II/1						0,983
T	II/2						0,959
T	O						0,558

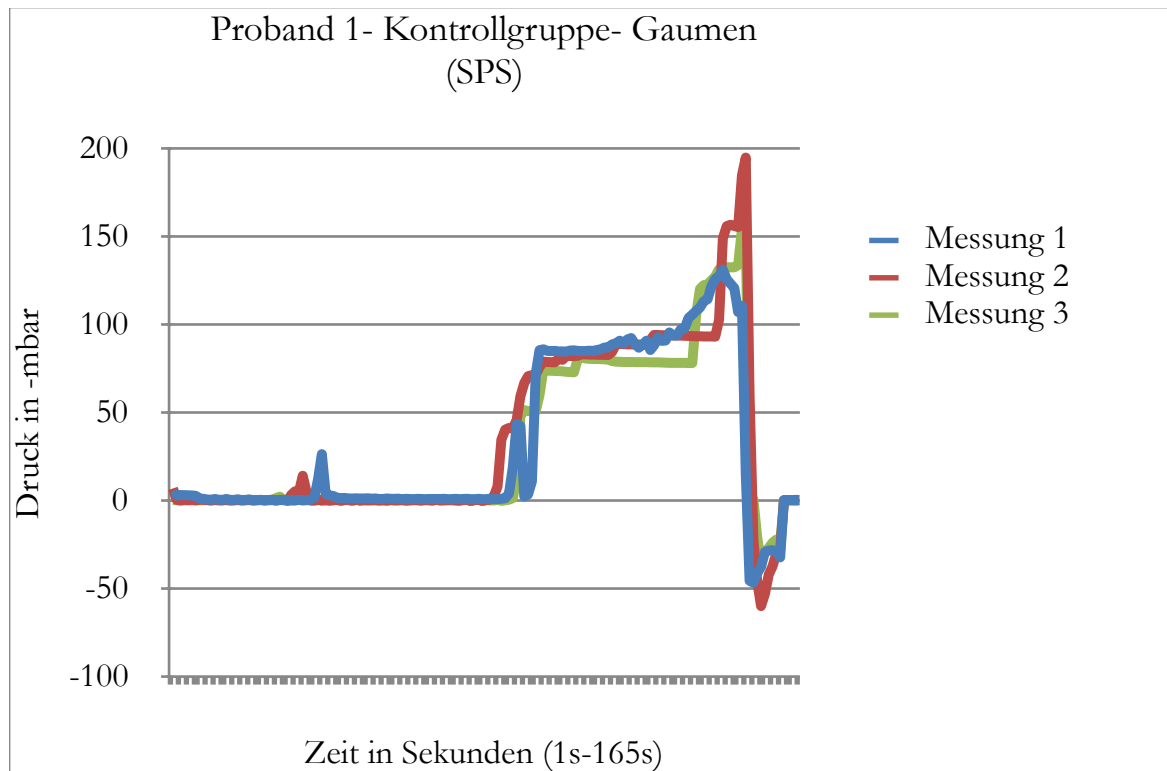


**Abbildung 16: Verteilung der mittleren Druckplateau-Dauern im IOS und im SPS während HGZ (a), im SPS während TRM (b), und die mittleren Peak-Höhen im IOS während TRM (c)**

Dargestellt als Box-Whisker-Plots werden jeweils Minimalwert, Median, Maximalwert und Interquartilabstand der Messwerte gezeigt.

**Messfehleranalyse:** Es wurden die drei Messwiederholungen der Kontrollgruppe (20 Patienten + sechs Parameter) nicht grafisch und deskriptiv ausgewertet aufgrund der großen Datenmenge ( $6 * 20 = 120$ ). Daher wurde für jeden der sechs Parameter eine Repeated Measures ANOVA berechnet und damit die Wechselwirkung zwischen Patient und Messwiederholung getestet. Diese ergab sechs p-Werte, welche alle über 0,05 lagen, d.h. der Effekt der einzelnen Messwiederholung war nicht signifikant. Weshalb für jeden Patienten die Mittelwerte über die drei Messwiederholungen verwendet wurden, welches zudem die Robustheit der analysierten Druckparameter verbessert hat.

In der Abbildung 17 wurden drei Wiederholungsmessungen im SPS eines Patienten der Kontrollgruppe I übereinander gelegt, um die Ähnlichkeit der Messwerte zu zeigen.



**Abbildung 17: Beispiel einer Kurvendarstellung eines Probanden der drei Wiederholungsmessungen am Gaumen (SPS).** Die x-Achse zeigt die Sekunden (1s-165s), die y-Achse zeigt den Druck in -mbar.

## 5. Diskussion

### 5.1 Ziel der Arbeit und Nullhypothese

Eine langfristige Stabilität einer erfolgreichen kieferorthopädischen Korrektur von Malokklusionen ergibt sich nur bei Abwesenheit von oralen Funktionsstörungen und Habits wie der habituell offenen Mundhaltung oder viszeralem, also durch Zungenvorstoßen gekennzeichnetem Schluckmuster (Melsen et al. 1987, Mew 2004, Kiliaridis et al. 1989, Fränkel 1967, Proffit 1978).

Das Ziel der Studie war es daher, die intraorale Weichteildynamik in Ruhe und in Funktion als naheliegenden Einflussfaktor auf das Entstehen oder Aufrechterhalten von Malokklusionen anhand von intraoralen Druckverlaufprofilen (phasenunspezifisch zwischen den verschiedenen Gruppen, phasenspezifisch während der unter 1.4 beschriebenen Funktionsphasen bzw. Funktionszustände) bei Probanden mit neutraler Okklusion bzw. mit Malokklusionen zu parametrisieren. Zwei der vier Untersuchungsgruppen hatten keinen frontal geschlossenen Biss (Gruppen II/1 und O, sagittal bzw. vertikal offen), die anderen beiden Gruppen wiesen eine frontal geschlossene Situation auf (I und II/2).

Es wurde die Nullhypothese getestet, dass in Abhängigkeit von verschiedenen Malokklusionen (Angle-Kl. I; Angle-Kl. II/1; Angle-Kl. II/2; front-offener Biss) während der Funktionsphasen keine signifikanten Unterschiede bzgl. der Druckverlaufskurven im (a) subpalatinalen Raum (SPS) und (b) interokklusalen Raum (IOS) bestehen.

Die Nullhypothese wurde für die Plateaulänge im IOS (Gruppe I und II/2 verglichen mit Gruppe O (Tabelle 5)) während der TRM-Phase und auch für die AUC im SPS während der TRM-Phase (Gruppe I ist verglichen mit Gruppe II/2 signifikant erhöht (Tabelle 5)) zurückgewiesen (Tabelle 4).

## 5.2 Interpretation der Messwerte der einzelnen Parameter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Parameter getrennt betrachtet und interpretiert.

### AUC

Unter Berücksichtigung des gesamten negativen Druckes, dargestellt durch die AUC (Fläche unter der Kurve), wurde ein negativerer Druck für den SPS im Vergleich zum IOS nachgewiesen (Tabelle 3). Diese Tatsache traf bei neutralverzahnten Probanden und bei den Patienten mit Malokklusion zu, und somit wurden einerseits Beobachtungen früherer Studien bei intraoraler Kompartimentbildung bei neutralverzahnten Probanden bestätigt (Engelke et al. 2011); andererseits kann dieser Befund auf die Charakteristik intraoraler Kompartimentbildung bei Malokklusionspatienten ausgeweitet werden und als ein von der Zahnstellung global zulässiges Charakteristikum betrachtet werden.

Der globale Vergleich aller Untersuchungsgruppen in Bezug auf die AUC an der Wange (IOS) und am Gaumen (SPS) ergab einen signifikanten Unterschied für die PGZ-Phase (Tabelle 4). Dieser globale Unterschied erfolgte aufgrund signifikanter Unterschiede der Messungen von IOS und SPS während der PGZ-Phase bei der Kontrollgruppe mit der Gruppe II/1 (IOS:  $p=0,0168$ ; SPS:  $p=0,0003$ ; Tabelle 3, 5) und dem offenen Biss (IOS:  $p=0,0104$ ; SPS:  $p=0,0003$ ; Tabellen 3, 5) sowie der Gruppe II/2 verglichen mit der Kontrollgruppe (SPS:  $p=0,003$ ; Tabellen 3,5). Dementsprechend gab es einen signifikanten Unterschied aller Malokklusionsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe bei der Messung am Gaumen (SPS) und bei Gruppe II/1 und der offenen Biss-Gruppe auch an der Wange (IOS) während des Wangenaufblasens (PGZ-Phase). Da alle drei Malokklusionsgruppen einen negativeren Druck im Vergleich zur Kontrollgruppe aufweisen (Tabelle 3) könnte man es dahingehend interpretieren, dass Patienten mit

Malokklusionen einen geringeren positiven Druck während des Wangenaufblasens bilden können als Patienten mit Normalverzahnung.

Auch während der TRM-Phase war die AUC im SPS global signifikant (Tabelle 4). Erklärt wird dies durch die signifikant erhöhte (negativere) AUC in Gruppe I im Vergleich zur Gruppe II/2 (Tabelle 5). Es wurde ein negativerer Druck im SPS während der TRM-Phase bei den Patienten der Gruppe I verglichen mit Gruppe II/2 nachgewiesen (Tabelle 3). Ebenso zeigt die Tabelle 3 einen negativeren Druck in der Kontrollgruppe I im Vergleich zur Gruppe II/1 und offenen Biss-Gruppe während der TRM-Phase am Gaumen (SPS). Dies könnte darauf hinweisen, dass Patienten mit Normalverzahnung einen negativeren Druck während des Zungenrepositionsmanövers aufbauen können.

### **Schluckamplituden (Peaks) und Druck-Plateaus**

Die Peak- und Plateaufrequenzen und die mediane Plateaulänge können als repräsentative Merkmale der intraoralen Kompartimentbildung und der Aktivität der beiden Funktionsräume angesehen werden.

Es wurden keine signifikanten Unterschiede im globalen Vergleich der Messungen im IOS oder im SPS für Peaks oder Plateaus festgestellt (Tabelle 4). Daraus kann man schließen, dass die Anzahl der Schluckaktivitäten bei allen Patienten ähnlich ist und in keinem direkten Zusammenhang mit den untersuchten Malokklusionen steht.

### **Mediane Peakhöhe**

Der globale Vergleich der Messungen im IOS zeigte signifikante Unterschiede für das Zungenrepositionsmanöver (TRM-Phase,  $p=0,045$ , Tabelle 4). Die weitere Aufteilung der Vergleiche zwischen den Gruppen bei der TRM-Phase ergab einen signifikanten Unterschied für die Gruppe I im Vergleich mit der Gruppe O (Tabelle 5,  $p=0,044$ ) und der Gruppe II/1 im Vergleich mit der Gruppe O (Tabelle 5,  $p=0,017$ ): die



durchschnittlichen Schluck-Peaks im IOS waren signifikant höher bei den Patienten der Gruppe I und II/1 (-34,5 zu -39,6 mbar) verglichen mit der Gruppe O (-24,4 mbar, Tabelle 5). Somit können die medianen Schluck-Peaks nicht mit der Anwesenheit oder Abwesenheit von Malokklusionen in Verbindung gebracht werden.

Vergleicht man die Drucklevel der beiden Kompartimente, war die mediane Peakhöhe generell negativer im SPS als im IOS. Mit drei Ausnahmen bei der Phase OZ und HGZ (Gruppe 1, Phase OZ und HGZ; Gruppe O, Phase OZ; Tabelle 3).

Dies bedeutet, dass in Bezug auf die Qualität des Schluckens die Bildung eines negativeren Druckes im SPS bei neutralverzahnten Probanden auftritt (Engelke et al. 2011), jedoch auch bei der Mehrheit der untersuchten Patienten mit Malokklusionen.

### **Mediane Plateauhöhe und Plateaulänge**

Es konnten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die mediane Plateauhöhe im globalen Vergleich des Drucks im IOS mit dem des SPS in den verschiedenen Gruppen (Tabelle 4) festgestellt werden, aber der globale Vergleich der medianen Plateaulänge zeigte einen signifikanten Unterschied für die Messungen im IOS während der TRM-Phase ( $p=0,04$ ; Tabelle 4).

Bei den paarweisen Vergleichen zeigte sich, dass es signifikante Unterschiede im IOS bei der Plateaulänge zwischen der Kontrollgruppe und der Offenen-Biss-Gruppe gibt ( $p=0,02$ ; Tabelle 5).

Auch zwischen Gruppe II/2 und der Offenen-Biss-Gruppe gab es einen signifikanten Unterschied ( $p=0,04$ ; Tabelle 5).

Die mittlere Plateaulänge war signifikant länger im IOS bei der neutralverzahnten Kontrollgruppe und der Gruppe II/2 (38,5s-37,6s) verglichen mit der Offenen-Biss-Gruppe (23,2s), und, obwohl nicht signifikant, auch länger als bei Gruppe II/1 (25s, Tabellen 3, 5).

Die Bildung eines Unterdrucks im SPS wird als eine Voraussetzung zur Einleitung der Schluckphase angesehen (Eckhart-Möbius 1953, Fränkel 1967, Engelke et al. 2011). Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass die Bildung eines Unterdruckes im SPS nicht abhängig von Zahnfehlstellungen ist und auch bei Malokklusionen in ähnlicher Art und Weise zu entstehen scheint.

Hingegen können aber Probanden der neutralverzahnten Kontrollgruppe und der Gruppe II/2, also den frontal dental geschlossenen Gruppen, im Vergleich zu der Gruppe II/1 und Offenen-Biss-Gruppe für einen längeren Zeitraum einen negativen Druck im IOS aufrechterhalten.

Es liegt auf Basis der Ergebnisse dieser Untersuchung nahe, dass das Generieren und Aufrechterhalten dieses negativen Drucks die intra- und peri-orale Weichgewebe, wie Wange und Lippen physikalisch und passiv stabilisiert, insbesondere in Abwesenheit neuromuskulärer Aktivität. Diese Art von passiver Stabilisierung kann im Umkehrschluss erklären, wie die Weichgewebe einen formenden Einfluss auf den knöchernen zahntragenden Komplex und die Zahnstellung haben (Moss 1962, Fränkel 1967).

### **Differenzierung der Kompartimente Wange und Gaumen**

In der OZ-Phase zeigten alle Gruppen eine Differenzierung von Kompartimenten, signifikante Unterschiede gab es in Bezug auf die AUC (Tabelle 6). Bei der offenen Mundhaltung erklärt sich der negative Druck im IOS durch ein möglicherweise unbewusstes Saugen der Probanden am Endstück des mit dem Sensor verbundenen Schlauches, damit dieser in Position zwischen den Zähnen und der Wange gehalten wird.

Auch zeigte sich in der Phase HGZ ein signifikanter Unterschied zwischen der neutralverzahnten Kontrollgruppe im Vergleich zu den Malokklusions-Gruppen (II/1, II/2 und O).

### **5.3 Limitationen**

Die Ergebnisse dieser kontrollierten, prospektiv durchgeführten klinischen Untersuchung sind im Lichte der folgenden Einschränkungen zu betrachten.

#### **5.3.1 Vergleichbarkeit des durchschnittlichen Alters der Untersuchungsgruppen**

Die Probanden wurden innerhalb des Zeitraumes vom 21. Juli 2009 bis zum 1. November 2012 zur Untersuchung einbestellt. Da eines der Ausschlusskriterien die kieferorthopädische Vorbehandlung war, ergab sich ein geringeres Durchschnittsalter der Probanden für die Gruppe II/1 im Vergleich zu den anderen Gruppen. Die Angle-Kl. II/1 gehört zu den in Deutschland üblicherweise bereits zwischen der 1. und der 2. Phase des Wechselgebisses behandelten Malokklusion, also im Alter von ca. 8 bis 10 Jahren. Daher war es schwierig, kieferorthopädisch unbehandelte Jugendliche oder Erwachsene mit einer Malokklusion der Angle-Klasse II/1 zu rekrutieren.

Zwar werden in der Literatur altersbedingte Veränderungen in Bezug auf den Lippen- oder Zungendruck kontrovers diskutiert (Posen 1972, Mitchell und Williamson 1978, Lambrechts et al. 2010). Über altersabhängige Veränderungen in Bezug auf Unterschiede der intraoralen Kompartimentbildung zwischen Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen gibt es jedoch derzeit keine konkreten auf Untersuchungsergebnissen basierenden Aussagen. Die Möglichkeit der Veränderung des Schluckmusters zwischen der Wechselgebissphase und der Phase der permanenten Dentition ist jedoch auch nicht auszuschließen. Dieser Faktor ist als eine mögliche Einschränkung der Generalisierbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu berücksichtigen.

### 5.3.2 Robustheit des Messverfahrens

Die Methode der intraoralen Druckmessungen wurde bereits zuvor von anderen Autorengruppen in ähnlicher Form angewandt (Engelke et al. 2011), meist jedoch mit Datenerhebungen an nur einer intraoralen Messstelle (Day und Foster 1970, Thüer et al. 1999, Kieser et al. 2008), wobei die Variabilität wiederholter Messzyklen eine Methodenimmanente Quelle möglicher Fehlinterpretationen darstellt. Daher wurden die Messungen jeweils dreimal wiederholt. Die dreimal wiederholten Datenerhebungen ergaben hier keine signifikanten intraindividuellen Unterschiede, auch wurden die Wiederholungen für eine weitere Analyse gemittelt, um die Robustheit der analysierten Druckparameter zu verbessern.

Darüber hinaus wurde mit der Messphase „T“ (Test) Datenerhebungen als zusätzliche Kontrolle in Bezug auf die Bewertung möglicher Blockierungen der Kanülen durch Speichel verwendet: Es ergab sich stets ein Rückfall auf den atmosphärischen Umgebungsdruck nach Entfernen der Kanülen aus der Mundhöhle (Tabelle 3) ohne signifikante Unterschiede zwischen den Testgruppen und SPS- oder IOS-Kanülen (Tabellen 4, 5). Eine messbare Blockierung der Kanülen durch Speichel trat während der Untersuchung somit nicht auf.

### 5.4 Klinische Aspekte und Schlussfolgerungen

Grundlegend für das Einleiten eines Schluckvorgangs ist die Bildung eines intraoralen Unterdruckes (Fränkel 1967, Engelke et al. 2011). In dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass ein intraoraler Unterdruck auch bei Patienten mit Malokklusionen vorkommt, obwohl deren habituelle Weichgewebsaktivitäten oft durch eine abweichende Zungenhaltung gekennzeichnet ist, wie zum Beispiel das Einlagern der Zunge zwischen

die Zähne anstatt der Positionierung am Gaumen beim offenen Biss oder bei der Angle-Klasse II/1. Die Ergebnisse zeigten, dass die mittlere Plateaulänge im IOS der front-geschlossenen Gruppen I (Kontrollgruppe) und der Gruppe II/2 wesentlich länger waren im Vergleich mit den Front-offenen Gruppen O (offener Biss) und II/1, obwohl letztere nicht signifikant war. Die Tatsache, dass es keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf den Unterdruck am Gaumen bei der mittleren Plateaulänge zwischen allen Gruppen gab, kann so interpretiert werden, dass die Patienten der vertikal oder sagittal Front-offenen Gruppen O und II/1 einen anterioren Verschluss bilden, indem sie die Zunge während des Saugens gegen die Zähne drücken (eventuell mit Hilfe der Kontraktion des M. buccinator), und somit keine Luft zwischen die Zähne strömt (Lambrechts 2010, Mew 2015).

Es liegt nahe, dass die Bildung eines korrekten Zungen-Gaumen-Schluckmusters während der kraniofazialen Gesichtsbildung den Zahnbogen formen und weiten kann, um der Zungenform zu entsprechen (Moss 1962). Bei Vorhandensein eines abweichenden, viszeralen Schluckmusters mit gleichzeitigem Zungenpressen kann dies zu sagittal oder vertikal front-offenen Situationen führen (Melsen 1987).

Die Ergebnisse dieser Arbeit können im begrenzten Maße weiteren Aufschluss über die Entwicklung und die Persistenz von offenen Bissen und der Angle-Klasse II/1 Fehlstellungen geben. Von Bedeutung könnte unter anderem das Unvermögen von Patienten mit vertikalem oder sagittalem front-offenem Biss (Gruppen O und II/1) sein, negative Druckplateaus im IOS über einen vergleichbar langen Zeitraum wie Patienten der front-geschlossenen Gruppen aufrechterhalten zu können. Folglich können myofunktionelle oder logopädische Übungen der Zungenhaltung eine vielversprechende Grundlage für die Korrektur von front-offenen Malokklusionen sein. Intraorale Druckmessungen können dabei als wertvolles diagnostisches Hilfsmittel eine Unterstützung beim Monitoring der Fortschritte derartiger Übungen bieten.

## 6. Zusammenfassung

Eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Malokklusionen spielt der Tonus bzw. der Weichteildruck der Zahn-umgebenden Muskelgruppen (Lippen, Zunge und Wangenmuskulatur) sowie die habituelle Mund- und Zungenhaltung. Ziel der Arbeit war es, den Einfluss der Zungendynamik als ätiologischen Faktor in unterschiedlichen Malokklusionsgruppen im Vergleich zu einer Normokklusionsgruppe und basierend auf dem Konzept des biofunktionellen Modells der Mundhöhle nach Engelke (Engelke 2009) durch Manometrie präzise und strahlenhygienisch zu bestimmen. In dieser prospektiven, kontrollierten klinischen Studie wurden jeweils mindestens 15 auswertbare konsekutive Probanden (aus der Abteilung Kieferorthopädie des Zentrums ZMK der Universitätsmedizin Göttingen, weiterhin aus der kieferorthopädischen Praxis Mühlstädt, Dr. Behrends und Dr. Otto sowie der zahnärztlichen Praxis Dr. Nüser in Itzehoe) auf Basis ihrer Zahnstellung einer von vier Okklusionsgruppen zugeordnet.

Hauptsächliche Einschlusskriterien waren eine vollständige Dentition (Wechselgebiss und Erwachsenengebiss, jeweils ohne fehlende Zähne oder Lücken), und die Zuordnungsmöglichkeit zu einer der folgenden Okklusionsgruppen: Angle-Klasse I (n=20), Angle-Klasse II/1 (n=15), Angle-Klasse II/2 (n=17), offener Biss (n=17).

**Methode:** Die intraoralen Druckmessungen erfolgten mit einem digitalen Präzisionsdruckmessgerät (GMH3156; mit zwei piezoresistenten Relativdrucksensoren GMSD 350MR; Messbereich / Auflösung von 500 / 0,1 mbar (rel.), und der Software GSOF3050; Greisinger, Regenstauf, Deutschland) im interokklusalen Raum (IOS) und im subpalatinalen Raum (SPS). Eine Verbindung zu den Sensoren wurde durch zwei PVC-Schläuche (4 mm Innendurchmesser) ermöglicht. Die Daten wurden unter Positionierung der Probanden in einem zahnärztlichen Behandlungstuhl erhoben.

Alle Messungen wurden dreimal pro Proband durchgeführt, jede Messung dauerte 3 Minuten und wurde in 6 Phasen unterteilt. Die Wiederholungen dienten zur Abklärung der Robustheit der erhobenen Messwerte. Die Probanden wurden aufgefordert, während der Messungen verschiedene definierte orale Manöver in einer festgelegten Reihenfolge durchzuführen.

**Ergebnisse:** Die Nullhypothese konnte für die Parameter mittlere negative Druck-Plateaulänge und Peakhöhe im IOS sowie im SPS für den Parameter AUC zurückgewiesen werden. Probanden mit frontal geschlossenen Zahnreihen (Gruppen I und II/2) konnten für eine längere Zeit einen negativen Druck im IOS aufrechterhalten als Probanden mit vertikal oder sagittal offenen Frontzahnstellungen (Gruppe O und Gruppe II/1). Von Bedeutung bei der Entwicklung und Persistenz von offenen Bissen und der Angle Klasse II/1 könnte unter anderem das Unvermögen von Patienten sein, mit vertikalem oder sagittalem front-offenem Biss (Gruppen O und II/1) negative Druckplateaus im IOS über einen vergleichbar langen Zeitraum wie in den front-geschlossenen Gruppen aufrechterhalten zu können. Schlussfolgernd können myofunktionelle oder logopädische Übungen der Zungenhaltung eine vielversprechende Grundlage für die Korrektur von front-offenen Malokklusionen sein. Intraorale Druckmessungen können dabei als wertvolles diagnostisches Hilfsmittel eine Unterstützung beim Monitoring der Fortschritte derartiger Übungen bieten.

## 7. Literaturverzeichnis

1. Abrams IN (1963): Oral Muscle Pressures. *Angle Orthod* 33(33), 83-104
2. Alwarawreh AM, Sarayreh SA, Rabadi HF, Shtaiwi Albdour EA, Al-Marzouq M (2014): Effect of body posture on malocclusion. *Pak Oral Dent J* 34 (4), 635-639
3. Angle EH (1899): Classification of malocclusion. *Dental Cosmos* 41, 248
4. Angle EH: Treatment of malocclusion of the teeth and fractures of the maxillae. Angle's system. 6. Auflage; S. S. White Dental Manufacturing Company, Philadelphia 1900
5. Angle EH: Treatment of malocclusion of the teeth. Angle's system. 7. Auflage; S.S. White Dental Manufacturing Company, Philadelphia 1907
6. Angle JC (1932): The causes of malocclusion. *Angle Orthod* 2, 36-42
7. Ballard CF (1966): The adaptive alveolar process. *Ann R Coll Surg Engl* 39, 199-203
8. Day AJ, Foster TD (1970): The measurement of variations in intraoral air pressure. *Angle Orthod* 40, 45–50
9. Eckert-Möbius A (1953): Die Bedeutung der Zunge für die Nasen- und Mundatmung. *Fortschr Kieferorthop* 14, 229-239
10. Engelke W (2003): Ein Manöver zur Positionierung der Zunge am Gaumen. *Sprache Stimme Gehör* 27, 171-175



11. Engelke W (2009): Biofunktionelle Therapie (BFT) – ein neuer Zugang zur Behandlung orofazialer Dysfunktionen. *Zahn Prax* 12, 314 – 323
12. Engelke W, Mendoza M, Repetto G (2006): Preliminary radiographic observations of the tongue repositioning manoeuvre. *Eur J Orthod* 28, 618-23
13. Engelke W, Jung K, Knösel M (2011): Intra-oral compartment pressures: a biofunctional model and experimental measurements under different conditions of posture. *Clin Oral Invest* 15, 165–176
14. Engelke W, Glombek J, Psychogios M, Schneider S, Ellenberger D, Santander P (2014): Displacement of oropharyngeal structures during suction-swallowing cycles. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 271, 1987-97
15. Fränkel R (1967): Die Dynamik des interokklusalen Unterdruckes. *Dtsch Zahnärztl Zeitschr* 22, 282
16. Fujiki T, Inoue M, Miyawaki S, Nagasaki T, Tanimoto K, Takano-Yamamoto T (2004): Relationship between maxillofacial morphology and deglutitive tongue movement in patients with anterior open bite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125:160–167
17. Glatz-Noll E, Berg R (1991): Oral Disfunction in children with Down`s syndrome: an evaluation of treatment effects by means of video-registration. *Eur J Orthod* 13, 446-451
18. Gross AM, Kellum GD, Franz D, Michas K, Wlaker M, Foster M, Bishop FW (1994): A longitudinal evaluation of open mouth posture and maxillary arch width in children aged 5 to 9. *Angle Orthod* 64, 419-24

19. Hafez HS, Shaarawy SM, Al-Sakiti AA, Mostafa YA (2012): Dental crowding as a caries risk factor: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 142, 443-50
20. Harvold EP, Chierier G, Vargervik K (1972): Experiments on the development of dental malocclusion. *Am J Orthod* 61, 38-44
21. Jung K, Engelke W, Knösel M (2011): Statistical signal processing methods for intra-oral pressure curve analysis in orthodontics. *Eur J Orthod* 34, 574-582
22. Kahl-Nieke B.: Einführung in die Kieferorthopädie. 2. Auflage; Urban und Fischer Verlag, München 2001
23. Kieser J, Singh B, Swain M, Ichim I, Waddell JN, Kennedy D, Foster K, Livingstone V (2008): Measuring intraoral pressure: Adaptation of a dental appliance allows measurement during function. *Dysphagia* 23, 237-243
24. Kiliaridis S, Mejersjo C, Thilander B (1989): Muscle function and cranio-facial morphology: a clinical study in patients with myotonic dystrophy. *Eur J Orthod* 11, 131-138
25. Knösel M, Jung K, Kinzinger G, Bauss O, Engelke WA (2010): Controlled evaluation of oral screen effects on negative intraoral pressure curve characteristics. *Eur J Orthod* 32, 535-541
26. Körbitz A: Kursus der systematischen Orthodontik. Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1914.
27. Lambrechts H, De Baets E, Fieuws S, Willems G (2010): Lip and tongue pressure in orthodontic patients. *Eur J Orthod* 32(4), 466-71

28. Lindner A, Modeer T (1989): Relation between sucking habits and dental characteristics in preschool children with unilateral cross-bite. *Scand J Dent Res* 97, 278-283
29. Lindner A, Helsing E (1991): Cheek and lip pressure against maxillary dental arch during dummy sucking. *Eur J Orthod* 13, 362-6
30. Lundeen HC, Gibbs CH: *Advances in occlusion*. John Wright, Boston, 1982.
31. Melsen B, Stensgaard K, Pedersen J (1979): Sucking habits and their influence on swallowing pattern and prevalence of malocclusion. *Eur J Orthod* 1, 271-280
32. Melsen B, Attina L, Suntueri M, Attina A (1987): Relationship between swallowing patterns, mode of respiration and developing malocclusion *Angle Orthod* 57, 113-119
33. Mew J (2015): The influence of the tongue on dentofacial growth. *Angle Orthod* 85, 715
34. Mew JR (2004): The postural basis of malocclusion: A philosophical overview. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126, 729-738
35. Mitchell IJ, Williamson HF (1978): A comparison of maximum perioral muscle forces in north American blacks and whites. *Angle Orthod* 48, 126–131
36. Modeer T, Odenrick L, Lindner A (1982): Sucking habits and their relation to posterior cross-bite in 4-year-old children. *Scand J Dent Res* 90, 323-328
37. Moreno Uribe LM, Miller SF (2015): Genetics of the dentofacial variation in human malocclusion. *Orthod Craniofac Res* 1

38. Moss ML: The functional Matrix. In: Kraus BS, Riedel RA (Hrsg.): *Vistas in Orthodontics*. Lea & Febiger, Philadelphia 1962, 85-98
39. Posen AL (1972): The influence of maximum perioral and tongue force on the incisor teeth. *Angle Orthod* 42, 285–309
40. Proffit W (1978): Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. *Angle Orthod* 48, 175-185
41. Pullinger AG, Seligman DA, Gornbein JA (1993): A multiple logistic regression analysis of the risk and relative odds of temporomandibular disorders as a function of common occlusal features. *J Dent Res* 72, 968–979
42. Santander P, Engelke W, Olthoff A, Völter C (2013): Intraoral pressure patterns during swallowing. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 270, 1019-25
43. Seligman DA, Pullinger AG (1991): The role of functional occlusal relationships in temporomandibular disorders: a review. *J Craniomandib Disord* 5, 265–279
44. Staufer K, Landmesser H (2004): Effects of crowding in the lower anterior segment—a risk evaluation depending upon the degree of crowding. *J Orofac Orthop* 65(1), 13-25
45. Thüer U, Sieber R, Ingervall B (1999): Cheek and tongue pressures in the molar areas and the atmospheric pressure in the palatal vault in young adults. *Eur J Orthod* 21, 299-309
46. Tomes C (1873): The bearing of the development of the jaws on irregularities. *Dent Cosmos* 15, 292-296

## 8. Abkürzungsverzeichnis

AUC	<i>area under the curve</i> (Fläche unter der Kurve)
GZ	beidseitig (anterior und posterior) geschlossener Zustand des oralen Systems
HGZ	halbgeschlossener Zustand des oralen Systems bei geschlossenen Lippen und fehlendem posteriorem Verschluss der Mundhöhle
IOS	interokklusaler Raum
NGZ	geschlossener Zustand mit negativem intraoralem Druck
OZ	offener Zustand des oralen Systems bei geöffneten Lippen
S	Schluckphase, letzte Messphase des Untersuchungszyklus
SPS	subpalatinaler Raum
TRM	Zungenrepositionsmanöver ( <i>tongue repositioning maneuver</i> )
PGZ	Wangenblasmanöver, geschlossener Zustand mit positivem intraoralem Druck

## 9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Angle-Klasse I.....	4
Abbildung 2	Angle-Klasse II/1.....	5
Abbildung 3	Angle-Klasse II/2.....	6
Abbildung 4	Angle-Klasse III .....	7
Abbildung 5	frontal offener Biss .....	9
Abbildung 6	seitlich offener Biss .....	9
Abbildung 7	zirkulär offener Biss.....	10
Abbildung 8	Das biofunktionelle Modell (modifiziert nach Engelke et al.2011,S.167) mit den Kompartimenten IOS und SPS .....	15
Abbildung 9	Darstellung der Mundhöhle, Platzierung der beiden Messsensoren am Gaumen und zwischen Wange und Zähnen und Messgerät.....	19
Abbildung 10	Messgerät: Präzisionsdruckmessgerät (GMH 3156).....	24
Abbildung 11	Sensoren: piezoresistente Relativdrucksensoren (GMSD 350MR).....	24
Abbildung 12	Kunststoffkanüle auf PVC-Schlauch.....	25
Abbildung 13	gekürzter Speichelzieher auf PVC-Schlauch.....	25
Abbildung 14	Patient während der Messung .....	26
Abbildung 15	Studienaufbau am Behandlungsstuhl: PVC-Schläuche, Kanüle, Speichelzieher, Sensoren und Messgerät.....	26
Abbildung 16	Verteilung der mittleren Druckplateau-Dauern im IOS und im SPS während HGZ, im IOS während TRM, und die mittleren Peak-Höhen im IOS während TRM.....	40
Abbildung 17	Beispiel einer Kurvendarstellung eines Probanden der drei Wiederholungsmessungen im SPS.....	41

## 10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Definition der Einschlusskriterien, Probanden- und Gruppencharakteristik.....	22
Tabelle 2	Definition und Länge der Phasen der Druckmessung.....	28
Tabelle 3	Mittelwert +/- Standardabweichung der Unterdruckeigenschaften, getrennt für Phase und Gruppe bei den Messungen im IOS und SPS.....	32
Tabelle 4	p-Werte für den globalen Vergleich (aller vier Untersuchungsgruppen), aufgeteilt in Phasen, für die Messungen im IOS und SPS. ....	34
Tabelle 5	p-Werte für paarweise Vergleiche von allen vier Gruppen, getrennt nach Phase, für Messungen im IOS und SPS .....	35
Tabelle 6	p-Werte für den Vergleich der Messungen im IOS und SPS, getrennt für Phase und Gruppe.....	38

## 11. Anhang

### 11.1 Anamnesebogen

#### Eingangsfragebogen zur Vorgeschichte

**-Patienten-Pseudonym-**

Geschlecht:

Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung:

Körpergewicht:

	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>
<b>1. Herzerkrankungen</b>		
<b>2. Herzrhythmusstörungen</b>		
<b>3. Häufiges Sodbrennen</b>		
<b>4. Asthma</b>		
<b>5. Behinderte Nasenatmung</b>		
<b>6. Allergien</b>		
<b>7. Bluthochdruck</b>		
<b>8. Störung körperlicher Leistungsfähigkeit</b>		
<b>9. Konzentrationsstörungen</b>		
<b>10. Tagesmüdigkeit</b>		



## 11.2 Informationsblatt für volljährige Patienten der Studie

Universitätsmedizin Göttingen  
Georg-August-Universität • Bereich Humanmedizin

### Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Abteilung: Kieferorthopädie  
Direktor: Prof. Dr. D. Kubein-Meesenburg  
Ansprechpartner: PD Dr. Knösel

Bereich Humanmedizin • Postfach 3742/43 • D-37099 Göttingen  
Abteilung für Kieferorthopädie, Robert-Koch-Str. 40

### Einverständniserklärung der Patienten

Ich bin am..... von ..... (Untersucher) über Art und Durchführung der Untersuchung und Monitoring mit dem Druckmesssystem unterrichtet worden und habe das dazugehörige Informationsblatt gelesen. Über die darin beschriebene Anwendung des Druckmesssystemes und die genannten Untersuchungsverfahren wurde ich in allem Umfang aufgeklärt. Ich habe zur Untersuchung und zur Durchführung keine weiteren Fragen und erkläre hiermit mein Einverständnis zu der besprochenen Untersuchung und erkläre mich mit der Behandlung einverstanden. Das hier gegebene Einverständnis kann ich jederzeit und ohne medizinische Folgen für die Behandlung widerrufen.

**Ich erkläre mich einverstanden, dass die im Rahmen der bei mir durchgeführten Untersuchung ermittelten Daten in pseudonymisierter, d. h. nicht personenbezogener Form für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden können.**

Göttingen, den \_\_\_\_\_

(Unterschrift des Patienten)

Universitätsmedizin Göttingen  
Georg-August-Universität • Bereich Humanmedizin

### 11.3 Informationsblatt für minderjährige Teilnehmer der Studie

Universitätsmedizin Göttingen  
Georg-August-Universität • Bereich Humanmedizin

#### **Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde**

Abteilung: Kieferorthopädie  
Direktor: Prof. Dr. D. Kubein-Meesenburg  
Ansprechpartner: PD Dr. Knösel

Bereich Humanmedizin • Postfach 3742/43 • D-37099 Göttingen  
Abteilung für Kieferorthopädie, Robert-Koch-Str. 40

### **Einverständniserklärung für gesetzliche Vertreter minderjähriger Patienten**

Ich bin am..... von ..... (Untersucher) über Art und Durchführung der Untersuchung und Monitoring mit dem Druckmesssystem unterrichtet worden und habe das dazugehörige Informationsblatt gelesen. Über die darin beschriebene Anwendung des Druckmesssystemes und die genannten Untersuchungsverfahren wurde ich in allem Umfang aufgeklärt. Ich habe zur Untersuchung und zur Durchführung keine weiteren Fragen und erkläre hiermit mein Einverständnis zu der besprochenen Untersuchung an meinem Kind ....., geb. ....und erkläre mich mit der Behandlung einverstanden. Das hier gegebene Einverständnis kann ich jederzeit und ohne medizinische Folgen für die Behandlung widerrufen.

**Ich erkläre mich einverstanden, dass die bei meinem Kind im Rahmen der bei ihm/ihr durchgeführten Untersuchung ermittelten Daten in pseudonymisierter, d. h. nicht personenbezogener Form für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden können.**

Göttingen, den \_\_\_\_\_

(Unterschrift des Patienten)

## 11.4 Genehmigungsschreiben der Ethikkommission

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN



DER VORSITZENDE DER ETHIK-KOMMISSION

ETHIK-KOMMISSION DER MED. FAKULTÄT, ROBERT-KOCH-STR. 40, 37075 GÖTTINGEN

Herrn  
PD Dr. med. dent. Michael Knösel  
Abt. Kieferorthopädie

im Hause

Robert-Koch-Straße 40  
D-37075 Göttingen  
Telefon: Referent/in +49(0)5 51 39-86 44  
Sekretariat +49(0)5 51 39-66 29  
Telefax: +49(0)5 51 39-95 36  
Internet: [www.mi.med.uni-goettingen.de/ethik](http://www.mi.med.uni-goettingen.de/ethik)  
E-Mail: [ethik@med.uni-goettingen.de](mailto:ethik@med.uni-goettingen.de)  
Datum:

05.10.2009 br-mg

Korrektur: [www.ethikkommission.med.uni-goettingen.de](http://www.ethikkommission.med.uni-goettingen.de)

vorab per Fax: 8350

Antragsnummer: 27/7/09 (bitte stets angeben)  
Studientitel: Intraorales Druckmonitoring (Manometrie) zur Evaluation der Wechselwirkung von Weichteil-Kompartimentbildung (in Ruhe und beim Schlucken) und der Zahnstellung  
Antragsteller/Prüfärzte: PD Dr. Michael Knösel, cand. med. dent. Carolin Nüser, Prof. Dr. Dr. W. Engelke, Abt. Kieferorthopädie, UM Göttingen, Dr. A. Jähmig, Praxis: Papendiek, Dr. L. Gripp-Rudolph, Praxis: Goetheallee

Zur Begutachtung lagen vor:  
Studienprotokoll  
Patienten-/Probandeninformation u. -einverständniserklärung

Sehr geehrter Herr Dr. Knösel,

wir bestätigen den Eingang Ihres Schreibens am 22.09.2009.

Folgende Unterlagen wurden vorgelegt:

- Überarbeitetes Studienprotokoll
- Geänderte Patienteninformation für Patienten und Minderjährige
- Geänderte Einwilligungserklärungen
- Geänderter Eingangsfragebogen

Nach Ergänzung der vorliegenden Dokumente und Beantwortung der im vorläufigen Votum aufgeführten Fragen bestehen nunmehr keine ethischen und rechtlichen Bedenken gegen die Durchführung des oben genannten Forschungsvorhabens.

Wir wünschen viel Erfolg bei der Durchführung Ihres Projektes.

Die Ethik-Kommission weist darauf hin, dass die ärztliche und juristische Verantwortung bei den jeweiligen Prüfärzten verbleibt.

Auf die Einhaltung einschlägiger Gesetze und Rechtsvorschriften wird hingewiesen. Die nach Rechtslage notwendigen Unterrichtungen (u. A. Prüfplanänderungen, entsprechende Zwischenfallereignisse, neue Datenlage, Nachmeldung von Prüfzentren, Abschlussbericht) sind der Ethik-Kommission unverzüglich vorzulegen.

Die Ethik-Kommission bestätigt, dass sie auf Grundlage nationaler Gesetze, Vorschriften sowie der GCP/ICH-Richtlinie arbeitet.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. J. Brockmüller  
Vorsitzender der Ethik-Kommission

Die vorliegende Arbeit war Grundlage für die folgende Veröffentlichung:

Knösel M, Nüser C, Jung K, Helms HJ, Engelke W, Sandoval P (2016)

Interaction between deglutition, tongue posture, and malocclusion: A comparison of intraoral compartment formation in subjects with neutral occlusion or different types of malocclusion.

Angle Orthod 86, 697-705

## **Danksagung**

Ich möchte mich besonders bei Herrn Prof. Dr. Knösel für die außerordentlich gute und stets freundliche Betreuung der Arbeit sowie für die fachliche Unterstützung während der Bearbeitung bedanken.

Außerdem gilt mein Dank den Mitarbeitern der Kieferorthopädischen Abteilung der Universitätsmedizin Göttingen, Herrn und Frau Dr. Nüser, sowie den Mitarbeitern der Praxisgemeinschaft Dr. Nüser, weiterhin Herrn Mühlstädt, Frau Dr. Behrends und Frau Dr. Otto sowie den Mitarbeitern der kieferorthopädischen Praxis Mühlstädt, Dr. Behrends und Dr. Otto in Itzehoe.

Weiterer Dank gilt Herrn PD Dr. Klaus Jung für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der vorliegenden Arbeit.