

Aus der Klinik für Kieferorthopädie

Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Univ.-Prof. Dr. Jörg A. Lisson, M.Sc.

Einfluss der maxillären Mikrognathie auf die Morphologie von PAS und Adenoiden

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2022

vorgelegt von: Jan Lucas Gustav Felix Schneider

geb. am: 27.12.1993 in Homburg

Tag der Promotion: 24.05.2022

Dekan: Prof. Dr. M. D. Menger

1. Berichterstatter: Prof. Dr. J. A. Lisson

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Kolja Freier

Für Oma Bistra

Inhaltsverzeichnis

1	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	1
1.1	<u>Deutsche Zusammenfassung</u>	1
1.2	<u>Abstract</u>	2
2	<u>EINLEITUNG</u>	4
2.1	<u>Hintergründe</u>	4
2.2	<u>Maxilla</u>	5
2.2.1	Anatomie	5
2.2.2	Entwicklung	6
2.2.2.1	Allgemeine Embryologie	6
2.2.2.2	Desmale Ossifikation	7
2.2.3	Postnatale Entwicklung	7
2.2.3.1	Postnatale Entwicklung des Viszerokraniums	7
2.2.3.2	Postnatale Entwicklung der Maxilla	9
2.3	<u>Maxilläre Mikrognathie</u>	10
2.3.1	Definition und Charakteristika	10
2.3.2	Therapiemaßnahmen	11
2.4	<u>Adenoide</u>	12
2.5	<u>Fernröntgenseitenbilder (FRS)</u>	13
2.5.1	Verfahren und Fehlerquellen	13

3	<u>MATERIAL UND METHODE</u>	15
3.1	<u>Patienten</u>	15
3.2	<u>FRS-Analyse</u>	16
3.2.1	Erhebung der Daten für die Gruppeneinteilung.....	16
3.2.1.1	Referenzpunkte.....	16
3.2.1.2	Referenzlinien/-strecken.....	17
3.2.1.3	Referenzwinkel.....	18
3.2.2	Erhebung der Untersuchungsdaten.....	19
3.2.2.1	Referenzpunkte.....	19
3.2.2.2	Referenzlinien/-strecken.....	23
3.2.2.3	Referenzwinkel.....	25
3.3	<u>Fehleranalyse</u>	28
3.4	<u>Statistische Auswertung</u>	29
4	<u>ERGEBNISSE</u>	30
4.1	<u>Fehleranalyse nach Dahlberg</u>	30
4.2	<u>Kolmogorov-Smirnov-Test</u>	30
4.3	<u>F-Test</u>	31

<u>4.4</u>	<u>T-Tests</u>	31
4.4.1	Streckenmessungen.....	31
4.4.1.1	Knöcherne Strecken.....	31
4.4.1.2	Posterior Airway Space.....	32
4.4.2	Flächenmessungen.....	36
4.4.3	Winkelmessungen.....	39
<u>4.5</u>	<u>Mann-Whitney-U-Test</u>	40
4.5.1	Streckenmessungen.....	40
4.5.1.1	Knöcherne Strecken.....	40
4.5.1.2	Posterior Airway Space.....	41
4.5.2	Flächenmessungen.....	42
<u>4.6</u>	<u>Regressionsanalyse</u>	44
4.6.1	Streckenmessungen.....	44
4.6.1.1	Knöcherne Strecken.....	44
4.6.1.2	Posterior Airway Space.....	46
4.6.2	Flächenmessungen.....	49
<u>5</u>	<u>DISKUSSION</u>	53
5.1	<u>Methodik</u>	53
5.1.1	Eignung der Bildgebung.....	53

5.1.2	Fehleranalyse und Statistik.....	55
5.1.3	Analyseschema.....	56
<u>5.2</u>	<u>Wachstum von Nasopharynx und Adenoiden</u>	<u>57</u>
<u>5.3</u>	<u>Ergebnisse</u>	<u>59</u>
<u>5.4</u>	<u>Fazit</u>	<u>64</u>
6	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	66
7	<u>PUBLIKATION / DANKSAGUNG</u>	73
<u>7.1</u>	<u>Publikation</u>	<u>73</u>
<u>7.2</u>	<u>Danksagung</u>	<u>73</u>

1. Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Die Fragestellung der durchgeführten Arbeit beschäftigt sich mit der Auswirkung des Vorliegens einer maxillären Mikrognathie auf die Dimensionen der extrathorakalen Atemwege. Untersuchungsgegenstand war weiterhin der Einfluss der Dysgnathie auf die Ausprägung des lymphatischen Gewebes der Rachenmandel. Zur Erforschung dieser Aspekte erfolgten kephalometrische Analysen von Fernröntgenseitenbildern (FRS) kieferorthopädischer Patienten vor Beginn ihrer Behandlung.

Hierzu wurden insgesamt 73 Probanden in eine Untersuchungsgruppe (UG) mit 34 Personen sowie eine Kontrollgruppe (KG) mit 39 Personen aufgeteilt. Die Zuweisung zur jeweiligen Gruppe erfolgte anhand des Erfüllens der Diagnosekriterien für einen mikrognathen Oberkiefer (UG) bzw. des Vorliegens einer Angle-Klasse II (KG). Das mittlere Alter der UG betrug $10,55 \pm 3,03$ Jahre bei 18 männlichen (52,9%) und 16 weiblichen (47,1%) Probanden. Das der KG $10,93 \pm 3,26$ Jahre bei 20 männlichen (51,3%) und 19 weiblichen (48,7%) Probanden. Das verwendete Analyseschema beruht auf Kombination des Vorgehens aus vorangegangenen Studien von Hourfar et al. (Hourfar, Kinzinger, Meißner, et al., 2017) sowie Jonas et al. (Jonas et al., 1988). Zur statistischen Objektivierung erfolgte eine Prüfung der erhobenen Daten auf linearen Zusammenhang mit den Diagnoseparametern mittels Regressionsanalyse sowie der Vergleich beider Gruppen mittels T-Test bzw. Mann-Whitney-U-Test.

Hierbei zeigte sich eine statistisch signifikant ($p=0,034$) geringere sagittale Tiefe der Luftwege auf Palatinalebene in der UG (2,039 mm). Passend hierzu wurde auch der knöcherne Nasopharynx als in der UG signifikant (asymptotische Signifikanz = 0,026) enger identifiziert (1,647 mm). Auf allen restlichen Niveaus des extrathorakalen Luftraums sowie im Flächenvergleich von Adenoiden und Nasopharynx konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

In den Regressionsanalysen zeigte sich die Tiefe des knöchernen Nasopharynx hoch signifikant ($F(2,69) = 6,412$, $p = 0,003$) und mittelstark ($R^2 = 0,157$, korr. $R^2 = 0,132$) durch SNA und Alter bzw. hoch signifikant ($F(2,69) = 6,392$, $p = 0,003$) und mittelstark ($R^2 = 0,156$, korr. $R^2 = 0,132$) durch ANB und Alter beeinflusst. Weiterhin wurde die sagittal angeschnittene Gesamtfläche der Rachenmandel als von SNA signifikant ($F(1,70) = 6,003$, $p = 0,017$) und schwach ($R^2 = 0,079$, korr. $R^2 = 0,066$) bzw. von ANB und SNB signifikant ($F(2,69) = 3,464$, $p = 0,037$) und schwach ($R^2 = 0,091$, korr. $R^2 = 0,065$) beeinflusst identifiziert. Auch für das Flächenverhältnis von Adenoiden zu Nasopharynx ergaben sich SNA und Alter als hoch signifikante ($F(2,70) = 5,722$, $p = 0,005$) jedoch schwache ($R^2 = 0,141$, korr. $R^2 = 0,116$) bzw.

ANB und OK/UK-Verhältnis als hoch signifikante ($F(3,69) = 4,453$, $p = 0,006$) und mittelstarke ($R^2 = 0,162$, korr. $R^2 = 0,126$) Prädiktoren.

Die Ergebnisse weisen auf eine beim Vergleich mit der Angle-Klasse II signifikante knöcherner Konstriktion in der Sagittalen des Nasopharynx bei maxillär mikrognathen Patienten hin. In Bezug auf das nasopharyngeale Weichteilprofil ergeben sich Hinweise auf eine geringfügig stärkere Neigung von Patienten der Angle-Klasse II zu größeren Adenoiden.

1.2 Abstract

The aim of the study was to assess influences of presence of maxillary micrognathia on dimensions of the extrathoracic airway space. Furthermore the impact of said dysgnathia on shaping of lymphatic adenoid tissue was investigated. To operationalize this an analysis of pre-treatment lateral cephalograms of orthodontic patients was performed.

73 persons were examined and divided into an experimental group (UG) containing 34 individuals as well as a control group (KG) of 39. The division into these groups was dependent on patients either meeting diagnostic criteria for maxillary micrognathia (UG) or presence of Angle-Class II (KG) respectively. The mean age for UG was $10,55 \pm 3,03$ years, while including 18 males (52,9%) and 16 females (47,1%). The mean age for KG was $10,93 \pm 3,26$ years while including 20 males (51,3%) and 19 females (48,7%). The used scheme of analysis is based on a combination of procedures used in earlier investigations of Hourfar et al. (Hourfar, Kinzinger, Meißner, et al., 2017) and Jonas et al. (Jonas et al., 1988).

To objectivate the obtained data statistically it was checked on linear correlations with the used diagnostic parameters using regression analysis as well as compared between the two groups using student's T-test or Mann-Whitney-U-Test respectively.

The results showed a significantly ($p=0,034$) lower sagittal depth of airway on the palatal level in UG (2,039 mm). Matching this, the bony nasopharynx was also identified as significantly (asymptotic significance = 0,026) narrower in UG (1,647 mm). Regarding all remaining levels of posterior airway space as well as in the comparison of the area of adenoids and nasopharynx no significant differences were detected. Regression analysis showed that depth of the bony Nasopharynx was highly significant ($F(2,69) = 6,412$, $p = 0,003$) and moderately dependent ($R^2 = 0,157$, korr. $R^2 = 0,132$) on SNA and age, respectively highly significant ($F(2,69) = 6,392$, $p = 0,003$) and moderately ($R^2 = 0,156$, korr. $R^2 = 0,132$) dependent on ANB and age. Furthermore the sagittal area of adenoids was identified as significantly ($F(1,70) = 6,003$, $p = 0,017$) yet weakly ($R^2 = 0,079$, korr. $R^2 = 0,066$) influenced by SNA, respectively influenced significantly ($F(2,69) = 3,464$, $p = 0,037$) yet weakly ($R^2 = 0,091$, korr. $R^2 = 0,065$)

by ANB and SNB. Also ratio of adenoid to nasopharynx area was shown to be influenced highly significantly ($F(2,70) = 5,722$, $p = 0,005$) yet weakly ($R^2 = 0,141$, korr. $R^2 = 0,116$) by SNA and age, respectively to be influenced highly significantly ($F(3,69) = 4,453$, $p = 0,006$) and moderately ($R^2 = 0,162$, korr. $R^2 = 0,126$) by ANB and upper to lower jaw ratio.

Hence, the results indicate significant bony constriction in the sagittal plane of the nasopharynx of individuals with micrognathic maxilla when compared to Angle-class II patients. Regarding nasopharyngeal soft tissue, there might be a slight tendency of Angle-class II individuals to develop larger adenoids.

2. Einleitung

2.1 Hintergründe

Eine Vielzahl kieferorthopädischer Patienten berichtet von Problemen bei der Nasenatmung (de Freitas et al., 2006; Feres et al., 2015; Nunes & Di Francesco, 2010). Diese können unterschiedlicher Natur sein und zum Beispiel auf trivialen Rhinitiden oder Sinusitiden sowie Allergien basieren. Jedoch kann z.B. auch die individuelle anatomische Situation knöcherne sowie weichteilbedingte Restriktionen bedingen (de Freitas et al., 2006; Lopatiene & Babarskas, 2002).

Hierauf allerdings verstärkt und frühzeitig Augenmerk zu legen, könnte von großem Vorteil sein. In den vergangenen Jahren wurden vermehrt Untersuchungen zu Zusammenhängen zwischen Beschaffenheit und Ausdehnung der extrathorakalen Luftwege einerseits und der Schädelmorphologie andererseits durchgeführt (Castro-Silva et al., 2015; Celikoglu et al., 2014; Di Carlo et al., 2015; El & Palomo, 2011; Gunn et al., 2000; Jayaratne & Zwahlen, 2016; Zhang et al., 2017). Hierbei wurden in zahlreichen Studien wechselseitige Beziehungen beschrieben (Agrawal et al., 2019; El & Palomo, 2011; Iwasaki et al., 2009, 2019; Martin et al., 2011), während die Autoren anderer Veröffentlichungen die gegenseitige Einflussnahme für vernachlässigbar halten (Alves et al., 2008; Indriksone & Jakobsone, 2014, 2015). Ob allerdings eine aufgrund der Anatomie der Atemwege veränderte Respiration ursächlich für eine veränderte viszerokranielle Anatomie ist, oder umgekehrt, konnte noch nicht zufriedenstellend beantwortet werden (Galeotti et al., 2019).

Eine Struktur des Nasenrachenraums ist die sogenannte Rachenmandel, die bezüglich der Respirationsqualität eine wichtige Rolle spielt. Dies betrifft nicht nur Patienten im Kindesalter, sondern auch Erwachsene. Eine Vergrößerung fällt zum einen oft mit charakteristischen Gesichtszügen, dem sogenannten »Adenoid face«, zum anderen zwangsweise mit einem verengten Nasenrachenraum zusammen (Major et al., 2014; Park et al., 2016). Es erscheint also naheliegend, dass die Dimension des Nasopharynx sowie die Rachenmandel Komponenten sind, die ebenfalls von der Schädelmorphologie abhängig sind. Der Oberkiefer wiederum spielt bezüglich der Nasenatmung schon deshalb eine Rolle, da er den »Boden« der knöchernen Nasenhöhle bildet, sodass eine Dysgnathie direkten Einfluss auf die Respirationsqualität nimmt.

Eine Art der Dysgnathie des Oberkiefers ist die maxilläre Mikrognathie, bei der der Oberkiefer in allen Dimensionen zu klein ausfällt (Harzer, 2011). Eine Assoziation maxillärer Wachstumsdefizienz (Zhang et al., 2017) bzw. des meist mit ihr vergesellschafteten Auftretens

einer Klasse III-Malokklusion (Martin et al., 2011) mit Konstriktionen des Nasenrachens ist vorbeschrieben.

Aber steht der mikrognathe Oberkiefer tatsächlich in direktem Zusammenhang mit nasalen Obstruktionen, sowie hypertrophen Rachenmandeln? Und kann ein hauptsächlich kieferorthopädisch genutztes Darstellungsverfahren ausreichend Aufschluss über die komplexe Anatomie des oberen Respirationstrakts geben? Dies gilt es in der vorliegenden Arbeit zu untersuchen, um gegebenenfalls bei betroffenen Patienten vermehrt auf die Respirationsqualität zu achten und eine frühzeitige Intervention auf skelettaler Basis anstreben zu können. Die Spanne der Einflussmöglichkeiten reicht hierbei von einer Verbesserung der Lebensqualität bei Zuständen ohne Krankheitswert, über die Behebung von chronisch rezidivierenden Mittelohrentzündungen (Cohen et al., 1992; Jeans et al., 1981; Macari et al., 2012; Wolford et al., 2012) bis hin zu Vorbeugung hinsichtlich des obstruktiven Schlafapnoesyndroms (Galeotti et al., 2019; Macari et al., 2012; Niu et al., 2020) und dem daraus teilweise resultierenden Cor pulmonale (Jeans et al., 1981; Wolford et al., 2012). Umgekehrt könnte die rechtzeitige Behebung von nasopharyngealen Obstruktionen der Ausbildung von Fehlstellungen vorbeugen (C. Aboudara et al., 2009).

2.2 Maxilla

2.2.1 Anatomie

Die Maxilla ist zentraler Bestandteil des knöchernen Mittelgesichts. Ihre Begrenzung nach kaudal wird durch die Zähne des Oberkiefers gebildet. Sie sind im Processus alveolaris lokalisiert, der nach kaudal aus dem Corpus maxillae entspringt. Nach kranial wiederum setzt sie sich in den Processus frontalis fort. Dieser verläuft temporal des Os nasale bis hin zu dessen Sutura mit dem Os frontale, welche das kraniale Ende der Maxilla markiert. Die temporalen Grenzen der Maxillae befinden sich an ihren Processus zygomatici bzw. deren Synostosen mit dem Os zygomaticum direkt unterhalb der Orbitae, deren Böden von den Facies orbitales der Oberkiefer gebildet werden. Nach okzipital artikuliert die Maxilla über den Processus palatinus mit dem Os palatinum und bildet gemeinsam mit diesem den harten Gaumen (palatum durum). Ihre beiden Hälften werden durch die Sutura intermaxillaris in der Mediansagittalebene abgegrenzt, in welcher sie weiterhin am kaudalen Ende der Apertura piriformis die Spina nasalis anterior bildet, einen wichtigen Referenzpunkt in der Kephalemetrie (Schünke M., Schulte E., 2009).

Eine klinisch wichtige Lagebeziehung besteht zwischen den Zahnwurzeln und den im Corpus maxillare befindlichen Sinus maxillares. Abszesse der Zahnwurzel können sich auf diesem Wege schnell in die Nasennebenhöhlen ausbreiten oder dort Schmerzen verursachen. Aus diesem Grund sollte bei Schmerzsymptomatik in einer der beiden Strukturen immer auch eine Ursache in der benachbarten in Erwägung gezogen werden (Schünke M., Schulte E., 2009).

Schmerzen im Oberkieferbereich werden im Allgemeinen über Äste des Nervus maxillaris (V_2) und einzelne Teile des Nervus ophthalmicus (V_1), beides Äste des Nervus trigeminus, wahrgenommen, für welche die Maxilla klinisch relevante Durchtrittsstellen besitzt.

Die wohl bedeutsamste dieser Stellen ist das im Corpus maxillae befindliche Foramen infraorbitale. Es handelt sich hierbei um einen Trigemindruckpunkt, welcher sich bei Verdacht auf Trigemineuralgien diagnostisch zu Nutze gemacht wird.

Weiterhin befinden sich im Tuber maxillae die Foramina alveolaria, durch welche die Nervi alveolares superiores, welche für die sensible Versorgung der Zähne des Oberkiefers zuständig sind, eintreten (Schünke M., Schulte E., 2009).

2.2.2 Entwicklung

2.2.2.1 Allgemeine Embryologie

So wie alle Knochen entsteht auch die Maxilla aus Mesenchym, dem „embryonalen Bindegewebe“. Es entstammt ursprünglich zum größten Teil dem Neuroektoderm der Neuralleisten und wandert mit Beginn der vierten Embryonalwoche in den ersten Branchialbogen ein. Dieser beginnt im Zuge der Differenzierung der Neuralleistenzellen zu Mesenchym zwei Fortsätze auszubilden: Den Oberkieferfortsatz mit Anlagen für Maxilla, Os zygomaticum und pars squamosa des Os temporale sowie den Unterkieferfortsatz mit der Mandibularanlage. Der oberhalb des Stomodaeum gelegene Stirnfortsatz bildet durch Verdichtung seines Oberflächenepithels bereits in der vierten Woche die Riechplakoden aus, deren Vertiefung in Richtung des späteren Nasopharynx letztlich die beiden medialen und lateralen Nasenwülste bildet. Bis zum Abschluss der sechsten Embryonalwoche vollzieht der Oberkieferfortsatz eine Fusion mit dem lateralen Nasenwulst unter Ausbildung der Tränennasenrinne, während die Verwachsung mit den medialen Nasenwülsten (genauer: mit deren Processus globulares) bis zur maximal zehnten Woche abgeschlossen ist. Letztgenannter Vorgang ist von großer Bedeutung für das klinisch häufige Bild der Lippenpalte, da diese bei fehlerhafter Fusion eines medialen Nasenwulstes mit dem Oberkieferfortsatz entstehen kann. Die Verwachsungen zwischen Oberkieferfortsatz und

Nasenwülsten bewirken letztlich eine „Durchmischung“ des Mesenchyms der einzelnen Fortsätze, sodass die Bildung eines durchgängigen Oberkiefers erreicht wird (Moore K.L., Persaud T.V.N., 2013; Rohen J.W., 2017).

2.2.2.2 Desmale Ossifikation

Wie der größte Teil des Viszerokraniums findet auch die Ossifikation der Maxilla auf desmalem Wege statt. Im Schädelbereich geschieht dies ab der achten Embryonalwoche und im Gegensatz zur chondralen Ossifikation ohne die Ausbildung eines Knorpelmodells vom späteren Knochen. Den Beginn der desmalen Ossifikation markiert eine verstärkte Vaskularisierung des verdichteten Mesenchyms. In diesem stärker durchbluteten Bereich beginnen sich Zellen des embryonalen Bindegewebes zu Osteoblasten zu differenzieren, welche unmittelbar mit der Kollagensynthese beginnen. Auf diesem Weg wird das noch unmineralisierte Grundgerüst des Knochens, das Osteoid, geschaffen. An die so entstandenen Vorläufer der späteren Knochen trabekel lagern sich weitere Osteoblasten an, die den Vorgang fortsetzen. Simultan beginnen Osteoklasten in den dadurch entstehenden Howship-Lakunen mit dem teilweisen Abbau des neu gebildeten Osteoids, sodass die netzartige Struktur der Spongiosa entsteht, die sich später im Randbereich zur Compacta verdichtet (Lüllmann-Rauch R., 2012).

2.2.3 Postnatale Entwicklung

2.2.3.1 Postnatale Entwicklung des Viszerokraniums

Im Vergleich zum Viszerokranium des Erwachsenen weisen die Gesichtsknochen Neugeborener vergleichsweise weniger voluminöse Sinus auf. Gleiches bezüglich Größe und Pneumatisierung gilt auch für den Processus mastoideus. In ausgeprägten Fällen fehlen die Hohlräume komplett. Diese müssen beim Heranwachsenden also erst ausgebildet werden. Weiterhin fällt der Gesichtsschädel beim Neugeborenen im Verhältnis zum Neurokranium wesentlich kleiner aus als beim Erwachsenen (Moore K.L., Persaud T.V.N., 2013)

Maßgeblich für die Größenzunahme verantwortlich sind die eingangs genannte Ausbildung der Nasennebenhöhlen, sowie die Durchbrüche der ersten und der zweiten Dentition, welche rapide Wachstumschübe des Gesichtsschädels in allen Dimensionen mit sich bringen (Moore K.L., Persaud T.V.N., 2013). Das Verhältnis von Neurokranium zu Viszerokranium hingegen ändert sich aufgrund des ausgeprägten Hirnwachstums erst im fünften Lebensjahr zu Gunsten des Viszerokraniums (Diedrich, 2000).

Dem zugrunde liegt die Ausrichtung des Wachstums des Neurokraniums nach dem des zentralen Nervensystems, während das Viszerokranium sich in seiner Wachstumsrate dem allgemeinen Körperwachstum angleicht (Schopf, 2008). Es erfolgt eine charakteristische Änderung der Gestalt des Gesichtes, da die knöchernen Anteile im Zuge des Wachstums nach ventral und kaudal verlagert werden. Das Wachstum erfolgt in dorsale und kraniale Richtung und hat in vertikaler Richtung hierbei Überhand im Vergleich zur Größenzunahme in der Sagittalebene und der Transversalen. Bis zum etwa 20. Lebensjahr sind sowohl Volumenzunahme als auch Zunahme der Knochendicke abgeschlossen. Der Schädel im Gesamten vergrößert sich nach der Geburt bis zum Erwachsenenalter hin um das Dreifache. Hintergrund hierfür ist vor allem Wachstum im Bereich der Suturen und Fonticuli, deren Flexibilität zum Zeitpunkt der Austreibungsphase noch gegeben sein muss und nicht etwa das Appositionswachstum (Diedrich, 2000).

Allerdings ist dieses zusammen mit Resorptionsgängen an der Schädelinnenseite hauptsächlich verantwortlich für die Verlagerung der Schädelbasis nach ventral und kaudal. Als wichtigster Ausgangspunkt für das Wachstum gilt die Synchronosis sphenoccipitalis, welche zwischen dem zwölften und dem 15. Lebensjahr zur Suture verknöchert. Da es sich bei der Schädelbasis um die kraniale knöcherne Begrenzung des nasomaxillären Komplexes handelt, wird die Verlagerungsrichtung auf ihn übertragen. Weiterhin lassen diese anatomischen Lageverhältnisse darauf schließen, dass Hypoplasien im Mittelgesichtsbereich in einer verfrühten Verknöcherung der Synchronosis sphenoccipitalis begründet sein können (Diedrich, 2000).

Außerdem von Bedeutung ist, dass im Zuge des Wachstums sowohl im Bereich der Sella turcica als auch des Clivus ebenfalls Appositionswachstum und Resorption stattfinden. Hieraus können durch den ständigen Wandel verschieden stark ausgeprägte Messfehler bei Nutzung der Referenzpunkte Basion und Sella in der Kephalometrie resultieren (Diedrich, 2000).

Nach Schopf ist das Wachstum des Viszerokraniums »nicht auf „Wachstumszentren“ beschränkt, vielmehr sind alle Knochenoberflächen in gewissem Maße an Wachstum und Remodellierungsprozessen beteiligt.« (Schopf, 2008).

Dem zugrunde liegen dabei vier unterschiedliche Wachstumstheorien: Die Theorie von der suturalen Dominanz nach Sicher schreibt dabei den Hauptantrieb dem Wachstum im Bereich der Schädelnähte zu.

Scott wiederum maß den Kraniosynostosen lediglich eine Anpassungsbedeutung bei. In seiner Theorie des knorpeligen Wachstums stehen chondrale Wachstumszentren im Fokus der

Entwicklung des Gesichtsschädels. Diesen beiden Theorien steht die im Vergleich komplizierter anmutende Theorie der funktionellen Matrix gegenüber.

Moss geht hierbei für die grundsätzliche Initiation des Schädelwachstums von genetischen Prozessen aus. Jedoch soll die weitere Ausdifferenzierung auf physikalischen Reizen basieren, welche durch Weichteilumgebung und jeweilige physiologische Funktion des Knochens entstehen. So bilden sich Gesichtsknochen bei fehlendem mechanischem Reiz durch Ansatzpunkt eines Muskels, weniger starke Durchblutung sowie verminderte nervale Einflüsse aufgrund veränderter resorptiver und appositioneller Vorgänge auch weniger stark aus. Neben der periostalen funktionellen Matrix existiert nach Moss weiterhin die kapsuläre funktionelle Matrix. Diese beinhaltet nach funktionellen Gesichtspunkten eingeteilte Kapseln mit funktioneller Matrix, welche durch ihre Abgrenzung geschützt werden soll. Äußere Einflüsse wie die Ausdehnung des Hirns innerhalb des Neurocraniums (neurocraniale Kapsel) nehmen Einfluss auf die Wachstumsmuster in der gesamten Matrix der Kapsel (Schopf, 2008).

Zu Letzt bleibt die Theorie des äquivalenten Wachstums nach Enlow, welche nach topographischen Aspekten geht. Es wird grundsätzlich in vier voneinander getrennte Bereiche des Schädels unterschieden: Unterkiefer, Mittelgesicht, Obergesicht und Schädeldach. Die hierbei benachbarten Abschnitte beeinflussen sich jeweils gegenseitig in Entwicklung und Wachstum, passen sich gegenseitig aneinander an und sind somit in der strukturellen Entstehung voneinander abhängig (Schopf, 2008).

Allerdings reichen laut Horch die hier angeschnittenen Theorien nicht für ein zufriedenstellendes Verständnis des kraniofazialen Wachstums aus: »So können die bisher aufgestellten Wachstumstheorien, weder die klassischen, noch die der „funktionellen Matrix“, die Zusammenhänge des Schädelwachstums nur unzureichend erklären[...].« (Horch, 2007).

2.2.3.2 Postnatale Entwicklung der Maxilla

Die anfangs spärliche Entwicklung der Maxilla schlägt mit dem Durchbruch der ersten Dentition in ein starkes, hauptsächlich appositionelles Wachstum um. Lediglich in der kaudalen knöchernen Begrenzung der Nasenhöhle sowie im Processus alveolaris finden resorptive Vorgänge statt, was sowohl der Formgebung, als auch der Bereitstellung von Raum für Zähne, jedoch nicht dem Längenwachstum dient. Die zuvor bereits erwähnte Kaudal- und Ventralverlagerung der Maxilla kommt durch die Nasenbodenresorption einerseits in Kombination mit Apposition ihres Anteils am harten Gaumen und des Tuber maxillae andererseits zustande. Die Vergrößerung des palatum durum ist allerdings mehr ein Produkt

von Wachstum am okzipitalen, als am ventralen Ende. Somit ist hierfür die Entwicklung des Os palatinum bedeutender als die der Maxilla. Für die nasale Ventilation ungünstige Septumdeviationen können in diesem Wachstumsstadium durch eine räumliche Missverteilung von Appositions- und Resorptionszentren entstehen. Weiterhin wichtig für die räumliche Ausdehnung des Oberkiefers ist das Wachstum im Bereich der Synostosen mit den angrenzenden Knochen. Auch dieses ist appositioneller Natur, jedoch nur bis Abschluss des vierten Lebensjahres von erwähnenswerter Dimension (Horch, 2007; Schopf, 2008).

2.3 Maxilläre Mikrognathie

2.3.1 Definition und Charakteristika

Als maxilläre Mikrognathie werden Unterentwicklungen der Maxilla in allen Dimensionen bezeichnet. Sie basieren auf Hypoplasien und können sowohl hereditär bedingt oder mit genetischen Defekten assoziiert sein, als auch postoperativ z.B. nach Korrektur von Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten, sowie bei multiplen Aplasien von Zahnkeimen auftreten.

Zur Diagnose kann die laterale Kephalmetrie (Fernröntgenseitenaufnahme, FRS) herangezogen werden. Es gelten folgende Kriterien: SNA-Winkel unterhalb der Norm ($82,3^\circ$) und ANB-Winkel $\leq 4^\circ$. Im Gegensatz dazu SNB-Winkel innerhalb der Norm ($80,3^\circ$). Zusätzlich ist das Verhältnis von Länge der Oberkieferbasis zu Länge der Unterkieferbasis, welches im Falle einer regelrechten Schädelmorphologie bei 2:3 liegt, durch verringerte Oberkiefergröße linksverschoben. Hinsichtlich der Okklusion ist eine Klasse III-Okklusion anterior und posterior sowie häufig eine falsche Verzahnung oder umgekehrte sagittale Frontzahnstufe zu erwarten (Harzer, 2011).

Die maxilläre Mikrognathie findet sich häufig bei Menschen mit länglichen (dolichofazialen) Gesichtstypen und äußert sich in der sagittalen und transversalen Dimension. Dieser Gesichtstyp wurde bereits in verschiedenen Studien zu Fragestellungen, die Gemeinsamkeiten mit der hier vorliegenden aufweisen, mit Adenoidhypertrophien und daraus resultierenden nasopharyngealen Verengungen in Verbindung gebracht. (Park et al., 2016; Wolford et al., 2012). Ein Zusammenhang zwischen maxillärer Mikrognathie, mit ihr einhergehenden Kreuzbissen und den räumlichen Begebenheiten der oberen Atemwege erscheint also naheliegend.

So postulieren beispielsweise Wolford et al ein häufigeres Auftreten hypertropher Rachentonsillen bei Patienten mit höherem Okklusalebenewinkel. Diese neigen laut der Autoren zu pathologisch retrudiertem Ober- und Unterkiefer und daraus folgend einem verengten oropharyngealen Luftraum. Weiterhin wird hier die Bedeutung der bereits

angesprochenen Adenoidektomie als Maßnahme zur Therapie von nasopharyngealer Obstruktion herausgestellt, da im Mittel eine Verbreiterung des Airways um knapp 9 mm möglich war (Wolford et al., 2012).

2.3.2 Therapiemaßnahmen

Präventive Maßnahmen bei einer gering ausgeprägten maxillären Mikrognathie umfassen den Erhalt der Transversalen und Sagittalen besonders in Hinblick auf die Dentition. So ist ein besonderes Augenmerk auf die Anlage der bleibenden Zähne, insbesondere der seitlichen Schneidezähne, zum Erreichen und Erhalten einer größtmöglichen Transversalentwicklung des Oberkiefers nötig. Prophylaktisch sollten hinsichtlich der Entwicklung des Oberkiefers zahnerhaltende Therapiemaßnahmen bei stark ausgeprägtem Kariesbefall während des Wachstums durchgeführt sowie durch Platzhalter der verminderten Transversalentwicklung des Oberkiefers bei vorzeitigem Zahnverlust entgegengewirkt werden. Im Falle von Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten ist vor allem die sorgfältige Wahl des Interventionszeitpunktes ausschlaggebend für die korrigierende Beeinflussung des Kieferwachstums (Harzer, 2011; Horch, 2007). Dennoch sollte hierbei schon alleine aus psychosozialen Gründen die Phonation des Patienten im Vordergrund stehen, denn: »Ein günstiges Wachstum des Gesichtsschädels hilft dem Spaltpatienten äußerst wenig, wenn es auf Kosten der Sprachfunktion geht.« Aus diesem Grund erfolgen operative Verschlüsse in der Regel noch im Säuglings- bzw. Kleinkindesalter (Horch, 2007).

Sollte man sich nicht mehr im Prophylaxestadium sondern bereits im Bereich akuten Handlungsbedarfs befinden, so sind die genutzten Mittel von der Ausprägung bestimmter Parameter abhängig. Sollte das Ausmaß der sagittalen Frontzahnstufe lediglich gering ausfallen und eine normale oder retrudierte Schneidezahninklination vorliegen, so stellt die Behandlung mit einer herausnehmbaren Plattenapparatur eine adäquate Therapiemöglichkeit dar (Harzer, 2011). Durch die so ausgeübte Aktivierung kann eine Protrusion der Frontzähne erreicht werden. Hierbei ist je nach Ausmaß des transversalen Defizits der Einsatz einer Transversalschraube sinnvoll (Sander F.G., Schwenzer N., 2011).

Sollte der Durchbruch der ersten Molaren sowie der Schneidezähne bereits erfolgt sein, so bedient man sich der Gesichtsmaske nach Delaire. Durch diese extraorale Apparatur wird das Wachstum in der Sagittalen begünstigt. Die Delaire-Maske kann zu Gunsten der Erweiterung der Maxilla in der Transversalen mit einer forcierten Gaumennahterweiterung kombiniert werden (Harzer, 2011). Auch hier ist aufgrund der unterschiedlich weit fortgeschrittenen Ossifikation der Sutura palatina mediana das Alter des Patienten maßgeblich für das

Vorgehen. Je nach Ausmaß und Art der Verknöcherung kommen unterschiedlich starke Aktivierungsgrade der Apparaturen und gegebenenfalls sogar eine chirurgische Auftrennung der Gaumennaht zum Einsatz (Sander F.G., Schwenger N., 2011).

Eine alternative Möglichkeit zur Korrektur des mikrognathen Oberkiefers stellt der Funktionsregler nach Fränkel Typ III dar, der sich allerdings eines anderen Wirkprinzips bedient. Hier wird die Ausdehnung nicht direkt durch mechanische Einwirkung forciert, sondern durch das Ausschalten hemmender Faktoren indirekt begünstigt. Zu ihnen gehören der Kontakt des Kiefers mit dem Inneren der Lippen und Wangen. Der Funktionsregler nach Fränkel unterbindet zum einen diesen Kontakt, dehnt die umliegenden Weichteile zum anderen allerdings zusätzlich, sodass neben der Wachstumsenthemmung gleichzeitig Platz für die Ausdehnung geschaffen wird (Harzer, 2011; Sander F.G., Schwenger N., 2011).

Sollte der Mikrognathie der Maxilla eine Nichtanlage von Zähnen zugrunde liegen, kann außerdem eine ausgleichende Extraktion im Gebiss der Mandibula durchgeführt werden, um die Verhältnisse der Kiefer aneinander anzupassen. Die regelrechte Stellung der unteren Schneidezähne darf hierbei zur korrekten Indikationsstellung jedoch nicht beeinträchtigt werden (Harzer, 2011).

2.4 Adenoide

Als Adenoide werden im klinischen Sprachgebrauch hyperplastische Vergrößerungen der Rachenmandel (tonsilla pharyngealis) bezeichnet. Um Missverständnisse zu vermeiden, sei hier erwähnt, dass „Adenoid“ auch als Begriff für die Rachenmandel im physiologischen Zustand genutzt werden kann. Diese ist im obersten der drei Rachenabschnitte, dem Nasopharynx, lokalisiert und unpaar angelegt. Als Teil des Waldeyer-Rachenrings handelt es sich bei der Tonsilla pharyngealis um lymphatisches Gewebe, welches hauptsächlich Abwehrfunktionen übernimmt.

Die anatomischen Umstände bedingen einen engen Lagebezug zu verschiedenen physiologisch wichtigen Öffnungen wie den Choanen und den Ostien der Tuba auditiva. Diese können durch Vegetationen der Rachenmandel verengt oder verlegt werden. Folgen sind Störungen der Nasenatmung sowie der Belüftung des Mittelohrs, was unter anderem chronisch rezidivierende Mittelohrentzündungen und daraus resultierende Schallleitungsstörungen oder das obstruktive Schlafapnoe-Syndrom mit sich bringen kann. Besonders Patienten im Kindesalter sind aufgrund der Wachstumsvorgänge von adenoiden Wucherungen betroffen (Schünke M., Schulte E., 2009).

2.5 Fernröntgenseitenbilder (FRS)

Eine gängige Methode zur Darstellung des Gesichtsschädels stellt die laterale Kephalmetrie dar. Die hierbei entstehenden Fernröntgenseitenbilder (FRS) werden vorrangig in der Kieferorthopädie als diagnostisches Verfahren zur Feststellung von Malokklusionen und Kieferfehlstellungen benutzt (Segner & Hasund, 1998). Sie stellen weiterhin allerdings auch die oberen Atemwege dar und lassen so in gewissem Rahmen Rückschlüsse auf deren Ausdehnung zu.

2.5.1 Verfahren und Fehlerquellen

Im FRS werden Schädel und Halsbereich im Mediansagittalschnitt abgebildet. Der Fokus liegt hierbei vor allem auf dem Viszerocranium, weshalb Aussagen über die Morphologie des Gesichts und damit Kieferanomalien sowie hieraus folgende Zahnfehlstellungen gemacht werden können. Aus diesem Grund gilt das FRS als gängiges diagnostisches Verfahren in der Kieferorthopädie (Segner & Hasund, 1998).

Für die Röntgenaufnahme wird der Kopf des Patienten mit Hilfe der sogenannten Ohroliven in einer hierfür vorgesehen Halterung fixiert und meist gemäß der Frankfurter Horizontalen (Verbindungsline zwischen oberstem Punkt des Meatus acusticus externus und dem untersten Punkt der Orbita) orientiert (Segner & Hasund, 1998).

Hierdurch werden fehlerhafte Abbildungen durch Bewegungen des Patienten eliminiert. Dennoch befinden sich hier mögliche Fehlerquellen wie etwa zu locker angezogene Feststellschrauben oder durch Verformung der Halterung asymmetrisch positionierte Ohroliven. Diese gilt es also zu überprüfen. Ebenfalls die Haltung des Patienten betreffende Fehlerquellen finden sich in der eingenommenen Bissposition. Hier sollte die »retrale ohne Zwang erreichbare Position« (Segner & Hasund, 1998) eingenommen werden, gegebenenfalls auch über einen Wachsbiss forciert.

Weiterhin ist auch bei vollkommen korrekter Durchführung das Abbildungsverfahren an sich nicht fehlerfrei; eine der Problematiken besteht in der Divergenz der von der Röhre emittierten Strahlung. Die unterschiedlichen Laufstrecken der einzelnen Strahlen bedingen eine im Vergleich zum geröntgten Schädel vergrößerte Darstellung auf dem Film. Letztere ist nicht einheitlicher Natur, sondern so beschaffen, dass der Strahlenquelle ferne Punkte stärker vergrößert erscheinen als quellennahe. Um diesen Fehler gering zu halten, sollte die Röntgenröhre möglichst weit vom Objekt entfernt positioniert werden, da auf diesem Weg die Strahlendivergenz minimiert wird. In den meisten Fällen werden, abhängig von den räumlichen

Gegebenheiten, Abstände von 1,7 m oder 4 m gewählt. Dies beugt neben vorgenanntem Effekt weiterhin der durch die nicht-punktförmige Beschaffenheit der Strahlenquelle entstehenden Unschärfe vor (Segner & Hasund, 1998).

Dennoch lassen sich die Fehler auf diesem Wege nicht vollständig beseitigen, weshalb es aufgrund der unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren oftmals zur Entstehung von Doppelkonturen kommt, welche bei der Begutachtung der Abbildungen berücksichtigt werden müssen.

Von wesentlicher Bedeutung im FRS sind neben den knöchernen Strukturen auch Weichteile. Die hierbei bestehende Problematik liegt darin, dass letztere aufgrund der im Vergleich zu Knochen geringeren Strahlendichte als wesentlich schwächere Verschattungen auf dem Röntgenfilm erscheinen. Man bedient sich wegen der am Schädel vorliegenden unterschiedlich beschaffenen Strukturen zum einen möglichst kontrastarmen Filmmaterials, sowie Zinksalbe, welche auf die Weichteilstrukturen aufgetragen wird und hier für eine höhere Elektronendichte sorgt (Segner & Hasund, 1998).

3. Material und Methode

3.1 Patienten

Das untersuchte Patientenkollektiv wurde nach in FRS ermittelten kephalometrischen Parametern zusammengestellt. Hierbei wurde abhängig vom Erfüllen der Diagnosekriterien für einen mikrognathen Oberkiefer in eine Untersuchungsgruppe [UG] und eine Kontrollgruppe [KG] unterteilt.

Die Inklusionskriterien für Zuordnung zur UG beinhalteten unter Berücksichtigung der natürlichen Schwankungsbreiten:

1. SNA-Winkel unterhalb des Mittels ($< 79^\circ$)
2. SNB-Winkel innerhalb oder unterhalb des Mittels ($< 83^\circ$)
3. ANB-Winkel unterhalb des Mittels ($< 0^\circ$)
4. Oberkiefer/Unterkiefer-Längenverhältnis $< 0,66$

Die Inklusionskriterien für Zuordnung zur KG beinhalteten unter Berücksichtigung der natürlichen Schwankungsbreiten:

1. SNA-Winkel innerhalb oder oberhalb des Mittels ($> 79^\circ$)
2. SNB-Winkel innerhalb oder unterhalb des Mittels ($< 83^\circ$)
3. ANB-Winkel oberhalb der des Mittels ($> 4^\circ$)
4. Oberkiefer/Unterkiefer-Längenverhältnis $> 0,66$

Für die Analyse wurden die vor Beginn der kieferorthopädischen Behandlung angefertigten FRS verwendet, um Ergebnisverfälschungen durch den Einfluss der angewandten Apparaturen zu vermeiden. Exklusionskriterien stellten Syndromerkrankungen, das Vorliegen von Lippen-Kiefer-Gaumenspalten, anderer kraniofazialer Anomalien, sowie ein Alter > 20 Jahre dar.

Nach Anwendung der genannten Vorgaben wurden insgesamt 73 Patienten UG ($n=34$) bzw. KG ($n=39$) zugewiesen. Das mittlere Alter der UG betrug $10,55 \pm 3,03$ Jahre bei 18 männlichen (52,9%) und 16 weiblichen (47,1%) Probanden. Das der KG $10,93 \pm 3,26$ Jahre bei 20 männlichen (51,3%) und 19 weiblichen (48,7%) Probanden.

3.2 FRS-Analyse

3.2.1 Erhebung der Daten für die Gruppeneinteilung

Zur Erhebung der für die Gruppeneinteilung relevanten, o.g. Daten wurden Referenzpunkte auf den FRS der Patienten markiert, von denen ausgehend die zu messenden Strecken und Winkel konstruiert werden konnten. Dies geschah in digitaler Form mittels des Röntgenanalyseprogramms OnyxCeph®. Überlagerungsverschuldete Doppelkonturen wurden durch gemittelte Punktmarkierung korrigiert. In Anlehnung an die Bergen-Analyse nach Segner und Hasund (Segner & Hasund, 1998) sowie die kephalometrische Analyse nach Schwarz (Schwarz, 1961) wurden nachfolgende Referenzpunkte, -linien und -winkel genutzt:

3.2.1.1 Referenzpunkte

Sella turcica (S)

Mittelpunkt der Fossa hypophysialis der Sella turcica. Hierbei handelt es sich um einen konstruierten Punkt, für dessen Festlegung an der Stelle des größten Durchmessers der Krypte die Strecke halbiert wird.

Nasion (N)

Am weitesten anterior gelegener Punkt der Knochensutur zwischen Os nasale und Os frontale. Bei V-förmigem Auslaufen der Suture wird der am weitesten posterior gelegene Punkt des Vs verwendet.

Spina nasalis anterior (Spa)

Am weitesten anterior gelegener Punkt des knöchernen Fortsatzes der Maxilla, der den Boden der apertura piriformis bildet.

Spina nasalis posterior (Spp)

Am weitesten posterior gelegener Punkt des knöchernen dornförmigen Fortsatzes der Maxilla, der den Übergang von hartem zu weichem Gaumen markiert.

A-Punkt (A)

Punkt der maximalen Tiefe des Konkavs zwischen Processus alveolaris und Spa. Wird durch Dorsalverschiebung einer zwischen Spa und Limbus alveolaris gezogenen Linie bis zum Erreichen des Berührungspunktes mit dem Konkav ermittelt.

Pogonion (Pg)

Am weitesten anterior gelegener Punkt des knöchernen Kinns. Ermittlung durch Verschieben eines senkrechten Lots zur Mandibularebene bis zur tangentialen Berührung mit der vorderen Kontur des Unterkiefers.

B-Punkt (B)

Punkt der maximalen Tiefe des Konkavs des Unterkiefer-Alveolarfortsatzes. Auch hier erfolgt die Ermittlung über Dorsalverschiebung einer Linie (hier zwischen Pg und Limbus alveolaris des Unterkiefers) bis zum Erreichen des Berührungspunktes mit dem Konkav.

Gnathion (Gn)

Ist als kaudalster Punkt der Unterkiefersymphyse definiert. Es handelt sich gleichzeitig um den Punkt maximalen Abstands von der Nasion-Sella-Linie (s.u.).

Inferior Gonion (InfGo)

Maximaler Vorwölbungspunkt der Protuberantia masseterica am Unterkieferwinkel.

3.2.1.2 Referenzlinien/-strecken

Nasion-Sella-Linie (NSL)

Strecke zwischen S und N. Kennzeichnet die Neigungsverhältnisse zwischen vorderer Schädelgrube und Viszerocranium.

Nasallinie (NL)

Strecke zwischen Spa und Spp. Kennzeichnet den Nasenboden und damit die Neigungsverhältnisse der Oberkieferbasis. Diente hier zur Bestimmung der Oberkieferlänge und somit des OK/UK-Verhältnisses.

Mandibularlinie (ML)

Strecke zwischen Gn und InfGo. Kennzeichnet das Corpus mandibulae und damit die Neigungsverhältnisse der Unterkieferbasis. Diente hier zur Bestimmung der Unterkieferlänge und somit des OK/UK-Verhältnisses.

3.2.1.3 Referenzwinkel

SNA-Winkel (SNA)

Winkel zwischen NSL und A-Punkt. Kennzeichnet die Lagebeziehung zwischen A-Punkt und vorderer Schädelbasis, beschreibt also die sagittale Lage der Maxilla.

Weiterhin gibt er Auskunft über den Prognathie-Grad des Oberkiefers. Werte $< 79^\circ$ gelten als retrognath, solche $> 85^\circ$ als prognath, dazwischenliegende als orthognath.

SNB-Winkel (SNB)

Winkel zwischen NSL und B-Punkt. Kennzeichnet die Lagebeziehung zwischen B-Punkt und vorderer Schädelbasis, beschreibt also analog zum SNA-Winkel eine sagittale Kieferlage, hier allerdings die der Mandibula. Auch er trifft eine Aussage zum Prognathie-Grad. Hier gelten Werte erst ab $< 77^\circ$ als retrognath und solche $> 83^\circ$ als prognath.

ANB-Winkel (ANB)

Winkel zwischen A-Punkt, Nasion und B-Punkt. Durch ihn werden die sagittalen Positionen von Ober- und Unterkiefer in Relation zueinander gesetzt. Diese wird abhängig vom gemessenen Wert durch die Klassen mesial ($< 0^\circ$), distal ($> 4^\circ$) und neutral ($> 0^\circ$, $< 4^\circ$) beschrieben.

3.2.2 Erhebung der Untersuchungsdaten

Nach Zusammenstellung des Patientenkollektivs und der Zuordnung zu UG und KG erfolgte die Erhebung der für die Fragestellung der Untersuchung zusätzlich relevanten Daten. Diese wurden ebenfalls durch computergestützte kephalometrische Analysen mittels Onyx® ermittelt. Das Analyseschema wurde hierbei in Anlehnung an ältere Untersuchungen von Jonas und Mann (1988) in Kombination mit aktuelleren Nachforschungen durch Lisson et al (2011, 2016, 2017) erstellt. Folgende Referenzpunkte und darauf aufbauende Strecken, Flächen und Winkel kamen zum Einsatz:

3.2.2.1 Referenzpunkte

Basion (Ba)

Ist definiert als der am weitesten posterior und kaudal gelegene Punkt der Spongiosa des Clivus an seinem Übergang in das Foramen magnum.

Artikulare (Ar)

Hierbei handelt es sich um den in der Lateralansicht konstruierten Schnittpunkt des unteren Schädelbasisrands mit dem Dorsalrand des collum mandibulae.

Gonion (Go)

Konstruierter Schnittpunkt der hinteren Ramuslinie mit der ML im Bereich des Angulus mandibulae.

Inzision superius (Iss)

Am weitesten inzisal gelegener Punkt des am weitesten anterior befindlichen Schneidezahns des Oberkiefers.

Inzision inferius (Iis)

Am weitesten inzisal gelegener Punkt des am weitesten anterior befindlichen Schneidezahns des Unterkiefers.

Hinterer Okklusionspunkt (pOc)

Okklusionspunkt des distalen Höckers des unteren Sechsjahresmolaren mit dem oberen Sechsjahresmolaren.

Hormion (Ho)

Am weitesten dorsal gelegener Schnittpunkt des Konkavs des Vomer mit dem Os sphenoidale. Es dient der Kennzeichnung der kranialen Begrenzung des Nasopharynx.

Hormion' (Ho')

Spiegelung von Ho um die Strecke Ba-Spp (s.u.). Es dient der Kennzeichnung der kaudalen Begrenzung des Nasopharynx.

Adenoidpunkt 1/mittlerer Adenoidpunkt (Ad1)

Schnittpunkt der Strecke Ba-Spp (s.u.) mit dem dorsalen Weichteilprofil des Pharynx.

Adenoidpunkt 2/kranialer Adenoidpunkt (Ad2)

Schnittpunkt der Strecke Ho-Spp (s.u.) mit dem dorsalen Weichteilprofil des Pharynx.

Adenoidpunkt 3/kaudaler Adenoidpunkt (Ad3)

Schnittpunkt der Strecke Ba-Ho' mit dem dorsalen Weichteilprofil des Pharynx. Markiert zusammen mit Ad1 und Ad2 die anteriore Weichteilkontur der Adenoide.

Basis C2 vorne (aC2)

Am weitesten anterior und kaudal gelegener Punkt der Sagittalschnittfläche durch den zweiten Zervikalwirbel.

Basis C2 hinten (pC2)

Am weitesten posterior und kaudal gelegener Punkt der Sagittalschnittfläche durch den zweiten Zervikalwirbel.

Basis C3 vorne (aC3)

Analogpunkt zu aC2 für den dritten Zervikalwirbel.

Basis C3 hinten (pC3)

Analogpunkt zu pC2 für den dritten Zervikalwirbel.

Basis C4 vorne (aC4)

Analogpunkt zu aC2 für den vierten Zervikalwirbel.

Basis C4 hinten (pC4)

Analogpunkt zu pC2 für den vierten Zervikalwirbel.

Nasopharynx vorne (aP1)

Schnittpunkt der NL (s.o.) mit dem Weichteilprofil der anterioren Pharynxwand. In diesem Fall: Analogpunkt zu Spp.

Nasopharynx hinten (pP1)

Schnittpunkt der NL mit dem Weichteilprofil der posterioren Pharynxwand.

Oberer Oropharynx vorne (aP2)

Schnittpunkt der OE (s.u.) mit dem Weichteilprofil der anterioren Pharynxwand. Diese entspricht auf dieser Höhe meist dem Zungengrund.

Oberer Oropharynx hinten (pP2)

Schnittpunkt der OE mit dem Weichteilprofil der posterioren Pharynxwand.

Unterer Oropharynx vorne (aP3)

Schnittpunkt der Strecke aC2-pC2 mit dem Weichteilprofil der anterioren Pharynxwand. Diese entspricht auf dieser Höhe meist dem Zungengrund.

Unterer Oropharynx hinten (pP3)

Schnittpunkt der Strecke aC2-pC2 mit dem Weichteilprofil der posterioren Pharynxwand.

Oberer Laryngopharynx vorne (aP4)

Schnittpunkt der ML (s.o.) mit dem Weichteilprofil der anterioren Pharynxwand.

Oberer Laryngopharynx hinten (pP4)

Schnittpunkt der ML mit dem Weichteilprofil der vorderen Pharynxwand.

Unterer Laryngopharynx vorne (aP5)

Schnittpunkt der Strecke aC3-pC3 mit dem Weichteilprofil der anterioren Pharynxwand.

Unterer Laryngopharynx hinten (pP5)

Schnittpunkt der Strecke aC3-pC3 mit dem Weichteilprofil der posterioren Pharynxwand.

Subglottischer Raum vorne (aP6)

Schnittpunkt der Strecke aC4-pC4 mit dem Weichteilprofil der anterioren Pharynxwand bzw. des anterioren subglottischen Raums.

Subglottischer Raum hinten (pP6)

Schnittpunkt der Strecke aC4-pC4 mit dem Weichteilprofil der posterioren Pharynxwand bzw. des posterioren subglottischen Raumes.

Folgende Referenzpunkte, welche neben der Erhebung der Daten für die Zusammenstellung des Patientenkollektivs und die Gruppeneinteilung auch in der Erhebung der Untersuchungsdaten genutzt wurden, wurden bereits in 3.2.1.1. definiert:

- Sella (S)
- Nasion (N)
- A-Punkt (A)
- B-Punkt (B)
- Spina nasalis anterior (Spa)
- Spina nasalis posterior (Spp)
- Gnathion (Gn)
- Inferior Gonion (InfGo)

3.2.2.2 Referenzlinien/-strecken

Bei den ab hier beschriebenen Parametern handelt es sich um die für die Untersuchung der Fragestellung eigentlich relevanten Maße. Die zuvor angeführten Referenzpunkte dienen als Basis zu ihrer Konstruktion, während im nachfolgend Beschriebenen durch den skalierten Charakter der Strecken und Winkel erst der Vergleich zwischen Gruppen bzw. Probanden möglich wird.

Clivuslänge (S-Ba)

Definiert als Strecke zwischen S und Ba, welche sich über den gesamten Clivus bis zu seinem Übergang ins Foramen Magnum erstreckt.

Hintere obere Gesichtshöhe (S-Spp)

Definiert als Strecke zwischen S und Spp. Trifft somit eine Aussage über die Höhe des hinteren Viszerokraniums oberhalb der Nasalebene.

Nasopharynx (Ba-Spp)

Definiert als Strecke zwischen Ba und Spp. Markiert somit die sagittale Tiefe der knöchernen Begrenzung des Nasopharynx.

Okklusalebene (OE)

Gerade, die durch pOc sowie durch den durch Onyx konstruierten Mittelpunkt zwischen Iss und Iis läuft. Markiert somit Höhe und Neigung des Okklusionsplanums.

PAS NL (pP1-aP1)

Definiert als Strecke zwischen pP1 und aP1. Trifft somit eine Aussage über die sagittale Tiefe des Posterior airway space (PAS) auf Höhe der Palatinalebene.

PAS OE (pP2-aP2)

Definiert als Strecke zwischen pP2 und aP2. Analogstrecke zu PAS 1 auf Höhe der Okklusalebene.

PAS C2 (pP3-aP3)

Definiert als Strecke zwischen pP3 und aP3. Analogstrecke zu PAS 1 auf Höhe der Basis des zweiten Zervikalwirbels.

PAS ML (pP4-aP4)

Definiert als Strecke zwischen pP4 und aP4. Analogstrecke zu PAS 1 auf Höhe des Mandibularplanums (ML).

PAS C3 (pP5-aP5)

Definiert als Strecke zwischen pP5 und aP5. Analogstrecke zu PAS 1 auf Höhe der Basis des dritten Zervikalwirbels.

PAS C4 (pP6-aP6)

Definiert als Strecke zwischen pP6 und aP6. Analogstrecke zu PAS 1 auf Höhe der Basis des 4. Zervikalwirbels.

Folgende Referenzlinien, welche neben der Erhebung der Daten für die Zusammenstellung des Patientenkollektivs und die Gruppeneinteilung auch in der Erhebung der Untersuchungsdaten genutzt wurden, wurden bereits in 3.2.1.2. definiert:

- NSL
- NL
- ML

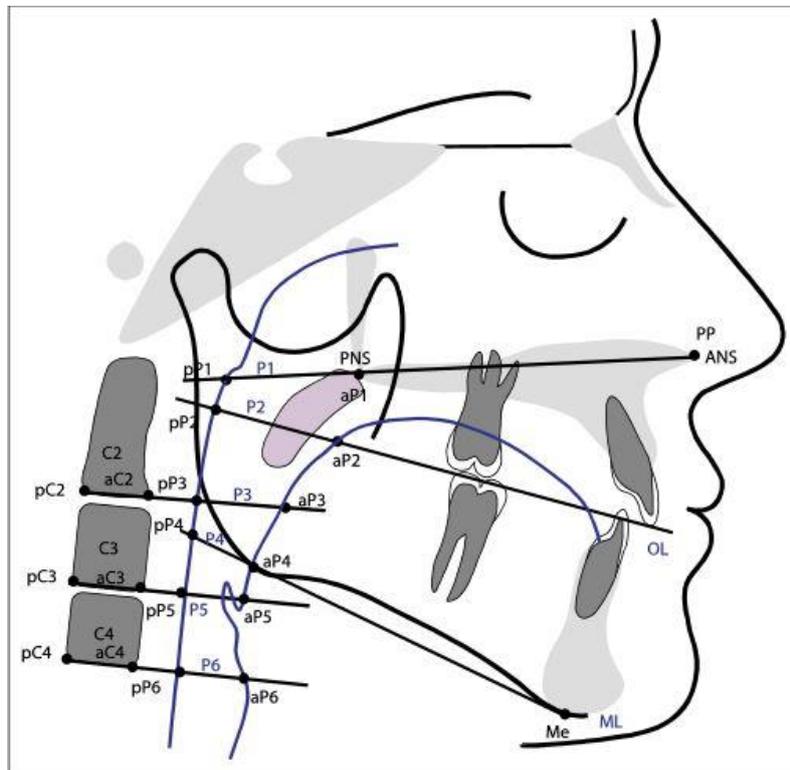


Abbildung 1: Verwendete Referenzpunkte und -strecken nach Hourfar et al. (Hourfar, Kinzinger, Meißner, et al., 2017)

3.2.2.3 Referenzwinkel

Interbasiswinkel (ML-NL)

Definiert als Winkel zwischen ML und NL, also den Kieferbasen. Trifft somit eine Aussage bezüglich des Divergenzgrades zwischen Maxilla und Mandibula.

Unterkieferwinkel (MeGoAr)

Winkel, in dem Ramus und Corpus mandibulae zueinander in Relation stehen. Er stellt einen Faktor für eine Prognosestellung bezüglich Wachstumsrichtung dar. Wird zwischen den Referenzpunkten Me, Go und Ar konstruiert, wobei Go den Scheitelpunkt bildet.

Folgender Referenzwinkel, welcher neben der Erhebung der Daten für die Zusammenstellung des Patientenkollektivs und die Gruppeneinteilung auch in der Erhebung der Untersuchungsdaten genutzt wurde, wurde bereits in 3.2.1.3. definiert:

- SNA

3.2.2.4 Referenzflächen

Knöcherner Nasopharynx (Spp-Ho-Ba-Spp)

Ausdehnung der durch die Referenzpunkte Spp, Ho und Ba dreiecksförmig eingeschlossenen Fläche. Diese stellen die Begrenzungspunkte des knöchernen Rahmens des Nasopharynx dar, dessen Weite somit anhand dieses Parameters beurteilt werden kann.

Nasopharynx (Spp-Ho-Ba-Ho'-Spp)

Wird durch Spiegelung von Spp-Ho-Ba-Spp an der Strecke Ba-Spp erreicht und beschreibt so die räumliche Ausdehnung des gesamten Nasopharynx.

Adenoide kranial (ad₂-Ho-Ba-ad₁-ad₂)

Maß für die WeichteilAusdehnung bzw. Ausprägung der Adenoide im Bereich des knöchernen Nasopharynx.

Adenoide gesamt (ad₂-Ho-Ba-ad₃-ad₂)

Schließt das vollständige Weichteilprofil der Adenoide ein und erlaubt somit eine Beurteilung der Gesamtausdehnung im Nasopharynx.

Adenoid-/Pharynxverhältnis kranial (ad_2 -Ho-Ba- ad_1 - ad_2 /Spp-Ho-Ba-Spp)

Berechneter prozentualer Anteil, welchen das Weichteilgewebe der Adenoide im Bereich des knöchernen Nasopharynx vereinnahmt.

Adenoid-/Pharynxverhältnis gesamt (ad_2 -Ho-Ba- ad_3 - ad_2 / Spp-Ho-Ba-Ho'-Spp)

Berechneter prozentualer Anteil, welchen das Weichteilgewebe der Adenoide im gesamten Nasopharynx vereinnahmt.

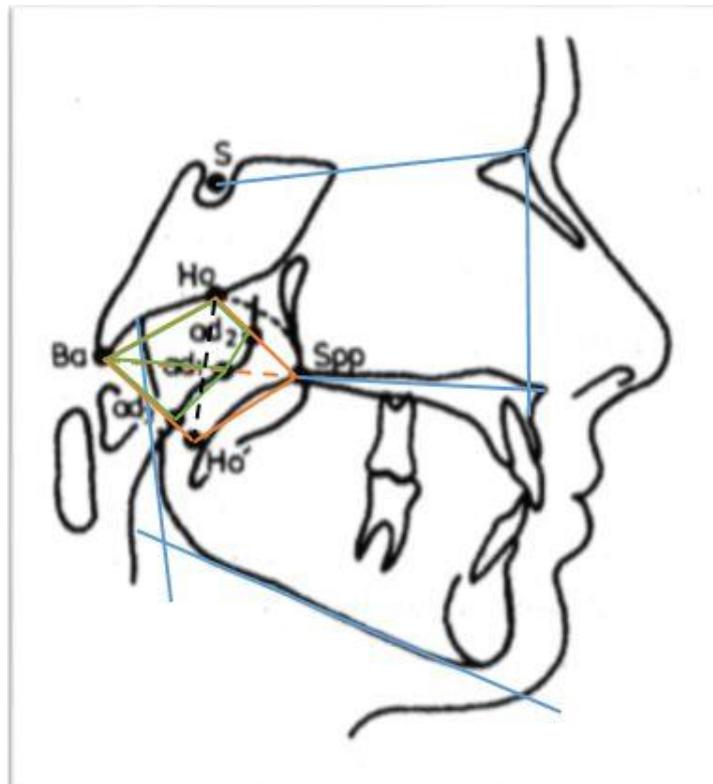


Abbildung 2: Nach Jonas et al. verwendete Referenzpunkte, -strecken und -flächen (Jonas et al., 1988)

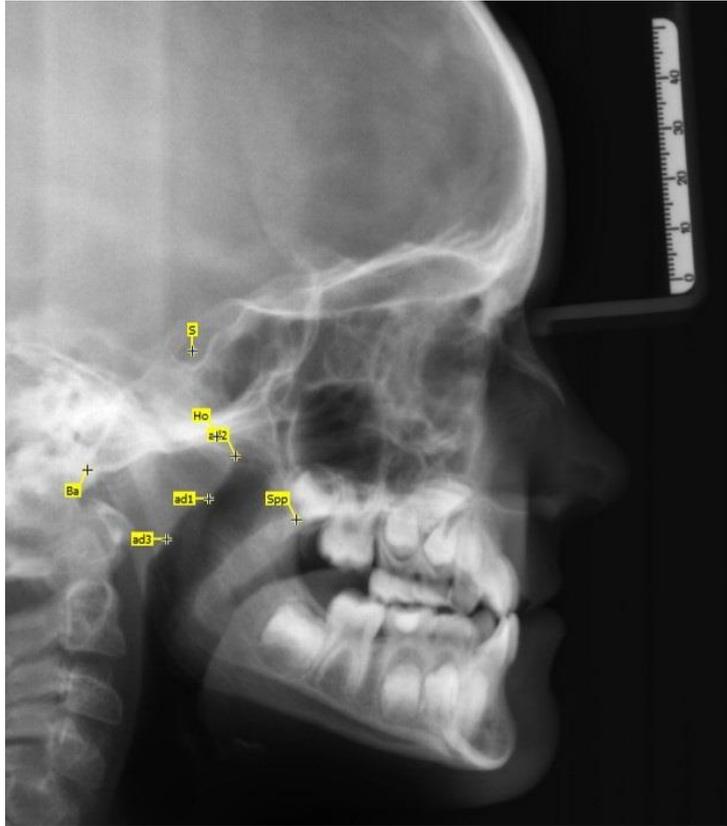


Abbildung 3: Beispielhaftes FRS mit Referenzpunkten zu Adenoiden und Nasopharynx

3.3 Fehleranalyse

Um die Reproduzierbarkeit und ausreichende Genauigkeit der erhobenen kephalometrischen Daten zu gewährleisten, wurde eine Fehleranalyse nach Dahlberg durchgeführt (Dahlberg, 1940; Kim, 2013; Segner & Hasund, 1998). Hierzu wurden jeweils 25% der FRS-Aufnahmen von UG und KG randomisiert ausgewählt und erneut analysiert. Zwischen Erst- und Zweitanalyse wurde ein zeitlicher Mindestabstand von ≥ 3 Monaten eingehalten und der entstandene Methodenfehler mittels folgender Formel berechnet:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

(δ =Methodenfehler, d =Messwertdifferenz, n =Anzahl der Stichproben)

3.4 Statistische Auswertung

Die relevanten Daten wurden zunächst in Microsoft Excel®-Dateien gesammelt. Die statistische Bearbeitung der Werte geschah in Folge darauf mittels der Software SPSS-Statistics®.

Hierzu wurden für alle erhobenen Parameter Mittelwerte und Standardabweichung bestimmt. Im Anschluss wurden zur Untersuchung von statistisch signifikanten Unterschieden zwischen UG und KG T-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Als Bedingung für die Durchführbarkeit des T-Tests gilt das Vorliegen einer Normalverteilung der die jeweilige Variable betreffenden Daten. Dies wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft. Zeigte dieser nicht normalverteilte Werte und somit die Unzulässigkeit eines Mittelwertvergleichs an, wurden stattdessen durch den Mann-Whitney-U-Test Rangsummen der Variable verglichen. Dieses Verfahren kam auch dann zum Einsatz, wenn keine Homoskedasizität der Varianzen gegeben war, was zuvor mit Hilfe des F-Tests untersucht wurde. Weiterhin wurde in multiplen linearen Regressionsanalysen die Abhängigkeit der untersuchten Zielgrößen wie PAS-Tiefe und Adenoidfläche von den Diagnoseparametern, auf deren Basis die Gruppeneinteilung erfolgte, ermittelt.

Die Prüfung auf Aufnahme der Diagnoseparameter in das Erklärungsmodell fand nach den Prinzipien der Vorwärtsselektion sowie der Rückwärtselimination statt.

Die Signifikanzniveaus wurden standardmäßig wie folgt definiert:

- $p \geq 0,05$: nicht signifikant
- $p < 0,05$: signifikant
- $p < 0,01$: hoch signifikant
- $p < 0,001$: höchst signifikant

4. Ergebnisse

4.1 Fehleranalyse nach Dahlberg

Nachfolgende Tabelle enthält die Resultate der Ermittlung des Methodenfehlers für UG und KG:

Parameter	UG	KG
S-Ba	0,72	0,75
S-Spp	0,44	0,43
Ba-Spp	0,75	0,54
PAS NL	0,85	0,69
PAS OE	0,62	1,14
PAS C2	0,77	0,67
PAS ML	0,51	0,77
PAS C3	0,41	0,35
PAS C4	0,55	0,75
kn. Nasopharynx	5,82	8,31
Nasopharynx	11,71	16,64
Adenoide 1	5,9	8,23
Adenoide 2	15,72	12,13
SNA	0,79	0,9
ML-NL	0,39	0,86
MeGoAr	1,08	0,77

Tabelle 1: Bei der Erhebung der Parameter entstandener Methodenfehler nach Dahlberg

Die Methodenfehler aller Strecken- und Winkelmessungen liegen in KG und UG bis auf MeGoAr(UG) und PAS OE(KG) unter 1. Für die Flächenmessungen wurden Werte deutlich über 1 verzeichnet. Hier gelten allerdings aufgrund des zweidimensionalen Charakters der Messung und der Größe der gemessenen Zielwerte andere Bewertungsmaßstäbe (s. Diskussion).

4.2 Kolmogorov-Smirnov-Test

Für die Strecken Ba-Spp ($p=0,040$) und PAS C3 ($p=0,002$) sowie die Flächen Spp-Ho-Ba-Spp ($p=0,001$) und Spp-Ho-Ba-Ho'-Spp ($p=0,001$) musste die Nullhypothese, also die Annahme

normalverteilter Werte verworfen werden. Für alle weiteren Daten wurden p-Werte $> 0,05$ ermittelt, sodass für diese Normalverteilung nachgewiesen werden konnte.

4.3 F-Test

Für die Strecke PAS OE ($p=0,046$) musste die Nullhypothese, also die Annahme homoskedastischer Varianzen verworfen werden. Für alle weiteren Daten wurden p-Werte $> 0,05$ ermittelt, sodass für deren Varianzen Homoskedasizität nachgewiesen werden konnte.

4.4 T-Tests

4.4.1 Streckenmessungen

4.4.1.1 knöchernerne Strecken

Clivuslänge (S-Ba)

Die Clivuslänge der KG fiel durchschnittlich größer (1,530 mm) aus, als die der UG. Hierbei handelt es sich um einen nicht signifikante Differenz ($p=0,178$).

[mm]	UG	KG
MW \pm SD	35,024 \pm 5,102	36,554 \pm 4,507

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Clivuslänge in UG und KG

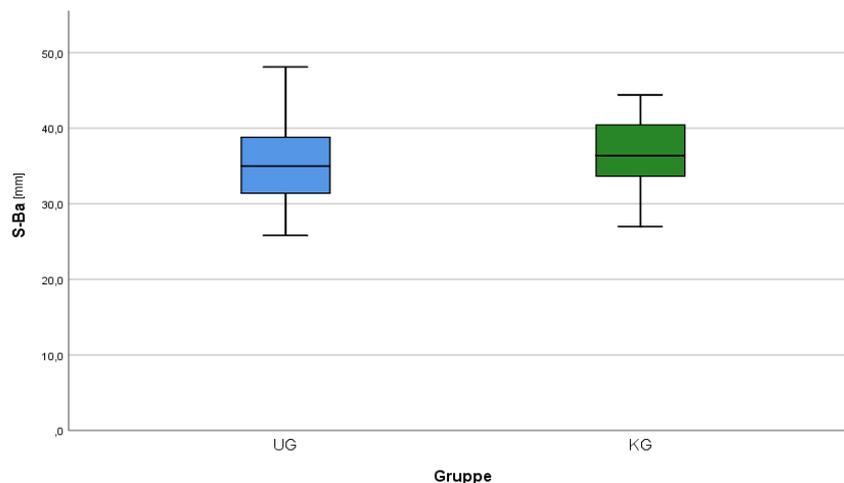


Abbildung 4: Grafische Darstellung der Clivuslänge von UG und KG

Hintere obere Gesichtshöhe (S-Spp)

Die hintere obere Gesichtshöhe der KG fiel durchschnittlich größer (1,514 mm) aus, als die der UG. Hierbei handelt es sich um eine nicht signifikante Differenz ($p=0,610$).

[mm]	UG	KG
MW \pm SD	35,024 \pm 5,102	36,554 \pm 4,507

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der hinteren oberen Gesichtshöhe in UG und KG

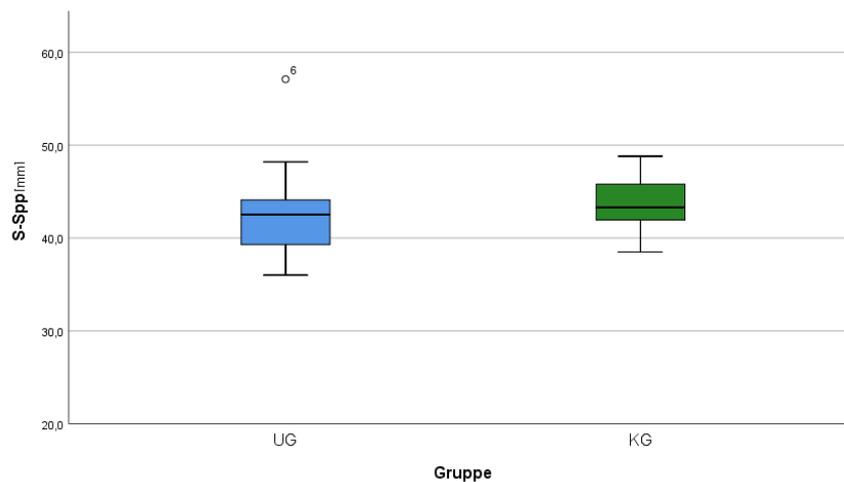


Abbildung 5: Grafische Darstellung der hinteren oberen Gesichtshöhe von UG und KG

4.4.1.2 Posterior Airway Space

PAS NL (pP1-aP1)

Die Tiefe des PAS auf Höhe der Nasal-/Palatinalene fiel in der UG geringer (2,039 mm) aus als in der KG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch signifikante Differenz ($p=0,034$).

[mm]	UG	KG
MW \pm SD	21,259 \pm 3,856	23,297 \pm 4,169

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der PAS-Tiefe auf Nasalebene in UG und KG

Ergebnisse

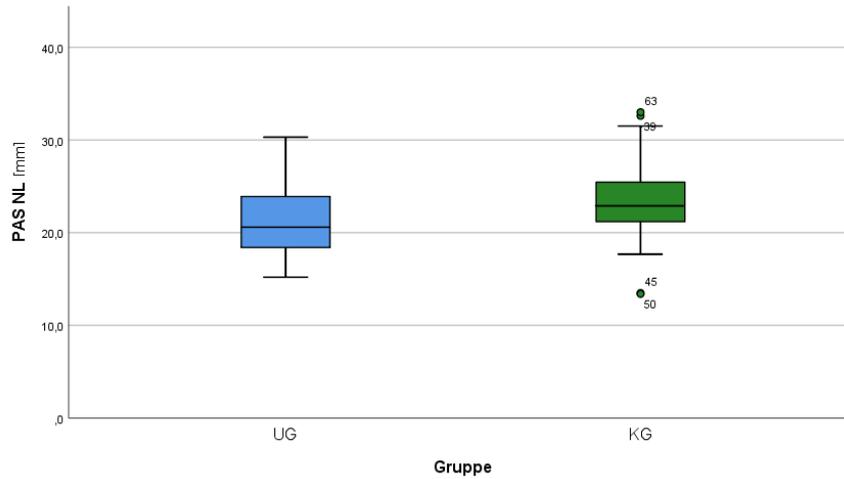


Abbildung 6: Grafische Darstellung der PAS-Tiefe auf Nasalebene in UG und KG

PAS OE (pP2-aP2)

Die Tiefe des PAS auf Höhe der Okklusalebene fiel in der KG geringer (0,099 mm) aus als in der UG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz ($p=0,918$).

[mm]	UG	KG
MW \pm SD	20,188 \pm 4,659	20,090 \pm 3,465

Tabelle 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der PAS-Tiefe auf Okklusalebene in UG und KG

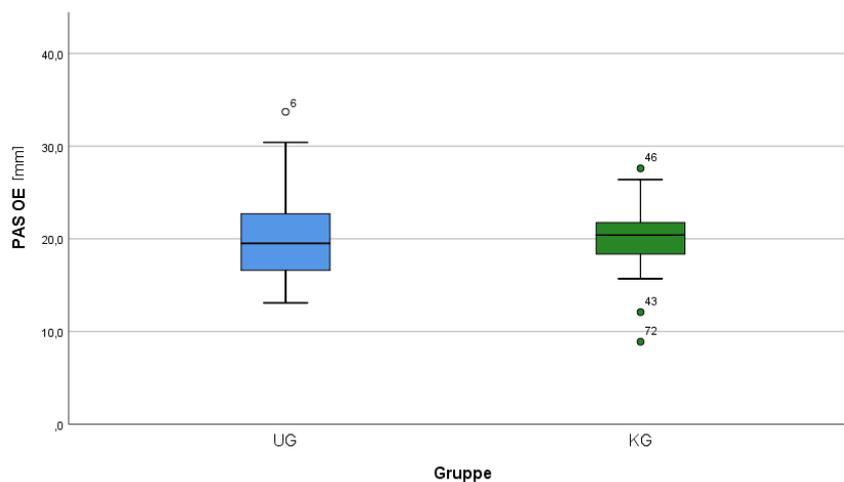


Abbildung 7: Grafische Darstellung der PAS-Tiefe auf Okklusalebene in UG und KG

PAS C2 (pP3-aP3)

Die Tiefe des PAS auf Höhe des zweiten Zervikalwirbels fiel in der KG geringer (0,278 mm) aus als in der UG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz ($p=0,724$).

[mm]	UG	KG
MW \pm SD	9,712 \pm 2,927	9,433 \pm 3,671

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der PAS-Tiefe auf Höhe C2 in UG und KG

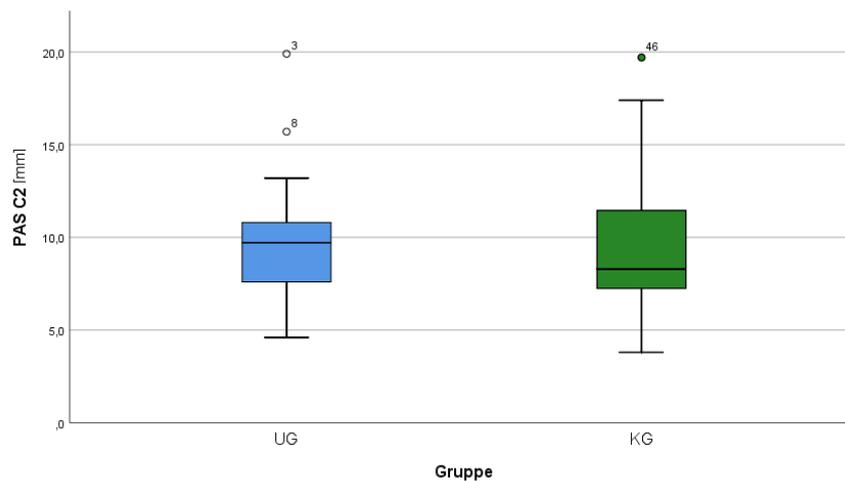


Abbildung 8: Grafische Darstellung der PAS-Tiefe auf Höhe C2 in UG und KG

PAS ML (pP4-aP4)

Die Tiefe des PAS auf Höhe des Mandibularplanums fiel in der KG geringer (1,282 mm) aus als in der UG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz ($p=0,074$).

[mm]	UG	KG
MW \pm SD	10,979 \pm 2,984	9,697 \pm 3,038

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der PAS-Tiefe auf Höhe des Mandibularplanums in UG und KG

Ergebnisse

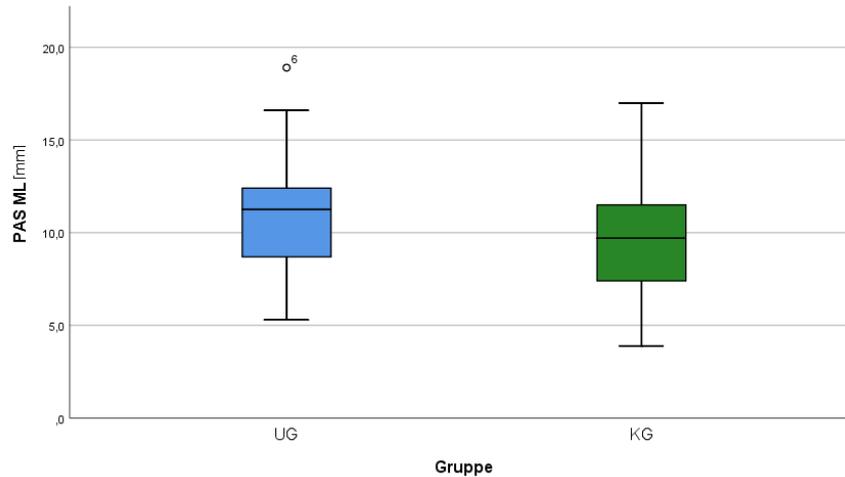


Abbildung 9: Grafische Darstellung der PAS-Tiefe auf Höhe des Mandibularplanums in UG und KG

PAS C3 (pP5-aP5)

Die Tiefe des PAS auf Höhe des dritten Zervikalwirbels fiel in der KG geringer (0,742 mm) aus als in der UG. Es handelt sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz ($p=0,455$).

[mm]	UG	KG
MW \pm SD	9,771 \pm 4,307	9,028 \pm 4,124

Tabelle 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der PAS-Tiefe auf Höhe C3 in UG und KG

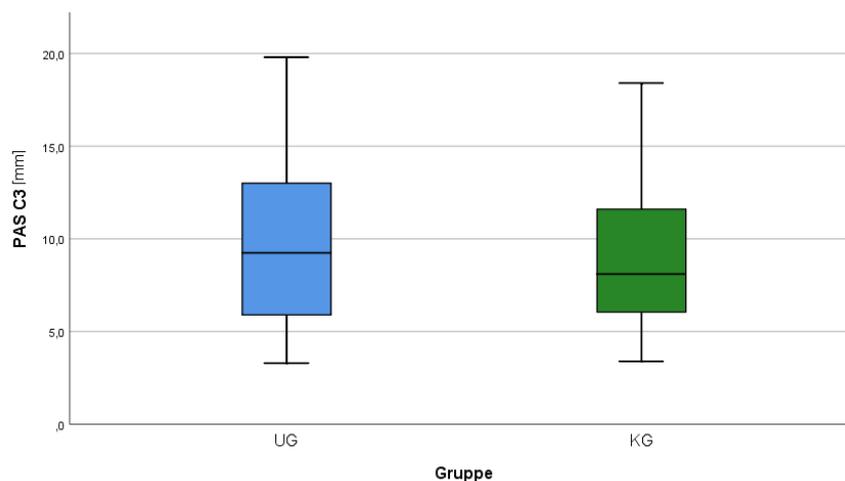


Abbildung 10: Grafische Darstellung der PAS-Tiefe auf Höhe C3 in UG und KG

PAS C4 (pP6-aP6)

Die Tiefe des PAS auf Höhe des vierten Zervikalwirbels fiel in der KG geringer (1,808 mm) aus als in der UG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz ($p=0,149$). Da die

Ergebnisse

untersuchte Strecke nicht auf allen FRS eindeutig abgebildet war, kam es für diesen Wert zu geringeren Fallzahlen in UG (n=28) und KG (n=24).

[mm]	UG	KG
MW \pm SD	13,554 \pm 4,996	11,746 \pm 3,680

Tabelle 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der PAS-Tiefe auf Höhe C4 in UG und KG

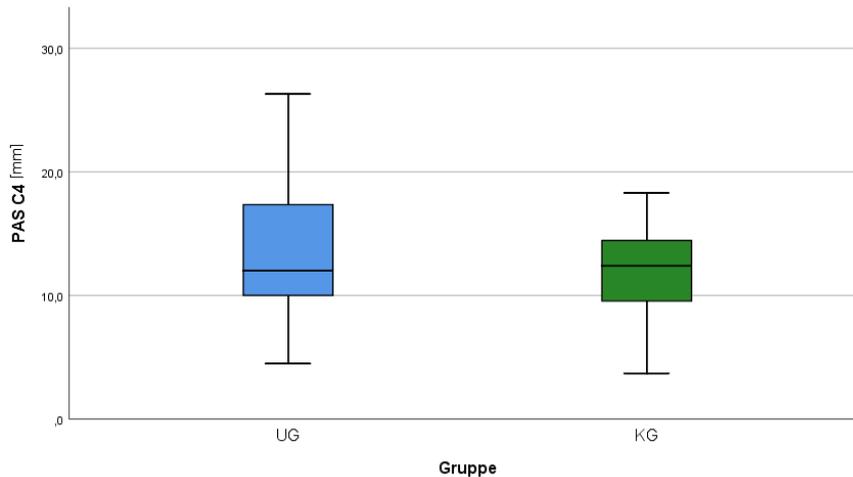


Abbildung 11: Grafische Darstellung der PAS-Tiefe auf Höhe C4 in UG und KG

4.4.2 Flächenmessungen

Adenoide kranial (ad₂-Ho-Ba-ad₁-ad₂)

Der kraniale Flächenanteil der sagittal angeschnittenen Adenoide fiel in der UG geringer (3,283 mm²) aus als in der KG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz (p=0,796).

[mm ²]	UG	KG
MW \pm SD	193,491 \pm 63,712	196,774 \pm 43,902

Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Fläche des oberen Adenoidabschnitts in UG und KG

Ergebnisse

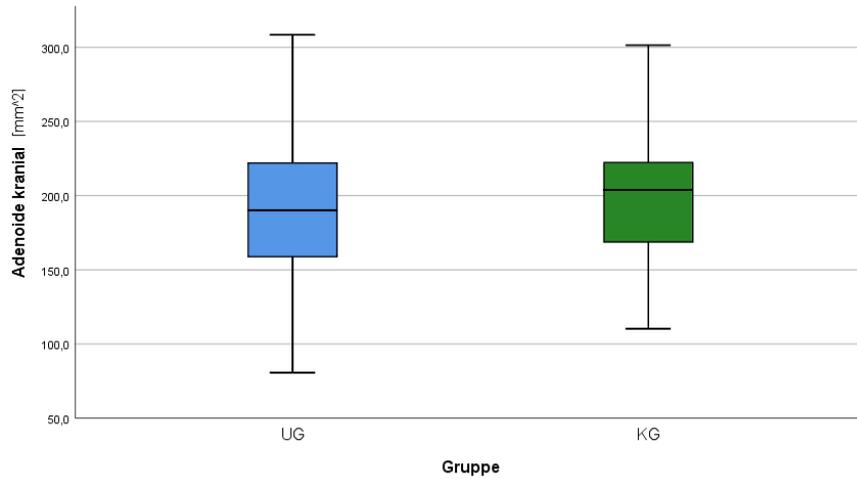


Abbildung 12: Grafische Darstellung der Fläche des oberen Adenoidabschnitts in UG und KG

Adenoide gesamt (ad₂-Ho-Ba-ad₃-ad₂)

Die Gesamtfläche der sagittal angeschnittenen Adenoide fiel in der UG geringer (17,344mm²) aus als in der KG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz ($p=0,415$).

[mm ²]	UG	KG
MW ± SD	317,938 ± 103,453	335,282 ± 76,630

Tabelle 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtadenoidfläche in UG und KG

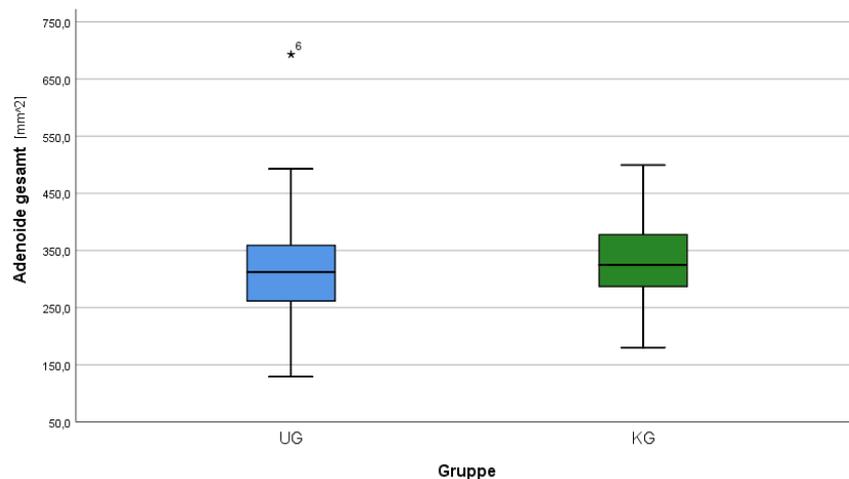


Abbildung 13: Grafische Darstellung der Gesamtadenoidfläche in UG und KG

Adenoid-/Pharynxverhältnis kranial (ad₂-Ho-Ba-ad₁-ad₂/Spp-Ho-Ba-Spp)

Der durch den kranialen Abschnitt der Adenoide im knöchernen Nasopharynx besetzte Flächenanteil fiel in der UG geringer (1,783 %) aus als in der KG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz (p=0,492).

[%]	UG	KG
MW ± SD	68,177 ± 10,604	69,960 ± 11,310

Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen des kranialen Adenoid-/Pharynxverhältnisses in UG und KG

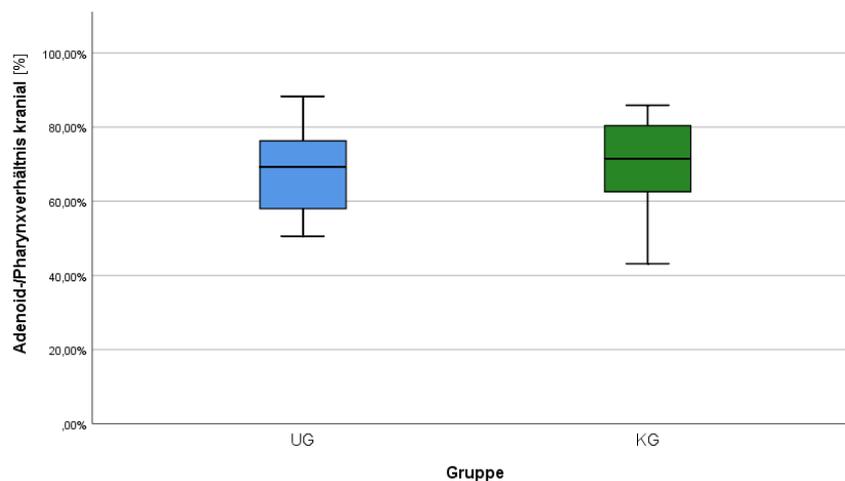


Abbildung 14: Grafische Darstellung des kranialen Adenoid-/Pharynxverhältnisses in UG und KG

Adenoid-/Pharynxverhältnis gesamt (ad₂-Ho-Ba-ad₃-ad₂/ Spp-Ho-Ba-Ho'-Spp)

Der im gesamten Nasopharynx durch die Adenoide besetzte Flächenanteil fiel in der UG geringer (3,544 %) aus als in der KG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz (p=0,207).

[%]	UG	KG
MW ± SD	56,518 ± 11,677	60,062 ± 12,041

Tabelle 13: Mittelwerte und Standardabweichungen des gesamten Adenoid-/Pharynxverhältnisses in UG und KG

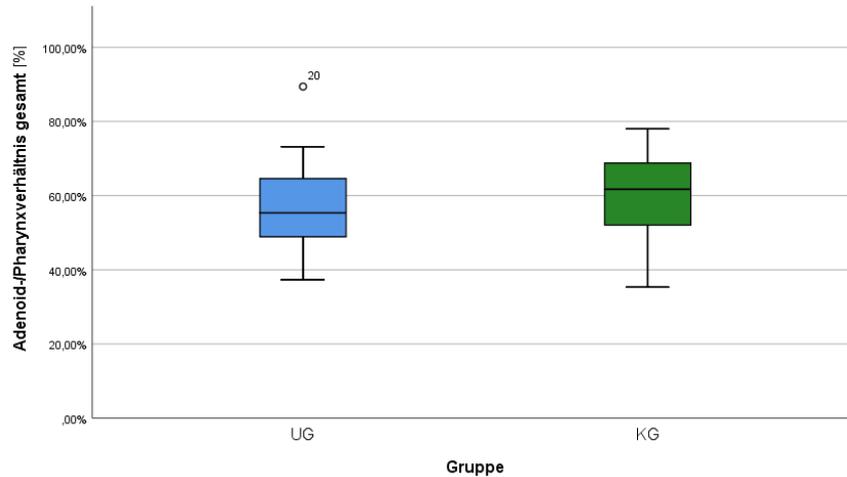


Abbildung 15: Grafische Darstellung des gesamten Adenoid-/Pharynxverhältnisses in UG und KG

4.4.3 Winkelmessungen

Interbasiswinkel (ML-NL)

Der Interbasiswinkel fiel in der KG geringer (1,329°) aus als in der UG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz (p=0,397).

[°]	UG	KG
MW ± SD	27,026 ± 5,817	25,697 ± 7,296

Tabelle 14: Mittelwerte und Standardabweichungen des Interbasiswinkels in UG und KG

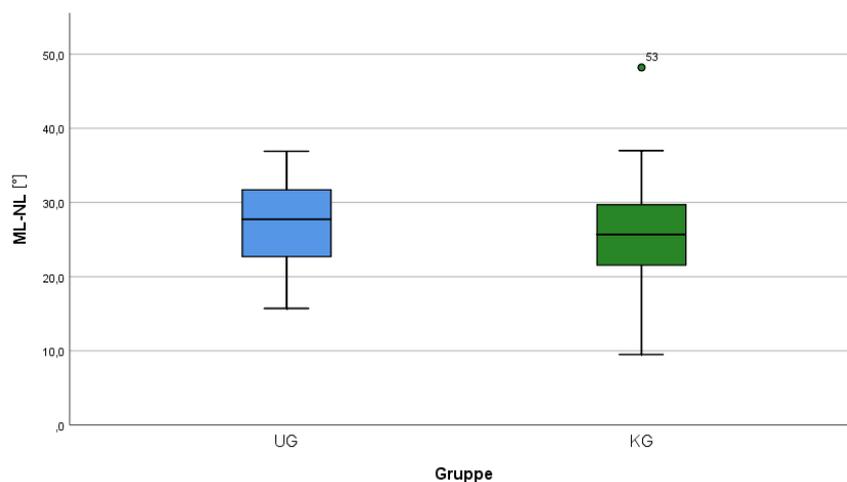


Abbildung 16: Grafische Darstellung des Interbasiswinkels in UG und KG

Unterkieferwinkel (MeGoAr)

Der Unterkieferwinkel fiel in der KG geringer ($0,793^\circ$) aus als in der UG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz ($p=0,585$).

[°]	UG	KG
MW ± SD	127,226 ± 5,627	126,433 ± 6,592

Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen des Unterkieferwinkels in UG und KG

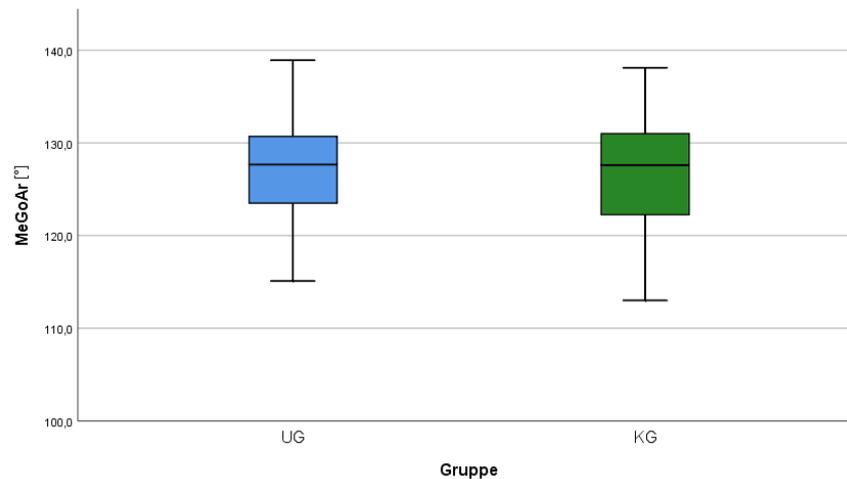


Abbildung 17: Grafische Darstellung des Unterkieferwinkels in UG und KG

4.5 Mann-Whitney-U-Test

4.5.1 Streckenmessungen

4.5.1.1 Knöcherne Strecken

Nasopharynx (Ba-Spp)

Die mittlere Tiefe des knöchernen Nasopharynx fiel in der UG geringer (1,647 mm) aus als in der KG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch signifikante Differenz (asymptotische Signifikanz = 0,026).

[mm]	UG	KG
MW ± SD	40,071 ± 5,166	41,718 ± 3,509
Mittlerer Rang	31,090	42,150

Tabelle 16: Mittelwerte, Standardabweichungen und mittlerer Rang der Tiefe des knöchernen Nasopharynx in UG und KG

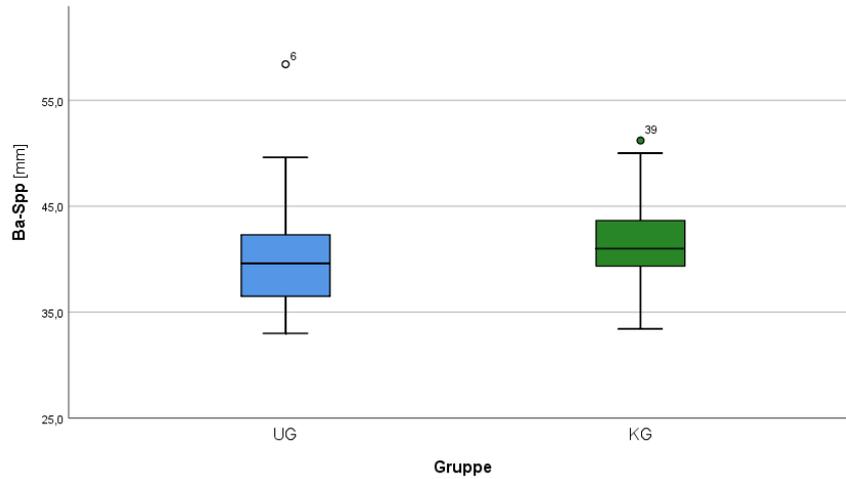


Abbildung 18: Grafische Darstellung der Tiefe des knöchernen Nasopharynx in UG und KG

4.5.1.2 Posterior Airway Space

PAS OE (pP2-aP2)

Die Tiefe des PAS auf Höhe der Okklusalebene fiel in der KG geringer (0,099 mm) aus als in der UG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz (asymptotische Signifikanz = 0,584).

[mm]	UG	KG
MW ± SD	20,188 ± 4,659	20,090 ± 3,465
Mittlerer Rang	35,540	38,270

Tabelle 17: Mittelwerte, Standardabweichungen und mittlere Ränge der PAS-Tiefe auf Okklusalebene in UG und KG

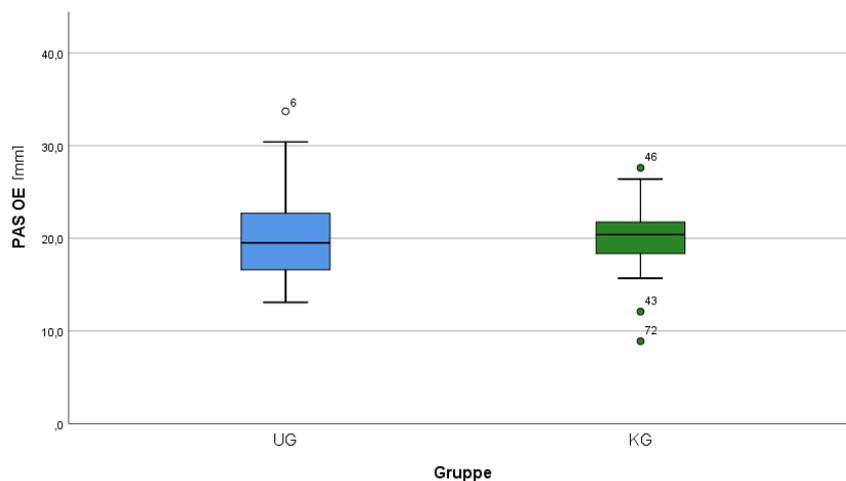


Abbildung 19: Grafische Darstellung der PAS-Tiefe auf Okklusalebene in UG und KG

PAS C3 (pP5-aP5)

Die Tiefe des PAS auf Höhe des dritten Zervikalwirbels fiel in der KG geringer (0,742 mm) aus als in der UG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz (asymptotische Signifikanz = 0,476).

[mm]	UG	KG
MW ± SD	9,771 ± 4,307	9,028 ± 4,124
Mittlerer Rang	38,900	35,350

Tabelle 18: Mittelwerte, Standardabweichungen und mittlere Ränge der PAS-Tiefe auf Höhe C3 in UG und KG

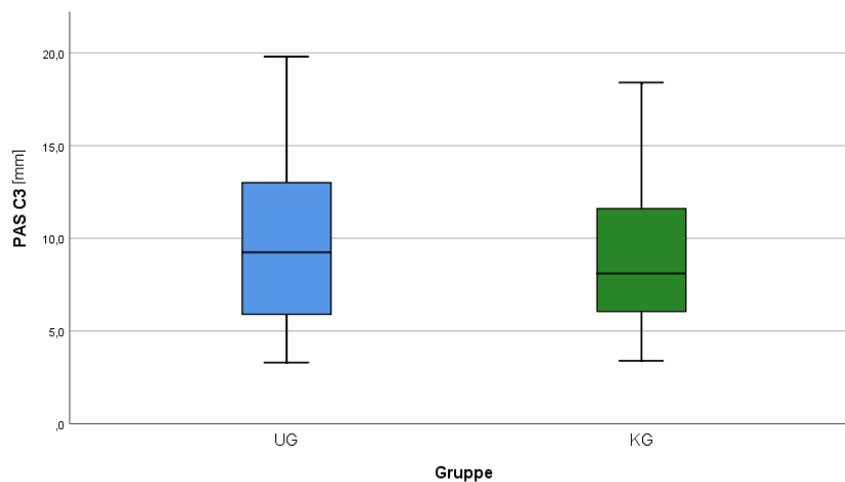


Abbildung 20: Grafische Darstellung der PAS-Tiefe auf Höhe C3 in UG und KG

4.5.2 Flächenmessungen

Knöcherner Nasopharynx (Spp-Ho-Ba-Spp)

Die Fläche der sagittalen Dimension des knöchernen Nasopharynx fiel in der UG größer aus (5,875 mm²) als in der KG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz (asymptotische Signifikanz = 0,603).

[mm ²]	UG	KG
MW ± SD	289,703 ± 111,207	283,828 ± 55,658
Mittlerer Rang	35,620	38,210

Tabelle 19: Mittelwerte, Standardabweichungen und mittlere Ränge der Fläche des knöchernen Nasopharynx in UG und KG

Ergebnisse

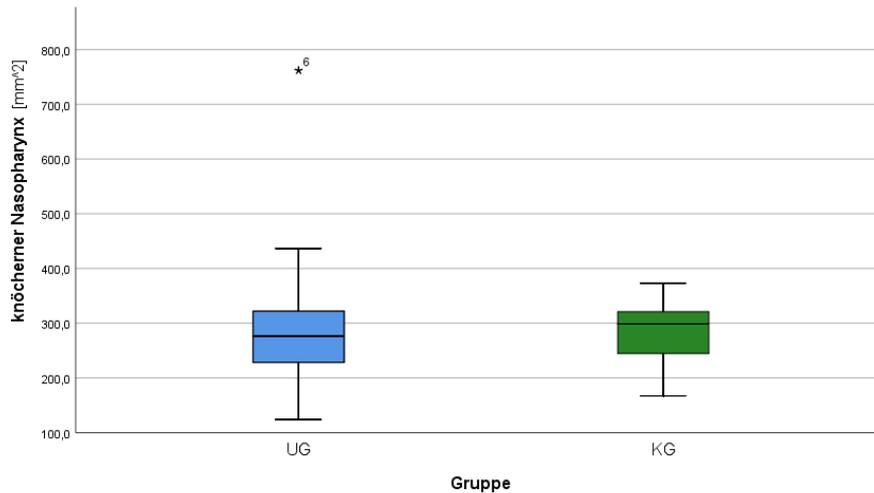


Abbildung 21: Grafische Darstellung der Fläche des knöchernen Nasopharynx in UG und KG

Nasopharynx (Spp-Ho-Ba-Ho'-Spp)

Die Gesamtfläche der sagittalen Dimension des Nasopharynx fiel in der UG größer aus ($11,758 \text{ mm}^2$) als in der KG. Hierbei handelt es sich um eine statistisch nicht signifikante Differenz (asymptotische Signifikanz = 0,603).

[mm ²]	UG	KG
MW \pm SD	579,415 \pm 222,408	567,656 \pm 111,329
Mittlerer Rang	35,620	38,210

Tabelle 20: Mittelwerte, Standardabweichungen und mittlere Ränge der Fläche des gesamten Nasopharynx in UG und KG

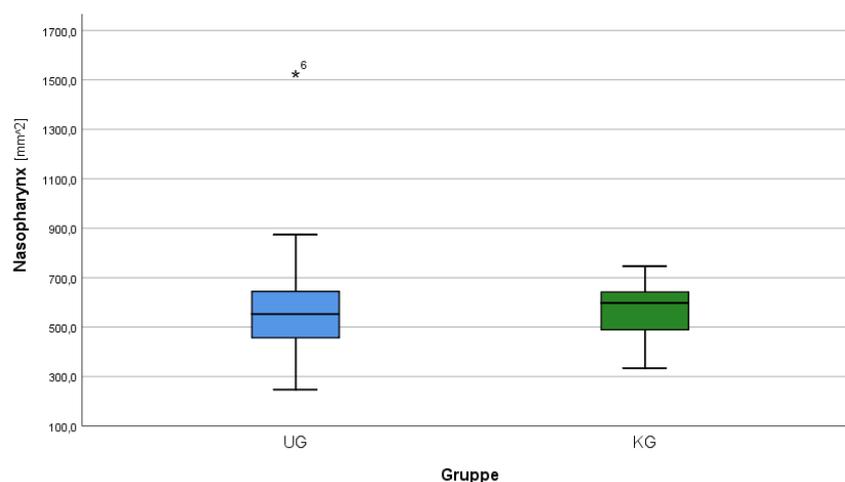


Abbildung 22: Grafische Darstellung der Fläche des gesamten Nasopharynx in UG und KG

4.6 Regressionsanalyse

4.6.1 Streckenmessungen

4.6.1.1 knöchernerne Strecken

Clivuslänge (S-Ba)

Für die Clivuslänge wurde als einziger valider Prädiktor das Alter der Patienten identifiziert, während SNA, SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen hoch signifikanten ($F(1,71) = 8,786$, $p = 0,004$), jedoch schwachen linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,110$, korr. $R^2 = 0,098$).

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten			Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	T	Sig.	Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
5	(Konstante)	30,356	1,927		15,755	0,000					
	Alter	0,510	0,172	0,332	2,964	0,004	0,332	0,332	0,332	1,000	1,000

Tabelle 21: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der Clivuslänge von den gewählten Diagnoseparametern

Hintere obere Gesichtshöhe (S-Spp)

Für die hintere obere Gesichtshöhe wurden als valide Prädiktoren das Alter der Patienten und der SNA-Winkel identifiziert, während SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen höchst signifikanten ($F(2,69) = 23,839$, $p < 0,001$) und starken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,409$, korr. $R^2 = 0,391$). Um die Bedingungen dieser Regression zu erfüllen, musste ein Patient aus der UG (Pat.-ID-Nr. 6) exkludiert werden, da es sich bei seinem Streckenwert um einen statistischen Ausreißer handelte.

Ergebnisse

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta			Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
4	(Konstante)	17,136	5,722		2,995	0,004					
	SNA	0,251	0,071	0,328	3,545	0,001	0,347	0,393	0,328	0,999	1,001
	Alter	0,521	0,090	0,537	5,802	0,000	0,549	0,573	0,537	0,999	1,001

Tabelle 22: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der hinteren oberen Gesichtshöhe von den gewählten Diagnoseparametern

Nasopharynx (Ba-Spp)

Für die Tiefe des knöchernen Nasopharynx wurden als valide Prädiktoren bei der Vorwärtsselektion das Alter der Patienten und der SNA-Winkel identifiziert, während SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen höchst signifikanten ($F(2,69) = 6,412$, $p = 0,003$) und mittelstarken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,157$, $\text{korr. } R^2 = 0,132$). In der Rückwärtselimination wurden hingegen Patientenalter sowie ANB-Winkel als Prädiktoren in das Modell aufgenommen. Das hierbei resultierende Modell zeigt ebenfalls einen hoch signifikanten ($F(2,69) = 6,392$, $p = 0,003$) und mittelstarken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,156$, $\text{korr. } R^2 = 0,132$). Um die Bedingungen dieser Regression zu erfüllen, musste ein Patient aus der UG (Pat.-ID-Nr. 6) exkludiert werden, da es sich bei seinem Streckenwert um einen statistischen Ausreißer handelte.

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta			Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
4	(Konstante)	36,370	1,551		23,450	0,000					
	Alter	0,347	0,138	0,278	2,511	0,014	0,293	0,289	0,278	0,997	1,003
	ANB	0,226	0,094	0,266	2,405	0,019	0,281	0,278	0,266	0,997	1,003

Tabelle 23: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der Tiefe des knöchernen Nasopharynx von den gewählten Diagnoseparametern (Rückwärts-El.)

Ergebnisse

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		T	Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	Beta			Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
2	(Konstante)	15,874	8,807			1,802	0,076					
	Alter	0,354	0,138	0,284	0,284	2,563	0,013	0,293	0,295	0,283	0,999	1,001
	SNA	0,263	0,109	0,267	0,267	2,412	0,019	0,276	0,279	0,267	0,999	1,001

Tabelle 24: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der Tiefe des knöchernen Nasopharynx von den gewählten Diagnoseparametern (Vorwärts-Selektion)

4.6.1.2 Posterior Airway Space

PAS NL (pP1-aP1)

Für den Posterior Airway Space auf Höhe Palatinaebene wurde als einziger valider Prädiktor das Alter der Patienten identifiziert, während SNA, SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen höchst signifikanten ($F(1,71) = 17,271$, $p < 0,001$) und mittelstarken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,196$, korr. $R^2 = 0,184$).

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		T	Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	Beta			Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
5	(Konstante)	16,088	1,568			10,259	0,000					
	Alter	0,582	0,140	0,442	0,442	4,156	0,000	0,442	0,442	0,442	1,000	1,000

Tabelle 25: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der PAS-Tiefe auf Höhe C2 von den gewählten Diagnoseparametern

PAS OE (pP2-aP2)

Für den Posterior Airway Space auf Höhe Okklusalebene wurde als einziger valider Prädiktor das Alter der Patienten identifiziert, während SNA, SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen signifikanten ($F(1,69) = 5,579$, $p = 0,021$), jedoch schwachen linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,075$, korr. $R^2 = 0,061$). Um die Bedingungen dieser Regression zu erfüllen, mussten ein Patient der UG (Pat.-ID-Nr.6) und ein Patient der KG (Pat.-ID-Nr. 72) exkludiert werden, da es sich bei ihren Streckenwerten um statistische Ausreißer handelte.

Ergebnisse

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	T		Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
5	(Konstante)	16,848	1,436		11,732	0,000					
	Alter	0,304	0,129	0,274	2,362	0,021	0,274	0,274	0,274	1,000	1,000

Tabelle 26: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der PAS-Tiefe auf Höhe der Okklusalebene von den gewählten Diagnoseparametern

PAS C2 (pP3-aP3)

Für den Posterior Airway Space auf Höhe des zweiten Zervikalwirbels konnte keine der gewählten unabhängigen Variablen als Prädiktor identifiziert werden, sodass an dieser Stelle kein Erklärungsmodell beschrieben werden kann.

PAS ML (pP4-aP4)

Für den Posterior Airway Space auf Höhe des Mandibularplanums wurde als einziger valider Prädiktor das OK/UK-Längenverhältnis der Patienten identifiziert, während SNA, SNB, ANB und Alter nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen signifikanten ($F(1,71) = 6,037$, $p = 0,016$), jedoch schwachen linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,078$, $\text{korr. } R^2 = 0,065$).

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	T		Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
5	(Konstante)	18,312	3,282		5,580	0,000					
	OK UK	-12,356	5,029	-0,280	-2,457	0,016	-0,280	-0,280	-0,280	1,000	1,000

Tabelle 27: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der PAS-Tiefe auf Höhe des Mandibularplanums von den gewählten Diagnoseparameter

PAS C3 (pP5-aP5)

Für den Posterior Airway Space auf Höhe des dritten Zervikalwirbels wurde als einziger valider Prädiktor das Alter der Patienten identifiziert, während SNA, SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen nicht signifikanten ($F(1,71) = 3,919$, $p = 0,052$), und schwachen linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,052$, korr. $R^2 = 0,039$).

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	T		Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
5	(Konstante)	6,083	1,731		3,515	0,001					
	Alter	0,306	0,155	0,229	1,980	0,052	0,229	0,229	0,229	1,000	1,000

Tabelle 28: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der PAS-Tiefe auf Höhe C3 von den gewählten Diagnoseparametern

PAS C4 (pP6-aP6)

Für den Posterior Airway Space auf Höhe des vierten Zervikalwirbels wurden als valide Prädiktoren das Alter, sowie das OK/UK-Längenverhältnis der Patienten identifiziert, während SNA, SNB, ANB und nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen höchst signifikanten ($F(2,49) = 10,874$, $p < 0,001$) und starken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,307$, korr. $R^2 = 0,279$). Da die untersuchte Strecke nicht auf allen FRS eindeutig abgebildet war, kam es für diesen Wert zu geringeren Fallzahlen in UG ($n=28$) und KG ($n=24$).

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	T		Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
4	(Konstante)	15,356	5,362		2,864	0,006					
	Alter	0,691	0,184	0,452	3,747	0,000	0,494	0,472	0,445	0,973	1,028
	OK_UK	-15,454	7,275	-0,256	-2,124	0,039	-0,330	-0,290	-0,253	0,973	1,028

Tabelle 29: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der PAS-Tiefe auf Höhe C4 von den gewählten Diagnoseparametern

4.6.2 Flächenmessungen

Knöcherner Nasopharynx (Spp-Ho-Ba-Spp)

Für die Fläche der sagittalen Dimension des knöchernen Nasopharynx wurde als einziger valider Prädiktor das Alter der Patienten identifiziert, während SNA, SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen höchst signifikanten ($F(1,70) = 15,114$, $p < 0,001$), und mittelstarken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,178$, $\text{korr. } R^2 = 0,166$). Um die Bedingungen dieser Regression zu erfüllen, musste ein Patient aus der UG (Pat.-ID-Nr. 6) exkludiert werden, da es sich bei seinem Flächenwert um einen statistischen Ausreißer handelte.

Koeffizienten

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten			Korrelationen			Kollinearitätsstatistik		
	Regressionskoeffizient	Std.-Fehler	Beta	T	Sig.	Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF	
5	(Konstante)	186,769	24,965		7,481	0,000					
	Alter	8,701	2,238	0,421	3,888	0,000	0,421	0,421	0,421	1,000	1,000

Tabelle 30: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der Fläche des knöchernen Nasopharynx von den gewählten Diagnoseparametern

Nasopharynx (Spp-Ho-Ba-Ho'-Spp)

Für die Fläche der sagittalen Dimension des knöchernen Nasopharynx wurde als einziger valider Prädiktor das Alter der Patienten identifiziert, während SNA, SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen höchst signifikanten ($F(1,70) = 15,108$, $p < 0,001$), und mittelstarken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,178$, $\text{korr. } R^2 = 0,166$). Um die Bedingungen dieser Regression zu erfüllen, musste ein Patient aus der UG (Pat.-ID-Nr. 6) exkludiert werden, da es sich bei seinem Flächenwert um einen statistischen Ausreißer handelte.

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressionskoeffizient	Std.-Fehler	Beta	T		Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
5	(Konstante)	373,555	49,936		7,481	0,000					
	Alter	17,401	4,477	0,421	3,887	0,000	0,421	0,421	0,421	1,000	1,000

Tabelle 31: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der Fläche des Nasopharynx von den gewählten Diagnoseparametern

Adenoide kranial (ad₂-Ho-Ba-ad₁-ad₂)

Für den kranialen Abschnitt der sagittal angeschnittenen Adenoide konnte keine der gewählten unabhängigen Variablen als Prädiktor identifiziert werden, sodass an dieser Stelle kein Erklärungsmodell beschrieben werden kann. Um die Bedingungen dieser Regression zu erfüllen, musste ein Patient aus der UG (Pat.-ID-Nr. 6) exkludiert werden, da es sich bei seinem Flächenwert um einen statistischen Ausreißer handelte.

Adenoide gesamt (ad₂-Ho-Ba-ad₃-ad₂)

Für die Gesamtfläche der sagittal angeschnittenen Adenoide wurde als einziger valider Prädiktor bei der Vorwärtsselektion der SNA-Winkel identifiziert, während Patientenalter, SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen signifikanten ($F(1,70) = 6,003$, $p = 0,017$) jedoch schwachen linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,079$, korr. $R^2 = 0,066$). In der Rückwärtselimination wurden hingegen SNB-Winkel sowie ANB-Winkel als Prädiktoren in das Modell aufgenommen. Das hierbei resultierende Modell zeigt ebenfalls einen signifikanten ($F(2,69) = 3,464$, $p = 0,037$) und schwachen linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,091$, korr. $R^2 = 0,065$). Um die Bedingungen dieser Regression zu erfüllen, musste ein Patient aus der UG (Pat.-ID-Nr. 6) exkludiert werden, da es sich bei seinem Streckenwert um einen statistischen Ausreißer handelte.

Ergebnisse

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		T	Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	Nullter Ordnung			Partiell	Teil	Toleranz	VIF	
												Beta
4	(Konstante)	-311,110	321,537			-0,968	0,337					
	SNB	8,014	4,130	0,255	1,941	0,056		0,096	0,227	0,223	0,765	1,307
	ANB	5,621	2,252	0,327	2,496	0,015		0,204	0,288	0,286	0,765	1,307

Tabelle 32: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der gesamten Adenoidfläche von den gewählten Diagnoseparametern (Rückwärts-El.)

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		T	Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	Nullter Ordnung			Partiell	Teil	Toleranz	VIF	
												Beta
1	(Konstante)	-126,341	183,261			-0,689	0,493					
	SNA	5,612	2,291	0,281	2,450	0,017		0,281	0,281	0,281	1,000	1,000

Tabelle 33: Regressionsmodell zur Abhängigkeit der gesamten Adenoidfläche von den gewählten Diagnoseparametern (Vorwärts-Selektion)

Adenoid-/Pharynxverhältnis kranial (ad₂-Ho-Ba-ad₁-ad₂/Spp-Ho-Ba-Spp)

Für die durch den kranialen Abschnitt der Adenoide im knöchernen Nasopharynx besetzte Fläche wurde als einziger valider Prädiktor das Alter der Patienten identifiziert, während SNA, SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen hoch signifikanten ($F(1,71) = 11,639$, $p = 0,001$), und mittelstarken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,141$, $\text{korr. } R^2 = 0,129$).

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		T	Sig.	Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	Nullter Ordnung			Partiell	Teil	Toleranz	VIF	
												Beta
5	(Konstante)	83,215	4,299			19,358	0,000					
	Alter	-1,310	0,384	-0,375	-3,412	0,001		-0,375	-0,375	-0,375	1,000	1,000

Tabelle 34: Regressionsmodell zur Abhängigkeit des kranialen Adenoid-/Pharynxverhältnisses von den gewählten Diagnoseparametern

Adenoid-/Pharynxverhältnis gesamt (ad₂-Ho-Ba-ad₃-ad₂/ Spp-Ho-Ba-Ho'-Spp)

Für die durch die gesamten Adenoide im Nasopharynx besetzte Fläche wurden bei der Vorwärtsselektion das Alter der Patienten sowie der SNA-Winkel als valide Prädiktoren identifiziert, während SNB, ANB und OK/UK-Verhältnis nicht in das Modell eingeschlossen werden konnten. Das resultierende Modell zeigt einen hoch signifikanten ($F(2,70) = 5,722$, $p = 0,005$), jedoch schwachen linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,141$, korr. $R^2 = 0,116$). Bei der Rückwärtselimination wurden hingegen SNB-Winkel sowie OK-UK-Verhältnis und das Patientenalter als Prädiktoren in das Modell aufgenommen. Das hierbei resultierende Modell zeigt ebenfalls einen hoch signifikanten ($F(3,69) = 4,453$, $p = 0,006$), allerdings mittelstarken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,162$, korr. $R^2 = 0,126$).

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		Korrelationen			Kollinearitätsstatistik		
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	T	Sig.	Nullter			Toleranz	VIF
							Ordnung	Partiell	Teil		
3	(Konstante)	-45,227	48,301		-0,936	0,352					
	Alter	-0,931	0,420	-0,245	-2,218	0,030	-0,262	-0,258	-0,244	0,996	1,004
	SNB	1,056	0,549	0,222	1,921	0,059	0,133	0,225	0,212	0,906	1,104
	OK_UK	49,767	19,952	0,289	2,494	0,015	0,237	0,288	0,275	0,902	1,108

Tabelle 35: Regressionsmodell zur Abhängigkeit des gesamten Adenoid-/Pharynxverhältnisses von den gewählten Diagnoseparametern (Rückwärts-El.)

Koeffizienten

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		Korrelationen			Kollinearitätsstatistik		
		Regressions- koeffizient	Std.-Fehler	Beta	T	Sig.	Nullter			Toleranz	VIF
							Ordnung	Partiell	Teil		
2	(Konstante)	5,666	26,671		0,212	0,832					
	SNA	0,797	0,329	0,268	2,418	0,018	0,265	0,278	0,268	1,000	1,000
	Alter	-1,007	0,421	-0,265	-2,391	0,019	-0,262	-0,275	-0,265	1,000	1,000

Tabelle 36: Regressionsmodell zur Abhängigkeit des gesamten Adenoid-/Pharynxverhältnisses von den gewählten Diagnoseparametern (Vorwärts-Selektion)

5. Diskussion

5.1 Methodik

5.1.1 Eignung der Bildgebung

Bei dem in der Untersuchung verwendeten FRS handelt es sich um ein Abbildungsverfahren, in welchem lediglich Frontal- und Sagittalebene dargestellt werden. Diese Zweidimensionalität hat zur Folge, dass die Transversalebene als dritte Dimension der untersuchten Zielgrößen nicht direkt beurteilt werden kann. Die resultierende Limitierung wird seit Langem kontrovers diskutiert und veranlasst viele Autoren zu Kritik an FRS hinsichtlich der Evaluation von Struktur bzw. Ausprägung von PAS (Aboudara et al., 2003; Major et al., 2006) sowie Adenoiden (Feres et al., 2012; Major et al., 2014).

Weiterhin unterliegt das PAS-Volumen natürlichen, vom Stand des Atemzyklus abhängigen Schwankungen, welche die Genauigkeit der Messungen mittels FRS beeinflussen können (Feng et al., 2015). Dies erscheint jedoch als eine Problematik, die durch Anweisung des Patienten, während der Bildaufnahme in voller Inspiration zu verharren, zu beseitigen ist.

Neben allgemeingültiger Kritik finden sich auch Untersuchungen, die eine ausreichende Korrelation zu dreidimensionalen Bildgebungsverfahren lediglich für bestimmte Altersgruppen feststellen (Feng et al., 2015). Als möglicher Hintergrund wird hierbei die deutliche Variabilität in der Ausprägung der Adenoide im Alter unter 15 Jahren genannt, welche laut Autoren die wichtigste Determinante für das nasopharyngeale Volumen ist. Es wird allerdings auch darauf hingewiesen, dass die Methode allenfalls als Screening tauglich ist, jedoch keine ausreichende diagnostische Information für Atemwegobstruktionen generiert.

Für eine genauere Evaluation dieser primären Problematik suggerieren einige Investigationen deshalb otolaryngologische Folgediagnostik (Feng et al., 2015; Major et al., 2006; Thüer et al., 1989). Höchste Sensitivität sowie Spezifität (>90 %) hierfür, bei Vergleich mit dem als Goldstandard geltenden nasoendoskopischen Verfahren (Feres et al., 2012, 2015; Major et al., 2014), bieten laut systematischem Review Computertomographie sowie Videofluoroskopie (Major et al., 2014).

Allerdings zeichnen sich die genannten Verfahren durch im zahnmedizinischen Bereich mangelnde Verfügbarkeit und oft fehlende Indikation aus. Weiterhin gehen die beiden letztgenannten Untersuchungen mit einer im Vergleich zum konventionellen Röntgen signifikant höheren Strahlenbelastung einher, die sowohl im Rahmen von Studien als auch im diagnostischen Rahmen selten zu rechtfertigen ist. Bezüglich dieser Aspekte erscheint also

die laterale Kephalometrie überlegen, welche als gängiges kieferorthopädisches Diagnostiktool ohnehin routinemäßig zum Einsatz kommt.

Neben diesen Gesichtspunkten existiert Evidenz, welche eine gute Korrelation zu Werten dreidimensionaler Bildgebung (Martins et al., 2018; Vizzotto et al., 2012) sowie intraoperativen Befunden hinsichtlich Ausprägung der Adenoide (Cohen et al., 1992; Jeans et al., 1981) aufzeigt. Insbesondere nasopharyngealen Strecken- und Flächenwerten, welche primärer Gegenstand dieser Untersuchung sind, werden dabei die stärksten statistischen Zusammenhänge mit dem Atemwegsvolumen zugesprochen (Aboudara et al., 2009; Lenza et al., 2010; Martins et al., 2018). Unter Berücksichtigung dieser Hintergründe erscheinen FRS-Analysen trotz gewisser Limitierung als valides Instrument zur Beurteilung des extrathorakalen Luftraums - vor allem im retronasalen Bereich - sowie der Adenoide. Dies spiegelt sich im ubiquitären Gebrauch dieses Vorgehens in Studien mit entsprechenden Fragestellungen wider (de Freitas et al., 2006; Gunn et al., 2000; Martin et al., 2011; Park et al., 2016; Wolford et al., 2012) und betrifft auch die Untersuchungen, auf denen das präsentierte Vorgehen fußt (Hourfar, Kinzinger, Feifel, et al., 2017; Hourfar, Kinzinger, Meißner, et al., 2017; Jonas et al., 1988; Kinzinger et al., 2011).

Die Genauigkeit der erfassten Daten hätte dennoch durch die Verwendung eines alternativen Verfahrens optimiert werden können. Für eine dreidimensionale Erfassung des untersuchten Bereichs steht mitunter das in Zahn- und Kieferheilkunde zunehmend verwendete Cone-Beam-CT (auch: Volumentomographie) zur Verfügung. Dieses ist gegenüber dem konventionellen CT hinsichtlich Strahlenbelastung deutlich im Vorteil (Ludlow & Ivanovic, 2008; Tsiklakis et al., 2005) und findet sich dementsprechend auch als etablierte Methode in Untersuchungen zum bearbeiteten Themenkomplex (Alves et al., 2008; Indriksone & Jakobsone, 2015; Iwasaki et al., 2009, 2014; Oh et al., 2013). Der retrospektive Charakter der präsentierten Studie ließ jedoch keine entsprechende Planung der genutzten Bildgebung zu. Als weiterhin erschwerend für die Generierung größerer Datensätze ist die deutlich engere Indikationsstellung (S2k-Leitlinie, DGZMK, 2013) der Volumentomographie zu werten.

Diese begründet sich in der im Vergleich mit 2D-Röntgenaufnahmen höheren Strahlenbelastung, wenngleich sie auch geringer als im konventionellen CT ausfällt. Das Fortschreiten der zunehmend strahlungsärmeren Technologie könnte jedoch künftig für präzisere Möglichkeiten in der Erhebung von Daten zu den extrathorakalen Luftwegen sorgen.

Ein weiteres bereits vor Jahrzehnten durch Scheerer und Lammert vorbeschriebenes Verfahren erscheint bei Abwesenheit von Strahlenexposition in puncto Exaktheit vielversprechend, findet bisher jedoch kaum Anwendung. Hierbei erfolgt die exakte Nachbildung des Nasopharynx in Form eines Gipsmodells auf Basis von Nasenrachenabdrücken. Dies lässt eine genaue Ermittlung von Luftraumvolumen und

Morphologie der Rachentonsille zu (Scheerer & Lammert, 1980). Zwar ist die Methode in ihrer Anwendung auf den obersten Abschnitt der Luftwege limitiert, jedoch könnte sie in zukünftigen Erhebungen Potenzial für die Untersuchung entsprechender Fragestellungen haben, ohne dabei eine Noxenexposition zu verursachen.

5.1.2 Fehleranalyse und Statistik

Abweichungen der ermittelten Messwerte von der Realität können durch Abbildung von Doppelkonturen, welche in der Analyse gemittelt werden müssen, oder auch durch die Nutzung konstruierter Punkte entstehen (Segner & Hasund, 1998). Diese Aspekte könnten neben Abweichungen in der Identifikation anatomischer Referenzpunkte Hintergrund für die in verschiedenen Untersuchungen festgestellte mangelnde Reproduzierbarkeit und (Inter- als auch Intrarater-) Reliabilität von FRS-Analysen sein (Dias Da Silveira & Dias Silveira, 2006; Durão et al., 2013; Lagravère et al., 2010).

Als in der Kephalmetrie gängige Methode zur Prüfung der Reproduzierbarkeit und Intrarater-Reliabilität gilt die Fehleranalyse nach Dahlberg (Dahlberg, 1940; H.-Y. Kim, 2013; Segner & Hasund, 1998), welche auch bei dieser Studie zum Einsatz kam. Hiermit konnte der Methodenfehler für die meisten erhobenen Parameter bei Werten unter 1,00 als akzeptabel hoch identifiziert werden. Dies gilt nicht für die Strecke PAS OE der KG sowie den Winkel MeGoAr der UG, welche den Grenzwert von 1,00 knapp überschritten und somit bezüglich Güte der erhobenen Daten kompromittiert sind. Bei den für die Flächenerhebungen errechneten Werten fallen deutlich höhere Beträge auf. Diese heben sich jedoch durch ihren zweidimensionalen Charakter von den restlichen Messungen ab, welcher in kieferorthopädischer Routineanalytik nicht üblich ist.

Weiterhin stehen sie in Abhängigkeit von der Positionierung bis zu 4 einzelner Referenzpunkte, was einen größeren Summationseffekt der Abweichungen wahrscheinlich macht. Es erscheint bei Betrachtung der Formel außerdem logisch (s. Material und Methoden), dass mit wachsendem Betrag des betrachteten Parameters auch die im Zähler stehende Variable d - wenn auch prozentual nicht größer als bei anderen Werten - wächst und somit auch ein höherer Fehlerwert zustande kommt. Da für die betreffenden Areale Beträge von knapp 200 bis über 500 in die Gleichung eingesetzt werden, erscheint somit eine ubiquitäre Anwendung des Grenzwertes 1,00 nicht sinnvoll wie er für übliche Strecken- und Winkelmessungen verwendet wird. Das Fehlen einer Referenzgröße als Schwäche der genutzten Fehlermethodik thematisierte Kim bereits in einer Veröffentlichung (H.-Y. Kim, 2013).

Als Alternative wird hier eine relative Form des Fehlers nach Dahlberg vorgeschlagen, welche ein Lösungsansatz für die vorliegende Problematik in folgenden Untersuchungen sein könnte. Da es sich allerdings um ein bisher nicht etabliertes Verfahren handelt, wurde im präsentierten Vorgehen davon abgesehen, wenngleich auch eine geschälerte Aussagekräftigkeit der Fehleranalytik bezüglich der Flächenwerte vorliegt.

Im weiteren statistischen Vorgehen ist bei der Interpretation der Ergebnisse außerdem zu berücksichtigen, dass nicht alle Variablen die Voraussetzungen für einen Mittelwertvergleich in Form eines T-Tests erfüllten (s. Ergebnisteil). Dies betraf die Strecken Ba-Spp, PAS C3 und PAS OE sowie die Fläche Spp-Ho-Ba-Spp und deren Spiegelfläche Spp-Ho-Ba-Ho'-Spp.

Bei dem in diesen Fällen angewandten Mann-Whitney-U-Test handelt es sich um ein nicht-parametrisches Verfahren, das mit einem gewissen Informationsverlust einher geht und aus dem somit geringere Testpower resultiert (Hedderich & Sachs, 2020). Die Autoren raten deshalb zu größeren Fallzahlen bei nicht-parametrischen Tests. Die Möglichkeit hierzu fehlte in der präsentierten Untersuchung, da die maximale Anzahl der die Inklusionskriterien erfüllenden Patienten ausgeschöpft wurde. Jedoch wurde mit dem U-Test die Alternative mit der nach Hedderich und Sachs vergleichsweise höchsten Testpower unter den nicht-parametrischen Tests angewandt (Hedderich & Sachs, 2020). Für künftige Studien könnte sich die Verwendung zusätzlicher Probanden bei Verfügbarkeit in dieser Situation allerdings als vorteilhaft erweisen.

5.1.3 Analyseschema

Da laut Feres et al. die Verlässlichkeit der Evaluation der extrathorakalen Atemwege maßgeblich abhängig von der Auswahl geeigneter radiologischer Kenngrößen ist (Feres et al., 2012), gilt es die eigene Methodik zu hinterfragen und zu optimieren.

Bei Anwendung des gewählten Analyseschemas fiel auf, dass die Streckenmessungen, die durch Verlängerung einer konstruierten, der Ausrichtung der Wirbelbasis folgenden Linie erfolgten (PAS C2, 3 und 4) in ihrer Neigung probandenabhängig variierten.

Dies kann als Resultat individueller Anatomie aber auch unzureichender Kontrolle über die Körperhaltung der Probanden verstanden werden, deren Einfluss auf PAS-Messungen gut dokumentiert ist (Helsing, 1989; Hiyama et al., 2002; Muto et al., 2002).

Ungeachtet der Hintergründe ist dies als problematisch zu bewerten, da um die Tiefe des Atemwegs exakt zu beurteilen, eine möglichst waagerechte Messung von Nöten ist. Folge ungewollt diagonalen Neigung der Messstrecken könnte somit eine systematische Überschätzung des wahren Wertes sein. In zukünftigen Untersuchungen könnten derartige

Fehler, wenn anatomisch bedingt, beispielsweise durch senkrechte Projektion des vorderen Wirbelbasispunktes auf Höhe des hinteren bereinigt werden. Alternativ wäre eine Parallelverschiebung der Frankfurter Horizontalen auf das jeweilige Pharynxniveau denkbar. Unabhängig davon sollte zur Vermeidung haltungsbedingter Abweichungen grundsätzlich auf eine exakte standardisierte Positionierung des Patienten bei Aufnahme geachtet werden oder eine nachträgliche Datenkorrektur durchgeführt werden (Hellsing, 1989; Hiyama et al., 2002; Muto et al., 2002).

Weiterhin beschränkt sich die von Jonas und Mann gewählte und hier angewandte Methodik (Jonas et al., 1988) zur Flächenbestimmung der Adenoide auf die Markierung des Profils an drei Punkten (Ad1-Ad3). Bereits in Abb. 2 wird deutlich, dass bei Verbindung der Punkte geringe Teile des Luftraums in das Adenoidprofil miteingeschlossen werden können, umgekehrt jedoch auch kleinere Stücke des Weichteilprofils nicht mit einbezogen werden können. Da es sich beim lymphatischen Gewebe des Nasenrachenraums um einen patienten- und altersabhängig (Jonas et al., 1988; Park et al., 2016; Scheerer & Lammert, 1980) hinsichtlich Anatomie ausprägungssensiblen Bereich handelt, kann dieser Effekt individuell unterschiedlich stark ausfallen.

Auch wenn die aus dieser Problematik resultierenden Abweichungen als gering zu erwarten sind, könnten künftige Untersuchungen gerade vor dem Hintergrund der starken anatomischen Individualität der Adenoide von einer exakteren Eingrenzung des Weichteilprofils profitieren. Eine Möglichkeit dies umzusetzen, besteht in der Erhöhung der Anzahl der zur Profilmarkierung genutzten Referenzpunkte.

Als Beispiel hierfür dient das von Park et al. genutzte Analyseschema (Park et al., 2016), welches 24 Profilpunkte nutzt. Die genannte Studie beschäftigt sich jedoch explizit mit den morphologischen Veränderungen der Rachentonsille im Laufe des Wachstums. Deshalb gilt es zunächst zu prüfen, ob der erhebliche Mehraufwand in angemessenem Verhältnis zur zusätzlich generierten Information bezüglich des PAS steht.

5.2 Wachstum von Nasopharynx und Adenoiden

Das Patientenkollektiv, von dem die hier aufgeführten Daten stammen, befand sich zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahmen noch im Wachstum. Da beobachtete Effekte deshalb immer im Zusammenhang mit Wachstumsprozessen zu interpretieren sind (Kinzinger et al., 2011), ist die Kenntnis über die Entwicklung des nasopharyngealen Raums für eine regelrechte Deutung unabdingbar. Hierbei ist neben dem Nasopharynx selber der Rachenmandel

besondere Aufmerksamkeit zu widmen, da ihre Ausprägung maßgeblichen Einfluss auf die Tiefe des Luftraums hat. (Feng et al., 2015)

Verschiedene Publikationen machen darauf aufmerksam, dass die Adenoide in ihrem Wachstumsmuster nicht demjenigen der restlichen lymphatischen Gewebe entsprechen (de Souza Vilella et al., 2006; Linder Aronson & Leighton, 1983; Park et al., 2016). Vielmehr werden Wachstumszunahmen und Involution im Wechsel beschrieben (Chierici, 1967; de Souza Vilella et al., 2006; Linder Aronson & Leighton, 1983; Park et al., 2016; Preston et al., 2004; Scheerer & Lammert, 1980). Hierbei liegt das Augenmerk hauptsächlich auf zwei Wachstumsspeaks: Einem ersten im Alter von 5 Jahren (de Souza Vilella et al., 2006; Linder Aronson & Leighton, 1983), bzw. 5-7 Jahren (Park et al., 2016) und einem zweiten zum Beginn der Pubertät, also im Alter von 9-12 Jahren (Scheerer & Lammert, 1980), bzw. 10-11 Jahren (de Souza Vilella et al., 2006; Linder Aronson & Leighton, 1983). Sowohl zwischen diesen beiden Wachstumsspitzen (Chierici, 1967; de Souza Vilella et al., 2006; Linder Aronson & Leighton, 1983), als auch nach der zweiten (Linder Aronson & Leighton, 1983) wurden Rückgänge der Dickenausprägung der Adenoide beobachtet.

Preston et al. beschreiben für den zweiten Peak einen geschlechtsspezifischen Dimorphismus, sodass das Dickenmaximum bei männlichen Patienten im Alter von 11-12 Jahren, bei weiblichen wiederum bei 13-14 Jahren auftritt (Preston et al., 2004). Weiterhin zeigen sich Korrelationen zwischen hyperdivergenten bzw. hypodivergenten morphologischen Mustern des Gesichtsschädels einerseits und des Wachstumsmusters sowie Involutionsstärke der Rachenmandel andererseits (Park et al., 2016). Vor diesen Hintergründen erscheint die Untersuchung der Tiefe des nasopharyngealen Luftraumes bei Patienten mit mikrognathem Oberkiefer sinnvoll.

Bezüglich des Volumens des Nasenrachenraums selbst wird ein wesentlich konstanteres Wachstum beobachtet. Im Gegensatz zum lymphatischen Gewebe der hinteren Rachenwand folgt der Nasopharynx dem allgemeinen Körperwachstum (de Souza Vilella et al., 2006). Bei Betrachtung aller drei Dimensionen zeigt sich besonders die Höhenzunahme als linear (Park et al., 2016; Scheerer & Lammert, 1980). Diese wird vor allem auf die Absenkung des harten Gaumens zurückgeführt (Park et al., 2016; Scheerer & Lammert, 1980). Ein lediglich scheinbarer Stillstand des Höhenwachstums wurde zu Beginn der Pubertät wahrgenommen.

Im Kontext mit den Adenoiden betrachtet begründet sich dieser allerdings nur durch deren zuvor angesprochenen zweiten Wachstumsspeak, sodass sich das tatsächliche nasopharyngeale Volumen hier nicht verkleinert (de Souza Vilella et al., 2006; Scheerer & Lammert, 1980). Scheerer und Lammert bezogen in ihre Untersuchungen im Gegensatz zu anderen Autoren auch adulte Patienten mit ein. Hierbei wurde festgestellt, dass aufgrund von

Umbauprozessen des Oberkiefers selbst im Alter die Volumenzunahme des Nasopharynx anhielt (Scheerer & Lammert, 1980).

Da hier außerdem durch die Erstellung von Gipsmodellen eine dreidimensionale Methode zum Einsatz kam, konnten Aussagen über die Entwicklung der Weite des Nasenrachens gemacht werden. Es wurde keine signifikante Weitzunahme festgestellt, was Scheerer und Lammert auf ein progredientes Wachstum der Tubae auditivae sowie deren Wülsten zurückführen (Scheerer & Lammert, 1980). Dies stützt die oft kritisierte zweidimensionale Untersuchung des Nasopharynx anhand von Fernröntgenseitenbildern, welche lediglich Höhe und Tiefe mit einbeziehen. Über Letztere gestalten sich eindeutige Aussagen aufgrund starker Streuungen entweder schwierig (Chierici, 1967; Scheerer & Lammert, 1980) oder es werden vom Wachstumsverlauf der Rachenmandel abhängige Tiefenschwankungen beschrieben (Linder Aronson & Leighton, 1983). Weitere Nachforschungen bezüglich der sagittalen Ausdehnung des Luftraums erscheinen deshalb nötig.

Analog zur Entwicklung der Adenoide werden auch bei der Betrachtung des Nasenrachens vom Geschlecht abhängige Dimorphismen aufgezeigt (de Souza Vilella et al., 2006). Weibliche Probanden erreichten demnach schon im Alter von 12-13 Jahren ihre maximale nasopharyngeale Kapazität, während männliche diese erst mit 14-15 Jahren erreichten. Widersprüchlichkeiten hierzu ergeben sich insofern, als dass durch Preston et al. bei männlichen Probanden ein früher einsetzender zweiter Wachstumspik der Rachentonsille registriert wurde (Preston et al., 2004). Bei Betrachtung beider Publikationen im Kontext wäre allenfalls ein früherer Eintritt der maximalen Nasenrachenkapazität bei männlichen Patienten konform, nicht allerdings ein späterer.

5.3 Ergebnisse

In bereits vorliegender Literatur, die sich mit dem Vergleich von Volumina des PAS verschiedener skelettaler Klassen beschäftigt, wurde im Vergleich mit der Angle-Klasse II häufig ein größerer oropharyngealer Luftraum bei Klasse III-Patienten beschrieben (Castro-Silva et al., 2015; El & Palomo, 2011; Iwasaki et al., 2009, 2019; Jayaratne & Zwahlen, 2016). Iwasaki et al. sehen den Hintergrund hierfür in einem bei Klasse II-Dysgnathien höheren durch die Zunge besetzten Volumenanteil der Mundhöhle, wenn auch das Zungenvolumen von Klasse III-Patienten höher war (Iwasaki et al., 2019).

Sie kompensieren dies laut Autoren allerdings mit im Verhältnis größerem Mundraumvolumen. El & Palomo hingegen begründen den Sachverhalt mit der mandibulären Retrusion (El & Palomo, 2011), von deren Assoziation mit Oropharynx-Konstriktionen auch als Folge von

Setback-Operationen berichtet wurde (Chen et al., 2015; Hong et al., 2011; Jakobsone et al., 2011; S.-H. Kim & Choi, 2020).

Zwar fiel die PAS-Tiefe des gesamten oropharyngealen Bereichs (PAS OE, PAS ML, PAS C2) in den präsentierten Daten im Mittel in der UG größer aus, jedoch handelte es sich um nicht signifikante Differenzen. Weiterhin erhielten auch die meisten kephalometrischen Parameter keinen Einzug in die Regressionsmodelle, sodass ihnen hier kein prädiktiver Wert zugeschrieben werden kann. Lediglich das OK/UK-Verhältnis wird als beeinflussender Faktor für PAS ML gelistet, ist jedoch alleine wenig aussagekräftig, da es keine Aussage über die sagittale Positionierung der Kiefer trifft. Weiterhin wird das Alter als signifikante Einflussgröße auf PAS OE identifiziert, was als Konsequenz des noch stattfindenden Wachstums interpretiert werden kann. Somit entsprechen die vorliegenden Ergebnisse in diesem PAS-Bereich denjenigen von Autoren, welche den Einfluss der skelettalen Klasse hinsichtlich PAS als neutral oder sehr schwach bewerten (Alves et al., 2008; de Freitas et al., 2006; Di Carlo et al., 2015; Indriksone & Jakobsone, 2014, 2015).

De Freitas et al. verweisen jedoch darauf, dass vielmehr ein vertikales Wachstumsmuster als die Angle-Klasse mit engerer Ausprägung oberer Atemwegsbereiche assoziiert ist (de Freitas et al., 2006). Diese Beobachtung wird durch weitere Publikationen bestätigt (Celikoglu et al., 2014; Galeotti et al., 2019; Joseph et al., 1998; Park et al., 2016). In der durchgeführten Methodik erfolgte keine Selektion nach Wachstumsklassifizierung, wobei es sich demnach um einen möglicherweise interferierenden Faktor handeln könnte, der weiterer Investigationen bedarf. Joseph et al. beschreiben eine Assoziation zwischen maxillärer sowie mandibulärer Retrusion und Hyperdivergenz des Gesichts (Joseph et al., 1998). Allerdings waren bei Betrachtung der Interbasiswinkel sowie der Unterkieferwinkel der beiden Gruppen keine signifikanten Differenzen zu beobachten. Da es sich hierbei um Parameter handelt, die Auskunft über den Gesichtstyp geben, relativiert sich also ein möglicher konfundierender Effekt. Auch auf hypopharyngealer Höhe (PAS C3, PAS C4) fiel die Atemwegstiefe der UG größer aus, jedoch ebenfalls auf statistisch nicht signifikantem Niveau. Dies passt zu den von Kinzinger et al. und Hourfar et al. beschriebenen Tiefenzunahmen im gleichen Bereich bei Korrektur von Malokklusionen der Klasse II mittels festsitzender (Kinzinger et al., 2011) bzw. herausnehmbarer (Hourfar, Kinzinger, Meißner, et al., 2017) Apparaturen. Auch Martin et al. konnten Klasse III-Patienten eine stärker ausgeprägte hypopharyngeale Tiefe nachweisen (Martin et al., 2011).

Als anatomische Basis für diese Feststellung wird in der Literatur ein weiter anterior und kranial positioniertes Os hyoideum aufgeführt (Chen et al., 2015; Martin et al., 2011), dessen Verlagerung bei Behandlung der Malokklusion beschrieben wurde (Chen et al., 2015; Phoenix et al., 2011). Dennoch ist bei den hier präsentierten Ergebnissen die verringerte Fallzahl für

die Untersuchung der Zielgröße PAS C4 zu berücksichtigen, die in der teils fehlenden Darstellung des entsprechenden Bereichs im Bildmaterial begründet ist. Diese geringere Fallzahl kompromittiert die Aussagekraft des auf dieser Höhe festgestellten Ergebnisses. Weiterhin findet sich im Regressionsmodell für PAS C4 neben dem Alter das OK/UK-Verhältnis als Einflussgröße, welche jedoch wie bereits erwähnt als alleiniger kephalometrischer Parameter wenig aussagekräftig erscheint. Zudem ist aufgrund der geringeren Fallzahl eine Pseudokorrelation möglich.

Der einzige Bereich der extrathorakalen Luftwege, in dem sich UG und KG auf statistisch signifikantem Niveau unterschieden, war die Strecke PAS NL. Diese erwies sich in der UG im Mittel um 2,039 mm kürzer als in der KG, womit im genutzten Patientenkollektiv eine verminderte nasopharyngeale Tiefe bei Vorliegen einer maxillären Mikrognathie nachgewiesen werden konnte. Die Untersuchungen von Martin et al. stützen diese Feststellung, da sie bei Patienten der Angle-Klasse III im Vergleich mit maxillär eugnathen Probanden einen signifikant konstringierten nasopharyngealen Luftraum nachweisen konnten (Martin et al., 2011). Als Hintergründe kommen sowohl hypertrophes Weichteilgewebe als auch eine durch die veränderte Schädelmorphologie knöchern bedingte Volumenminderung in Frage. Für Letzteres spricht die in der UG ebenfalls statistisch signifikant kleiner ausfallende Strecke Ba-Spp, welche die Tiefe des knöchernen Nasopharynx beschreibt. Ein häufig mit Malokklusionen der Klasse III einhergehendes Phänomen stellt zudem die verstärkte Abwinkelung der Schädelbasis dar, welche in einer Vorverlagerung der Fossa mandibularis und somit einer Retrusion der Maxilla resultiert (Martin et al., 2011).

Hierin findet sich also eine mögliche anatomische Begründung für eine resultierende knöchern bedingte Atemwegsrestriktion, welche auch von Joseph et al. als Faktor für geringere anteroposteriore Tiefe des Nasopharynx suggeriert wird (Joseph et al., 1998). Allerdings stehen diese Aussagen im Gegensatz zu anderen Beobachtungen, welche der Angle Klasse II zugeordneten Patienten im Vergleich mit Klasse I bzw. III eine signifikante Konstriktion des Nasopharynx zuschreiben (Agrawal et al., 2019; El & Palomo, 2011).

Problematisch erscheint hier allerdings die oft fehlende Differenzierung innerhalb der Klasse III zwischen insuffizienter maxillärer Entwicklung und exzessivem mandibulärem Wachstum. Diese ist nach Zhang et al. entscheidend, da klassenintern vornehmlich mangelndes Oberkieferwachstum für die nasopharyngeale Konstriktion verantwortlich ist (Zhang et al., 2017). Dies liefert eine Erklärung für Diskrepanzen zu Untersuchungen, die den vorliegenden Ergebnissen widersprechen, da in der hier präsentierten Arbeit explizit Patienten mit mikrognathem Oberkiefer untersucht wurden. Überraschend erscheint in diesem Kontext jedoch das Fehlen signifikanter Unterschiede im nasopharyngealen Flächenvergleich. Eine vertikale Kompensation des sagittalen Tiefenverlustes der UG scheint möglich.

Gestützt wird die Vermutung eines knöchernen Hintergrundes weiterhin durch wie bereits von Jonas et al. (Jonas et al., 1988) beschriebene fehlende signifikante Unterschiede im Flächenvergleich des Adenoidprofils der beiden Gruppen, was gegen vergrößerte Rachentonsillen als Basis für einen engeren PAS in diesem Bereich spricht. Auch bei nasoendoskopischer Evaluation der Adenoide, die hierfür als Goldstandard gilt (Feres et al., 2012, 2015; Major et al., 2014), konnte kein Zusammenhang zwischen skelettalen Eigenschaften und einer hyperplastischen Rachenmandel hergestellt werden (Feres et al., 2015). Widersprüchlichkeiten ergeben sich insofern, als dass in der Literatur häufig von Assoziationen zwischen Klasse II-Malokklusionen und Adenoidhyperplasien berichtet wird (Lopatiene & Babarskas, 2002; Nunes & Di Francesco, 2010; Osiatuma et al., 2015). Außerdem konnte unter Therapie von Klasse II-Malokklusionen eine Involution des lymphatischen Gewebes des Nasenrachens beobachtet werden (Pavoni et al., 2017; Restrepo et al., 2011). Ergänzend hierzu schreiben Martin et al. Patienten der Angle-Klasse III geringer ausgeprägte Adenoide zu, als eugnathen Probanden (Martin et al., 2011).

Wenn auch nicht signifikant, fiel in den eigenen Nachforschungen die Adenoidfläche der UG geringer aus als diejenige der KG und stimmt somit zumindest in der Tendenz mit diesen Beobachtungen überein. Es zeigt sich eine Konkordanz mit den Ergebnissen der durch Baroni et al. durchgeführten Untersuchungen. Diese zeigten bei Patienten mit Adenoidhyperplasie im Vergleich mit der Kontrollgruppe eine zwar nicht signifikante, aber vorhandene Neigung zur stärkeren Ausprägung mandibulärer Retrognathien und höherer ANB-Abweichungen (Baroni et al., 2011).

Weiterhin wird erwähnt, dass bei gleichzeitigem Vorliegen hyperplastischer Gaumenmandeln im Vergleich zu isolierter Adenoidobstruktion sowohl eine erhöhte Länge des Ramus mandibularis, als auch des Mandibularplanums festgestellt wurden. Dies wird durch die von Nunes & Di Francesco beobachtete Assoziation der Angle-Klasse III mit vergrößerten Gaumentonsillen bestätigt (Nunes & Di Francesco, 2010). Es erscheint also sinnvoll, dies in Folgeuntersuchungen als potenziellen zusätzlichen Einflussfaktor auf die kraniofaziale Morphologie miteinzubeziehen, um ein besseres Verständnis für kumulierende und interferierende Effekte zu entwickeln.

Weiterhin wird in verschiedenen Publikationen über die Größenzunahme des nasopharyngealen Luftraums bei Korrektur von Malokklusionen der Klasse III mittels unterschiedlicher Behandlungsmethoden berichtet (Chen et al., 2015; Hiyama et al., 2002; Niu et al., 2020). Passend dazu stellten Hiyama et al. mittels Regressionsanalyse einen positiv linearen Zusammenhang zwischen SNA und Tiefe der oberen extrathorakalen Luftwege fest (Hiyama et al., 2002). Dies steht in Einklang mit den vorliegenden Ergebnissen, in denen unter Anwendung desselben statistischen Verfahrens der SNA- sowie der ANB- Winkel neben

dem Patientenalter als valide Einflussgrößen auf die Tiefe des knöchernen Nasopharynx (Ba-Spp) identifiziert wurden. Fragwürdig erscheint allerdings, dass sie in Vorwärtsselektion bzw. Rückwärtselimination einzeln aufgeführt werden, nicht jedoch als gemeinsames Erklärungsmodell. Die positiven Regressionskoeffizienten der Winkel sind so zu interpretieren, dass ihre Zunahme einen linearen Anstieg der Tiefe des knöchernen Nasopharynx zur Folge hat. Hieraus kann im Umkehrschluss gefolgert werden, dass eine pathologische Verminderung ihres Betrags auch mit verringerter knöcherner Tiefe des Nasenrachenraums einhergeht. Zwar wurden die zwei weiteren für die Diagnosestellung einer maxillären Mikrognathie nötigen Parameter, SNB und OK/UK-Verhältnis nicht ins Modell mit einbezogen, sodass nicht alle Aspekte der Dysgnathie als Prädiktor für die Tiefe des knöchernen Nasenrachens angesehen werden können. Jedoch können wesentliche mit einem mikrognathen Oberkiefer einhergehende Eigenschaften wie ein retrognather Charakter der Maxilla (definiert durch den SNA) und das Vorliegen einer mesiobasalen Kieferposition (definiert durch den ANB) in den präsentierten Daten als mit engerem PAS im Nasenrachenraum assoziiert angesehen werden.

Fraglich bleibt allerdings die klinische Relevanz einer Differenz von 2,039 mm zwischen den Gruppen, die aufgrund des Studiendesigns nicht bewertet werden konnte. So beschreiben Thüer et al. beispielsweise das Fehlen einer Korrelation zwischen nasalem Airflow und einem radiologischen Korrelat zu nasopharyngealer Konstriktion (Thüer et al., 1989). Auffällig erscheint zudem, dass, wenn auch SNA sowie ANB Einzug in die Regressionsmodelle für Ba-Spp erhielten, sie sich nicht im Erklärungsmodell für PAS NL finden.

Dies scheint vor allem vor dem Hintergrund überraschend, dass diese Messgröße im Rahmen des T-Tests in der UG als signifikant verringert identifiziert wurde. Der wesentliche Unterschied zwischen den angesprochenen Strecken besteht in ihrer hinteren Begrenzung durch Weichteile (PAS NL) bzw. Knochen (Ba-Spp), während sie die vordere Begrenzung durch die Spina nasalis posterior gemeinsam haben.

Dies legt nahe, dass dem fehlenden linearen Bezug Differenzen in der Ausprägung des lymphatischen Gewebes zugrunde liegen. Zwar kann mittels T-Test kein statistisch signifikanter Unterschied im Betrag der Flächengröße festgestellt werden, jedoch zeigen sich in den Regressionsanalysen erneut SNA und ANB als Einfluss nehmende Größen auf die Gesamtfläche der Adenoide. Auch hier liegen im Falle beider Winkel positive Regressionskoeffizienten vor, sodass in diesen Regressionsmodellen bei Zunahme der Winkel eine Größenzunahme der Adenoidfläche als Konsequenz resultiert. Zwar findet sich im Modell der Rückwärtselimination auch der SNB-Winkel, jedoch mit statistisch nicht signifikantem Einfluss, sodass seine Relevanz an dieser Stelle nicht gegeben ist. Somit wären bei Anwendung der errechneten Erklärungsmodelle für die Angle-Klasse II größere Rachentonsillen zu erwarten als bei Klasse III oder eugnathen Patienten, was in Konkordanz

zu den Befunden bereits erwähnter Publikationen steht (Lopatiene & Babarskas, 2002; Nunes & Di Francesco, 2010; Osiatuma et al., 2015). Der lineare Zusammenhang stellt sich jedoch mit korrigierten R^2 -Werten von 0,066 bzw. 0,065 lediglich als schwach dar, was einen Erklärungsansatz für die fehlende Signifikanz im Mittelwertvergleich der Gruppen darstellt.

Die Überlagerung allerdings von signifikant verminderter Tiefe des knöchernen Nasopharynx bei gleichzeitig geringer ausgeprägten Adenoiden der UG könnte in ihrer Summierung eine mögliche Erklärung für den fehlenden prädiktiven Wert der Diagnoseparameter für den nasopharyngealen PAS darstellen.

Wenig überraschend erscheinen analog zur Betrachtung der Regressionsmodelle für die Gesamtfläche der Adenoide die für das Adenoid-/Pharynxverhältnis errechneten Modelle. Als mit auf signifikantem Niveau positivem Einfluss wurden hiernach SNA und OK/UK-Verhältnis identifiziert, deren Erhöhung Eigenschaften der Angle-Klasse II darstellen. Mit etwas größer ausgeprägten Adenoiden der KG bei fehlenden signifikanten Unterschieden in der Fläche des Nasopharynx erscheint dies logisch.

Der negative Regressionskoeffizient des Alters ist so zu interpretieren, dass das nasopharyngeale Wachstum den Effekt der altersabhängig schwankenden Größe (de Souza Vilella et al., 2006; Linder Aronson & Leighton, 1983; Park et al., 2016; Preston et al., 2004; Scheerer & Lammert, 1980) der Adenoide überwiegt. Dies passt zu dem vom Patientenkollektiv im Schnitt noch nicht erreichten Alter, in dem der bereits beschriebene Scheinstillstand des nasopharyngealen Wachstums stattfindet (de Souza Vilella et al., 2006; Scheerer & Lammert, 1980).

5.4 Fazit

Patienten mit Angle-Klasse III aufgrund maxillärer Mikro- und Retrognathie zeigen eine nicht signifikante Tendenz zu tieferen extrathorakalen Luftwegen als Patienten der Angle-Klasse II. Dies betrifft alle Bereiche bis auf den Nasopharynx. Dieser erscheint gegenüber der Klasse II in der sagittalen Dimension signifikant konstringiert. Dies bezieht sich explizit auf den mikrognathen Oberkiefer, nicht jedoch auf alle Dysgnathien der Klasse III. Der Grund hierfür liegt am ehesten in knöchernen Veränderungen, da kein signifikanter Größenunterschied des lymphatischen Gewebes im Nasenrachenraum ausgemacht werden konnte. Die radiologische Evaluation des PAS sollte allerdings lediglich als Hilfsmittel in der Behandlung und Diagnostik oberer Atemwegsobstruktionen genutzt werden. Für die Bewertung klinischer Konsequenzen sind andere Untersuchungsmethoden hinzuzuziehen. Tendenziell zeigen Patienten mit

höherer sagittaler Disharmonie zwischen Ober- und Unterkiefer zu Gunsten der Maxilla im Querschnitt größere Adenoide. Dieser Effekt ist jedoch als schwach zu bewerten.

Eine Interferenz der untersuchten Endpunkte mit der Ausprägung des vertikalen Gesichtstyps sowie dem Vorliegen hyperplastischer Gaumenmandeln sollte in künftigen Studien berücksichtigt werden. Ferner scheint eine feinere Differenzierung der Okklusionsklassen nach Wachstumsexzess bzw. Defizit der Kiefer nötig, um ein besseres Verständnis für die Auswirkung kraniofazialer Morphologie auf die extrathorakalen Luftwege zu entwickeln.

6. Literaturverzeichnis

1. Aboudara, C. A., Hatcher, D., Nielsen, I. L., & Miller, A. (2003). A three-dimensional evaluation of the upper airway in adolescents. *Orthodontics and Craniofacial Research*, 6(SUPPL1), 173–175.
2. Aboudara, C., Nielsen, I., Huang, J. C., Maki, K., Miller, A. J., & Hatcher, D. (2009). Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(4), 468–479.
3. Agrawal, P., Kumar, P., Kalra, H., Chauhan, R., Bagga, D. K., & Singh, A. (2019). Radiographic Evaluation of the Hyoid Bone Position and Pharyngeal Airway Depth in Anteroposterior Dysplasia. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 12(2), 101–106.
4. Alves, P. V. M., Zhao, L., O’Gara, M., Patel, P. K., & Bolognese, A. M. (2008). Three-dimensional cephalometric study of upper airway space in skeletal class II and III healthy patients. *Journal of Craniofacial Surgery*, 19(6), 1497–1507.
5. Baroni, M., Ballanti, F., Franchi, L., & Cozza, P. (2011). Craniofacial features of subjects with adenoid, tonsillar, or adenotonsillar hypertrophy. *Progress in Orthodontics*, 12(1), 38–44.
6. Castro-Silva, L., Monnazzi, M. S., Spin-Neto, R., Moraes, M., Miranda, S., Gabrielli, M. F. R., & Pereira-Filho, V. A. (2015). Cone-beam evaluation of pharyngeal airway space in class I, II, and III Patients. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 120(6), 679–683.
7. Celikoglu, M., Bayram, M., Sekerci, A. E., Buyuk, S. K., & Toy, E. (2014). Comparison of pharyngeal airway volume among different vertical skeletal patterns: A cone-beam computed tomography study. *Angle Orthodontist*, 84(5), 782–787.
8. Chen, X., Liu, D., Liu, J., Wu, Z., Xie, Y., Li, L., Liu, H., Guo, T., Chen, C., & Zhang, S. (2015). Three-dimensional evaluation of the upper airway morphological changes in growing patients with skeletal class III malocclusion treated by protraction headgear and rapid palatal expansion: A comparative research. *PLoS ONE*, 10(8), 1–13.
9. Chierici, G. (1967). Some observations on the pharyngeal airspace. *Cleft Palate Journal*, 4, 129–136.
10. Cohen, L. M., Koltai, P. J., & Scott, J. R. (1992). Lateral cervical radiographs and adenoid size: Do they correlate? *Ear, Nose and Throat Journal*, 71(12), 638–642.
11. Dahlberg, G. (1940). Statistical methods for medical and biological students. In *Statistical Methods for Medical and Biological Students*. George Alien and Unwin, Ltd., London.

12. de Freitas, M. R., Alcazar, N. M. P. V., Janson, G., de Freitas, K. M. S., & Henriques, J. F. C. (2006). Upper and lower pharyngeal airways in subjects with Class I and Class II malocclusions and different growth patterns. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 130(6), 742–745.
13. de Souza Vilella, B., de Vasconcelos Vilella, O., & Koch, H. A. (2006). Growth of the nasopharynx and adenoidal development in Brazilian subjects. *Brazilian Oral Research*, 20(1), 70–75.
14. Di Carlo, G., Polimeni, A., Melsen, B., & Cattaneo, P. M. (2015). The relationship between upper airways and craniofacial morphology studied in 3D. A CBCT study. *Orthodontics and Craniofacial Research*, 18(1), 1–11.
15. Dias Da Silveira, H. L., & Dias Silveira, H. E. (2006). Reproducibility of cephalometric measurements made by three radiology clinics. *Angle Orthodontist*, 76(3), 394–399.
16. Diedrich, P. (2000). *Kieferorthopädie I*. (4. Aufl.). Elsevier Urban & Fischer.
17. Durão, A. R., Pittayapat, P., Rockenbach, I. B., Olszewski, R., Ng, S., Ferreira, A. P., & Jacobs, R. (2013). Validity of 2D lateral cephalometry in orthodontics: A systematic review. *Progress in Orthodontics*, 14(1).
18. El, H., & Palomo, J. M. (2011). Airway volume for different dentofacial skeletal patterns. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(6), e511–e521.
19. Feng, X., Li, G., Qu, Z., Liu, L., Näsström, K., & Shi, X. Q. (2015). Comparative analysis of upper airway volume with lateral cephalograms and cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 147(2), 197–204.
20. Feres, M. F. N., Hermann, J. S., & Pignatari, S. S. N. (2012). Cephalometric evaluation of adenoids: An analysis of current methods and a proposal of a new assessment tool. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142(5), 671–678.
21. Feres, M. F. N., Muniz, T. S., de Andrade, S. H., de Lemos, M. M., & Pignatari, S. S. N. (2015). Craniofacial skeletal pattern: Is it really correlated with the degree of adenoid obstruction? *Dental Press Journal of Orthodontics*, 20(4), 68–75.
22. Galeotti, A., Festa, P., Viarani, V., Pavone, M., Sitzia, E., Piga, S., Cutrera, R., De Vincentiis, G. C., & D'Antò, V. (2019). Correlation between cephalometric variables and obstructive sleep apnoea severity in children. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 20(1).
23. Gunn, T. R., Tonkin, S. L., Hadden, W., Davis, S. L., & Gunn, A. J. (2000). Neonatal micrognathia is associated with small upper airways on radiographic measurement. *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics*, 89(1), 82–87.
24. Harzer, W. (2011). *Checklisten der Zahnmedizin Kieferorthopädie*. Thieme.
25. Hedderich, J., & Sachs, L. (2020). *Angewandte Statistik*. Springer.

26. Hellsing, E. (1989). Changes in the pharyngeal airway in relation to extension of the head. *European Journal of Orthodontics*, 11(4), 359–365.
27. Hiyama, S., Suda, N., Ishii-Suzuki, M., Tsuiki, S., Ogawa, M., Suzuki, S., & Kuroda, T. (2002). Effects of Maxillary Protraction on Craniofacial Structures and Upper-Airway Dimension. *Angle Orthodontist*, 72(1), 43–47.
28. Hong, J. S., Park, Y. H., Kim, Y. J., Hong, S. M., & Oh, K. M. (2011). Three-dimensional changes in pharyngeal airway in skeletal class III patients undergoing orthognathic surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69(11), 401–408.
29. Horch, H. H. (2007). *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie* (4. Aufl.). Elsevier Urban & Fischer.
30. Hourfar, J., Kinzinger, G. S. M., Feifel, H., Vehr, V. M., & Lisson, J. A. (2017). Effekte kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Kombinationsbehandlungen bei Klasse II und III auf den extrathorakalen Luftraum: Vergleich zwischen mono- und bignathen Osteotomien. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 78(6), 455–465.
31. Hourfar, J., Kinzinger, G. S. M., Meißner, L. K., & Lisson, J. A. (2017). Effekte zweier verschiedener herausnehmbarer funktionskieferorthopädischer Apparaturen auf die Tiefe des extrathorakalen Luftraums: Eine retrospektive kephalometrische Studie. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 78(2), 166–175.
32. Indriksone, I., & Jakobsonsone, G. (2014). The upper airway dimensions in different sagittal craniofacial patterns: a systematic review. *Stomatologija / Issued by Public Institution "Odontologijos Studija" ... [et Al.]*, 16(3), 109–117.
33. Indriksone, I., & Jakobsonsone, G. (2015). The influence of craniofacial morphology on the upper airway dimensions. *Angle Orthodontist*, 85(5), 874–880.
34. Iwasaki, T., Hayasaki, H., Takemoto, Y., Kanomi, R., & Yamasaki, Y. (2009). Oropharyngeal airway in children with Class III malocclusion evaluated by cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136(3), 318.e1-318.e9.7
35. Iwasaki, T., Suga, H., Yanagisawa-Minami, A., Sato, H., Sato-Hashiguchi, M., Shirazawa, Y., Tsujii, T., Yamamoto, Y., Kanomi, R., & Yamasaki, Y. (2019). Relationships among tongue volume, hyoid position, airway volume and maxillofacial form in paediatric patients with Class-I, Class-II and Class-III malocclusions. *Orthodontics and Craniofacial Research*, 22(1), 9–15.
36. Iwasaki, T., Takemoto, Y., Inada, E., Sato, H., Saitoh, I., Kakuno, E., Kanomi, R., & Yamasaki, Y. (2014). Three-dimensional cone-beam computed tomography analysis of enlargement of the pharyngeal airway by the herbst appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 146(6), 776–785.
37. Jakobsonsone, G., Stenvik, A., & Espeland, L. (2011). The effect of maxillary advancement and impaction on the upper airway after bimaxillary surgery to correct Class III malocclusion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(4 SUPPL.), 369–376.

38. Jayaratne, Y. S. N., & Zwahlen, R. A. (2016). The oropharyngeal airway in young adults with skeletal class II and class III deformities: A 3-D morphometric analysis. *PLoS ONE*, *11*(2), 1–14.
39. Jeans, W. D., Fernando, D. C. J., & Maw, A. R. (1981). How should adenoidal enlargement be measured? A radiological study based on interobserver agreement. *Clinical Radiology*, *32*(3), 337–340.
40. Jonas, L., Mann, W., Br, F., Direktor, A., & Th, P. (1988). *Zur Bedeutung der Adenoide bei kieferorthopädischen Patienten*. *3*(3), 239–251.
41. Joseph, A. A., Elbaum, J., Cisneros, G. J., & Eisig, S. B. (1998). A cephalometric comparative study of the soft tissue airway dimensions in persons with hyperdivergent and normodivergent facial patterns. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *56*(2), 135–139.
42. Kim, H.-Y. (2013). Statistical notes for clinical researchers: Evaluation of measurement error 2: Dahlberg's error, Bland-Altman method, and Kappa coefficient. *Restorative Dentistry & Endodontics*, *38*(3), 182.
43. Kim, S.-H., & Choi, S.-K. (2020). Changes in the hyoid bone, tongue, and oropharyngeal airway space after mandibular setback surgery evaluated by cone-beam computed tomography. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, *42*(1).
44. Kinzinger, G., Czapka, K., Ludwig, B., Glasl, B., Gross, U., & Lisson, J. (2011). Effekte festsitzender Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse II auf die Tiefe des extrathorakalen Luftraums : FMA vs. Herbst-Geschiebe - eine retrospektive kephalometrische Studie. *Journal of Orofacial Orthopedics*, *72*(4), 301–320.
45. Lagravère, M. O., Low, C., Flores-Mir, C., Chung, R., Carey, J. P., Heo, G., & Major, P. W. (2010). Intraexaminer and interexaminer reliabilities of landmark identification on digitized lateral cephalograms and formatted 3-dimensional cone-beam computerized tomography images. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *137*(5), 598–604.
46. Lenza, M. G., de, M. M., Dalstra, M., Melsen, B., & Cattaneo, P. M. (2010). An analysis of different approaches to the assessment of upper airway morphology: A CBCT study. *Orthodontics and Craniofacial Research*, *13*(2), 96–105.
47. Linder Aronson, S., & Leighton, B. C. (1983). A longitudinal study of the development of the posterior nasopharyngeal wall between 3 and 16 years of age. *European Journal of Orthodontics*, *5*(1), 47–58.
48. Lopatiene, K., & Babarskas, A. (2002). Malocclusion and upper airway obstruction. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, *38*(3), 277–283.
49. Ludlow, J. B., & Ivanovic, M. (2008). Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, *106*(1), 106–114.
50. Lüllmann-Rauch R., P. F. (2012). *Histologie* (4. Aufl.). Thieme.

-
51. Macari, A. T., Bitar, M. A., & Ghafari, J. G. (2012). New insights on age-related association between nasopharyngeal airway clearance and facial morphology. *Orthodontics and Craniofacial Research*, *15*(3), 188–197.
52. Major, M. P., Flores-Mir, C., & Major, P. W. (2006). Assessment of lateral cephalometric diagnosis of adenoid hypertrophy and posterior upper airway obstruction: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *130*(6), 700–708.
53. Major, M. P., Saltaji, H., El-Hakim, H., Witmans, M., Major, P., & Flores-Mir, C. (2014). The accuracy of diagnostic tests for adenoid hypertrophy : A systematic review. *Journal of the American Dental Association*, *145*(3), 247–254.
54. Martin, O., Muelas, L., & Viñas, M. J. (2011). Comparative study of nasopharyngeal soft-tissue characteristics in patients with Class III malocclusion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *139*(2), 242–251.
55. Martins, L. S., Liedke, G. S., Heraldo, L. D. D. S., Da Silveira, P. F., Arus, N. A., Ongkosuwito, E. M., & Vizzotto, M. B. (2018). Airway volume analysis: Is there a correlation between two and three-dimensions? *European Journal of Orthodontics*, *40*(3), 262–267.
56. Moore K.L., Persaud T.V.N., T. M. G. (2013). *Embryologie Entwicklungsstadien, Frühentwicklung, Organogenese, Klinik* (6.Aufl.). Elsevier Urban & Fischer.
57. Muto, T., Takeda, S., Kanazawa, M., Yamazaki, A., Fujiwara, Y., & Mizoguchi, I. (2002). The effect of head posture on the pharyngeal airway space (PAS). *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *31*(6), 579–583.
58. Niu, X., Di Carlo, G., Cornelis, M. A., & Cattaneo, P. M. (2020). Three-dimensional analyses of short- and long-term effects of rapid maxillary expansion on nasal cavity and upper airway: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics and Craniofacial Research*, *23*(3), 250–276.
59. Nunes, W. R., & Di Francesco, R. C. (2010). Variation of patterns of malocclusion by site of pharyngeal obstruction in children. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *136*(11), 1116–1120.
60. Oh, K. M., Kim, M. A., Youn, J. K., Cho, H. J., & Park, Y. H. (2013). Three-dimensional evaluation of the relationship between nasopharyngeal airway shape and adenoid size in children. *Korean Journal of Orthodontics*, *43*(4), 160–167.
61. Osiatuma, V. I., Otuyemi, O. D., Kolawole, K. A., Ogunbanjo, B. O., & Amusa, Y. B. (2015). Caractéristiques occlusales des enfants présentant des végétations hypertrophiées au Nigéria. *International Orthodontics*, *13*(1), 26–42.
62. Park, J. E. (Ernie), Gray, S., Bennani, H., Antoun, J. S., & Farella, M. (2016). Morphometric growth changes of the nasopharyngeal space in subjects with different vertical craniofacial features. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *150*(3), 451–458.

63. Pavoni, C., Cretella Lombardo, E., Franchi, L., Lione, R., & Cozza, P. (2017). Treatment and post-treatment effects of functional therapy on the sagittal pharyngeal dimensions in Class II subjects. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *101*, 47–50.
64. Phoenix, A., Valiathan, M., Nelson, S., Strohl, K. P., & Hans, M. (2011). Changes in hyoid bone position following rapid maxillary expansion in adolescents. *Angle Orthodontist*, *81*(4), 632–638.
65. Preston, C. B., Tobias, P. V., & Salem, O. H. (2004). Skeletal age and growth of the nasopharynx in the sagittal plane: A cephalometric study. *Seminars in Orthodontics*, *10*(1), 16–38.
66. Restrepo, C., Santamaría, A., Peláez, S., & Tapias, A. (2011). Oropharyngeal airway dimensions after treatment with functional appliances in class II retrognathic children. *Journal of Oral Rehabilitation*, *38*(8), 588–594.
67. Rohen J.W., L.-D. E. (2017). *Funktionelle Embryologie Die Entwicklung der Funktionssysteme des menschlichen Organismus* (5. Aufl.). Schattauer.
68. Sander F.G., Schwenzler N., E. M. (2011). *Zahn-Mund-Kieferheilkunde Kieferorthopädie* (2. Aufl.). Thieme.
69. Scheerer, W. D., & Lammert, F. (1980). Morphologie und Wachstum des Nasenrachenraumes von 3 Jahren bis zum Erwachsenenalter. *Archives Of Oto-Rhino-Laryngology*, *229*(3–4), 221–229.
70. Schopf, P. (2008). *Kieferorthopädie Band I*. (4. Aufl.). Quintessenz Verlags-GmbH.
71. Schünke M., Schulte E., S. U. (2009). *Prometheus Kopf, Hals und Neuroanatomie* (2. Aufl.). Thieme.
72. Schwarz, A. M. (1961). Roentgenostatics. *American Journal of Orthodontics*, *47*(8), 561–585.
73. Segner, D., & Hasund, A. (1998). *Individualisierte Kephalmetrie*. (4. Aufl.). Dietmar Segner Verlag und Vertrieb.
74. Thüer, U., Kuster, R., & Ingervall, B. (1989). A comparison between anamnestic, rhinomanometric and radiological methods of diagnosing mouthbreathing. *European Journal of Orthodontics*, *11*(2), 161–168.
75. Tsiklakis, K., Donta, C., Gavala, S., Karayianni, K., Kamenopoulou, V., & Hourdakis, C. J. (2005). Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *European Journal of Radiology*, *56*(3), 413–417.
76. Vizzotto, M. B., Liedke, G. S., Delamare, E. L., Silveira, H. D., Dutra, V., & Silveira, H. E. (2012). A comparative study of lateral cephalograms and cone-beam computed tomographic images in upper airway assessment. *European Journal of Orthodontics*, *34*(3), 390–393.

77. Wolford, L. M., Perez, D., Stevao, E., & Perez, E. (2012). Airway space changes after nasopharyngeal adenoidectomy in conjunction with le fort i osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 70(3), 665–671.
78. Zhang, J., Liu, W., Li, W., & Gao, X. (2017). Three-Dimensional Evaluation of the Upper Airway in Children of Skeletal Class III. *Journal of Craniofacial Surgery*, 28(2), 394–400.

7. Publikation/Danksagung

7.1 Publikation

Die Ergebnisse dieser Studie wurden im Rahmen der DGKFO Jahrestagung 2019 in Nürnberg unter dem Titel »*Untersuchung zur Ausprägung von Adenoiden und dem PAS bei Patienten mit maxillärer Mikrognathie*« sowie des Sirona Dentsply Förderpreises 2019 in Frankfurt am Main als Poster mit Kurzvortrag unter dem Titel »*Auswirkung der maxillären Mikrognathie auf die nasopharyngeale Anatomie*« veröffentlicht.

7.2 Danksagung

Ich danke insbesondere meinem Doktorvater Professor Dr. Jörg Lisson für die Überlassung des Studienthemas, sowie die geduldige Unterstützung bei allen aufkommenden Fragestellungen.

Weiterhin gilt mein großer Dank Professor Dr. Stefan Wagenpfeil sowie Gudrun Wagenpfeil, Dipl.-Stat., für ihre Beratung in den statistischen Aspekten der Arbeit.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Betreuerin Dr. Constanze Linsenmann für ihre außergewöhnlich engagierte Hilfestellung und Beteiligung - wann immer sie gebraucht wurde - bedanken.