Aus dem Institut für Anatomie und Zellbiologie
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. Karlhans Endlich)
und der
Poliklinik für Kieferorthopädie, Präventive Zahnmedizin und Kinderzahnheilkunde
(Direktor: Prof. Dr. med. dent. Tomasz Gedrange)
der Medizinischen Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Zum Einfluss verschiedener dentoalveolärer und skelettaler Dysgnathien auf die Morphologie des Sinus maxillaris

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent.)
der
Medizinischen Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
2010

vorgelegt von
Norman Apt
geb. am 27.10.1982
in Leipzig

Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. Heyo Kroemer
Erster Gutachter:	Prof. Dr. Thomas Koppe
Zweiter Gutachter:	Prof. Dr. Andreas Prescher
Ort, Raum:	Hörsaal der alten Zahnklinik, Universität Greifswald
Tag der Disputation:	25. Oktober 2010

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

2. Literaturübersicht 3

2.1 Anatomie der Kieferhöhle 3

2.2 Funktionen der Nasennebenhöhlen 6

2.3 Einfluss von Dysgnathien und kieferorthopädischer Therapie auf die Schädelmorphologie 9

2.4 Metrische Analysen des Schädels 10

3. Material und Methoden 13

3.1 Material 13

3.2 Anfertigung der Röntgenaufnahmen 14

3.3 Bezugspunkte und -ebenen 16

3.4 Vermessung der Röntgenaufnahmen 20

3.4.1 Streckenmaße 21

3.4.2 Winkel 22

3.4.3 Flächenmaße 24

3.4.4 Nicht-metrische Variablen 26

3.5 Einteilung des Materials 27

3.5.1 Angle-Klasse I und Angle-Klasse II 27

3.5.2 Skelettale Klassen 29

3.5.3 Gesichtstypen 30

3.6 Statistische Auswertung 31

4. Ergebnisse 33

4.1 Angle-Klasse I und Angle-Klasse II 33

4.2 Skelettale Klassen 37

4.3 Gesichtstypen 39

4.4 Ergebnis der Korrelationsanalyse 42

4.5 Ergebnis der Regressionsanalyse 45

4.6 Clusteranalysen 49

4.6.1 Hierarchische Clusteranalyse mit allen Variablen 49

4.6.2 Hierarchische Clusteranalyse mit Längen- und Höhenmaßen 52

4.6.3 Hierarchische Clusteranalyse mit Winkelmaßen 54

5. Diskussion 57

5.1 Kephalometrische Untersuchung der Nasennebenhöhlen 57

5.2 Einfluss von Angle-Klasse und basal sagittaler Kieferrelation auf die Kieferhöhlengröße 58

5.3 Einfluss des Gesichtstyps auf die Schädel- und Kieferhöhlenmorphologie 60

5.4 Zusammenhänge zwischen Schädelmaßen und der Kieferhöhlengröße am Fernröntgenseitenbild 61

6. Schlussfolgerungen 65

7. Zusammenfassung 67

8. Literaturverzeichnis 69

9. Anhang

Eidesstattliche Erklärung

Lebenslauf

Danksagung

1. Einleitung

Nasennebenhöhlen können als pneumatisierte Schleimhautaussackungen der Nasenhöhle aufgefasst werden. Auf Grund ihres Anschlusses an die Cavitas nasi werden sie dem Atmungsapparat zugeordnet. Die Funktionen der Nasennebenhöhlen werden seit vielen Jahrzehnten kontrovers diskutiert (Blanton and Biggs 1969; Rae and Koppe 2008; Keir 2009). Dabei findet man in der Literatur diverse Hypothesen über verschiedene physiologische und strukturelle Funktionen (Westrin and Stierna 1995; Röhrer-Ertl et al. 1996; Andersson et al. 2002) sowie auch Theorien über ihr Vorhandensein als evolutionäres Relikt (Blaney 1990). Neben einem Beitrag zur Phonetik und den respiratorischen Funktionen findet man in einigen Studien auch Hypothesen über biomechanische Funktionen, die von Gewichtsersparnis bis Stoßabsorption reichen (Blanton and Biggs 1969; Preuschoft et al. 2002; Moormann 2004).

Ein messbarer Einfluss dentoalveolärer und skelettaler Okklusionsanomalien auf die Schädelmorphologie wird in einigen Studien beschrieben (Rothstein and Yoon-Tarlie 2000; Alkofide 2007; Proff et al. 2008). Ebenso konnten Anpassungsvorgänge der Schädel- und Atemwegsmorphologie im Rahmen einer kieferorthopädischen Therapie beobachtet werden (Versyck and Rakosi 1989; Peng et al. 2005; Enoki et al. 2006). Zwischen dem stomatognathen System und dem Sinus maxillaris besteht eine enge anatomische Nachbarschaft. So wurden an Primaten von einigen Autoren enge Korrelationen der Kieferhöhlenumfänge mit verschiedenen Schädelmaßen beschrieben (Koppe und Schumacher 1992; Koppe and Ohkawa 1999; Rae and Koppe 2000; Treuner 2007). In der Literatur finden sich jedoch nur wenige Belege, in denen auf die Zusammenhänge kaufunktioneller Belastungen mit der Struktur des Sinus maxillaris eingegangen wird. Rae and Koppe (2008) konnten bei Beobachtungen an eng verwandten Primatenarten mit unterschiedlicher Nahrung keine Differenzen der Kieferhöhlengröße nachweisen. Ebenso stellte Oktay (1992), der verschiedene dentale und skelettale Fehlokklusionen an Panoramaschichtaufnahmen von Patienten verglichen hat, keinen Einfluss dieser Anomalien auf die Kieferhöhlengröße fest.

In der vorliegenden Studie werden die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Dysgnathien und der Kieferhöhlengröße untersucht, um mögliche Einflüsse von Kaufunktionsstörungen und Wachstumsanomalien auf den Sinus aufzudecken. Sie

verknüpft morphologisch-anatomische Messungen mit Analyseverfahren und Klassifizierungen aus der kieferorthopädisch-klinischen Routine. Diese basieren auf der Fernröntgenseitenanalyse nach den Beschreibungen von Segner und Hasund (1998) sowie der Vermessung kieferorthopädischer Modelle.

Im Einzelnen werden in der vorliegenden Arbeit folgende Zielstellungen bearbeitet:

1. Untersuchung auf Unterschiede in der Kieferhöhlenmorphologie zwischen Patienten mit Angle-Klasse-I- und Angle-Klasse-II-Okklusion unter Berücksichtigung des Geschlechtsdimorphismus
2. Untersuchung auf Differenzen in der Kieferhöhlenmorphologie bei Patienten mit unterschiedlicher basal sagittaler Kieferrelation
3. Analyse auf Abweichungen der Kieferhöhlenmorphologie bei unterschiedlichen Gesichtstypen, insbesondere des Mittelgesichtes
4. Darstellung der Zusammenhänge zwischen der Kieferhöhlengröße und verschiedenen Längen-, Winkel- und Flächenmaßen des Gesichtsschädels
5. Darstellung der Bedeutung dieser Untersuchungen

2. Literaturübersicht

2.1 Anatomie der Kieferhöhle

Die Kieferhöhle ist die größte Nasennebenhöhle des Menschen und liegt in der Maxilla (Schumacher 1997). Beim Neugeborenen besitzt sie in etwa ovale Form, im Erwachsenenalter ähnelt sie eher einer vierseitigen Pyramide, deren quadratische Basis von der lateralen Wand der Nasenhöhle gebildet wird. Die Spitze dieser Pyramide ist gegen den Processus zygomaticus des Oberkiefers gerichtet (Plenk und Tschabitscher 1985; Boenninghaus und Lenarz 2001).

Die Form des Kieferhöhlenbodens wird durch den Recessus alveolaris bestimmt, der eine Ausbuchtung in den Alveolarfortsatz der Maxilla darstellt und unterhalb des Nasenbodens oder auf gleicher Höhe mit diesem liegt. Bei niedrigem Mittelgesicht kann er auch darüber lokalisiert sein (Schumacher 1971; Shankar et al. 1994). Die Wurzeln der oberen Seitenzähne sind an dieser Stelle oft nur von einer dünnen Knochenschicht bedeckt. Die durchschnittliche Dicke der Kortikalis des Sinusbodens an der dünnsten Stelle über den Wurzelspitzen befindet sich über der mesiobukkalen Wurzel (Eberhardt et al. 1992) bzw. distobukkalen Wurzel (Kwak et al. 2004) des zweiten Molaren und wird in verschiedenen Studien zwischen 0,37 mm und 0,83 mm angegeben. Durch diese enge anatomische Beziehung kommt es nicht selten zu dentogenen Infektionen in der Kieferhöhle. Gelegentlich beobachtet man Cristae und Septierungen (Schwenzer und Ehrenfeld 2002).

Die dorsale Wand des Sinus maxillaris grenzt an die Fossa pterygopalatina, in der sich der venöse Plexus pterygoideus, die Arteria maxillaris sowie das vegetative Ganglion pterygopalatinum befinden, welches unter anderem die Sekretion der Nasenschleimhaut reguliert. Das Kieferhöhlendach entspricht dem Orbitaboden, in dem der Nervus infraorbitalis - vereinzelt auch ohne knöcherne Abdeckung - verläuft (Boenninghaus und Lenarz 2007). Im dorsalen Winkel zwischen medialer und oberer Wand besteht eine enge Nachbarschaft zu den Siebbeinzellen. Lateral zwischen orbitaler und fazialer Kieferhöhlenwand befindet sich der Recessus zygomaticus, die Jochbeinbucht. Das Ostium, durch welches der Sekretabfluss aus dem Sinus über das Infundibulum ethmoidale in den mittleren Nasengang erfolgt, befindet sich an ungünstig hoher Stelle (Boenninghaus und Lenarz 2007), was das Ausheilen von Entzündungen erschwert.

Variationen der Kieferhöhlenanatomie und Asymmetrien sind häufig (Waldeyer 1973; Shankar et al. 1994; Oeken und Gudizol 1996). So stellten Bolger et al. (1991) bei computertomographischen Untersuchungen von 202 Patienten knöcherne Abweichungen von der Norm in 64,9 % der Fälle fest, unabhängig davon, ob die Patienten wegen einer Kieferhöhlenproblematik geröntgt oder aus anderen Gründen untersucht worden waren .

Wachstum

Die Kieferhöhle entwickelt sich ab dem 2. Fetalmonat aus Epithelsprossungen im Bereich des primitiven mittleren Nasenganges in das umgebende Mesenchym in der sogenannten Infundibulumfurche. Ihre Vergrößerung erfolgt durch expansives Wachstum der Schleimhaut und späterer Resorption von angrenzendem Knochen (Schumacher 1997; Zollikofer and Weissmann 2008). Beim Neugeborenen besitzt sie ein Volumen von zirka 0,16 cm^3, im 10. Lebensjahr erreicht sie bereits in etwa die Hälfte ihrer endgültigen Ausdehnung. Während der Pubertät setzt ein beschleunigtes Wachstum ein; die endgültige Ausgestaltung erfolgt zwischen dem 14. und 18. Lebensjahr (s. auch Abb. 1). Der Rauminhalt im Erwachsenenalter wird mit durchschnittlich 14,71 cm^3 bis 15 cm^3 angegeben. Dabei wird für Frauen ein deutlich geringerer Rauminhalt von 11,4 cm^3 gegenüber dem männlichen Durchschnitt von 17,7 cm^3 beobachtet (Schumacher 1997; Schwenzer und Ehrenfeld 2002), was allerdings nicht von allen Autoren bestätigt wird (Ariji et al. 1994). Die eindimensionalen Messungen am adulten Menschen variieren in der Literatur stark. So wird die Höhe mit 19 bis 39 mm, die Breite mit 22 bis 28 mm und die Tiefe mit 21 bis 34 mm angegeben (Schumacher 1997; Schwenzer und Ehrenfeld 2002).

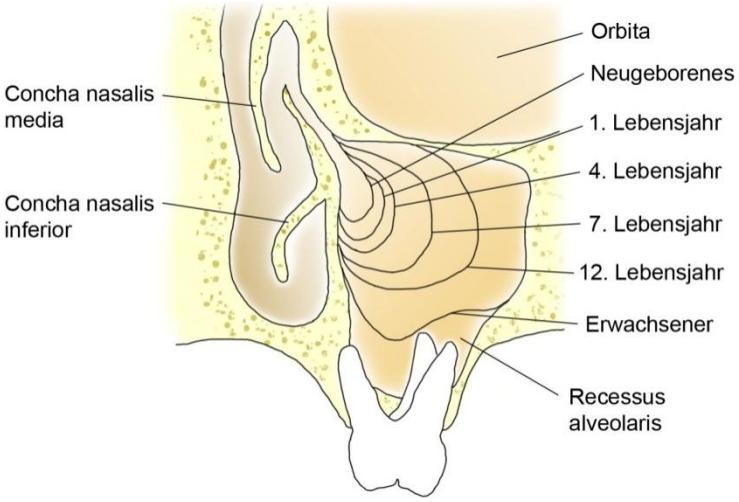


Abb. 1: Schema zum Wachstum der Kieferhöhle (verändert nach Schwenzer und Ehrenfeld 2002)

Während Ariji et al. (1994) bei ihren Messungen eine Verkleinerung des Kieferhöhlenvolumens nach dem 20. Lebensjahr und dabei keinen Einfluss durch die Dentition feststellten, sind andere Autoren der Meinung, dass sich der Sinus, auch durch altersbedingten Zahnverlust, bis ins hohe Alter vergrößern kann (Schumacher 1971; Schünke et al. 2006). Dabei werden Zusammenhänge der Volumenänderungen des Sinus maxillaris und der anderen Nasennebenhöhlen mit der Körper- und insbesondere Schädelgröße sowie dem Körperbau diskutiert (Rossouw et al. 1991; Koppe et al. 1994; Ruf and Pancherz 1996; Koppe and Nagai 1997; Schumacher 1997; Lieberman et al. 2000).

Das Wachstum des Oberkiefers steht in zeitlichem Zusammenhang mit dem Durchbruch des Milchgebisses und auch der permanenten Dentition. Während dieser Zeit wächst die Maxilla vorwiegend durch die vertikale Verlängerung des Alveolarfortsatzes und durch Ausdehnung an den Suturen (Schneider 1990; Schopf 1991; Harzer 1999; Fanghänel und Gedrange 2007), jedoch nur eingeschränkt in dorso-kranialer Richtung (Lux et al. 2004). Auch die Vergrößerung der Nasennebenhöhlen wird in Verbindung mit dem Zahndurchbruch gebracht (Schumacher 1997). Jedoch konnte, trotz der engen zeitlichen und räumlichen Beziehungen, für die Dentition und kaufunktionelle Beanspruchung als Wachstumsreiz für die Kieferhöhle bislang kein Nachweis erbracht werden. Vielmehr wird den Nasennebenhöhlen selbst ein Beitrag zu Wachstum und Ausformung des Gesichts zugesprochen (Moss 1968; Blanton and Biggs 1969; Keir 2009).

2.2 Funktionen der Nasennebenhöhlen

Die Funktionen der Nasennebenhöhlen werden verschieden diskutiert und sind bisher nicht abschließend geklärt (Blanton and Biggs 1969; Blaney 1990; Westrin and Stierna 1995; Röhrer-Ertl et al. 1996; Keir 2009). Blaney (1990) unterteilt die möglichen Funktionen in drei Hauptgruppen:

- physiologische Funktionen
- strukturelle Bedeutung für die Schädelarchitektur
- Relikte der Evolution

Westrin and Stierna (1995) schreiben den Nasennebenhöhlen aus klinischer Perspektive eine Rolle bei Phonetik, Atmung, Riechsinn, Statik, Mechanik und Thermoregulation zu.

Blanton and Biggs (1969) stellen nach intensiver Literaturrecherche folgende mögliche Funktionen zusammen:

- Resonanz bei der Stimmbildung
- Anfeuchten und Erwärmen der Atemluft
- Verbesserung des Riechvermögens
- Stoßabsorption zum Schutz der intrakraniellen Sinnesorgane
- Schleimsekretion zum Feuchthalten der Nasenhöhle
- Thermische Isolation des Nervensystems
- Beitrag zu Gesichtsschädelwachstum und -architektur
- Gewichtserleichterung des Schädels
- Evolutionäres Relikt / unerwünschte, luftgefüllte Hohlräume

Einige dieser Punkte konnten bis heute wiederlegt, bzw. deren Bedeutung relativiert werden. So ist nach Drettner (1980) die Mitwirkung des Sinus maxillaris beim Anfeuchten der Atemluft sehr eingeschränkt, da bei ruhiger Nasenatmung bis zum Austausch von 90 % des Luftvolumens in der Kieferhöhle in etwa 5 Minuten vergehen. Auch Oeken und Gudizol (1996) stellen fest, dass die Luft im Sinus maxillaris beim Druckwechsel während Ein- und Ausatmung nur geringfügig bewegt wird. Allerdings halten Gannon et al. (1997) eine Atemluftanfeuchtung für möglich, die über Sekretionsmechanismen durch das Sinusostium hindurch realisiert wird. Auch die Wirkung der Gewichtserleichterung ist fraglich, da die Ersparnis gerade mal

1 % des Schädelgewichtes beträgt. Jedoch fügt sich die Lage der pneumatisierten Hohlräume an mechanisch wenig beanspruchten Stellen gut in das Modell der Rahmenkonstruktion des Schädels ein (Schumacher 1997; Fanghänel et al. 2003).

Von den Schleimhäuten der Nasennebenhöhlen wird Stickstoffmonoxid (NO) produziert und soll dort in deutlich größerer Menge als in der Nasenhöhle selbst vorliegen (Lundberg et al. 1995; Keir 2009). NO soll zur lokalen Immunabwehr beitragen. Neben einem direkten bakteriostatischen Effekt, schreibt man dem endogen produzierten Stoff eine Rolle bei der Erhöhung der mukoziliaren Clearance in den Schleimhäuten des oberen Respirationstraktes zu. Dies wird bestätigt durch eine Studie von Lundberg (2008), der bei Patienten mit primärer ciliärer Dyskynesie, die sehr anfällig für chronische Sinusitiden sind, eine stark verringerte NO-Konzentration in der Kieferhöhle fand. Auch eine Funktion der Nasennebenhöhlen als NO-Speicher wird beschrieben (Andersson et al. 2002). Dem als aerogenen Botenstoff in die Lunge gelangenden Stickstoffmonoxid wird außerdem ein regulierender Effekt auf den Tonus der Pulmonalgefäße zugeschrieben. Settergren et al. (1998) stellen einen signifikant verringerten pulmonalen Gefäßwiderstand bei Umstellung von Mund- auf Nasenatmung fest.

Funktionelle Größenanpassung

Anpassungsvorgängen der Nasennebenhöhlen wurden sowohl für die individuelle Entwicklung als auch im Verlauf der Stammesgeschichte untersucht. Die Phylogenese betreffend sind Andrews and Martin (1987) der Auffassung, dass sich die Nasennebenhöhlen im Verlauf der Evolution beim Menschen besonders groß entfaltet haben. Diese Ansicht wird jedoch inzwischen von verschiedenen Autoren abgelehnt. Hierbei wird angeführt, dass sich die unterschiedlichen Kieferhöhlenvolumina zwischen den Hominiden-Arten auf Größenunterschiede bei den Schädelmaßen zurückführen lassen (Koppe et al. 1999; Rae and Koppe 2000; Rossie 2008). Rossie (2006) fordert exaktere Untersuchungen der frühen ontogenetischen Entwicklung, um Homologien zwischen den Ausbuchtungen der knorpeligen Nasenkapsel unterschiedlicher Primatenspezies zu finden, die den Ausgangspunkt der späteren Nebenhöhlenentwicklung darstellen. Betreffend der Untersuchung von evolutionären Anpassungsvorgängen finden sich in der Literatur

Hinweise, dass nicht alle Primaten eine Kieferhöhle aufweisen, wie beispielsweise einige Arten aus der Familie der geschwänzten Altweltaffen (*Cercopithecoidea*) (Koppe and Nagai 1998; Rae et al. 2002). Andererseits ist bei den der gleichen Familie angehörigen Makaken der Sinus maxillaris die einzige nachweisbare Nasennebenhöhle (Geißler 2007). Da außerdem bei den Makaken die Korrelation des Kieferhöhlenvolumens mit den Schädelmaßen nur relativ schwach ausgeprägt ist, schließen Rae et al. (2002), dass der in dieser Spezies gefundene Sinus maxillaris keinen gemeinsamen evolutionären Ursprung mit dem anderer Plazentatiere (wie dem Menschen) hat.

Das Anpassungsverhalten der Sinus paranasales an die klimatischen Verhältnisse wird kontrovers diskutiert. Ein Zusammenhang zwischen den klimatischen Bedingungen und dem Kieferhöhlenvolumen sowohl bei Primaten als auch beim Menschen konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden (Shea 1977; Balczun 2007), jedoch finden sich in der Literatur unterschiedliche Erklärungsansätze dafür. Für Marquez and Laitman (2008) deuten die Wechselbeziehungen mit anderen Strukturen des Respirationstraktes auf eine funktionelle Rolle der Nasennebenhöhlen innerhalb der oberen Atemwege hin. Andererseits vermuten einige Autoren, dass die Verkleinerung des Sinus maxillaris in Regionen mit niedrigerer Durchschnittstemperatur des kältesten Monats nur eine passive Folge der klimaadaptiv vergrößerten Nasenhöhle ist, und deshalb nicht auf eine Beteiligung der Nebenhöhlen an der Funktion des oberen Respirationstraktes rückgeschlossen werden kann (Rae et al. 2003).

Auch Theorien über die Anpassung der Nebenhöhlen an biomechanische Beanspruchung finden sich in der Literatur. Von Preuschoft et al. (2002) werden die pneumatisierten Schädelknochen und die Markräume des Oberkiefers mit Honigwaben verglichen, die sich neben einer Gewichtsersparnis positiv auf die mechanischen Eigenschaften auswirken sollen. Für Moormann (2004) deuten in seinen Untersuchungen an Brüllaffen (*Alouatta caraya*) die Septierung der Kieferhöhle sowie die enge Korrelation zwischen ihrem Volumen und diversen Schädelmaßen ebenfalls auf eine biomechanische Funktion hin. Rae and Koppe (2008) konnten bei der Primatengattung *Cebus* jedoch keinen Einfluss kaufunktioneller Belastungen durch unterschiedlichen Härtegrad der Nahrung auf die Größe des Sinus maxillaris nachweisen und vermuten deshalb, dass andere

Faktoren für die Unterschiede zwischen den Primatenspezies verantwortlich sein müssen. Koppe and Nagai (1997) kommen nach morphologischen Studien an *Macaca fuscata* zwar zu dem Schluss, dass es Zusammenhänge zwischen der Schädelarchitektur und dem Nebenhöhlenvolumen gibt, bezweifeln jedoch eine ausschließlich strukturelle Rolle dieser pneumatisierten Räume.

2.3 Einfluss von Dysgnathien und kieferorthopädischer Therapie auf die Schädelmorphologie

In diversen Studien wurde der Einfluss von kieferorthopädischen Behandlungen auf die Schädelmorphologie und den oberen Respirationstrakt untersucht. Versyck and Rakosi (1989) konnten zeigen, dass mit funktionskieferorthopädischen Geräten bestimmte Wachstumszonen wie der Processus condylaris der Mandibula beeinflusst werden können, wohingegen sich andere Regionen wie das Pogonion unabhängig von der angewandten Behandlungsmethode verhalten. Enoki et al. (2006) stellen bei ihren Untersuchungen zur forcierten Gaumennahterweiterung fest, dass sich eine leichte Verminderung des nasalen Atemwiderstandes bei den behandelten Angle-Klasse-II-Fällen ergibt. Der Effekt der Behandlung auf die Weichgewebe war gegenüber den knöchernen Umbauprozessen jedoch gering ausgeprägt. Peng et al. (2005) weisen nach Studien an weiblichen chinesischen Zwillingen allerdings darauf hin, dass sich mit einer frühen kieferorthopädischen Behandlung vor allem die anterior-posterioren Maße beeinflussen lassen, weniger die vertikalen. De Freitas et al. (2006) konnten bei ihren Studien zeigen, dass sowohl Klasse-I- als auch Klasse-II-verzahnte Patienten bei Vorliegen eines vertikalen Wachstumsmusters signifikant engere obere Atemwege aufweisen. Sie kommen jedoch zu dem Schluss, dass der Typ der Fehlokklusion (Klasse I oder II) dabei keinen Einfluss auf die Weite der oberen und unteren Atemwege hat.

Auch zum Einfluss von unbehandelten Fehlokklusionen auf die Schädel- und insbesondere Schädelbasismorphologie finden sich einige Studien. So stellen Proff et al. (2008) im Zusammenhang mit einer skelettalen Klasse-III-Relation eine verminderte Schädelbasisknickung und verkürzte Schädelbasislänge fest. Die Messungen von Alkofide (2007) an Patienten mit skelettaler Klasse-II- und Klasse-III-

Relation ergeben Differenzen im Durchmesser der Sella turcica. Bei Untersuchungen an Fernröntgenseitenaufnahmen von 503 Kindern mit Angle-Klasse-II-Okklusion finden Pancherz et al. (1997) keine Unterschiede der Schädelmorphologie zwischen den Untergruppen II/1 und II/2 mit Ausnahme der oberen Schneidezahnstellung. Sie bemerken allerdings ein Auftreten der skelettalen Klassen II und III in beiden Untergruppen der Angle-Klasse-II-Okklusion. Rothstein and Yoon-Tarlie (2000) nennen eine übermäßige Schädelbasislänge, die für sie durch vergrößerte Stirn- und Kieferhöhlen gekennzeichnet ist, als möglichen Faktor für die Entstehung einer Angle-Klasse-II/1 - Verzahnung. Die Schädelbasisknickung wird von Rothstein and Phan (2001) als Risikofaktor in diesem Zusammenhang jedoch abgelehnt.

Belege für einen Einfluss von Dysgnathien auf die Kieferhöhlenmorphologie sind in der Literatur bisher nicht zu finden. Lediglich Oktay (1992) hat sich explizit mit diesen Zusammenhängen befasst. In einer Studie an 189 Panoramaschichtaufnahmen von Patienten mit Zahnfehlstellungen, Fehlokklusion als auch mit idealer Verzahnung stellt er jedoch keinen Einfluss auf die Größe des Sinus maxillaris durch Fehlbisse oder geschlechtliche Faktoren fest. Lediglich bei den Angle-Klasse-II-Fällen ergeben seine Messungen eine größere Kieferhöhlenfläche für weibliche Probanden.

2.4 Metrische Analysen des Schädels

Kephalometrische Analysen bieten die Möglichkeit, Patienten mit einer Referenzgruppe zu vergleichen, wodurch Differenzen zwischen seinen dentofazialen Verhältnissen und denen der als Durchschnitt aufgefassten Gruppe aufgedeckt werden können (Steiner 1953; Ibe 1991; Segner und Hasund 1998; Proffit and Fields Jr. 2000). Es existiert heute eine Vielzahl von Möglichkeiten der Erfassung innerer Schädelmaße an Präparaten und inzwischen auch am lebenden Patienten. Frühere Methoden zur Darstellung und Volumenbestimmung von Hohlräumen waren sehr invasiv, konnten nur am Präparat durchgeführt werden und gingen teilweise auch mit einer Zerstörung desselben einher. Hierfür wurden die Nasennebenhöhlen beispielsweise mit Samenkörnern aufgefüllt oder an frontalen Schädelschnitten mit Kunststoff ausgegossen und die Einzelteile anschließend zusammengesetzt (Schumacher et al. 1972; Shea 1977).

Durch das Heranziehen computertomographischer Untersuchungen und den Möglichkeiten der 3-D-Rekonstruktion stehen heute zuverlässige non-invasive Methoden auch zur volumetrischen Schädelvermessung zur Verfügung. Die Verlässlichkeit dieser Verfahren hierbei konnte bereits in mehreren Studien belegt werden (Lascala et al. 2004; Howe 2009). Daher fordern einige Autoren eine dreidimensionale, und damit den natürlichen Wachstumsvorgängen näher kommende, Analyse als Standardmethode (Enlow 2002). Allerdings sind diese Verfahren derzeit noch weit von einem Einsatz in der klinischen Routine entfernt und erscheinen dafür teilweise auch zu aufwendig. Bei der dreidimensionalen Diagnostik ergibt sich eine ungleich höhere Strahlenbelastung mit über hundertfacher effektiver Strahlendosis der Spiral-Computertomographie gegenüber der Fernröntgenseitenaufnahme (FRS) (Pasler 2008; Loubele et al. 2009; Suomalainen et al. 2009). Hieraus ergibt sich aus wissenschaftlicher Sicht das Problem, dass nur eine unbefriedigende Anzahl dreidimensionaler Aufnahmen in Kombination mit kieferorthopädischer Problematik und insbesondere auch im besonders kieferorthopädisch relevanten jugendlichen Alter zur Verfügung stehen.

Die bereits 1931 von Hofrath (1931) und Broadbent (1931) unabhängig voneinander entwickelte Technik der Fernröntgenseitenaufnahme (FRS) ermöglicht schnelle und gut vergleichbare Analysen und bildet seit vielen Jahren die diagnostische Grundlage der kieferorthopädischen Kephalometrie (Nötzel und Schulz 2001). Fernröntgenseitenbilder werden in speziellen Fernröntgenapparaturen erstellt, bestehend aus dem eigentlichen Röntgenapparat, einer Kopfhalterung und dem Filmhalter (konventionelle Technik). Die Mediansagittalebene des Patienten wird dabei möglichst exakt parallel zum Film positioniert, damit die knöchernen Strukturen beider Seiten sich möglichst genau überlagern und keine Verzerrungseffekte auftreten. Dies wird mit der Kopfhalterung und daran befestigten Ohroliven gewährleistet, mit denen die Gehörgänge senkrecht zur Filmebene ausgerichtet werden (Segner und Hasund 1998). Die Fernröntgenseitenanalyse ist derzeit noch exakter und besser reproduzierbar als die dreidimensionalen Auswertungen (Kragskov et al. 1997). Davon abgesehen lassen sich nach Schulz und Buhrmann (1987) auf den einfachen Routinebildern Orthopantomogramm und Fernröntgenseitenaufnahme (FRS) in vielen Fällen bereits häufig auftretende pathologische Veränderungen in der Kieferhöhlenregion erkennen, nach den Studien von Arponen et al. (2008) auch im Bereich von Schädelbasis und den Kopfgelenken.

Als fixe Bezugsebene zum Vergleich der FRS-Analysen ist nach Moss and Greenberg (1955, 1967) sowie weiteren Autoren (De Coster 1952; Kraus et al. 1959; Sarnat 1963) die Ebene der vorderen Schädelgrube gut geeignet, da sie auch im seitlichen Röntgenbild als unveränderliche Kontur betrachtet werden kann.

Die Zuverlässigkeit bei der digitalen Auswertung der FRS-Aufnahmen im Vergleich zur manuellen Auswertung der konventionellen Filme wird überwiegend als ausreichend angesehen (Chen et al. 2004; Sayinsu et al. 2007). Auch computergestützte Methoden zum Auffinden der Messpunkte haben sich hierbei bewährt (Naoumova and Lindman 2009). Turner and Weerakone (2001) warnen jedoch, dass sich die Abweichungen der digitalen Analysen gegenüber den klassischen zwar in einem klinisch akzeptablen Bereich befänden, jedoch den Ansprüchen wissenschaftlicher Studien möglicherweise nicht genügen.

3. Material und Methoden

3.1 Material

Für die Untersuchung standen 96 digitale Röntgenaufnahmen von Patienten mit Angle-Klasse I und Angle-Klasse II zur Verfügung. Es handelte sich dabei um 79 Fernröntgenseitenbilder von Angle-Klasse II-Patienten, die uns von Herrn Prof. Dr. Dr. Peter Proff (Direktor der Poliklinik für Kieferorthopädie, Universitätsklinikum Regensburg) zur Verfügung gestellt wurden, sowie 17 Aufnahmen aus dem Archiv der Poliklinik für Kieferorthopädie, präventive Zahnmedizin und Kinderzahnheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, die sich aus zwölf Angle-Klasse I-Patienten und fünf Angle-Klasse II-Patienten zusammensetzten. Die untersuchten Fälle bestanden aus 56 weiblichen und 40 männlichen Patienten im Alter von neun bis 19 Jahren (s. Tab. 1). Von drei Patienten konnte das Alter zum Zeitpunkt der Aufnahme nicht ermittelt werden.

Tab. 1: Herkunft, Alters- und Geschlechterverteilung der Patienten

Alter / Geschlecht	m	w	mittleres Alter
Gruppe 1	34	45	**13,03**
9 – 11 Jahre	5	16	
12 – 14 Jahre	14	21	
15 – 19 Jahre	13	7	
ohne Altersangabe	2	1	
Gruppe 2	6	11	**14,29**
9 – 11 Jahre	1	1	
12 – 14 Jahre	2	6	
15 – 19 Jahre	3	4	
Gesamt	**40**	**56**	**13,26**

Gruppe 1: Fernröntgenseitenbilder erhalten von Prof. Dr. Dr. Proff;

Gruppe 2: Fernröntgenseitenbilder aus der Poliklinik für Kieferorthopädie, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald; m: männlich; w: weiblich; mittleres Alter: Mittelwert des Alters in Jahren.

3.2 Anfertigung der Röntgenaufnahmen

Die Aufnahmen von Prof. Dr. Dr. Proff wurden auf einem Gendex OrthOralix® FD 5 Ceph (Gendex Dental Systems, Hamburg) bei 67 kV Anodenspannung, 6 mA Anodenstromstärke und 0,6 s Belichtungszeit angefertigt, mit einem Fokus-Film-Abstand von 1635-1700 mm. Die Aufnahmen aus der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Greifswald stammen von einem Orthophos D3200 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim) bei 77 kV Anodenspannung, 14 mA Anodenstromstärke und 1,0 s Belichtungszeit.

Der Abstand zwischen Röntgenstrahler und Film beträgt bei den meisten Geräten 1,70 m, bei einigen größeren Geräten bis zu 4,00 m. Dieser Fokus-Film-Abstand hat einen entscheidenden Einfluss auf die Divergenz der Strahlen, vor allem im Randbereich des Films. Damit beeinflusst er auch den Vergrößerungsfaktor insgesamt sowie die Differenz des Vergrößerungsfaktors zwischen filmnaher und filmferner Seite des Patienten (s. Abb. 2).

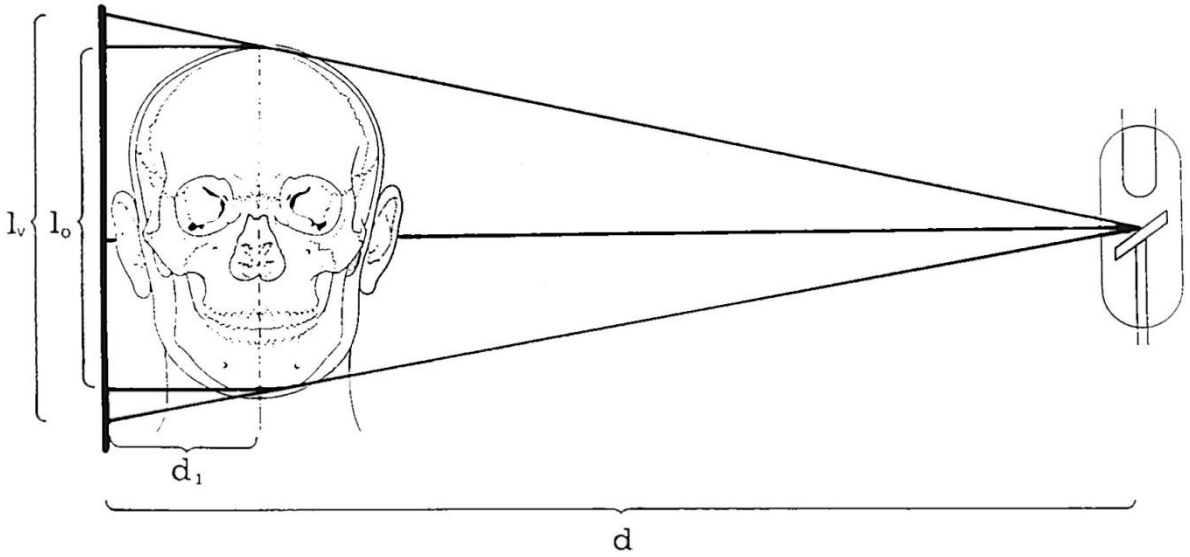


Abb. 2: Schema der Anordnung einer Fernröntgenapparatur (aus Segner und Hasund 1998)
d: Abstand Röntgenröhre – Film (Fokus-Film-Abstand); d_1: Abstand abzubildender Punkt – Film; l_o: reelle Länge; l_v: auf dem Film dargestellte Länge

Um Fehler unterschiedlicher Vergrößerungsfaktoren zwischen den Bildergruppen von verschiedenen Geräten zu eliminieren, wurden die Bilder von Prof. Dr. Dr. Proff anhand einer Referenzaufnahme mit einem median angebrachten Prüfkörper

skaliert. Für die Bilder der Poliklinik für Kieferorthopädie in Greifswald erfolgte eine Individualisierung der Messskala für jedes einzelne Bild anhand der im Röntgengerät integrierten und auf den Aufnahmen abgebildeten Skala.

Die konventionellen Röntgenbilder wurden mit einem Durchlicht-Scanner digitalisiert. Die Nachbearbeitung der Aufnahmen zur Kontrastoptimierung, die grafische Auswertung sowie die Vermessung der Flächen, Strecken und Winkel erfolgte mit Hilfe der Bildbearbeitungssoftware Adobe Photoshop® CS3 Extended (Adobe® Systems Incorporated, San Jose, USA).

3.3 Bezugspunkte und -ebenen

Die Festlegung der Maße erfolgte unter anatomischen und kieferorthopädischen Gesichtspunkten. Dabei richteten wir uns nach den Empfehlungen von Ross and Henneberg (1995) für anatomische Maße und Hasund (1974) sowie Nötzel und Schultz (2001) für kieferorthopädische Stecken und Winkel. Tab. 2 zeigt die dabei verwendeten Bezugspunkte nach kieferorthopädischer Definition, Tab. 3 die nach anatomischer Definition.

Tab. 2: Referenzpunkte nach kieferorthopädischer Definition

Bezeichnung	Definition
A-Punkt (A)	tiefster Punkt der anterioren Kontur des Oberkiefer-Alveolarfortsatzes
Articulare (Ar)	konstruierter Schnittpunkt des Unterrandes der Schädelbasis mit der dorsalen Kontur des Collum mandibulae
B-Punkt (B)	tiefster Punkt der anterioren Kontur des Unterkiefer-Alveolarfortsatzes
Basion (Ba)	am weitesten posterior und kaudal liegender Punkt des Clivus
Gonion (tGo)	konstruierter Tangentenschnittpunkt der hinteren Ramuslinie mit der Linie des Mandibularplanums
Menton (Me)	am weitesten kaudal liegender Konturpunkt der Unterkiefer-Symphyse
Nasion (N)	am weitesten anterior liegender Punkt der Sutura nasofrontalis
Sella (S)	Mitte der Fossa hypophysialis
Spina nasalis anterior (Spa)	am weitesten anterior liegender Punkt der Spina nasalis
Spina nasalis posterior / Pterygomaxillare (Spp / Pm)	konstruierter röntgenologischer Punkt am Schnittpunkt der anterioren Wand der Fossa pterygopalatina mit dem Nasenboden

Tab. 3: Referenzpunkte nach anatomischer Definition

Bezeichnung	Definition
Punkt D	am weitesten inferior liegender Punkt der dorsalen Kurvatur des Dorsum sellae
Prosthion (Pr)	am weitesten nach anterior vorspringender Punkt des Oberkiefer-Alveolarfortsatzes
Punkt PSP	Beginn des Abhangs oberhalb des Sulcus praechiasmaticus zur Festlegung des Planum sphenoidale (PS)
Punkt PSA	kranio-ventrale Spitze des Corpus ossis sphenoidalis am Übergang zur Lamina cribrosa zur Festlegung des Planum sphenoidale (PS)

In Abb. 3 sind die verwendeten Bezugspunkte in der schematischen Darstellung der Strukturen einer Fernröntgenseitenaufnahme zur Verdeutlichung illustriert.

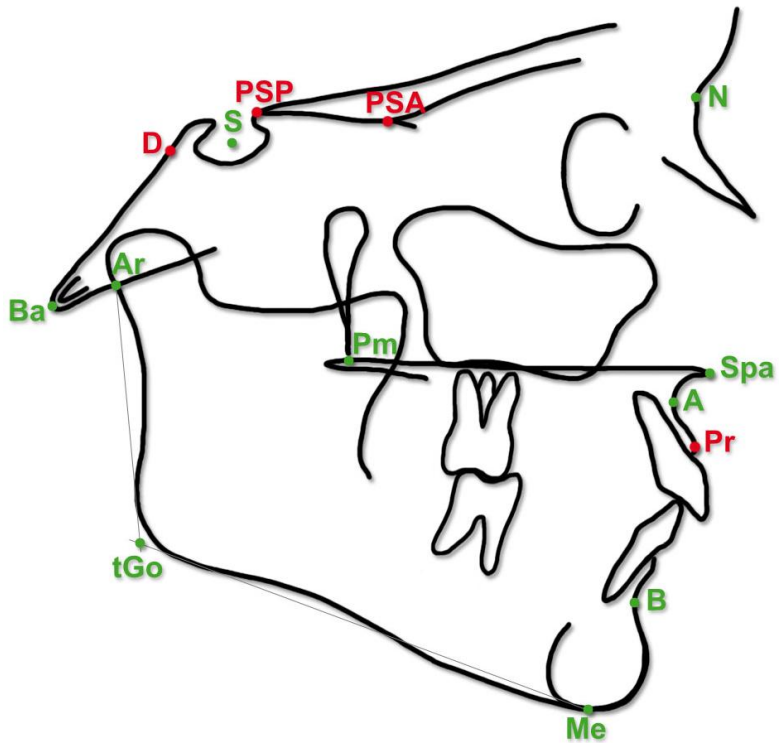


Abb. 3: Schematische Ansicht der Strukturen eines Fernröntgenseitenbildes mit den verwendeten kieferorthopädischen (grün) und anatomischen (rot) Bezugspunkten; verändert nach Segner und Hasund (1998). Die Erläuterung der Abkürzungen ist den Tabellen 2 und 3 zu entnehmen.

Anhand der Bezugspunkte wurden 14 Strecken und Referenzebenen konstruiert. Diese sind in Tab. 4 erläutert.

Tab. 4: Verwendete Strecken und Referenzebenen

Bezeichnung	Definition
Nasion-Sella-Linie (NSL)	vordere Schädelbasis, über die Punkte Nasion und Sella definiert
Spinaebene / Nasallinie (NL)	Nasenboden, Verbindungslinie zwischen Spina nasalis anterior und posterior
Mandibularlinie (ML)	Tangente des Mandibularplanums (tGo – Me)
Ramuslinie (RL)	Tangente am Hinterrand des Ramus mandibulae (Ar – tGo)
Schädelbasisebene (SB)	Verbindungslinie zwischen Basion und Nasion (Ba – N)
Gesichtsschädelebene (GS)	Verbindungslinie zwischen Basion und Prosthion (Ba – Pr)
Clivusebene (CE)	Verbindungslinie zwischen Basion und Punkt D (Ba – D)
Planum sphenoidale (PS)	superiore Fläche des Corpus ossis sphenoidalis (PSP – PSA)
Nasion – A (N – A)	Strecke zwischen Nasion und A-Punkt
Nasion – B (N – B)	Strecke zwischen Nasion und B-Punkt
anteriore obere Gesichtshöhe (aGH)	Strecke zwischen Nasion und Prosthion (N – Pr)
mittlere Gesichtshöhe (mGH)	Strecke von Spina nasalis posterior bis zum Planum sphenoidale, senkrecht zur Gesichtsschädelebene (Ba – Pr)
posteriore Gesichtshöhe (pGH)	Senkrechte Strecke von Sella auf Gesichtsschädelebene (Ba – Pr)
Gaumenhöhe (GH)	Höhe vom inferiorsten Punkt des Alveolarknochens mesial am oberen 1. permanenten Molaren bis zum Dach des Gaumengewölbes, senkrecht zur Gesichtsschädelebene (Ba – Pr)

Kieferorthopädisch kephalometrische Definitionen nach Nötzel und Schultz (2001), Gesichtsschädelebene, Schädelbasisebene, Clivusebene und Planum sphenoidale nach Ross and Henneberg (1995), mittlere und posteriore Gesichtshöhe sowie Gaumenhöhe nach eigener Definition.

Abb. 4 verdeutlicht die erfassten Ebenen und Strecken grafisch, eingeteilt in vertikale (grün), sagittale (rot) und weitere Parameter, die keiner der beiden Gruppen zuzuordnen waren (blau).

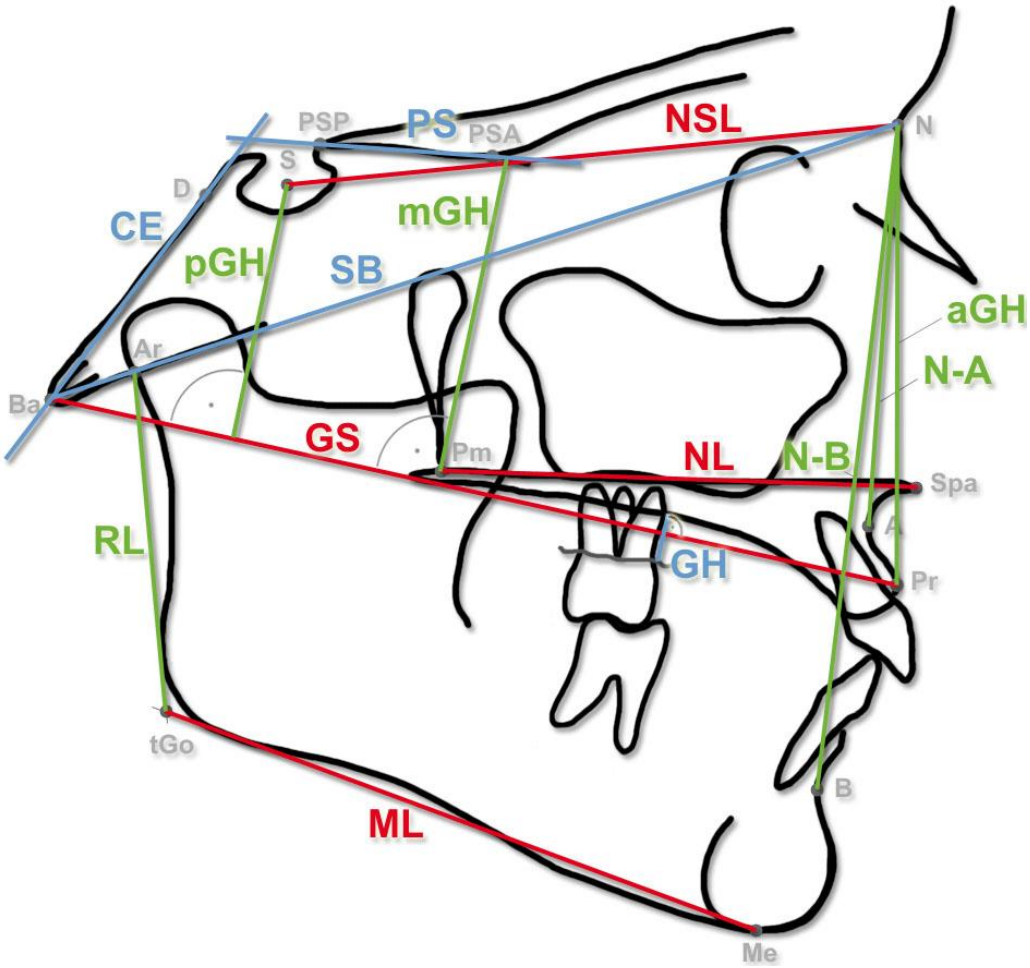


Abb. 4: Schematische Ansicht der Strukturen einer Fernröntgenseitenaufnahme mit Darstellung der verwendeten Ebenen und Strecken, eingeteilt in vertikale (grün), sagittale (rot) und sonstige Parameter (blau). Die Erläuterung der Abkürzungen ist Tab. 4 zu entnehmen.

3.4 Vermessung der Röntgenaufnahmen

Zur Einteilung und Untersuchung der Daten wurden insgesamt 30 Variablen von jedem Untersuchungsfall verarbeitet. Neben dem Alter und Geschlecht waren dies neun anatomische und 13 kieferorthopädische Messstrecken und Winkel, drei Flächen sowie drei dimensionslose Verhältniszahlen. Die folgenden Tabellen geben eine Gesamtübersicht über die erfassten Strecken, Winkel und Flächen sowie die nicht-metrischen Parameter.

3.4.1 Streckenmaße

Es wurden 14 Strecken gemessen, die in der nachfolgenden Tab. **5** erläutert sind.

Tab. 5: Erfasste Streckenmaße

Variablenname	Definition
Nasenboden (NL)	Strecke zwischen Spina nasalis anterior und posterior
Gaumenhöhe (GH)	Höhe vom inferiorsten Punkt des Alveolarknochens mesial am oberen 1. permanenten Molaren bis zum Dach des Gaumengewölbes, senkrecht zur Gesichtsschädelebene (Ba – Pr)
anteriore obere Gesichtshöhe (aGH)	Strecke zwischen Nasion und Prosthion
mittlere Gesichtshöhe (mGH)	Strecke von Spina nasalis posterior bis zum Planum sphenoidale, senkrecht zur Gesichtsschädelebene (Ba – Pr)
posteriore Gesichtshöhe (pGH)	senkrechte Strecke von Sella auf Gesichtsschädelebene (Ba – Pr)
Gesichtsschädellänge (GS)	Strecke zwischen Basion und Prosthion
Schädelbasislänge (SB)	Strecke zwischen Basion und Nasion
Sella – Nasion (NSL)	Strecke zwischen Sella und Nasion (S – N)
Nasion – A (N – A)	Strecke zwischen Nasion und A-Punkt
Nasion – B (N – B)	Strecke zwischen Nasion und B-Punkt
Oberkieferlänge (gemessen) (Spp – vPOK)	Strecke von Spina nasalis post. bis zum Lot des A-Punktes auf die Spinaebene (Spp – vPOK)
Oberkieferlänge (berechnet)	klinischer Richtwert der Oberkieferlänge in Bezug zur Schädelbasis (nach Nötzel und Schultz 2001) $= [S – N] * \frac{70}{100}$
Ramus mandibulae (Ar – tGo)	Strecke zwischen den Punkten Articulare und Goniontangentenpunkt (Ar – tGo)
Corpus mandibulae (tGo – Me)	Strecke zwischen Goniontangentenpunkt und Menton (tGo – Me)

Die grafische Darstellung der Strecken ist Abb. 4 zu entnehmen.

3.4.2 Winkel

Insgesamt wurden neun Winkel zwischen den angegebenen Bezugslinien erfasst. Als sagittale Parameter wurden dabei die kieferorthopädischen Winkel SNA, SNB und ANB gewählt, zur vertikalen Analyse wurden NL-NSL, ML-NSL, ML-NL, Goniontangentenwinkel sowie der „Angle of facial kyphosis“ (nach Ross and Ravosa 1993; Ross and Henneberg 1995) bestimmt. Letzterer entspricht in etwa dem bereits von Eller (1932) beschriebenen Gaumen-Mittelgesichts-Winkel und wird von Hofer (1960) auch als Deklinationswinkel des Oberkiefers bezeichnet. Ferner wurde der Schädelbasisknickungswinkel zwischen Clivusebene und Planum sphenoidale ermittelt. Für diesen orientierten wir uns an dem von Kummer (1952) beschriebenen Sphenoidal-Clivus-Winkel.

Tab. 6 bietet eine Übersicht über die erfassten Winkel, in Abb. 5 sind diese grafisch verdeutlicht mit analoger farbiger Einteilung wie bei den Ebenen und Strecken.

Tab. 6: Erfasste Winkel

Bezeichnung	Definition
SNA	Winkel zwischen den Strecken Sella - Nasion und Nasion - A
SNB	Winkel zwischen den Strecken Sella - Nasion und Nasion - B
ANB	Differenz von SNA und SNB [= SNA - SNB]
NL – NSL	Winkel zwischen Nasallinie und Nasion-Sella-Linie
ML – NSL	Winkel zwischen Mandibularebene und Nasion-Sella-Linie
ML – NL	Winkel zwischen Mandibularebene und Nasallinie, „Interbasiswinkel“
Goniontangentenwinkel (GTW)	Winkel zwischen Ramuslinie und Mandibularebene
Angle of facial kyphosis (AFK)	Winkel zwischen Spina- und Clivusebene
Schädelbasisknickungs-winkel (SBK)	Winkel zwischen Clivusebene und Planum sphenoidale

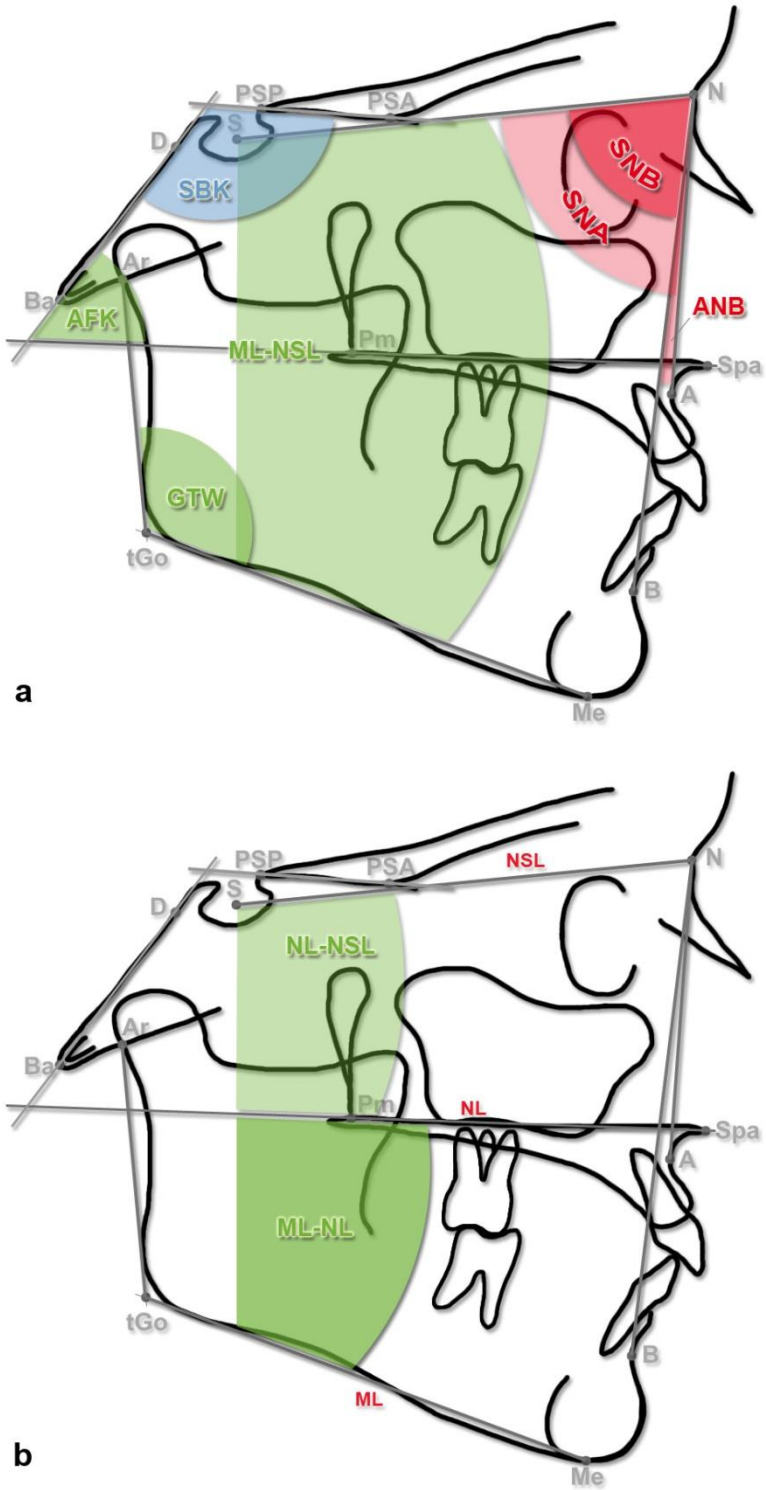


Abb. 5: Schematische Ansicht der Strukturen einer Fernröntgenseitenaufnahme mit Darstellung der erfassten Winkel, eingeteilt in vertikale (grün), sagittale (rot) und weitere Parameter (blau). Die Erläuterung der Abkürzungen ist Tab. 6 zu entnehmen. Zur Verbesserung der Übersicht sind die Winkel NL-NSL und ML-NL in einer eigenen Grafik (b) dargestellt. Die Schnittpunkte der Ebenen NSL, NL und ML liegen außerhalb des Darstellungsbereiches.

3.4.3 Flächenmaße

Im letzten Schritt der Messung wurden an den Fernröntgenbildern drei Flächen bestimmt: Sinus maxillaris, Cavitas nasi und die von uns definierte Gesichtsschädelfläche, die sich aus den Eckpunkten Basion, Sella, Nasion und Prosthion ergibt (Abb. 6). Die Gesichtsschädelfläche ermöglicht eine Einordnung der Flächengrößen (insbesondere des Sinus maxillaris) im Verhältnis zu den Gesamtmaßen des Gesichtsschädels.

Tab. 7: Erfasste Flächen

Bezeichnung	Definition
Sinus maxillaris	Fläche des auf dem Fernröntgenbild weiter anterior liegenden Sinus maxillaris
Cavitas nasi	Umrissfläche der Nasenhöhle
Gesichtsschädelfläche	Fläche des aus der Verbindung der Punkte Basion, Sella, Nasion und Prosthion entstehenden Polygons

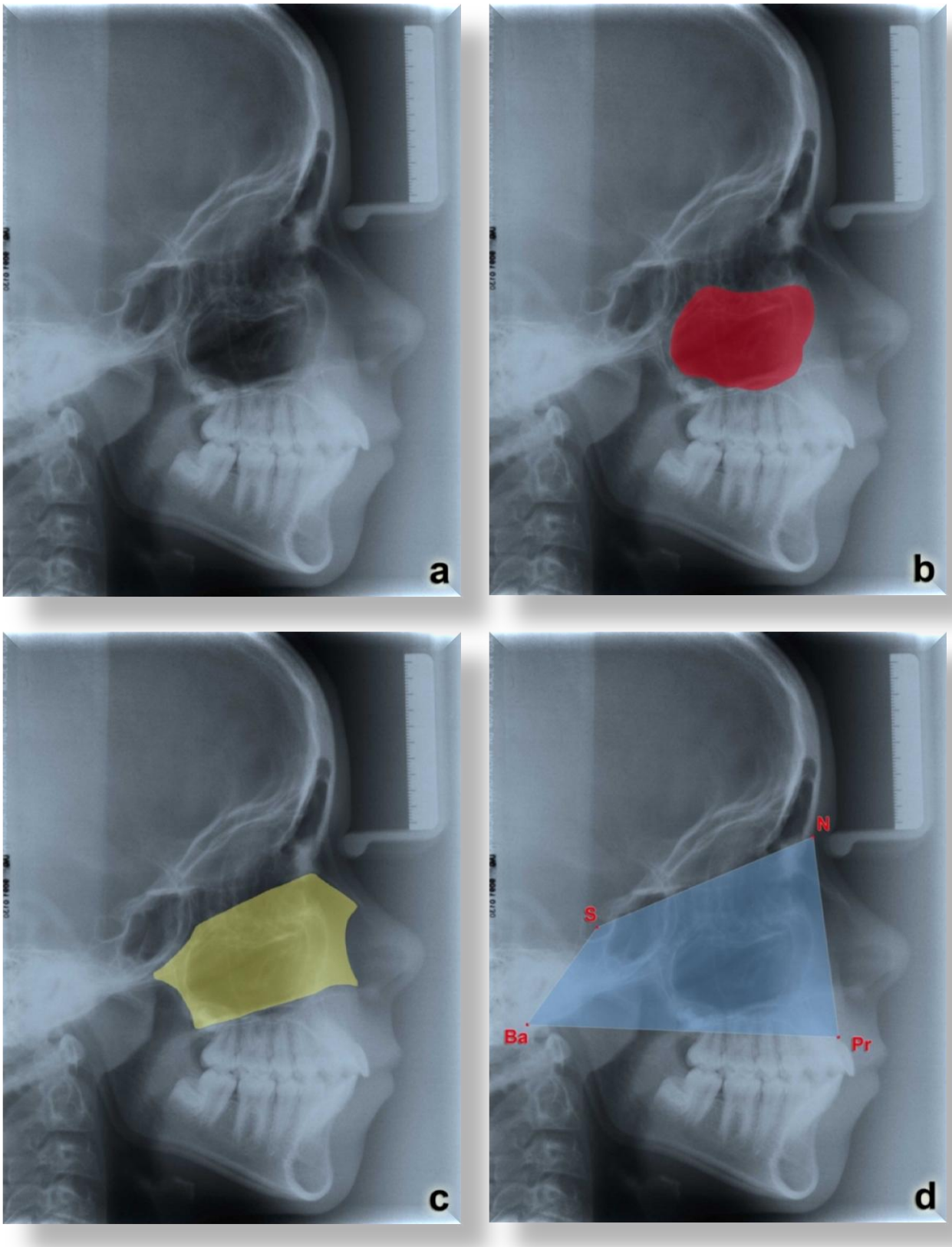


Abb. 6: Fernröntgenseitenaufnahme eines elf Jahre alten männlichen Patienten zur Darstellung der verwendeten Flächenmaße.

a) Original, **b)** Sinus maxillaris, **c)** Cavitas nasi, **d)** Gesichtsschädelfläche

Im rechten oberen Teil der Bilder ist die Skala eingeblendet.

3.4.4 Nicht-metrische Variablen

Es wurden außerdem von jedem Patienten Alter, Geschlecht und zwei dimensionslose Indizes (Ratios) erfasst.

Tab. 8: Verwendete nicht-metrische Variablen

Variablenname	Definition
Alter	Alter zum Zeitpunkt der Aufnahme in Jahren
Ratio OK-Länge	Verhältnis aus dem gemessenen Wert der Oberkieferlänge (Spp – vPOK) zum berechneten klinischen Richtwert [Oberkieferlänge (gemessen) / Oberkieferlänge (berechnet)]
Sinus Ratio	Verhältnis aus den Flächen Sinus maxillaris und Gesichtsschädelfläche [Sinus maxillaris / Gesichtsschädelfläche]

3.5 Einteilung des Materials

Um mögliche Einflussfaktoren aus dem Bereich der dentoalveolären und der Gesichtsschädelmorphologie auf die Entwicklung der Kieferhöhle zu untersuchen, erfolgte eine Einteilung des Materials nach verschiedenen Gesichtspunkten. Als rein dentaler Parameter wurde an den Modellen die Klassifizierung nach Angle durchgeführt. Im Hinblick auf die Untersuchungen der Kieferhöhlenmorphologie schien uns außerdem eine Bestimmung der basal sagittalen Relation anhand der durch den ANB-Winkel vorgegebenen skelettalen Klassen sinnvoll. Um insbesondere die sagittale Dimension und Lage des Oberkiefers mit einzubeziehen, erfolgte überdies eine Einteilung nach dem SNA-Winkel in drei Gesichtstyp-Gruppen.

3.5.1 Angle-Klasse I und Angle-Klasse II

Zunächst wurden, in Anlehnung an Oktay (1992), die Varianzen zwischen den Angle-Klasse I- und den Klasse II-Fällen untersucht. Die Aufnahmen von Prof. Dr. Dr. Proff stammten aus einem von ihm eingeteilten Angle-Klasse II-Kontingent. Für die Fälle aus der Poliklinik für Kieferorthopädie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald wurden die Modelle auf ihre Verzahnung untersucht. Bei der Regelokklusion zeigt die Spitze des Oberkiefer-Eckzahnes zwischen den Eckzahn und den ersten Prämolaren im Unterkiefer (Nötzel und Schulz 2001), die mesiobukkale Höckerspitze des oberen ersten Molaren zeigt in die zentrale Querfissur des unteren ersten Molaren (Björk 1950; Steiner 1953). Als Angle-Klasse I wurden alle Modelle angesehen, die beidseits sowohl am Eckzahn als auch am ersten Molaren eine Abweichung von nicht mehr als 3 mm bzw. weniger als einer halben Prämolarenbreite von der Regelokklusion aufwiesen. Dabei ergab sich die folgende Verteilung der Fälle auf die Angle-Klassen (Tab. 9):

Tab. 9: Alters- und Geschlechterverteilung der Patienten in den Angle-Klassen

Alter / Geschlecht	m	w	mittleres Alter
Angle-Klasse I	4	7	**14,09**
9 – 11 Jahre	1	1	
12 – 14 Jahre	2	2	
15 – 19 Jahre	1	4	
Angle-Klasse II	32	45	**13,13**
9 – 11 Jahre	4	16	
12 – 14 Jahre	14	22	
15 – 19 Jahre	14	7	
Gesamt	**36**	**52**	**13,25**

m: männlich; w: weiblich; mittleres Alter: Mittelwert des Alters in Jahren

Zur Analyse des Geschlechtsdimorphismus sind in der folgenden Tabelle 10 die Mittelwerte des Alters mit Verteilung auf die Geschlechter und Angle-Klassen angegeben.

Tab. 10: Mittelwerte des Alters der Patienten in den Angle-Klassen mit Verteilung auf die Geschlechter

	Geschlecht					
	männlich			weiblich		
mittleres Alter	n	Alter	SD	n	Alter	SD
Angle-Klasse I	4	13,50	2,08	7	14,43	2,30
Angle-Klasse II	32	14,13	2,18	45	12,42	2,09
Gesamt	**36**	**14,06**	**2,15**	**52**	**12,69**	**2,21**

n: Anzahl; Alter: Mittelwert des Alters in Jahren; SD: Standardabweichung

3.5.2 Skelettale Klassen

Zur weiteren Analyse wurden die Fälle in ihre skelettalen Klassen unterteilt, die durch die Fernröntgenseitenbild-Analyse anhand des ANB-Winkels ermittelt werden konnten. Zur Einteilung wurden die Grenzwerte für das orthognathe Gesicht nach Segner und Hasund (1998) genutzt. Der Mittelwert für den ANB-Winkel beträgt hierfür 2°. Dabei befindet sich für positive Winkelwerte der A-Punkt weiter anterior als der B-Punkt (vgl. Abb. 5).

1. Basal sagittal neutrale Lage (Kl. I) – *entspricht einem ANB-Winkel von 0° bis 4°*
2. Basal sagittal distale Lage (Kl. II) – *entspricht einem ANB-Winkel > 4°*
3. Basal sagittal mesiale Lage (Kl. III) – *entspricht einem ANB-Winkel < 0°*

Die Verteilung der Fälle auf die skelettalen Klassen mit Aufschlüsselung nach Alter und Geschlecht sind der folgenden Tabelle zu entnehmen (Tab. 11).

Tab. 11: Alters- und Geschlechterverteilung der Patienten in den skelettalen Klassen

Alter / Geschlecht	m	w	mittleres Alter
Skelettale Klasse I (neutral)	14	18	**13,41**
9 – 11 Jahre	2	3	
12 – 14 Jahre	7	11	
15 – 19 Jahre	5	4	
Skelettale Klasse II (distal)	20	32	**13,04**
9 – 11 Jahre	3	13	
12 – 14 Jahre	8	13	
15 – 19 Jahre	9	6	
Skelettale Klasse III (mesial)	2	0	**15,50**
9 – 11 Jahre			
12 – 14 Jahre	1		
15 – 19 Jahre	1		
Gesamt	**36**	**50**	**13,23**

m: männlich; w: weiblich; mittleres Alter: Mittelwert des Alters in Jahren

3.5.3 Gesichtstypen

Für die weitere Analyse wurden die Patienten ihrem SNA-Winkel entsprechend in drei Gruppen von Gesichtstypen nach Segner und Hasund (1998) eingeteilt:

1. Retrognather Gesichtstyp – *entspricht einem SNA-Winkel < 79°*
2. Orthognather Gesichtstyp – *entspricht einem SNA-Winkel von 79° bis 85°*
3. Prognather Gesichtstyp – *entspricht einem SNA-Winkel von > 85°*

Tab. 12 zeigt die Verteilung der Fälle auf die Gesichtstypen.

Tab. 12: Alters- und Geschlechterverteilung der Patienten auf die Gesichtstypen

Alter / Geschlecht	m	w	mittleres Alter
Gesichtstyp 1	14	18	**13,25**
9 – 11 Jahre	3	6	
12 – 14 Jahre	6	8	
15 – 19 Jahre	5	4	
Gesichtstyp 2	18	26	**13,09**
9 – 11 Jahre	2	11	
12 – 14 Jahre	6	11	
15 – 19 Jahre	10	4	
Gesichtstyp 3	6	11	**13,71**
9 – 11 Jahre	1	0	
12 – 14 Jahre	4	8	
15 – 19 Jahre	1	3	
Gesamt	**38**	**55**	**13,26**

m: männlich; w: weiblich; mittleres Alter: Mittelwert des Alters in Jahren;

Gesichtstyp 1: retrognath; Gesichtstyp 2: orthognath; Gesichtstyp 3: prognath

3.6 Statistische Auswertung

Die Daten für die statistischen Untersuchungen wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel® 2007 gesammelt und mit der Statistiksoftware SPSS® 17.0 (SPSS® Incorporated) ausgewertet. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wurde $p < 0,05$ zu Grunde gelegt.

Von allen erfassten Variablen wurden zunächst Histogramme und Normalverteilungskurven erstellt. Die Diagramme wurden dabei als Fehlerbalkendiagramme mit arithmetischem Mittel und einem 95% - Konfidenzintervall dargestellt.

Gruppenvergleiche

Es wurden Mittelwertvergleiche zwischen den Angle-Klassen I und II, den skelettalen Klassen I – III sowie den Gesichtstypen I – III durchgeführt. Der Vergleich erfolgte für zwei Gruppen mit einem T-Test für unabhängige Stichproben, für drei oder mehr Gruppen mit einer univariaten ANOVA. Die Post-Hoc-Mehrfachvergleiche für die ANOVA wurden nach Tukey berechnet (Heinzl 2006).

Korrelation und Regression

Weiterhin wurden die Pearson'schen Korrelationskoeffizienten zwischen allen Messgrößen ermittelt. Dies ermöglichte es uns, für 19 ausgewählte Variablen eine Untersuchung auf Korrelationen innerhalb der einzelnen Gesichtstyp-Gruppen durchzuführen. Für diejenigen Variablenpaare, bei denen in mindestens zwei der drei Gesichtstyp-Gruppen eine signifikante Korrelation innerhalb der Gruppe gefunden werden konnte, erfolgte anschließend eine einfaktorielle lineare Regressionsanalyse nach dem Modell I (Sokal and Rohlf 1995).

Clusteranalysen

Clusteranalysen bilden aus einem definierten Kontingent natürliche Gruppen mit gleichen Merkmalen (Röhr et al. 1983).

Um neben einzelnen, metrischen Parametern mögliche Gruppen von Einflussfaktoren auf die Kieferhöhlenmorphologie zu isolieren, wurden mehrere Clustereinteilungen mit der Ward-Methode vorgenommen. Die Variablen wurden hierfür auf Z-Werte standardisiert mit einem Mittelwert von 0 und einer Standardabweichung von 1. Die auf diese Weise erhaltenen Cluster wurden mittels univariater ANOVA und Post-Hoc-Mehrfachvergleich nach Tukey analysiert. Da der Vergleich der Absolutwerte der Kieferhöhlenfläche für sich genommen noch keine Aussage über eine Proportionsverschiebung zwischen den verschiedenen Gruppen zulässt, erfolgten die Analysen außerdem bezogen auf die Sinus Ratio.

4. Ergebnisse

4.1 Angle-Klasse I und Angle-Klasse II

In einem ersten Schritt haben wir die Angle-Klasse-I-Fälle mit den Angle-Klasse-II-Fällen verglichen. Nach Ausschluss der Ausreißer-Werte für die Fläche des Sinus maxillaris blieben elf auszuwertende Angle-Klasse I-Patienten übrig. Diese wurden mittels T-Test mit 77 Angle-Klasse II-Patienten verglichen. Tab. 13 zeigt die Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanz des T-Tests für die Fläche des Sinus maxillaris, die Gesichtsschädelfläche und die Sinus Ratio. Die Abbildungen 7, 8 und 9 verdeutlichen den Vergleich zwischen den Angle-Klassen mit Boxplots.

Die Fläche der Kieferhöhle zeigte bei den Klasse II-Patienten im Mittel etwas größere Werte, ein statistisch relevanter Unterschied konnte jedoch nicht festgestellt werden. Die Gesichtsschädelfläche war bei den Angle-Klasse II-Fällen signifikant größer, bei einer im Mittel kleineren Sinus Ratio (ebenfalls signifikant).

Tab. 13: Mittelwerte und Signifikanz des T-Tests von Kieferhöhlenfläche, Gesichtsschädelfläche und Sinus Ratio in den Angle-Klassen

	Angle-Klasse						p
	1 (neutral)			2 (distal)			
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
Sinus maxillaris [cm²]	11	11,77	1,88	77	12,20	1,21	,314 ns
Gesichtsschädelfläche	11	40,87	3,20	77	46,81	4,30	,000 **
Sinus Ratio	11	0,287	0,033	77	0,262	0,030	,012 *

n: Anzahl; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standardabweichung; p: p-Wert und Signifikanz des Mittelwertunterschiedes beim T-Test; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; ns: nicht signifikant

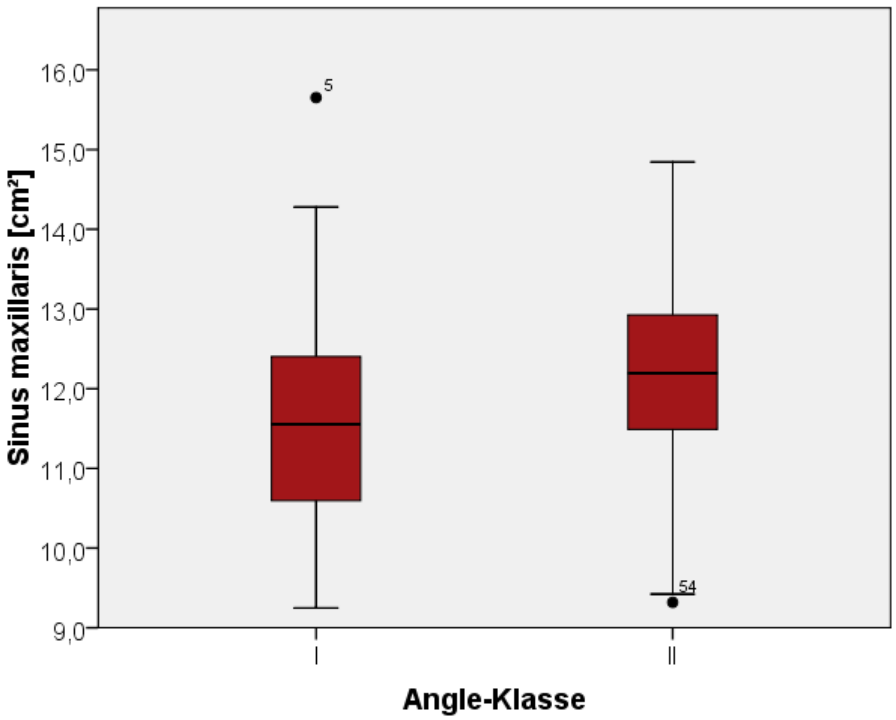


Abb. 7: Boxplot zur Veranschaulichung der Werte für die Kieferhöhlenfläche in den Angle-Klassen I und II. Die Differenz der Mittelwerte war beim T-Test nicht signifikant.

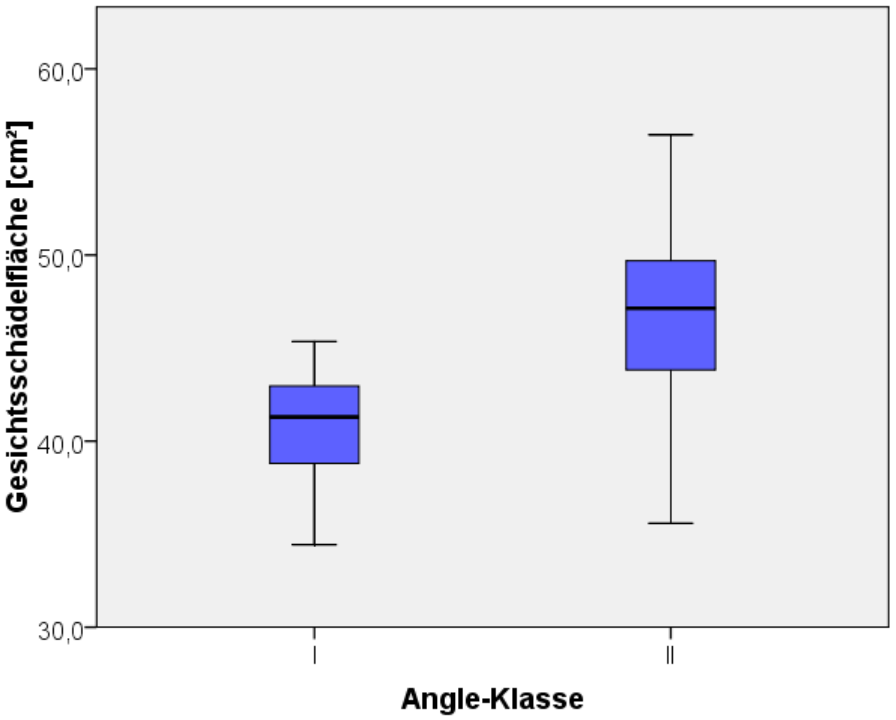


Abb. 8: Boxplot zur Veranschaulichung der Werte für die Gesichtsschädelfläche in den Angle-Klassen I und II. Die Differenz der Mittelwerte war beim T-Test signifikant.

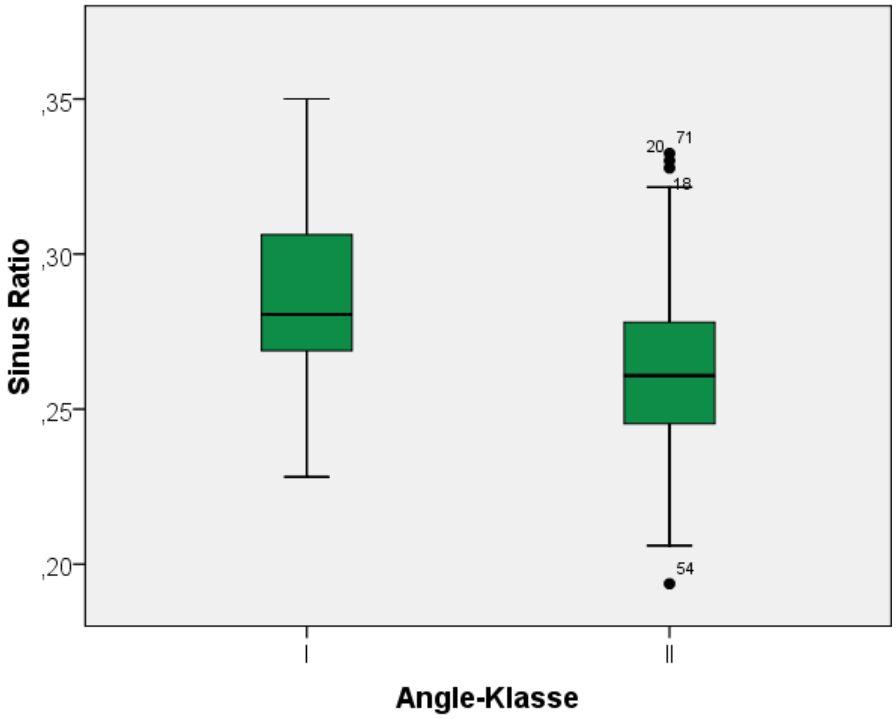


Abb. 9: Boxplots zur Veranschaulichung der Werte für die Sinus Ratio in den Angle-Klassen I und II. Die Differenz der Mittelwerte war beim T-Test signifikant.

Beim Vergleich der Angle-Klassen wurde außerdem der Geschlechtsdimorphismus untersucht. Bei etwas unterschiedlicher Altersstruktur zwischen den weiblichen und männlichen Patienten (in der Angle-Klasse-II - Gruppe waren die männlichen Patienten im Schnitt 1,71 Jahre älter als die weiblichen) zeigte sich für die Kieferhöhlenfläche kein signifikanter Mittelwertunterschied. Die Sinus Ratio war nur innerhalb der Angle-Klasse II beim weiblichen Geschlecht signifikant größer als beim männlichen. Die Mittelwerte von Kieferhöhlenfläche und Sinus Ratio sind der Tab. 14 zu entnehmen, Abb. 10 verdeutlicht die Zusammenhänge grafisch.

Tab. 14: Mittelwerte und Signifikanz des T-Tests von Kieferhöhlenfläche und Sinus Ratio in den Angle-Klassen mit Verteilung auf die Geschlechter

	männlich			weiblich			p
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
Sinus maxillaris [cm²]	36	12,15	1,34	52	12,14	1,30	,968 ns
Angle-Klasse I	4	11,46	0,68	7	11,95	2,36	,703 ns
Angle-Klasse II	32	12,24	1,38	45	12,17	1,09	,811 ns
Sinus Ratio	36	0,253	0,018	52	0,274	0,031	,001 **
Angle-Klasse I	4	0,282	0,015	7	0,290	0,041	,713 ns
Angle-Klasse II	32	0,249	0,027	45	0,271	0,029	,001 **

n: Anzahl; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standardabweichung; p: p-Wert und Signifikanz des Mittelwertunterschiedes beim T-Test; ** : $p < 0,01$; ns: nicht signifikant

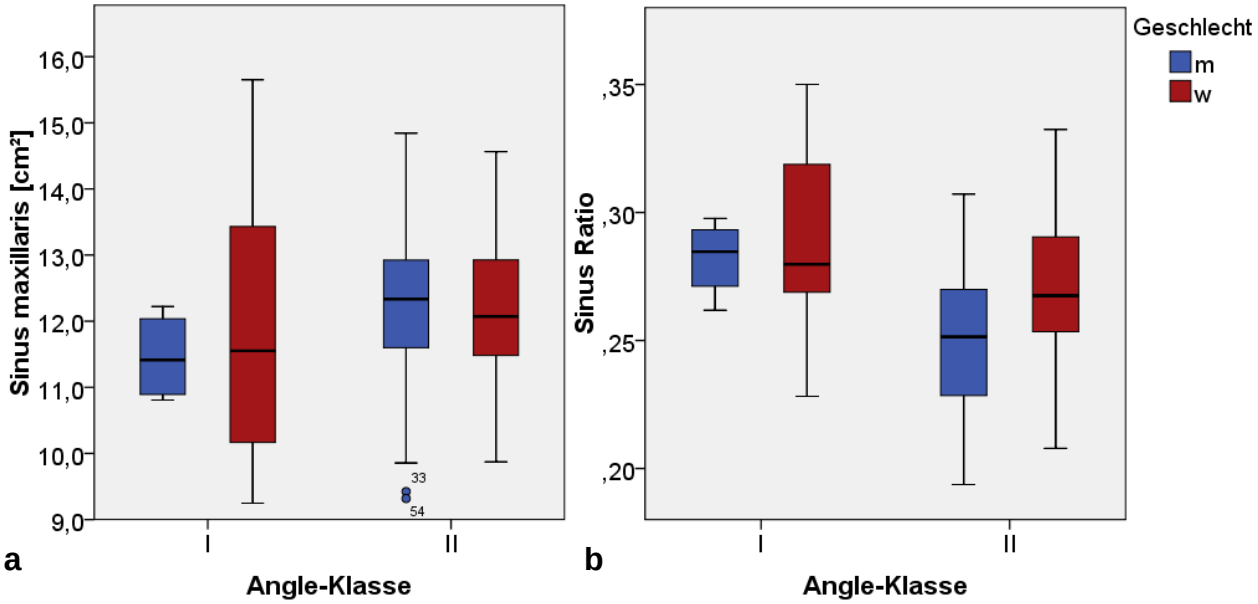


Abb. 10: Boxplot zur Veranschaulichung des Geschlechtsdimorphismus für die Werte von Sinus maxillaris [cm²] **(a)** und Sinus Ratio **(b)** in den Angle-Klassen I (neutral) und II (distal). Die Differenz der Mittelwerte zwischen den Geschlechtern war nur für die Sinus Ratio innerhalb der Angle-Klasse II beim T-Test signifikant.
m: männlich; w: weiblich

4.2 Skelettale Klassen

Die Einteilung in skelettale Klassen orientiert sich am ANB-Winkel, der die Position der knöchernen Basis von Ober- und Unterkiefer zueinander beschreibt.

Die Gruppe der mesialen skelettalen Klasse (Gruppe 3) war auf Grund der geringen Fallzahl (n = 2) nicht auswertbar (s. Tab. 11). Tab. 15 zeigt die Mittelwerte für die Kieferhöhlenfläche und die Sinus Ratio, sowie die Ergebnisse des T-Tests für den Vergleich der neutralen (1) und der distalen skelettalen Klasse (2). Der Boxplot in Abb. 11 veranschaulicht die Differenzen zwischen diesen beiden Klassen bezüglich der Kieferhöhlenfläche grafisch.

Ein signifikanter Mittelwertunterschied zeigte sich bezüglich der Kieferhöhlenfläche und der Gesichtsschädelfläche, die bei der skelettalen Klasse II größer ausfielen als bei den Klasse-I-Fällen. Die Sinus Ratio wies zwischen den skelettalen Klassen keine signifikanten Differenzen auf.

Tab. 15: Mittelwerte und Signifikanz des T-Tests von Kieferhöhlenfläche und Sinus Ratio in den skelettalen Klassen

	skelettale Klasse						p
	1 (neutral)			2 (distal)			
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
Sinus maxillaris [cm²]	32	11,73	1,28	52	12,41	1,15	,014 *
Gesichtsschädelfläche	37	44,90	5,24	57	46,84	4,13	,049 *
Sinus Ratio	32	0,260	0,036	52	0,267	0,027	,320 ns

n: Anzahl; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standardabweichung; p: p-Wert und Signifikanz des Mittelwertunterschiedes beim T-Test; * : $p < 0,05$; ns: nicht signifikant

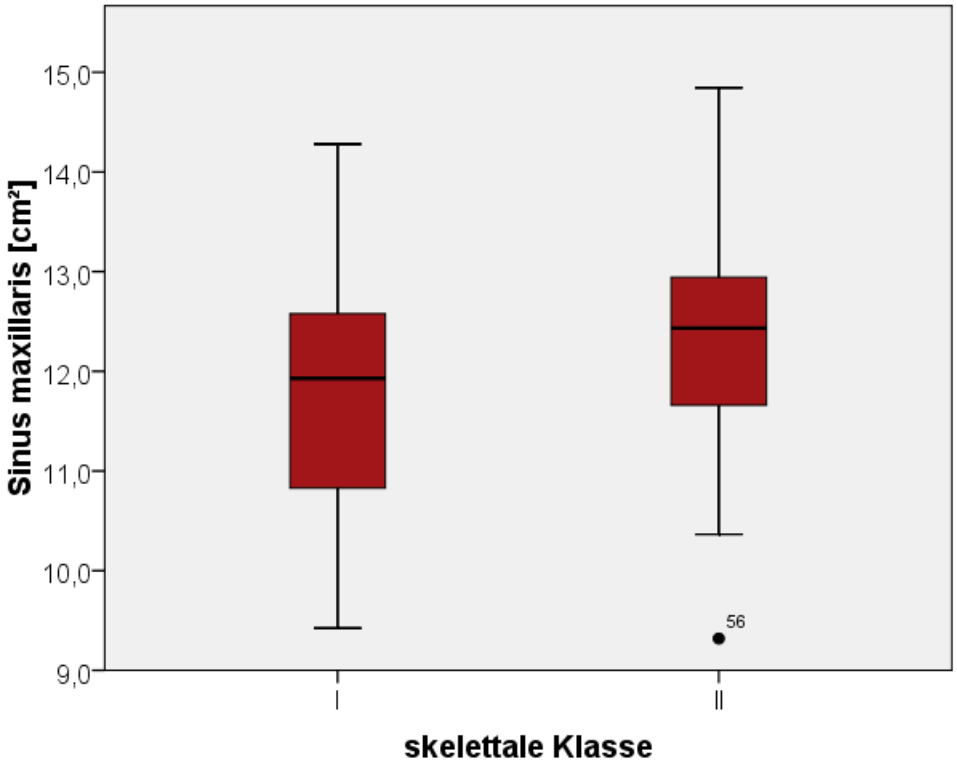


Abb. 11: Boxplot zur Veranschaulichung der Werte für Sinus maxillaris [cm²] in den skelettalen Klassen I (neutral) und II (distal). Die Differenz der Mittelwerte war beim T-Test signifikant.

4.3 Gesichtstypen

Als weiterer skelettaler Bezug erfolgte eine Einteilung in Gesichtstypen entsprechend dem Prognathiegrad, vorgegeben durch den SNA-Winkel. Der Vergleich untereinander ergab bei der einfaktoriellen Varianzanalyse signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) in den Variablen Sinus maxillaris, Schädelbasisknickungswinkel, Oberkieferlänge, Ratio Oberkieferlänge, SNB, ANB, NL-NSL und ML-NSL. Mittelwerte und Standardabweichungen der oben genannten Größen sind in Tab. 16 dargestellt. Die Schwankungen in den Fallzahlen sind auf das Entfernen der Ausreißer in den einzelnen Variablen zurückzuführen.

Tab. 16: Mittelwerte der erfassten Messgrößen mit signifikanten Unterschieden zwischen den Gesichtstyp-Gruppen

	Gesichtstyp									P
	1			2			3			
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
Sinus maxillaris [cm²]	31	11,58	1,34	42	12,36	1,01	16	12,85	1,16	,001 **
Schädelbasisknickungs-winkel	30	114,33	7,26	43	109,13	6,65	19	108,99	6,55	,004 **
Oberkieferlänge (gemessen)	32	4,79	0,27	43	4,93	0,32	19	5,08	0,30	,005 **
Ratio OK-Länge (gemessen / berechnet)	31	0,92	0,04	44	0,96	0,05	19	1,02	0,04	,000 **
SNB [°]	32	72,72	2,22	45	77,07	1,81	19	81,15	3,15	,000 **
ANB [°]	32	3,53	1,96	45	4,55	1,47	19	6,51	2,02	,000 **
NL-NSL [°]	32	9,09	2,79	45	6,96	3,23	19	4,13	2,22	,000 **
ML-NSL [°]	32	33,98	6,13	45	31,63	5,95	19	27,86	5,66	,003 **

n: Anzahl; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standardabweichung; p: p-Wert und Signifikanz der univariaten ANOVA; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; n.s.: nicht signifikant; Gesichtstyp 1 steht für einen retrognathen, 2 für einen orthognathen und 3 für einen prognathen Typ.

Der Mittelwertvergleich erfolgte mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) und anschließendem Post-Hoc-Mehrfachvergleich nach Tukey. Der Mehrfachvergleich ergab nur bei den Werten der Ratio Oberkieferlänge und den Winkeln SNB, ANB sowie dem Winkel zwischen Nasallinie und Nasion-Sella-Linie (NL-NSL) signifikante Differenzen zwischen allen Gruppen (Tab. 17).

Tab. 17: Signifikanz der Post-Hoc-Mehrfachvergleiche (Tukey-HSD) zwischen den Gesichtstyp-Gruppen bezüglich aller Variablen mit signifikanter ANOVA

Variable	GT	Gesichtstyp		
		1	2	3
Sinus maxillaris	**1**		,016 *	,002 *
	2	,016 *		n.s.
	3	,002 *	n.s.	
Schädelbasisknickungs-winkel	**1**		,005 *	,025 *
	2	,005 *		n.s.
	3	,025 *	n.s.	
Oberkieferlänge	**1**		n.s.	,004 *
	2	n.s.		n.s.
	3	,004 *	n.s.	
Ratio OK-Länge	**1**		,001 *	,000 *
	2	,001 *		,000 *
	3	,000 *	,000 *	
SNB [°]	**1**		,000 *	,000 *
	2	,000 *		,000 *
	3	,000 *	,000 *	
ANB [°]	**1**		,038 *	,000 *
	2	,038 *		,000 *
	3	,000 *	,000 *	
NL-NSL [°]	**1**		,006 *	,000 *
	2	,006 *		,002 *
	3	,000 *	,002 *	
ML-NSL [°]	**1**		n.s.	,002 *
	2	n.s.		n.s.
	3	,002 *	n.s.	

GT: Gesichtstyp; *: Mittelwertunterschied auf dem Niveau von $p < 0,05$ signifikant; n.s.: nicht signifikant; Gesichtstyp 1 steht für einen retrognathen, 2 für einen orthognathen und 3 für einen prognathen Typ.

Abb. 12 veranschaulicht die Mittelwertunterschiede für die Kieferhöhlenfläche grafisch in einer Boxplot-Darstellung.

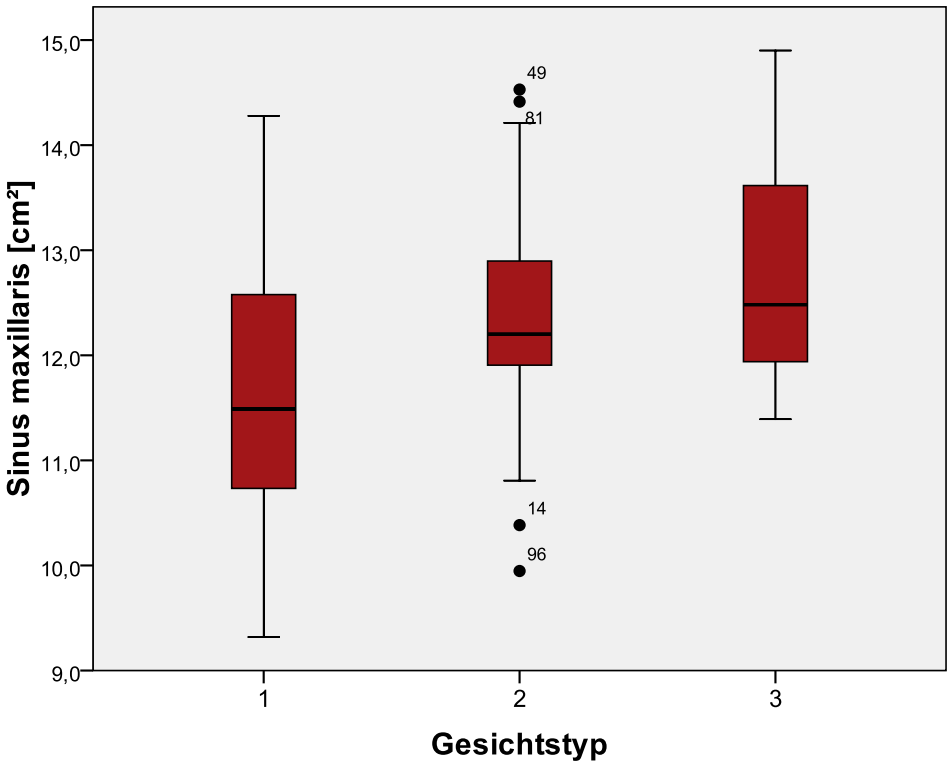


Abb. 12: Boxplot zur Veranschaulichung der Werte für Sinus maxillaris [cm²] in den Gesichtstyp-Gruppen. Die Differenz der Mittelwerte war beim Post-Hoc-Mehrfachvergleich zwischen den Gesichtstypen 1 und 2 sowie 1 und 3 signifikant. Gesichtstyp 1 steht für einen retrognathen, 2 für einen orthognathen und 3 für einen prognathen Typ.

Keine statistisch signifikanten Differenzen mit der einfaktoriellen Varianzanalyse ließen sich hingegen nachweisen hinsichtlich Alter, Nasenhöhlenfläche, Gesichtsschädelfläche, Nasenbodenlänge, Gaumenhöhe, anteriorer oberer Gesichtshöhe, mittlerer Gesichtshöhe, Gesichtsschädellänge, Sella-Nasion, Nasion-A, Nasion-B, Länge des Ramus mandibulae, Länge des Corpus mandibulae, „Angle of facial kyphosis“ (Nasenboden-Clivus), Goniontangentenwinkel (Ar-tGo-Me), Winkel zwischen Mandibularlinie und Nasallinie (ML-NL), Sinus Ratio, Schädelbasislänge und der posterioren Gesichtshöhe. Tab. 27 (s. Anhang) zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen ohne statistisch signifikante Differenzen zwischen den Gesichtstyp-Gruppen.

4.4 Ergebnis der Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse ermöglichte uns einen Einblick in die Wechselbeziehungen der erfassten Längen- und Flächenmaße. Zunächst wurde eine Korrelationsmatrix erstellt, in der die Pearson'schen Korrelationskoeffizienten zwischen allen Variablen zu finden sind (s. Anhang Tab. 28).

Anhand dieser Ergebnisse wurden 19 Größen ausgewählt, bei denen anschließend eine genauere Analyse auf Korrelationen innerhalb der Gesichtstypen durchgeführt wurde. Hierfür erfolgte die Erstellung einer Korrelationsmatrix (nach Pearson) separat für jeden Gesichtstyp. Die Ergebnisse wurden in Tab. 18 übertragen. Signifikante Korrelationen innerhalb des Gesichtstyps sind mit der jeweiligen Nummer des Gesichtstyps gekennzeichnet.

Die Fläche des Sinus maxillaris wies nur sehr wenige Korrelationen auf. Ausschließlich mit der Sinus Ratio korrelierte sie zumindest bei zwei der drei Gesichtstypen. Auch mit den Längen- und Höhenmaßen zeigte sich nur jeweils innerhalb einer Gruppe eine signifikante Korrelation, meist beim orthognathen Gesichtstyp (2). Die Sinus Ratio zeigte hingegen signifikante Korrelationen mit der anterioren oberen Gesichtshöhe, der Gesichtsschädel- sowie Schädelbasislänge. Die Gesichtsschädelfläche wies bei dieser Analyse starke Wechselbeziehungen mit allen erfassten Längen- und Höhenmaßen des Gesichtsschädels und der Schädelbasis sowie der Länge des Corpus mandibulae und der Sinus Ratio auf.

Für alle Variablenpaare, die in mindestens zwei der drei Gesichtstypen signifikante Korrelationen aufwiesen, erfolgte anschließend eine Regressionsanalyse.

Tab. 18: Übersicht über die korrelierenden Variablen innerhalb der Gesichtstyp-Gruppen

	Sinus maxillaris [cm²]	Gesichtsschädelfl. [cm²]	Gaumenhöhe	ant. ob. Gesichtshöhe	mittl. Gesichtshöhe	post. Gesichtshöhe	Gesichtsschädellänge	Schädelbasislänge	Angle of facial kyphosis [°]	Schädelbasisknickungsw. [°]	Oberkieferlänge	Ratio OK-Länge	Ramus mandibulae	Corpus mandibulae	SNA [°]	SNB [°]	ANB [°]	NL-NSL [°]	Sinus Ratio
Sinus maxillaris [cm²]		2	1	2		2	2	2			2		2		1				13
Gesichtsschädelfläche [cm²]	2		2	123	12	123	123	123		1	123		2	123			3		123
Gaumenhöhe	1	2		2	12														
ant. ob. Gesichtshöhe	2	123	2		12	123	23	123	1	1	123		2	23		23	3	1	123
mittl. Gesichtshöhe		12	12	12		123				3					1				
post. Gesichtshöhe	2	123		123	123			123		1	2				1	1			2
Gesichtsschädellänge	2	123		23				123	2		123		12	123			3		123
Schädelbasislänge	2	123		123		123	123		2		123		12	23		3	3		123
Angle of facial kyphosis				1			2	2		12					3				
Schädelbasis-knickungswinkel		1		1	3	1			12					3	12				1
Oberkieferlänge	2	123		123		2	123	123				12	2	2			123		1
Ratio OK-Länge											12				123	23	1		
Ramus mandibulae	2	2		2			12	12			2			12					
Corpus mandibulae		123		23			123	23		3	2		12			1	1		2
SNA [°]	1				1	1			3	12		123				123	2		
SNB [°]				23		1		3				23		1	123		123		
ANB [°]		3		3			3	3			123	1		1	2	123			
NL-NSL [°]				1															
Sinus Ratio	13	123		123		2	123	123		1	1			2					

1: Korrelation des Variablenpaars innerhalb des Gesichtstyps 1 (retrognath),

2: Korrelation des Variablenpaars innerhalb des Gesichtstyps 2 (orthognath),

3: Korrelation des Variablenpaars innerhalb des Gesichtstyps 3 (prognath).

In einem weiteren Schritt wurden die Wechselbeziehungen der Kieferhöhlenfläche mit ausgewählten Schädelmaßen und Winkeln untersucht. Für die partielle Maßkorrelation wurde die Gesichtsschädelfläche als konstant festgelegt, um

Zusammenhänge zu finden, die unabhängig von der individuellen Gesamtgröße des Gesichtes sind.

Tab. 19 fasst die Ergebnisse dieser Korrelationsanalyse zusammen. Die Höhe des Korrelationskoeffizienten ist dabei ein Ausdruck für die Stärke der Wechselbeziehung. Signifikante partielle Korrelationen mit der Kieferhöhlenfläche bei konstanter Gesichtsschädelfläche zeigten sich bei Schädelbasislänge, Ratio Oberkieferlänge, sowie den Winkeln SNA und NL-NSL. Alle partiellen Korrelationskoeffizienten lagen jedoch in einem statistisch wenig aussagekräftigen Bereich zwischen -0,301 und +0,429.

Tab. 19: Ergebnisse der einfachen Korrelationsanalyse und der partiellen Korrelation bei konstanter Gesichtsschädelfläche für ausgewählte Schädelmaße und Winkel mit der Kieferhöhlenfläche

Kontrollvariable: Gesichtsschädelfläche		**Cavitas nasi [cm²]**	**anteriore obere Gesichtshöhe**	**Gesichtsschädellänge**	**Schädelbasislänge**	**Gaumenhöhe**	**Ratio OK-Länge**	**SNA [°]**	**NL-NSL [°]**
Sinus maxillaris [cm²]	einf. Korr.	,188	,178	,283**	,106	,265*	,287**	,437**	-,318**
	part. Korr.	-,039	-,148	,048	-,301**	,194	,301**	,429**	-,314**

einf. Korr.: Korrelationskoeffizient nach Pearson; part. Korr.: partieller Korrelationskoeffizient bei konstanter Gesichtsschädelfläche; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$

4.5 Ergebnis der Regressionsanalyse

Basierend auf den Ergebnissen der Korrelationsanalyse erfolgte für ausgewählte Merkmale eine Regressionsanalyse. Hierbei wurden alle Variablenpaare berücksichtigt, die innerhalb von mindestens zwei der drei Gesichtstyp-Gruppen signifikante Korrelationen aufwiesen (vgl. Tab. 18). Für diese korrelierenden Merkmalspaare wurde eine einfache lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Das Ergebnis dieser Analyse ist für ausgewählte Variablenpaare in Tab. 20 zu finden. Mit Ausnahme der Kombination der Winkel SNB und ANB waren die Regressionen zwischen allen Variablenpaaren auf dem Niveau von $p < 0{,}01$ signifikant. Für einige Merkmalspaare sind die linearen Zusammenhänge in den Abbildungen 13 und 14 grafisch verdeutlicht.

Tab. 20: Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse für ausgewählte Variablenpaare, die innerhalb von mindestens zwei der drei Gesichtstyp-Gruppen signifikante Korrelationen aufwiesen

Korrelierendes Variablenpaar		n	Regressions-gleichung	K
y	x			
Gesichtsschädelfläche	ant. obere Gesichtshöhe	96	y = 8,537 x - 11,374	,785 **
Gesichtsschädelfläche	post. Gesichtshöhe	94	y = 9,825 x + 5,272	,713 **
Gesichtsschädelfläche	Schädelbasislänge	94	y = 6,306 x - 23,677	,809 **
Gesichtsschädelfläche	Oberkieferlänge	94	y = 8,738 x + 3,271	,599 **
Gesichtsschädelfläche	Corpus mandibulae	96	y = 5,166 x + 8,627	,509 **
Gaumenhöhe	mittlere Gesichtshöhe	90	y = 0,249 x - 0,023	,417 **
ant. obere Gesichtshöhe	mittlere Gesichtshöhe	93	y = 0,565 x + 3,843	,476 **
ant. obere Gesichtshöhe	post. Gesichtshöhe	94	y = 0,547 x + 4,456	,423 **
ant. obere Gesichtshöhe	Gesichtsschädellänge	94	y = 0,352 x + 3,072	,464 **
ant. obere Gesichtshöhe	Schädelbasislänge	94	y = 0,409 x + 2,204	,546 **
mittlere Gesichtshöhe	post. Gesichtshöhe	91	y = 0,559 x + 2,755	,555 **
post. Gesichtshöhe	Schädelbasislänge	92	y = 0,265 x + 1,222	,443 **
Gesichtsschädellänge	Schädelbasislänge	93	y = 0,713 x + 2,492	,729 **
Gesichtsschädellänge	Oberkieferlänge	93	y = 1,253 x + 4,239	,669 **
Gesichtsschädellänge	Ramus mandibulae	94	y = 0,604 x + 7,663	,478 **
Gesichtsschädellänge	Corpus mandibulae	94	y = 0,648 x + 5,682	,511 **
Schädelbasislänge	Oberkieferlänge	93	y = 0,830 x + 7,023	,457 **
Schädelbasisknickungsw.	Angle of facial kyphosis	92	y = -0,777 x + 167,131	-,522 **
Oberkieferlänge	ANB [°]	94	y = 0,077 x + 4,559	,507 **
Ratio OK-Länge	SNA [°]	93	y = 0,009 x + 0,247	,673 **
Ratio OK-Länge	SNB [°]	94	y = 0,009 x + 0,264	,601 **
SNA [°]	SNB [°]	95	y = 1,039 x + 1,582	,882 **
Sinus Ratio	Sinus maxillaris [cm²]	89	y = 0,015 x + 0,086	,593 **
Sinus Ratio	Gesichtsschädelfläche	89	y = -0,004 x + 0,442	-,553 **
Sinus Ratio	ant. obere Gesichtshöhe	89	y = -0,037 x + 0,514	-,486 **
Sinus Ratio	Schädelbasislänge	88	y = -0,030 x + 0,603	-,564 **

n: Anzahl der zur Regressionsanalyse herangezogenen Fälle; K.: Korrelationskoeffizient nach Pearson und Signifikanz; ** : $p < 0,01$

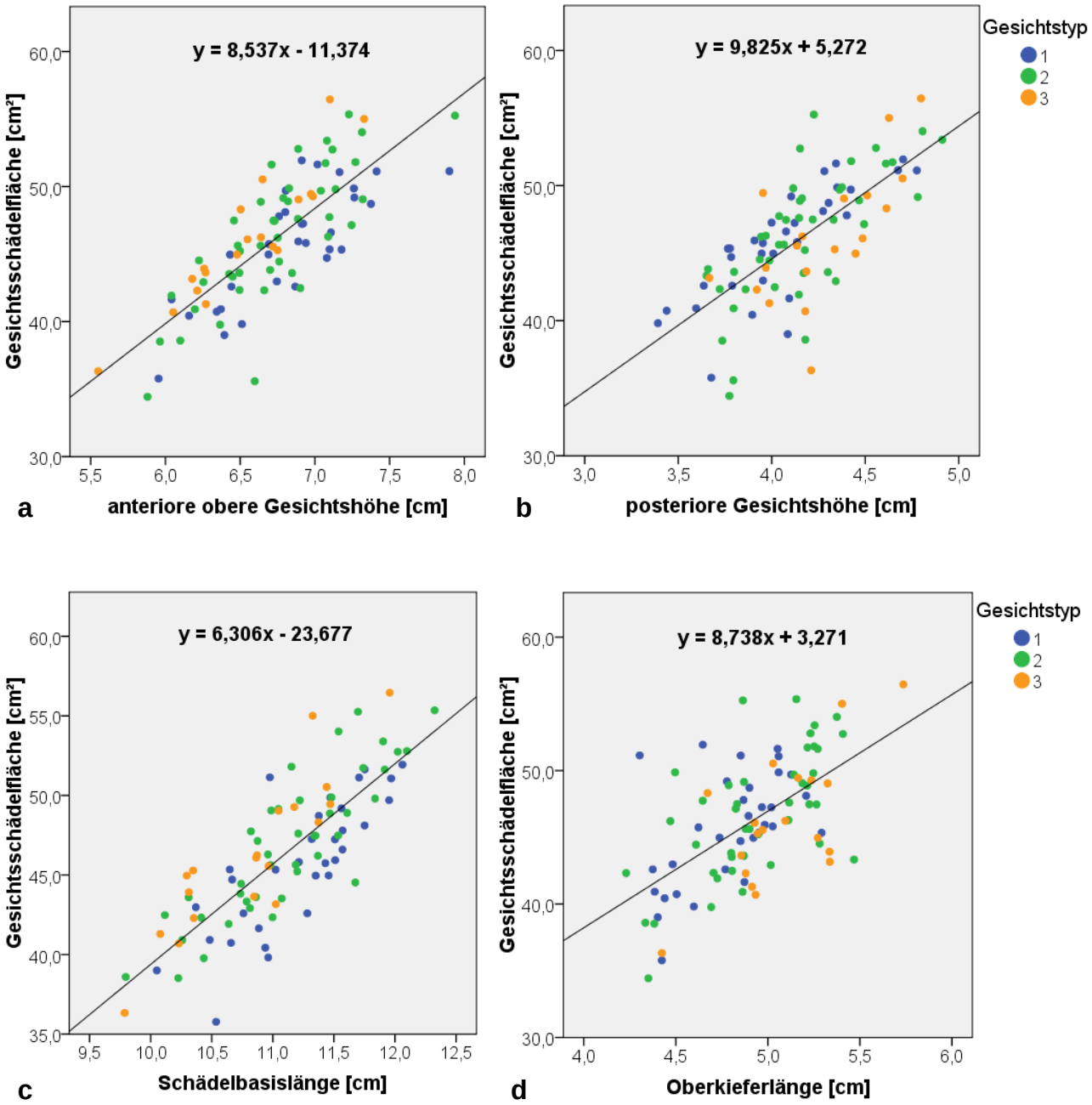
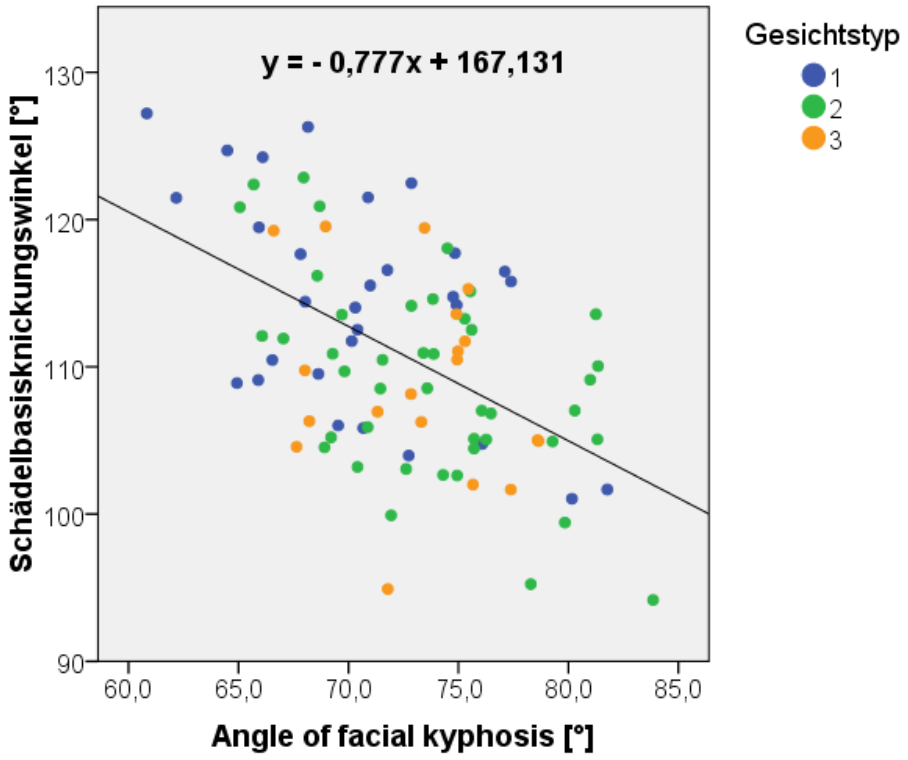
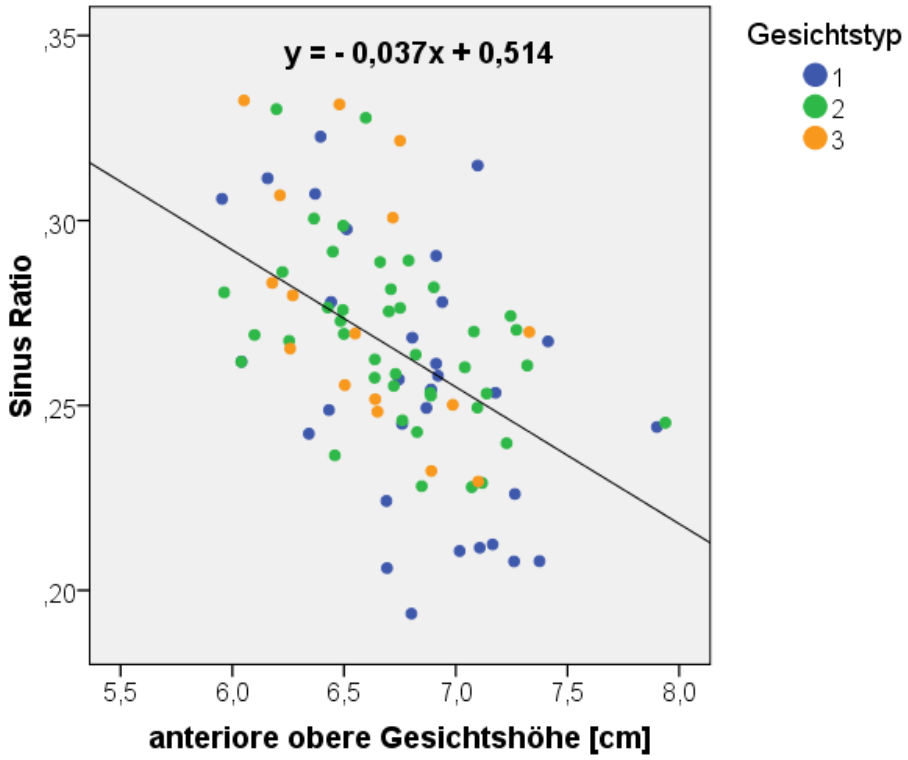


Abb. 13: Graphische Darstellung des Ergebnisses der linearen Regressionsanalysen für die Merkmalspaarungen der Gesichtsschädelfläche der Gesichtstypen 1, 2 und 3 mit **a)** anteriorer oberer Gesichtshöhe, **b)** posteriorer Gesichtshöhe, **c)** Schädelbasislänge, **d)** Oberkieferlänge.



a



b

Abb. 14: Graphische Darstellung des Ergebnisses der linearen Regressionsanalysen der Gesichtstypen 1, 2 und 3 für die Merkmalspaarungen **a)** Schädelbasisknickungswinkel - Angle of facial kyphosis und **b)** Sinus Ratio - anteriore obere Gesichtshöhe.

4.6 Clusteranalysen

In diesem Teil der Studie erfolgte die Einteilung der Patienten durch verschiedene Clusteranalysen. Diese Methode gliedert ein definiertes Kontingent anhand von ausgewählten Merkmalen in natürliche Gruppen, deren Anzahl vorher definiert werden kann. Wir haben für alle Analysen eine Unterteilung in drei Cluster berechnet. Die entstandenen Cluster wurden mittels ANOVA sowie Post-Hoc-Mehrfachvergleich nach Tukey untersucht. Zu jeder Clusteranalyse wurde ein Dendrogramm als Zuordnungsübersicht erstellt. Der Skala „Rescaled Distance Cluster Combine“ ist hierbei der Distanzwert zwischen den Fällen zu entnehmen, der auf den Wertebereich 0 bis 25 transformiert wurde.

4.6.1 Hierarchische Clusteranalyse mit allen Variablen

Das erste Clustering erfolgte anhand von allen gemessenen Variablen mit Ausnahme von Sinus maxillaris und Sinus Ratio. Diese Kieferhöhlen-bezogenen Messgrößen wurden nicht mit zur Clusteranalyse herangezogen, da bei den weiteren Analysen der entstandenen Cluster die Unterschiede in genau diesen beiden Variablen untersucht wurden. Eine Übersicht der Clusterzugehörigkeit und Distanzen der Fälle ist Abb. 15 zu entnehmen.

Im Ergebnis zeigte sich zwischen den Gruppen kein signifikanter Mittelwertunterschied bei der Kieferhöhlenfläche. Bezüglich der Sinus Ratio war die Differenz der Mittelwerte zwischen den Gruppen signifikant (Tab. 21), dies spiegelte sich jedoch beim Post-Hoc-Mehrfachvergleich nur zwischen einer der drei Paarungen wider (Tab. 22).

Tab. 21: Mittelwerte der Kieferhöhlenfläche und der Sinus Ratio in den Clustern, die nach allen metrischen Variablen eingeteilt wurden (außer Sinus maxillaris, Sinus Ratio).

	(3) Cluster aus allen Variablen									p
	1			2			3			
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
Sinus maxillaris	20	11,75	0,96	28	12,19	1,58	18	12,62	0,89	,109 ns
Sinus Ratio	20	0,279	0,027	28	0,249	0,032	18	0,269	0,023	,001 **

n: Anzahl; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standardabweichung; p: p-Wert und Signifikanz der univariaten ANOVA; ** : $p < 0,01$; ns: nicht signifikant

Tab. 22: Signifikanz der Post-Hoc-Mehrfachvergleiche zwischen den Clustern, die nach allen metrischen Variablen eingeteilt wurden (außer Sinus maxillaris, Sinus Ratio), bezüglich der Sinus Ratio.

Variable	Clu	(3) Cluster aus allen Variablen		
		1	2	3
Sinus Ratio	**1**		,001 *	n.s.
	2	,001 *		n.s.
	3	n.s.	n.s.	

Clu: Cluster; * : Mittelwertunterschied auf dem Niveau von $p < 0,05$ signifikant; n.s.: nicht signifikant

3 Cluster aus allen Variablen	
Rescaled Distance Cluster Combine	
	0 5 10 15 20 25
Fallnr.	+---------+---------+---------+---------+---------+
52	-+
60	-+
32	-+-+
13	-+ +-+
45	---+ |
50	-+-+ |
57	-+ +-+---+
48	-+-+ | |
62	-+ | |
37	-+---+ +--------------------+
66	-+ | |
3	-+ | |
43	-+-+ | |
10	-+ +-----+ |
16	-+-+ |
54	-+ | |
30	---+ |
44	---+ |
41	-+-+ +----------------+
46	-+ +-----+ | |
11	-+-+ | | |
23	-+ | | | |
36	---+ +-----+ | |
47	-+-+ | | | |
61	-+ | | | | |
25	-+-+ | | | |
29	-+ +-----+ | | |
63	---+ +---------------+ |
40	---+ | |
7	-+ | |
31	-+---------+ | |
20	-+ | | |
9	---+-----+ +---+ |
18	---+ || |
15	---+ +-+ |
19	---+-+ | |
55	---+ +---+ |
34	-+---+ |
59	-+ | |
35	-+-+ | |
49	-+ +-+ |
2	-+ | |
38	-+-+ |
22	-+ |
53	-+ |
65	-+ |
14	---+-+ |
64	---+ | |
33	-+ +-------------+ |
51	-+-+ | | |
8	-+ +-+ | |
27	-+ | | |
42	-+-+ | |
4	-+ | |
56	-+ +----------------------------+
58	-+ |
28	-+---+ |
6	-+ | |
39	-+ +-----+ |
24	-+ | | |
26	-----+ +-------+
17	-+ |
21	-+---+ |
5	-+ +-----+
1	---+-+
12	---+

Abb. 15: Clusterzugehörigkeit und Distanzen der Fälle, die nach allen metrischen Variablen eingeteilt wurden (außer Sinus maxillaris, Sinus Ratio).

● Cluster 1, ● Cluster 2, ● Cluster 3.

4.6.2 Hierarchische Clusteranalyse mit Längen- und Höhenmaßen

Bei der zweiten Clusteranalyse erfolgte die Einteilung der Gruppen nach den erfassten Längen- und Höhenmaßen: Nasenboden, Gaumenhöhe, anteriore obere Gesichtshöhe, mittlere Gesichtshöhe, posteriore Gesichtshöhe, Gesichtsschädellänge, Schädelbasislänge, Sella – Nasion, Oberkieferlänge, Ramus mandibulae, Corpus mandibulae.

Dabei zeigte sich ein ähnliches Bild wie beim ersten Clustering: die Sinus Ratio war in den Mittelwerten zwar generell unterschiedlich (Tab. 23), statistisch signifikante Differenzen zwischen den einzelnen Clustern zeigten sich aber wiederum nur bei einer Paarung (Tab. 24). Eine Übersicht der Clusterzugehörigkeit und Distanzen der Fälle ist Abb. 16 zu entnehmen.

Tab. 23: Mittelwerte der Kieferhöhlenfläche und der Sinus Ratio in den Clustern, die nach den erfassten Längen und Höhen eingeteilt wurden.

	(3) Cluster aus Längen und Höhen									p
	1			2			3			
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
Sinus maxillaris	23	11,86	0,99	27	12,23	1,64	16	12,53	0,78	,264 ns
Sinus Ratio	23	0,279	0,026	27	0,252	0,035	16	0,262	0,019	,007 **

n: Anzahl; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standardabweichung; p: p-Wert und Signifikanz der univariaten ANOVA; ** : $p < 0,01$; ns: nicht signifikant

Tab. 24: Signifikanz der Post-Hoc-Mehrfachvergleiche zwischen den Clustern, die nach den erfassten Längen- und Höhenmaßen eingeteilt wurden, bezüglich der Sinus Ratio.

Variable	Clu	(3) Cluster aus Längen und Höhen		
		1	2	3
Sinus Ratio	**1**		,005 *	n.s.
	2	,005 *		n.s.
	3	n.s.	n.s.	

Clu: Cluster; * : Mittelwertunterschied auf dem Niveau von $p < 0,05$ signifikant; n.s.: nicht signifikant

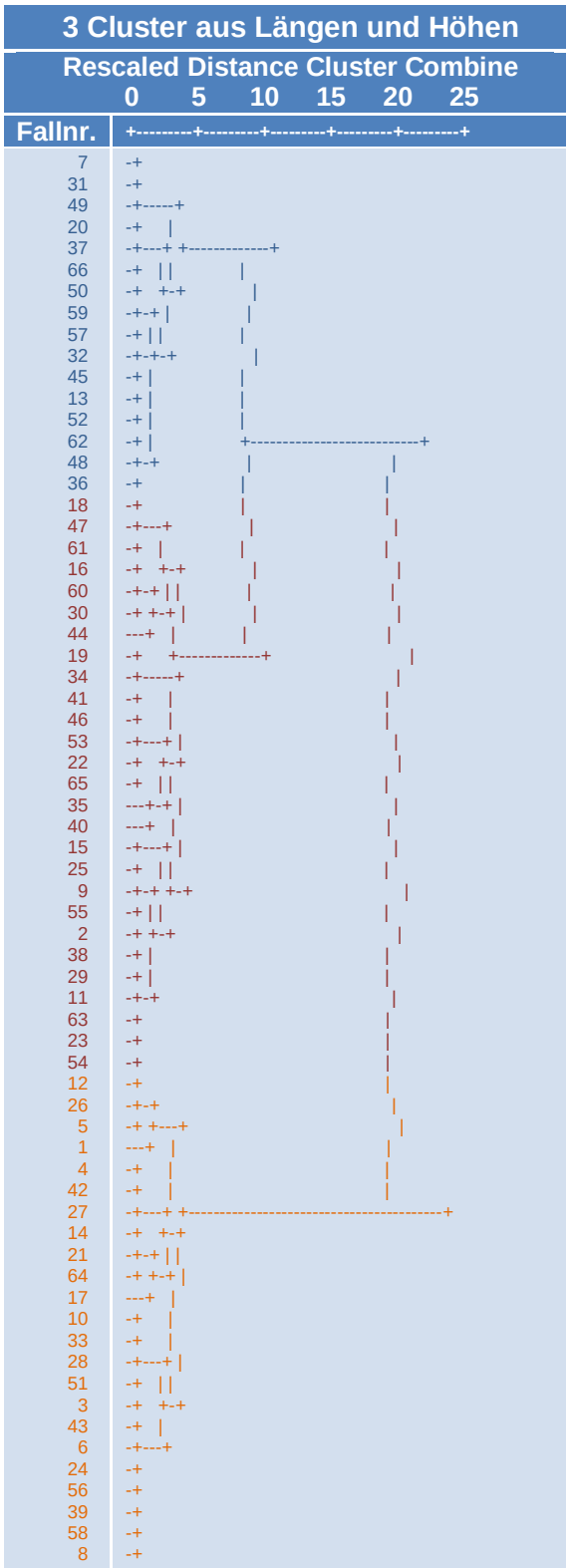


Abb. 16: Clusterzugehörigkeit und Distanzen der Fälle, die nach den erfassten Längen- und Höhenmaßen eingeteilt wurden.

● Cluster 1, ● Cluster 2, ● Cluster 3.

4.6.3 Hierarchische Clusteranalyse mit Winkelmaßen

Zur dritten Clusteranalyse wurden alle gemessenen Winkel herangezogen: „Angle of facial kyphosis“, Schädelbasisknickungswinkel, SNA, SNB, ANB, Goniontangentenwinkel, NL-NSL, ML-NSL und ML-NL.

Die Analyse der Clusterung in drei Gruppen ergab Unterschiede bezüglich der Fläche des Sinus maxillaris (Tab. 25), die beim Post-Hoc-Mehrfachvergleich zwischen zwei der drei möglichen Gruppenpaarungen signifikant waren (Tab. 26). Abb. 17 veranschaulicht dies in einem Boxplot, Abb. 18 zeigt die Clusterzugehörigkeit und Distanzen der einzelnen Fälle.

Tab. 25: Mittelwerte der Kieferhöhlenfläche und der Sinus Ratio in den Clustern, die nach allen erfassten Winkeln eingeteilt wurden.

	(3) Cluster aus Winkeln									p
	1			2			3			
	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	n	$\bar{x}$	SD	
Sinus maxillaris	21	11,45	1,50	35	12,50	0,97	10	12,57	1,16	,005 **
Sinus Ratio	21	0,252	0,037	35	0,271	0,028	10	0,262	0,021	,078 ns

n: Anzahl; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standardabweichung; p: p-Wert und Signifikanz der univariaten ANOVA; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; ns: nicht signifikant

Tab. 26: Signifikanz des Post-Hoc-Mehrfachvergleiches zwischen den drei Clustern, die nach den erfassten Winkelmaßen eingeteilt wurden, bezüglich der Kieferhöhlenfläche.

Variable	Clu	(3) Cluster aus Winkeln		
		1	2	3
Sinus maxillaris	**1**		,006 *	,044 *
	2	,006 *		n.s.
	3	,044 *	n.s.	

Clu: Cluster; * : Mittelwertunterschied auf dem Niveau von $p < 0,05$ signifikant; n.s.: nicht signifikant

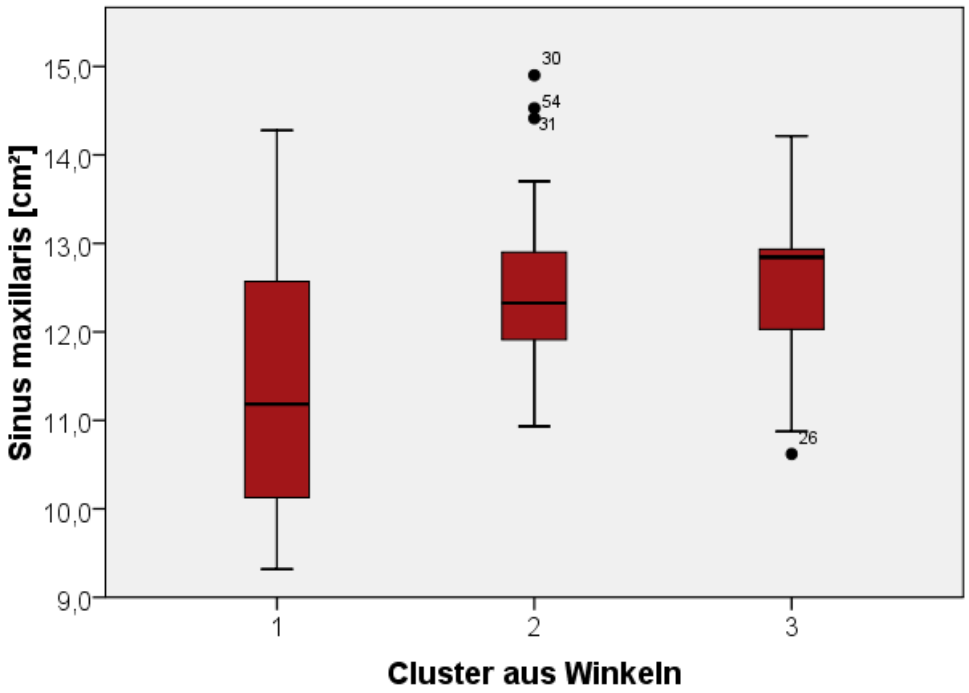


Abb. 17: Boxplot zur Veranschaulichung der Differenz der Kieferhöhlenfläche zwischen den drei Clustern, die nach den erfassten Winkelmaßen eingeteilt wurden. Signifikante Mittelwertunterschiede bestanden zwischen Cluster 1 und 2 sowie zwischen Cluster 1 und 3.

3 Cluster aus Winkeln	
Rescaled Distance Cluster Combine	
	0 5 10 15 20 25
Fallnr.	+---------+---------+---------+---------+---------+
30	-+
51	-+
42	-+
48	-+---+
8	-+ |
27	-+ |
62	-+ +-+
6	-+ ||
50	-+-+||
23	-+ +-+|
52	-+| |
60	-+-+ |
58	-+ |
59	-+ +-----+
3	-+ | |
33	-+ | |
39	-+ | |
4	-+ | |
32	-+---+| |
57	-+ || |
16	-+ +-+ +---+
43	-+ | | |
54	-+ | | |
66	-+---+ | |
37	-+ | |
44	-+ | |
20	-+ | +----------+
31	-+-+ | | |
7	-+ +---------+ | |
13	-+-+ | |
55	-+ | |
14	-+ | |
45	-+-+ | |
64	-+ +----------+ |
18	---+ |
29	-+ |
56	-+ |
46	-+-+ |
10	-+| |
61	-+| |
36	-+| |
47	-+-+ |
41	-+ +----------+ |
63	---+ | |
26	---+ | |
2	-+ | |
22	-+ | |
53	-+-+ | |
11	-+| | |
5	-+ +-+ +----------+
17	-+-+| |
19	-+|| |
25	-+| +---+ |
65	-+|| | |
40	-+-+| | |
1	-+ | | |
12	-----+ +----------+
28	-+ |
35	-+---+ |
15	-+ | |
38	-+ +---+
34	-+ |
49	-+-+|
24	-+ +-+
9	-+-+
21	-+

Abb. 18: Clusterzugehörigkeit und Distanzen der Fälle, die nach den erfassten Winkelmaßen eingeteilt wurden.

● Cluster 1, ● Cluster 2, ● Cluster 3.

5. Diskussion

5.1 Kephalometrische Untersuchung der Nasennebenhöhlen

Innere Hohlräume des Schädels lassen sich durch verschiedene kraniometrische und kephalometrische Verfahren untersuchen (Schumacher et al. 1972; Shea 1977; Lascala et al. 2004; Howe 2009). Entsprechend der Fragestellung der vorliegenden Arbeit, die Größe der Kieferhöhle in Relation zu dentoalveolär und skelettal bedingten Fehlokklusionen zu untersuchen, muss das Verfahren eine ausreichende Darstellung der Hohlräume bieten und außerdem eine Identifizierung der kieferorthopädischen Messpunkte, anhand derer einige Dysgnathien eingeteilt werden, ermöglichen. Bei der Zuordnung zu den Angle-Klassen war es notwendig, dass Modelle vorliegen, an welchen die habituelle Schlussbisslage betrachtet werden kann. Grundsätzlich erfüllt werden diese Voraussetzungen für die Kraniometrie von den überlagerungsfreien und dreidimensionalen Verfahren der Computertomographie und der digitalen Volumentomographie, sowie von der klassischen Fernröntgenseitenaufnahme. Das Orthopantomogramm erscheint hierfür eher ungeeignet. Zwar merken einige Autoren an, dass sich ein Teil der Strecken und Winkel der kephalometrischen Analyse dort gut nachvollziehen lassen (Mattila et al. 1977; Breier et al. 1996), jedoch treten beim Standardverfahren an verschiedenen Stellen unterschiedliche Vergrößerungsfaktoren auf (Philipp and Hurst 1978; Samawi and Burke 1984; Thanyakarn et al. 1992) und eine Vermessung der Schädelbasis ist nicht möglich.

Die Verlässlichkeit der dreidimensionalen, computertomographischen Verfahren in der Röntgenkephalometrie wurde bereits von mehreren Autoren als ausreichend für klinische Studien eingestuft (Howe 2009), wenn auch mit Einschränkung für die Strukturen der Schädelbasis (Lascala et al. 2004). Die hohe Strahlendosis dieser Systeme sowie der deutlich höhere technische und zeitliche Aufwand erlauben jedoch bisher keinen Einsatz in der klinischen Routine kieferorthopädischer Praxen. Insofern erscheint für die Aufgabenstellung der vorliegenden Studie unseres Erachtens nach ausschließlich das etablierte Verfahren der Fernröntgenseitenanalyse als geeignet. Um die Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten fordern Trpkova et al. (1997), eine kritische Auswahl bei den verwendeten Messpunkten zu treffen. Drescher (2000) empfiehlt die Verwendung von Proportionen anstatt absoluter Messwerte, um dem individuellen Charakter jedes

Schädels gerechter zu werden. Insbesondere dem letzten Punkt wurde bei der vorliegenden Studie durch die Verwendung der Sinus Ratio, als Verhältnis von Sinus- zur Gesichtsschädelfläche, zusätzlich zur absoluten Fläche der Kieferhöhle, Rechnung getragen.

5.2 Einfluss von Angle-Klasse und basal sagittaler Kieferrelation auf die Kieferhöhlengröße

Der nachhaltige Einfluss von kieferorthopädischen Therapien auf die Schädelmorphologie ist hinlänglich bekannt und war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (Versyck and Rakosi 1989; Peng et al. 2005; Enoki et al. 2006). Das trifft auch auf die Zusammenhänge zwischen kieferorthopädisch relevanten Fehlstellungen und der Schädelbasisarchitektur zu (Rothstein and Yoon-Tarlie 2000; Alkofide 2007; Proff et al. 2008). Im Gegensatz dazu liegen bisher nur wenige Studien vor, die den Zusammenhang zwischen Kieferhöhlenmorphologie und kieferorthopädisch relevanten Strukturen beleuchten. Dies ist insofern erstaunlich, als die engen räumlichen Beziehungen der Nasennebenhöhlen, insbesondere des Sinus maxillaris, nicht von der Hand zu weisen sind (Eberhardt et al. 1992; Kwak et al. 2004). Zu den wenigen, in der Literatur zu findenden Quellen gehört die Studie von Oktay (1992). Er kommt bei seinen Untersuchungen an Panoramaschichtaufnahmen zu dem Schluss, dass Zahnfehlstellungen sowie Fehlokklusionen keinen Einfluss auf die Größe der Kieferhöhle haben. Seine Messungen ergeben jedoch bei den Angle-Klasse-II-Fällen eine größere Kieferhöhlenfläche für weibliche Patienten gegenüber den männlichen. Rae and Koppe (2008) schließen aus Messungen an zwei verschiedenen Arten der Gattung *Cebus* mit unterschiedlichen Ernährungsgewohnheiten, dass kaufunktionelle Belastungen die Morphologie des Sinus maxillaris nicht beeinflussen.

In der vorliegenden Arbeit haben wir insbesondere die Zusammenhänge bestimmter Fehlokklusionen und der Relation der Kieferbasen mit der Größe des Sinus maxillaris am zweidimensionalen Fernröntgenseitenbild untersucht. Wir fanden keinen Beleg für den Einfluss einer Angle-Klasse-I- oder Angle-Klasse-II-Okklusion auf die Kieferhöhlengröße. Unterschiede bestanden jedoch bezüglich der

Gesichtsschädelfläche, welche bei den Patienten mit Angle-Klasse II größer ausfiel. Folglich zeigte auch die Sinus Ratio, welche die Kieferhöhlenfläche in Relation zur Gesichtsschädelfläche setzt, signifikante Unterschiede zwischen den Angle-Klassen. Die Patienten mit Angle-Klasse II hatten eine kleinere Sinus Ratio als diejenigen mit Angle-Klasse I. Demzufolge war die Kieferhöhle bei Vorliegen einer Angle-Klasse II in der Sagittalebene also verhältnismäßig klein, bezogen auf die Größe des Gesichtsschädels.

Die Analyse des Geschlechtsdimorphismus in den Angle-Klassen konnte die Ergebnisse von Oktay (1992) nicht bestätigen. Bei einer leicht unterschiedlichen Altersstruktur (s. Tab. 10) ergaben unsere Messungen keine signifikanten Unterschiede der Kieferhöhlenfläche zwischen den Geschlechtern - weder innerhalb der Angle-Klassen, noch in der Gesamtheit. Für die Sinus Ratio war jedoch auch hier die Differenz der Mittelwerte signifikant. Sowohl innerhalb der Angle-Klasse-II-Gruppe als auch bei der Gesamtheit der Fälle wiesen die weiblichen Patienten eine größere Sinus Ratio auf. Zusammengefasst deuten unsere Untersuchungsergebnisse bei weiblichen Patienten auf eine, im Verhältnis zur Gesichtsschädelfläche, signifikant größere Kieferhöhle hin.

Zur weiteren Analyse von Einflussfaktoren aus dem stomatognathen System wurden von uns die skelettalen Klassen herangezogen, die sich aus dem ANB-Winkel ableiten. Obwohl in der kieferorthopädischen Klinik zur Bestimmung der skelettalen Klasse häufig der Wits-Wert sowie der individualisierte ANB-Winkels nach der Methode von Segner und Hasund (1998) verwendet werden, ist unseres Erachtens eine Einteilung nach dem ANB-Winkel besser reproduzierbar und deshalb für eine morphologische Studie besser geeignet. Es zeigte sich bei den Patienten mit basal sagittal distaler Konfiguration (ANB > 4°) eine größere Kieferhöhlenfläche und eine größere Gesichtsschädelfläche als bei denen mit basal sagittal neutraler Lage (0° ≤ ANB ≤ 4°). Altersstruktur und Geschlechterverteilung waren in den skelettalen Klassen I und II in etwa vergleichbar. Da die Sinus Ratio keine signifikanten Mittelwertunterschiede zeigte, kann man folgern, dass bei Patienten mit basal sagittal distaler Konfiguration (skelettale Klasse II) die Dimensionen des Gesichtsschädels in der Sagittalebene leicht vergrößert sind, ohne dass sich das Verhältnis zur Kieferhöhlenfläche verschiebt.

5.3 Einfluss des Gesichtstyps auf die Schädel- und Kieferhöhlenmorphologie

Segner und Hasund (1998) beschreiben, neben den von Ihnen geprägten Begriffen eines harmonischen bzw. disharmonischen Gesichtstyps, eine Vielzahl von Typisierungen des Gesichtes anhand von verschiedenen Winkeln und Neigungsparametern der Kieferbasen und der Schädelbasis. Als wichtigsten sagittalen Parameter zur Einteilung des Gesichtstyps nennen sie den SNA- und den SNB-Winkel zur Beschreibung des Prognathiegrades. Wir haben uns bei dieser Studie für eine Einteilung nach dem SNA-Winkel entschieden, da dieser die Position der Kieferhöhlen-enthaltenden Maxilla im Gesichtsschädel bzw. deren sagittale Ausdehnung beschreibt. Bei einer Dysgnathie mit Auswirkungen auf den Prognathiegrad des Mittelgesichtes ist somit auch ein Einfluss auf den Sinus maxillaris denkbar.

Die Ergebnisse lieferten Differenzen innerhalb der Kieferhöhlenfläche. Der retrognathe Gesichtstyp wies signifikant kleinere Kieferhöhlen auf als der orthognathe und prognathe. Auch die Oberkieferlänge und die Ratio Oberkieferlänge waren beim prognathen Gesichtstyp größer als beim retrognathen. Deshalb ist es unserer Ansicht nach wahrscheinlicher, dass die Größe des Sinus maxillaris nur „passiv“ dem in sagittaler Richtung verlängerten Oberkiefer folgt, als dass eine funktionelle Anpassung die Kieferhöhle umgestaltet, auch wenn diese Frage mit der vorliegenden Untersuchung nicht abschließend geklärt werden kann. Bei der Gesichtsschädelfläche zeigte sich hingegen kein Größenunterschied. Auch die Sinus Ratio lieferte, trotz Tendenzen, keine signifikanten Mittelwertunterschiede (p-Wert = 0,058), im Gegensatz zur eigentlichen Kieferhöhlenfläche. Daraus lässt sich folgern, dass die Kieferhöhle bei einem prognatheren Gesichtstyp leicht vergrößert ist, ohne dass sich dabei die von uns definierte Gesichtsschädelfläche ändert. Die Proportionsverschiebung von Kieferhöhlen- zu Gesichtsschädelfläche lag bei unseren Messungen dennoch nicht im signifikanten Bereich.

Signifikant waren die Mittelwertunterschiede zwischen den Gesichtstypen außerdem für die sagittalen Parameter SNB und ANB, den Schädelbasisknickungswinkel und die Neigungswinkel der Nasal- und Mandibularebene in Relation zur Schädelbasis (NL-NSL, ML-NSL). Betrachtet man das von Segner und Hasund (1998) vorgeschlagene Harmoniebox-Schema und setzt voraus, dass das stomatognathe

System danach bestrebt ist, einen möglichst harmonischen Zustand zu erreichen, so überraschen diese Ergebnisse jedoch nicht. Entsprechend der Anordnung in der Harmoniebox liefern auch unsere Untersuchungen für einen stärkeren Prognathiegrad (größerer SNA-Winkel) größere Werte für SNB, ANB und kleinere Werte für NL-NSL, ML-NSL sowie den Schädelbasisknickungswinkel.

Um einen Einblick in die Wechselbeziehungen der erfassten Strecken-, Winkel- und Flächenmaße zu erhalten wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Die Gesichtstyp-Gruppen nutzten wir dabei, um die zur Regressionsanalyse herangezogenen Merkmalspaare vorzuselektieren. Die lineare Regressionsanalyse erfolgte ausschließlich für die Variablenpaare, die innerhalb von mindestens zwei der drei Gesichtstyp-Gruppen eine signifikante Korrelation aufwiesen.

5.4 Zusammenhänge zwischen Schädelmaßen und der Kieferhöhlengröße am Fernröntgenseitenbild

Die Kieferhöhlenfläche zeigte bei unseren Untersuchungen nur mäßige Korrelationen mit den anderen Schädelmaßen. Selbst mit den Längen- und Höhenmaßen sowie der Gesichtsschädelfläche waren die Wechselbeziehungen nur schwach ausgeprägt und jeweils nur innerhalb einer Gesichtstyp-Gruppe signifikant. Die Sinus Ratio offenbarte je nur mit den Längen- und Höhenmaßen des Gesichtsschädels deutliche Korrelationen, welche jedoch auf Grund ihrer Berechnung aus der Gesichtsschädelfläche zu erwarten waren. Die von einigen Autoren an verschiedenen Primaten festgestellte Korrelation des Kieferhöhlenvolumens mit den Schädelmaßen (Koppe und Schumacher 1992; Koppe and Ohkawa 1999; Rae and Koppe 2000; Treuner 2007) wird von den Ergebnissen unserer zweidimensionalen Messungen also grundsätzlich bestätigt. Die Wechselbeziehungen sind statistisch signifikant, wenn auch mit relativ schwach ausgeprägter Korrelation. Allerdings sei an dieser Stelle nochmals darauf verwiesen, dass unsere Messungen am zweidimensionalen Fernröntgenseitenbild durchgeführt wurden, an dem eine Erfassung der transversalen Maße nicht möglich ist. Von daher müssen sich diese Ergebnisse nicht zwangsläufig mit einer Volumen- und Längenbestimmung an dreidimensionalen Scans decken.

Wir haben ferner die partielle Korrelation bei konstanter Gesichtsschädelfläche untersucht, um Korrelationen zu finden, die nicht von der Gesamtgröße des Gesichtsschädels abhängen. Auch hier waren Wechselbeziehungen mit der Kieferhöhlenfläche nur schwach ausgeprägt zu finden für Schädelbasislänge, Ratio Oberkieferlänge, sowie die Winkel SNA und NL-NSL. Es gibt also, zumindest in der Sagittalebene, einen statistisch messbaren, jedoch nur sehr schwachen Zusammenhang zwischen den Längen- und Winkelmaßen des Gesichtsschädels und der Kieferhöhlenfläche.

Die Fläche der Nasenhöhle wies leichte bis mäßig starke Korrelationen mit allen erfassten Längen- und Höhenmaßen des Gesichtsschädels auf, zeigte jedoch keinerlei Wechselwirkungen mit dem Sinus maxillaris, auch nicht partiell bei konstanter Gesichtsschädelfläche. Eine exakte Abgrenzung der Nasenhöhlenumrisse gestaltet sich auf dem Fernröntgenseitenbild allerdings schwierig, weshalb für eine Untersuchung der Zusammenhänge mit der Cavitas nasi eine dreidimensionale Darstellung besser geeignet wäre.

Clusteranalysen

Um neben der Korrelation einzelner Merkmale auch den Einfluss von Variablengruppen bzw. der Gesamtheit der von uns erhobenen Schädelmaße auf die Kieferhöhle zu untersuchen, wurden von uns verschiedene Clusteranalysen durchgeführt. Für die entstandenen Gruppen erfolgte ein Mittelwertvergleich der Kieferhöhlenfläche und der Sinus Ratio, weshalb wir zur Einteilung der Cluster die Kieferhöhlenmaße selbst nicht mit verwendet haben.

Das Clustering mit allen erfassten Messgrößen (außer den Kieferhöhlenmaßen selbst) ergab keine signifikanten Mittelwertunterschiede bei der Kieferhöhlenfläche. Anders war dies bei der Sinus Ratio, jedoch waren bei genauerer Betrachtung mit dem Post-Hoc-Mehrfachvergleich die Unterschiede zwischen den drei Clustern nur bei einer der drei möglichen Paarungen signifikant. Die Gesamtheit unserer Längen-, Winkel- und Flächenmaße hat also entweder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Kieferhöhlenfläche in der Sagittalebene, oder die verschiedenen Einflüsse heben sich in ihrer Summation auf.

Die Clusteranalyse mit den erfassten Längen- und Höhenmaßen lieferte analoge Ergebnisse. Signifikante Mittelwertunterschiede waren nur bei der Sinus Ratio festzustellen, und auch hier wiederum nur zwischen einer Clusterpaarung. Dieser Zusammenhang lässt sich jedoch durch die engen Korrelationen der Streckenmaße mit der Gesichtsschädelfläche erklären, welche ja zur Berechnung der Sinus Ratio genutzt wurde. Folglich ist auch der Gesamteinfluss der von uns erfassten Längen- und Höhenmaße auf die Kieferhöhle in der Sagittalebene nur gering ausgeprägt oder die einzelnen Korrelationen heben sich gegenseitig auf.

Bei der Clusteranalyse, die mit allen erfassten Winkeln durchgeführt wurde, zeigten sich die Mittelwertunterschiede der Kieferhöhlenfläche signifikant. Dies spiegelte sich auch bei der Post-Hoc-Analyse wieder, wo immerhin zwei der drei Kombinationen zwischen den Clustern signifikante Differenzen zeigten. Die erfassten Winkel SNA, SNB und ANB als sagittale, „Angle of facial kyphosis“, Goniontangentenwinkel, NL-NSL, ML-NSL und ML-NL als vertikale, sowie der Schädelbasisknickungswinkel als kombiniert vertikaler und sagittaler Parameter haben also in ihrer Gesamtheit einen nachweislichen Einfluss auf die Kieferhöhlenfläche am Fernröntgenseitenbild. Bei einem Vergleich mit der Korrelationsanalyse deckt sich dieses Ergebnis mit den signifikanten Korrelationen der Kieferhöhlenfläche mit den Winkeln SNA, SNB, ANB sowie NL-NSL. Hiervon sind SNA und SNB Ausdruck des Prognathiegrades von Mittel- und Untergesicht (Segner und Hasund 1998). Damit ist, in Übereinstimmung mit dem Ergebnis des Gesichtstypenvergleiches (s. Tab. 16), die Flächenvergrößerung mit einem in sagittaler Richtung verlängerten Mittelgesicht erklärbar. Der SNB-Wert weist eine sehr starke Korrelation mit dem SNA-Winkel auf und ist deshalb nicht unbedingt als eigenständiger Einflussfaktor des sagittal verlängerten oder verkürzten Unterkieferkörpers zu sehen. Auf den nachweisbaren Zusammenhang des ANB-Winkels mit der Kieferhöhlengröße wurde bereits bei der Diskussion der basal sagittalen Kieferrelation eingegangen. Der Winkel zwischen Nasallinie und Nasion-Sella-Linie (NL-NSL) ist ein Maß für die Neigung des Nasenbodens gegenüber der Schädelbasis und damit auch Ausdruck des Platzangebotes oberhalb des Gaumens. Insofern kann auch dieser Zusammenhang mit einer „passiven“ Größenzunahme des Sinus maxillaris bei erhöhtem Platzangebot gedeutet werden. Für den Schädelbasisknickungswinkel und den Deklinationswinkel des Oberkiefers („Angle of facial kyphosis“), die häufig zur Einordnung von Primatenschädeln herangezogen (Hofer 1960; Fanghänel et al.

1985; Swindler 1998) und im Zusammenhang mit einer Volumenvergrößerung des Neurocraniums diskutiert werden (Ross and Ravosa 1993), konnte hingegen keine Korrelation mit der Größe des Sinus maxillaris nachgewiesen werden. Auch die Sinus Ratio zeigte, im Gegensatz zur absoluten Kieferhöhlenfläche, bei dieser Analyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Clustern. Dies ist jedoch insofern nachvollziehbar, da die Winkelwerte, unabhängig von der Gesamtgröße des Schädels, bei erhaltenen Proportionen gleich bleiben. Das Verhältnis von Kieferhöhlen- zu Gesichtsschädelfläche bleibt also in etwa konstant. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass sich die Kieferhöhlengröße der des Gesichtsschädels anpasst, unabhängig von den Winkelverhältnissen im Bereich von Gesichtsschädel und Schädelbasis.

Verschiedene Zusammenhänge zwischen Längen-, Winkel- und Flächenmaßen des Gesichtsschädels und der Kieferhöhlengröße konnten bei der vorliegenden Arbeit am Fernröntgenseitenbild festgestellt werden. Diese bewegten sich jedoch in einem relativ geringen Rahmen, verglichen mit den dreidimensionalen Messungen verschiedener Autoren an Primatenschädeln unterschiedlicher Spezies (Koppe and Ohkawa 1999; Moormann 2004; Treuner 2007). Diese unterschiedlichen Beobachtungen können einerseits dem zweidimensionalen Verfahren dieser Arbeit zur Last zu legen sein, da in der lateralen Projektion weder die transversalen Größen gemessen noch Asymmetrien zuverlässig erfasst werden können. Ebenso ist jedoch ein geringer ausgeprägter Einfluss exogener Faktoren auf die Nebenhöhlenentwicklung beim menschlichen Schädel als Ursache denkbar. Diese Frage kann mit der vorliegenden Studie nicht abschließend beantwortet werden. Mit einem weiter verbreiteten Einsatz dreidimensionaler Bildgebungsverfahren in der klinischen Routine und möglicherweise auch der Weiterentwicklung von Systemen ohne ionisierende Strahlung, wäre eine genauere und volumenbezogene Analyse denkbar, die aufschlussreicher sein könnte als die alleinige Messung in der Sagittalebene. Auch longitudinale Studien, mit der ontogenetisch beobachteten Veränderung der Nasennebenhöhlen im Kontext der anderen Schädelmaße und insbesondere im Rahmen einer kieferorthopädischen Therapie, könnten Hinweise darauf geben, ob und inwiefern auch biomechanische Anpassungsvorgänge Einfluss auf die Entwicklung und Morphologie der Kieferhöhlen nehmen.

6. Schlussfolgerungen

Unter Bezugnahme auf die in der Einleitung formulierten Ziele dieser Arbeit kommen wir zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Patienten mit Angle-Klasse I und Angle-Klasse II unterscheiden sich nicht in ihrer Kieferhöhlenfläche gemessen am Fernröntgenseitenbild. Im Verhältnis zur Größe des Gesichtsschädels weisen die Angle-Klasse-II-Fälle jedoch einen kleineren Sinus maxillaris auf als diejenigen mit Angle-Klasse I. Ein Geschlechtsdimorphismus kann für die Kieferhöhlenfläche am Fernröntgenseitenbild nicht nachgewiesen werden. Jedoch ist das Verhältnis von Kieferhöhlen- zu Gesichtsschädelfläche bei den weiblichen Patienten signifikant größer. Dies gilt sowohl innerhalb der Angle-Klasse II als auch für die Gesamtheit aller untersuchten Fälle.

2. Patienten mit basal sagittal distaler Konfiguration (skelettale Klasse II) weisen eine größere Kieferhöhlenfläche und eine größere Gesichtsschädelfläche auf als diejenigen mit basal sagittal neutraler Lage (skelettale Klasse I). Das Verhältnis von Kieferhöhlen- zu Gesichtsschädelgröße zeigt zwischen den beiden Gruppen keine Unterschiede.

3. Ein dem SNA-Winkel entsprechend prognatheres Mittelgesicht ist mit einem vergrößerten Sinus maxillaris in der Sagittalebene verbunden. Die von uns definierte Gesichtsschädelfläche bleibt dagegen unverändert.

4. Die Korrelationen zwischen der Kieferhöhlenfläche und den Längen-, Winkel- und Flächenmaßen des Gesichtsschädels am Fernröntgenseitenbild sind statistisch signifikant, jedoch relativ schwach ausgeprägt. Bei den von uns erfassten Messgrößen zeigt die Gruppe der kieferorthopädischen und anatomischen Winkel (mit SNA, SNB, ANB, NL-NSL, ML-NSL, ML-NL, Goniontangenten- und Schädelbasisknickungswinkel, „Angle of facial kyphosis“) den deutlichsten Einfluss auf die Kieferhöhlengröße in der Sagittalebene.

5. Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass Zusammenhänge zwischen verschiedenen Dysgnathien und der Kieferhöhlengröße bestehen. Diese sind jedoch meist über eine Veränderung von Größe und Position der Maxilla und

des Gesichtsschädels in toto erklärbar. Von daher deuten unsere Untersuchungsergebnisse nicht auf eine funktionelle Größenanpassung des Sinus maxillaris unabhängig vom Mittelgesicht hin. Ob und inwiefern beim Menschen Anpassungsvorgänge der Kieferhöhle an kaufunktionelle Belastungen mit oder ohne Änderung der Gesichtsschädelmorphologie auftreten, sollte in dreidimensionalen und möglichst auch longitudinalen Studien geklärt werden.

7. Zusammenfassung

Die Fernröntgenseitenaufnahmen (FRS) von 96 Patienten beiderlei Geschlechts mit den Angle-Klassen I und II wurden mit anatomischen und kieferorthopädischen Methoden untersucht. Neben Längen-, Winkel-, und Höhenmaßen erfolgte die Vermessung der Kieferhöhlenfläche, Nasenhöhlenfläche sowie der eigens definierten Gesichtsschädelfläche in der Sagittalebene. Die Angle-Klasse wurde anhand von Modellanalysen bestimmt.

Um einen Einfluss verschiedener Faktoren aus dem dentoalveolären Bereich sowie der Gesichtsschädelmorphologie auf den Sinus maxillaris zu untersuchen, erfolgten Einteilungen des Materials nach der Angle-Klasse, der basal sagittalen Kieferrelation (skelettale Klassen) sowie dem Prognathiegrad des Mittelgesichtes. Die Überprüfung von Merkmalszusammenhängen zwischen der Gesichtsschädelmorphologie und der Kieferhöhlengröße erfolgte durch eine Korrelationsanalyse. Die Ergebnisse dieser Wechselbeziehungen wurden mit einer einfaktoriellen, linearen Regressionsanalyse dargestellt. Des Weiteren wurden mehrere Clusteranalysen des Materials durchgeführt, um auch den Einfluss bestimmter Gruppen von Merkmalen auf die Kieferhöhlenmorphologie zu untersuchen.

Unsere Ergebnisse zeigen keinen Unterschied der absoluten Kieferhöhlenfläche am FRS zwischen Patienten mit den Angle-Klassen I und II. Das Verhältnis von Kieferhöhlen- zu Gesichtsschädelfläche (Sinus Ratio) ist bei den Angle-Klasse-II-Fällen jedoch signifikant kleiner. Die Sinus Ratio weist auch einen Geschlechtsdimorphismus auf: Die weiblichen Patienten haben ein signifikant größeres Verhältnis von Kieferhöhlen- zu Gesichtsschädelfläche als die männlichen. Beim Vergleich der skelettalen Klassen weisen die Patienten mit basal sagittal distaler Relation (skelettale Klasse II) eine etwas größere Sinus-maxillaris- und Gesichtsschädelfläche auf als solche mit basal sagittal neutraler Lage (skelettale Klasse I). Ein prognatheres Mittelgesicht (größerer SNA-Winkel) ist verbunden mit einer größeren Kieferhöhlenfläche in der Sagittalen.

Korrelationen der Kieferhöhlengröße am FRS mit den verschiedenen Maßen des Gesichtsschädels und der Schädelbasis sind nachweisbar, jedoch relativ schwach ausgeprägt. Innerhalb der von uns erfassten Variablen zeigte die Gruppe der kieferorthopädischen und anatomischen Winkel (mit SNA, SNB, ANB, NL-NSL, ML-NSL, ML-NL, Goniontangenten- und Schädelbasisknickungswinkel, „Angle of facial kyphosis“) den größten Einfluss auf die Kieferhöhlenfläche in der Sagittalebene.

Die Größenanpassung des Sinus maxillaris ist nach unseren Beobachtungen jedoch zumeist im Kontext der Gesamtmaße des Gesichtsschädels sowie der Oberkieferposition zu sehen. Sofern ein ausreichendes Maß an geeigneten Daten im Zusammenhang mit Dysgnathien und kieferorthopädischer Therapie zur Verfügung steht, sollten dreidimensionale und möglichst longitudinale Studien untersuchen, ob und inwiefern Anpassungen der Kieferhöhlenmorphologie an kaufunktionelle Reize auch unabhängig von den Gesamtmaßen des Gesichtsschädels zu beobachten sind.

8. Literaturverzeichnis

Alkofide E. A. (2007): The shape and size of the sella turcica in skeletal Class I, Class II, and Class III Saudi subjects. *Eur J Orthod 29*: 457-463.

Andersson J. A., Cervin A., Lindberg S., Uddman R., Cardell L. O. (2002): The paranasal sinuses as reservoirs for nitric oxide. *Acta Otolaryngol 122*: 861-865.

Andrews P., Martin L. (1987): Cladistic relationships of extant and fossil hominoids. *J Hum Evol 16*: 101-118.

Ariji Y., Kuroki T., Moriguchi S., Ariji E., Kanda S. (1994): Age-changes in the volume of the maxillary sinus - a study using computed-tomography. *Dentomaxillofac Radiol 23*: 163-168.

Arponen H., Elf H., Evalahti M., Waltimo-Siren J. (2008): Reliability of cranial base measurements on lateral skull radiographs. *Orthod Craniofac Res 11*: 201-210.

Balczun J. (2007): *Computertomographische Untersuchung zum postnatalen Wachstum der Nasenhöhle von Macaca fuscata.* Inaug. Diss., Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.

Björk A. (1950): Some biological aspects of prognathism and occlusion of teeth. *Acta Odontol Scand 9*: 1-40.

Blaney S. P. (1990): Why paranasal sinuses? *J Laryngol Otol 104*: 690-693.

Blanton P. L., Biggs N. L. (1969): Eighteen hundred years of controversy - the paranasal sinuses. *Am J Anat 124*: 135-147.

Boenninghaus H. G., Lenarz T. (2001): *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde für Studierende der Medizin* (11. Aufl.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.

Boenninghaus H. G., Lenarz T. (2007): *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde für Studierende der Medizin* (13. Aufl.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.

Bolger W. E., Butzin C. A., Parsons D. S. (1991): Paranasal sinus bony anatomic variations and mucosal abnormalities: CT analysis for endoscopic sinus surgery. *Laryngoscope 101*: 56-64.

Breier M., Schwarze C., Mansfeld P., Buchheister B. (1996). *Ist der vertikale Aufbau des Schädels durch eine metrische Analyse des Orthopantomogramms erkennbar?* Posterpräsentation auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie, Rostock.

Broadbent B. H. (1931): A new technique and its application to Orthodontics. *Angle Orthod 1*: 45-66.

Chen Y. J., Chen S. K., Yao J. C., Chang H. F. (2004): The effects of differences in landmark identification on the cephalometric measurements in traditional versus digitized cephalometry. *Angle Orthod 74*: 155-161.

De Coster L. (1952): A new reference line for the study of dentofacial deformations. *Anal Esp d' Odomotoestomal 11*: 564-577.

de Freitas M. R., Alcazar N. M., Janson G., de Freitas K. M., Henriques J. F. (2006): Upper and lower pharyngeal airways in subjects with Class I and Class II malocclusions and different growth patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop 130*: 742-745.

Drescher D. (2000): Fernröntgenanalyse. In P. Diedrich (Ed.), *Praxis der Zahnheilkunde - Bd. Kieferorthopädie I* (4. Aufl.). München, Jena: Urban & Fischer: 261-291.

Drettner B. (1980): Pathophysiology of paranasal sinuses with clinical implications. *Clin Otolaryngol Allied Sci 5*: 277-284.

Eberhardt J. A., Torabinejad M., Christiansen E. L. (1992): A computed tomographic study of the distances between the maxillary sinus floor and the apices of the maxillary posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 73*: 345-346.

Eller H. (1932): Der Sinus maxillaris und seine Nachbarorgane bei verschiedenen Affen und beim Hunde. *Z Anat Entwicklungsgesch 97*: 725-756.

Enlow D. (2002): Interview with Donald H. Enlow. *R Dental Press Orthodon Orthop Facial*: 7-15.

Enoki C., Valera F. C., Lessa F. C., Elias A. M., Matsumoto M. A., Anselmo-Lima W. T. (2006): Effect of rapid maxillary expansion on the dimension of the nasal cavity and on nasal air resistance. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol 70*: 1225-1230.

Fanghänel J., Gedrange T. (2007): Wachstums- und Entwicklungsprozesse des Gesichtsschädels beim Kind. In C. Splieth, R. Grabowski, T. Gedrange & J. Fanghänel (Eds.), *Kieferorthopädische Frühbehandlung in der Praxis*. Balingen: Spitta Verlag: 13-38.

Fanghänel J., Kowalewski R., Schumacher G. H. (1985): Die Bedeutung des Schädelbasisknickungswinkels in der experimentellen Forschung. Oral-Anatomie, 3. Interdisziplinäres Symposium. *Wiss Z Univ Rostock*: 7-9.

Fanghänel J., Pera F., Anderhuber F., Nitsch R. H. (2003): *Waldeyer - Anatomie des Menschen* (17. Aufl.). Berlin: de Gruyter.

Gannon P. J., Doyle W. J., Ganjian E., Marquez S., Gnoy A., Gabrielle H. S., et al. (1997): Maxillary sinus mucosal blood flow during nasal vs tracheal respiration. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg 123*: 1336-1340.

Geißler F. (2007): *Biometrische Untersuchungen zum Wachstum des harten Gaumens von Macaca fuscata.* Inaug. Diss., Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.

Harzer W. (1999): *Lehrbuch der Kieferorthopädie*. München, Wien: Hanser.

Hasund A. (1974): *Klinische Kephalometrie für die Bergen-Technik*: Kieferorthopädische Abteilung des Zahnärztlichen Instituts der Universität Bergen, Norwegen.

Heinzl H. (2006). *Statistische Tests bei medizinischen Fragestellungen*. Skriptum. Institut für Klinische Biometrie, Medizinische Universität Wien.

Hofer H. (1960): Studien zum Problem des Gestaltwandels des Schädels der Säugetiere, insbesondere der Primaten. *Z Morphol Anthropol 50*: 299-316.

Hofrath H. (1931): Die Bedeutung von Röntgenfern- und Abstandsaufnahmen für die Diagnostik der Kieferanomalien. *Fortschr Orthodont 1*: 232-258.

Howe R. B. (2009): First molar radicular bone near the maxillary sinus: a comparison of CBCT analysis and gross anatomic dissection for small bony measurement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 108*: 264-269.

Ibe D. (1991): *Untersuchung Hamburger Patienten mit Idealokklusion: Findung einer Norm.* Inaug. Diss., Universität Hamburg.

Keir J. (2009): Why do we have paranasal sinuses? *J Laryngol Otol 123*: 4-8.

Koppe T., Nagai H. (1997): Growth pattern of the maxillary sinus in the Japanese macaque (Macaca fuscata): reflections on the structural role of the paranasal sinuses. *J Anat 190 (Pt 4)*: 533-544.

Koppe T., Nagai H. (1998): The maxillary sinus of extant catarrhine primates. In K. Alt, F. Rösing & M. Teschler-Nicola (Eds.), *Dental Anthropology: Fundamentals, Limits and Prospects*. Wien: Springer Verlag: 167-177.

Koppe T., Ohkawa Y. (1999): Pneumatization of the facial skeleton in catarrhine primates. In T. Koppe, N. Hiroshi & K. W. Alt (Eds.), *The paranasal sinuses of higher primates - development, function and evolution*. Chicago: Quintessence: 77-119.

Koppe T., Rae T. C., Swindler D. R. (1999): Influence of craniofacial morphology on primate paranasal pneumatization. *Ann Anat 181*: 77-80.

Koppe T., Schumacher K. U. (1992): Untersuchungen zum Pneumatisationsgrad des Viszerokranium beim Menschen und bei den Pongoiden. *Acta Anatomica Nipponica 67*: 725-734.

Koppe T., Yamamoto T., Tanaka O., Nagai H. (1994): Investigations on the growth pattern of the maxillary sinus in Japanese human fetuses. *Okajimas Folia Anat Jpn 71*: 311-318.

Kragskov J., Bosch C., Gyldensted C., Sindet-Pedersen S. (1997): Comparison of the reliability of craniofacial anatomic landmarks based on cephalometric radiographs and three-dimensional CT scans. *Cleft Palate Craniofac J 34*: 111-116.

Kraus B. S., Wise W. J., R.H. F. (1959): Heredity and the craniofacial complex. *Am J Orthod 45*: 172-217.

Kummer B. (1952): Untersuchungen über die ontogenetische Entwicklung des menschlichen Schädelbasiswinkels. *Z Morphol Anthropol 43*: 331-360.

Kwak H. H., Park H. D., Yoon H. R., Kang M. K., Koh K. S., Kim H. J. (2004): Topographic anatomy of the inferior wall of the maxillary sinus in Koreans. *Int J Oral Maxillofac Surg 33*: 382-388.

Lascala C., Panella J., Marques M. M. (2004): Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol 33*: 291-294.

Lieberman D. E., Ross C. F., Ravosa M. J. (2000): The primate cranial base: ontogeny, function, and integration. *Am J Phys Anthropol Suppl 31*: 117-169.

Loubele M., Bogaerts R., Van Dijck E., Pauwels R., Vanheusden S., Suetens P., et al. (2009): Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *Eur J Radiol 71*: 461-468.

Lundberg J. O. (2008): Nitric oxide and the paranasal sinuses. *Anat Rec 291*: 1479-1484.

Lundberg J. O., Farkas-Szallasi T., Weitzberg E., Rinder J., Lidholm J., Anggaard A., et al. (1995): High nitric oxide production in human paranasal sinuses. *Nat Med 1*: 370-373.

Lux C. J., Conradt C., Burden D., Komposch G. (2004): Three-dimensional analysis of maxillary and mandibular growth increments. *Cleft Palate Craniofac J 41*: 304-314.

Marquez S., Laitman J. T. (2008): Climatic effects on the nasal complex: a CT imaging, comparative anatomical, and morphometric investigation of Macaca mulatta and Macaca fascicularis. *Anat Rec 291*: 1420-1445.

Mattila K., Altonen M., Haavikko K. (1977): Determination of the gonial angle from the orthopantomogram. *Angle Orthod 47*: 107-110.

Moormann T. (2004): *Funktionelle Morphologie der Nasennebenhöhlen des Brüllaffen Alouatta caraya (Primates, Platyrrhini).* Inaug. Diss., Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.

Moss M. L. (1968): A theoretical analysis of the functional matrix. *Acta Biotheor 18*: 195-202.

Moss M. L., Greenberg S. N. (1955): Postnatal growth of the humal skull base. *Angle Orthod 25*: 77-84.

Moss M. L., Greenberg S. N. (1967): Functional cranial analysis of the human maxillary bone: I, Basal bone. *Angle Orthod 37*: 151-164.

Naoumova J., Lindman R. (2009): A comparison of manual traced images and corresponding scanned radiographs digitally traced. *Eur J Orthod 31*: 247-253.

Nötzel F., Schultz C. (2001): *Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik*. Köln, München: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV-Hanser.

Oeken F. W., Gudizol H. (1996): Funktionelle Anatomie der oberen Luft- und Speisewege. In H. Ganz & V. Jahnke (Eds.), *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*. Berlin, New York: de Gruyter.

Oktay H. (1992): The study of the maxillary sinus areas in different orthodontic malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop 102*: 143-145.

Pancherz H., Zieber K., Hoyer B. (1997): Cephalometric characteristics of Class II division 1 and Class II division 2 malocclusions: a comparative study in children. *Angle Orthod 67*: 111-120.

Pasler F. A. (2008): *Zahnärztliche Radiologie* (5. Aufl.). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.

Peng J., Deng H., Cao C. F., Ishikawa M. (2005): Craniofacial morphology in Chinese female twins: a semi-longitudinal cephalometric study. *Eur J Orthod 27*: 556-561.

Philipp R. G., Hurst R. V. (1978): The cant of the occlusal plane and distortion in the panoramic radiograph. *Angle Orthod 48*: 317-323.

Plenk H., Tschabitscher M. (1985): Entwicklung, Makro- und Mikromorphologie der Kieferhöhle. *Erkrankungen der Kieferhöhle*. Wien, New York: Springer.

Preuschoft H., Witte H., Witzel U. (2002): Pneumatized spaces, sinuses and spongy bones in the skulls of primates. *Anthropol Anz 60*: 67-79.

Proff P., Will F., Bokan I., Fanghanel J., Gedrange T. (2008): Cranial base features in skeletal Class III patients. *Angle Orthod 78*: 433-439.

Proffit W. R., Fields Jr. H. W. (2000): *Contemporary orthodontics - 3rd edition*. St. Louis, Philadelphia, London, Sydney, Toronto: Mosby.

Rae T. C., Hill R. A., Hamada Y., Koppe T. (2003): Clinal variation of maxillary sinus volume in Japanese macaques (Macaca fuscata). *Am J Primatol 59*: 153-158.

Rae T. C., Koppe T. (2000): Isometric scaling of maxillary sinus volume in hominoids. *J Hum Evol 38*: 411-423.

Rae T. C., Koppe T. (2008): Independence of biomechanical forces and craniofacial pneumatization in Cebus. *Anat Rec 291*: 1414-1419.

Rae T. C., Koppe T., Spoor F., Benefit B., McCrossin M. (2002): Ancestral loss of the maxillary sinus in Old World monkeys and independent acquisition in Macaca. *Am J Phys Anthropol 117*: 293-296.

Röhr M., Lohse H., Ludwig R. (1983): *Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner. Bd.2: Statistische Verfahren*. Thun, Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch.

Röhrer-Ertl O., Koppe T., Hahn D. (1996): Zur Frage einer funktionellen Begründung des Sinus maxillaris bei plazentalen Mammalia am Beispiel des Orang-Utan. *Säugetierkundl Mitt 38*: 115-132.

Ross C. F., Henneberg M. (1995): Basicranial flexion, relative brain size, and facial kyphosis in *Homo sapiens* and some fossil hominids. *Am J Phys Anthropol 98*: 575-593.

Ross C. F., Ravosa M. J. (1993): Basicranial flexion, relative brain size, and facial kyphosis in nonhuman primates. *Am J Phys Anthropol 91*: 305-324.

Rossie J. B. (2006): Ontogeny and homology of the paranasal sinuses in *Platyrrhini* (*Mammalia: Primates*). *J Morphol 267*: 1-40.

Rossie J. B. (2008): The phylogenetic significance of anthropoid paranasal sinuses. *Anat Rec 291*: 1485-1498.

Rossouw P. E., Lombard C. J., Harris A. M. P. (1991): The frontal sinus and mandibular growth prediction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop 100*: 542-546.

Rothstein T., Phan X. L. (2001): Dental and facial skeletal characteristics and growth of females and males with Class II Division 1 malocclusion between the ages of 10 and 14 (revisited). Part II. Anteroposterior and vertical circumpubertal growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop 120*: 542-555.

Rothstein T., Yoon-Tarlie C. (2000): Dental and facial skeletal characteristics and growth of males and females with class II, division 1 malocclusion between the ages of 10 and 14 (revisited)-part I: characteristics of size, form, and position. *Am J Orthod Dentofacial Orthop 117*: 320-332.

Ruf S., Pancherz H. (1996): Development of the frontal sinus in relation to somatic and skeletal maturity. A cephalometric roentgenographic study at puberty. *Eur J Orthod 18*: 491-497.

Samawi S. S., Burke P. H. (1984): Angular distortion in the orthopantomogram. *Br J Orthod 11*: 100-107.

Sarnat B. G. (1963): Postnatal growth of the upper face: some experimental considerations. *Angle Orthod 33*: 139-161.

Sayinsu K., Isik F., Trakyali G., Arun T. (2007): An evaluation of the errors in cephalometric measurements on scanned cephalometric images and conventional tracings. *Eur J Orthod 29*: 105-108.

Schneider H. (1990): *Kieferorthopädie. Zahnmedizin in Theorie und Praxis - Band 2* (3. Aufl.). Aachen: Apollonia Verlag.

Schopf P. (1991): *Curriculum Kieferorthopädie. Band 1: Schädel- und Gebissentwicklung, Prophylaxe, Kieferorthopädische Diagnostik, Herausnehmbare Behandlungsgeräte*. Frankfurt/Main: Quintessenz Verlag.

Schulz D., Buhrmann K. (1987): Pathological changes in the maxillary sinus - important secondary findings in orthodontic x-ray diagnosis. *Fortschr Kieferorthop 48*: 298-312.

Schumacher G. H. (1971): Topographische Anatomie der Kieferhöhle. *Dtsch Stomatol 21*: 231-236.

Schumacher G. H. (1997): *Anatomie für Zahnmediziner* (3. Aufl.). Heidelberg: Hüthig GmbH.

Schumacher G. H., Fanghänel J., Woithe G., Pawlak K. (1972): Quantitative Untersuchung zur Erfassung von Asymmetrien des Kopfes. *Anat Anz 132*: 197-210.

Schünke M., Schulte E., Schumacher U. (2006): *PROMETHEUS Lernatlas der Anatomie. Kopf und Neuroanatomie* (1. Aufl.). Stuttgart: Thieme.

Schwenzer N., Ehrenfeld M. (2002): *Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Band 2: Spezielle Chirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Segner D., Hasund A. (1998): *Individualisierte Kephalometrie*. Hamburg: Segner Verlag und Vertrieb.

Settergren G., Angdin M., Astudillo R., Gelinder S., Liska J., Lundberg J. O., et al. (1998): Decreased pulmonary vascular resistance during nasal breathing: modulation by endogenous nitric oxide from the paranasal sinuses. *Acta Physiol Scand 163*: 235-239.

Shankar L., Evans K., Hawke M., Stammberger H. (1994): *Atlas der Nasennebenhöhlen*. Weinheim: Chapman & Hall GmbH.

Shea B. T. (1977): Eskimo craniofacial morphology, cold stress and the maxillary sinus. *Am J Phys Anthropol 47*: 289-300.

Sokal R. R., Rohlf F. J. (1995): *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3rd edition.* New York: W. H. Freeman and Co.

Steiner C. C. (1953): Cephalometrics for you and me. *Am J Orthod 39*: 729-755.

Suomalainen A., Kiljunen T., Kaser Y., Peltola J., Kortesniemi M. (2009): Dosimetry and image quality of four dental cone beam computed tomography scanners compared with multislice computed tomography scanners. *Dentomaxillofac Radiol 38*: 367-378.

Swindler D. R. (1998): *Introduction to the primates*: University of Washington Press.

Thanyakarn C., Hansen K., Rohlin M., Åkesson L. (1992): Measurements of tooth length in panoramic radiographs. 1: The use of indicators. *Dentomaxillofac Radiol 21*: 26-30.

Treuner O. (2007): *Zur funktionellen Morphologie der Sinus paranasales der Gattung Callicebus (Primates, Platyrrhini).* Inaug. Diss., Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.

Trpkova B., Major P., Prasad N., Nebbe B. (1997): Cephalometric landmarks identification and reproducibility: a meta analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop 112*: 165-170.

Turner P. J., Weerakone S. (2001): An evaluation of the reproducibility of landmark identification using scanned cephalometric images. *J Orthod 28*: 221-229.

Versyck B., Rakosi T. (1989): The mandibular action of individual treatment remedies depending on facial morphology. *Fortschr Kieferorthop 50*: 518-529.

Waldeyer A. (1973): *Anatomie des Menschen - Zweiter Teil: Kopf und Hals, Auge, Ohr, Gehirn Arm, Brust*. Berlin, New York: de Gruyter

Westrin K. M., Stierna P. (1995): Pathophysiology of sinusitis - overview and update. In P. Stierna, G. Karlson, I. Melén & M. Jannert (Eds.), *Aspects on sinusitis: Diagnosis and treatment in adults*. Stockholm: Eli Lilly Sweden: 13-22.

Zollikofer C. P., Weissmann J. D. (2008): A morphogenetic model of cranial pneumatization based on the invasive tissue hypothesis. *Anat Rec 291*: 1446-1454.

9. Anhang

Tab. 27: Mittelwerte der erfassten Messgrößen *ohne signifikante Unterschiede* zwischen den Gesichtstyp-Gruppen.

	Gesichtstyp									p
	1			2			3			
	n	$\bar{x}$	*SD*	*n*	$\bar{x}$	*SD*	*n*	$\bar{x}$	*SD*	
Alter	32	13,25	2,58	43	13,02	2,13	17	13,71	1,76	,569 ^{ns}
Cavitas nasi [cm²]	31	23,64	1,70	45	23,15	2,41	19	23,55	2,24	,584 ^{ns}
Gesichtsschädelfläche	32	45,65	4,14	45	46,32	4,97	19	46,19	4,86	,817 ^{ns}
Nasenboden (Spa-Spp)	32	5,57	0,33	41	5,67	0,33	19	5,73	0,31	,204 ^{ns}
Gaumenhöhe	31	1,27	0,18	43	1,23	0,21	19	1,19	0,19	,356 ^{ns}
ant. obere Gesichtshöhe	32	6,83	0,43	45	6,74	0,42	19	6,55	0,42	,074 ^{ns}
mittlere Gesichtshöhe	32	5,04	0,38	44	5,11	0,34	17	5,02	0,30	,520 ^{ns}
post. Gesichtshöhe	32	4,05	0,34	43	4,17	0,32	19	4,28	0,30	,055 ^{ns}
Gesichtsschädellänge (Ba-Pr)	32	10,22	0,53	44	10,45	0,60	18	10,49	0,51	,142 ^{ns}
Schädelbasislänge (Ba-N)	32	11,21	0,51	43	11,13	0,58	19	10,83	0,57	,055 ^{ns}
Sella-Nasion [cm]	30	7,46	0,24	43	7,37	0,39	18	7,22	0,33	,058 ^{ns}
Nasion-A [cm]	31	6,03	0,30	44	5,99	0,38	17	5,96	0,27	,713 ^{ns}
Nasion-B [cm]	32	9,39	0,60	44	9,36	0,65	19	9,38	0,69	,978 ^{ns}
Ar-tGo (Ramus mandibulae)	32	4,47	0,45	45	4,48	0,48	19	4,61	0,37	,501 ^{ns}
tGo-Me (Corpus mandibulae)	32	7,17	0,49	45	7,26	0,44	19	7,35	0,44	,405 ^{ns}
Angle of facial kyphosis (Nasenboden-Clivus)	32	70,54	5,57	45	73,07	5,52	19	73,05	3,73	,088 ^{ns}
Goniontangentenwinkel	32	123,12	6,37	45	122,99	6,78	19	122,29	5,53	,896 ^{ns}
ML-NL [°]	32	24,89	6,34	45	24,67	6,67	19	23,73	5,98	,816 ^{ns}
Sinus Ratio (Sinusfläche / Gesichtsschädelfläche)	31	0,255	0,04	42	0,268	0,02	16	0,277	0,03	,058 ^{ns}

n: Anzahl; $\bar{x}$: Mittelwert; SD: Standardabweichung; p: p-Wert und Signifikanz der univariaten ANOVA; ns: nicht signifikant; Gesichtstyp 1 steht für einen retrognathen, 2 für einen orthognathen und 3 für einen prognathen Typ

Tab. 28: Gesamtübersicht der Pearson'schen Korrelationskoeffizienten zwischen allen erfassten Variablen

	Sinus maxillaris [cm²]	Cavitas nasi [cm²]	Gesichtsschädelfläche	Alter	Nasenboden (Spa-Spp)	Gaumenhöhe	anteriore obere Gesichtshöhe	mittlere Gesichtshöhe	posteriore Gesichtshöhe	Gesichtsschädellänge	Schädelbasislänge	Angle of facial kyphosis	Schädelbasisknickungs-winkel	Sella-Nasion	Nasion-A [cm]	Nasion-B [cm]	OK-Länge (gemessen)	Ratio OK-Länge [gemessen:berechnet]	Ramus mandibulae	Corpus mandibulae	SNA [°]	SNB [°]	ANB [°]	Goniontangentenwinkel	NL-NSL [°]	ML-NSL [°]	ML-NL [°]	Sinus Ratio (Sinusfl. / Gesichtsschädelfl.)
Sinus maxillaris [cm²]	1	,188	,337**	,254*	,182	,265*	,178	,328**	,368**	,283**	,106	,139	-,046	,107	,116	,202	,294**	,287**	,237*	,258*	,437**	,339**	,279**	,002	-,318**	-,060	,106	,593**
Cavitas nasi [cm²]	,188	1	,642**	,265*	,389**	,056	,472**	,177	,380**	,527**	,578**	-,098	-,109	,553**	,221*	,297**	,403**	-,056	,318**	,547**	,010	-,071	,178	-,070	-,054	-,099	-,070	-,367**
Gesichtsschädelfläche [cm²]	,337**	,642**	1	,242*	,520**	,265*	,785**	,479**	,713**	,750**	,809**	,070	-,252*	,634**	,223*	,417**	,599**	,011	,394**	,509**	,105	-,028	,244*	,025	-,067	,009	,045	-,553**
Alter	,254*	,265*	,242*	1	,007	,340**	,234*	,169	,228*	,113	,114	,139	-,018	,117	,040	,036	,113	,051	,270**	,308**	,036	,162	-,144	,021	,175	-,106	-,197	,039
Nasenboden (Spa-Spp)	,182	,389**	,520**	,007	1	-,019	,289**	,089	,271**	,501**	,470**	-,003	-,348**	,433**	,157	,163	,602**	,243*	,167	,365**	,189	,083	,329**	-,131	-,183	-,177	-,074	-,244*
Gaumenhöhe [cm]	,265*	,056	,265*	,340**	-,019	1	,372**	,417**	,100	,070	,118	,039	,200	,095	-,009	,065	,057	-,188	,111	,171	-,155	-,210*	,001	,133	,077	,276**	,229*	,073
ant. ob. Gesichtshöhe	,178	,472**	,785**	,234*	,289**	,372**	1	,476**	,423**	,464**	,546**	,244*	-,187	,420**	,185	,295**	,344**	-,160	,221*	,351**	-,207*	-,336**	,123	,189	,269**	,425**	,276**	-,486**
mittlere Gesichtshöhe	,328**	,177	,479**	,169	,089	,417**	,476**	1	,555**	,085	,206	,203	,048	,018	,139	,214*	,176	,073	,004	,110	,087	-,009	,146	,097	,030	,223*	,205*	-,105
post. Gesichtshöhe	,368**	,380**	,713**	,228*	,271**	,100	,423**	,555**	1	,299**	,443**	,169	-,332**	,151	,061	,258*	,361**	,235*	,222*	,306**	,379**	,283**	,236*	-,022	-,237*	-,104	,024	-,286**
Gesichtsschädellänge	,283**	,527**	,750**	,113	,501**	,070	,464**	,085	,299**	1	,729**	-,239*	-,158	,525**	,201	,364**	,669**	,143	,478**	,511**	,180	,066	,292**	-,082	-,172	-,164	-,067	-,343**
Schädelbasislänge	,106	,578**	,809**	,114	,470**	,118	,546**	,206	,443**	,729**	1	-,325**	-,083	,706**	,232*	,387**	,457**	-,118	,360**	,333**	-,181	-,292**	,074	-,031	,013	-,037	-,043	-,564**
Angle of facial kyphosis	,139	-,098	,070	,139	-,003	,039	,244*	,203	,169	-,239*	-,325**	1	-,522**	,016	,063	,059	,054	-,033	-,093	-,064	,185	,174	,126	,217*	,063	,255*	,218*	,090
Schädelbasisknickungsw.	-,046	-,109	-,252*	-,018	-,348**	,200	-,187	,048	-,332**	-,158	-,083	-,522**	1	-,105	,076	,039	-,283**	-,187	-,059	-,160	-,344**	-,296**	-,254*	,007	,111	,058	-,001	,163
Sella-Nasion [cm]	,107	,553**	,634**	,117	,433**	,095	,420**	,018	,151	,525**	,706**	,016	-,105	1	,220*	,243*	,365**	-,316**	,232*	,243*	-,252*	-,298**	-,012	,138	-,097	,051	,100	-,401**
Nasion-A [cm]	,116	,221*	,223*	,040	,157	-,009	,185	,139	,061	,201	,232*	,063	,076	,220*	1	,754**	,133	-,126	,092	,145	-,084	-,122	-,004	,048	-,031	,036	,051	-,097
Nasion-B [cm]	,202	,297**	,417**	,036	,163	,065	,295**	,214*	,258*	,364**	,387**	,059	,039	,243*	,754**	1	,345**	-,035	,175	,162	-,020	-,112	,155	,079	-,089	,048	,092	-,147
OK-Länge (gemessen)	,294**	,403**	,599**	,113	,602**	,057	,344**	,176	,361**	,669**	,457**	,054	-,283**	,365**	,133	,345**	1	,592**	,361**	,364**	,378**	,199	,507**	-,183	-,150	-,272**	-,186	-,200
Ratio OK-Länge	,287**	-,056	,011	,051	,243*	-,188	-,160	,073	,235*	,143	-,118	-,033	-,187	-,316**	-,126	-,035	,592**	1	,211*	,105	,673**	,601**	,387**	-,309**	-,175	-,432**	-,335**	,178
Ramus mandibulae	,237*	,318**	,394**	,270**	,167	,111	,221*	,004	,222*	,478**	,360**	-,093	-,059	,232*	,092	,175	,361**	,211*	1	,342**	,103	,200	-,117	-,397**	-,064	-,555**	-,512**	-,125
Corpus mandibulae	,258*	,547**	,509**	,308**	,365**	,171	,351**	,110	,306**	,511**	,333**	-,064	-,160	,243*	,145	,162	,364**	,105	,342**	1	,158	,213*	,019	-,455**	-,095	-,255*	-,200	-,169
SNA [°]	,437**	,010	,105	,036	,189	-,155	-,207*	,087	,379**	,180	-,181	,185	-,344**	-,252*	-,084	-,020	,378**	,673**	,103	,158	1	,882**	,532**	-,058	-,473**	-,367**	-,105	,230*
SNB [°]	,339**	-,071	-,028	,162	,083	-,210*	-,336**	-,009	,283**	,066	-,292**	,174	-,296**	-,298**	-,122	-,112	,199	,601**	,200	,213*	,882**	1	,096	-,102	-,434**	-,501**	-,264**	,225*
ANB [°]	,279**	,178	,244*	-,144	,329**	,001	,123	,146	,236*	,292**	,074	,126	-,254*	-,012	-,004	,155	,507**	,387**	-,117	,019	,532**	,096	1	,008	-,265**	,042	,182	,078
Goniontangentenwinkel	,002	-,070	,025	,021	-,131	,133	,189	,097	-,022	-,082	-,031	,217*	,007	,138	,048	,079	-,183	-,309**	-,397**	-,455**	-,058	-,102	,008	1	-,048	,680**	,695**	-,067
NL-NSL [°]	-,318**	-,054	-,067	,175	-,183	,077	,269**	,030	-,237*	-,172	,013	,063	,111	-,097	-,031	-,089	-,150	-,175	-,064	-,095	-,473**	-,434**	-,265**	-,048	1	,240*	-,293**	-,210*
ML-NSL [°]	-,060	-,099	,009	-,106	-,177	,276**	,425**	,223*	-,104	-,164	-,037	,255*	,058	,051	,036	,048	-,272**	-,432**	-,555**	-,255*	-,367**	-,501**	,042	,680**	,240*	1	,858**	-,034
ML-NL [°]	,106	-,070	,045	-,197	-,074	,229*	,276**	,205*	,024	-,067	-,043	,218*	-,001	,100	,051	,092	-,186	-,335**	-,512**	-,200	-,105	-,264**	,182	,695**	-,293**	,858**	1	,076
Sinus Ratio	,593**	-,367**	-,553**	,039	-,244*	,073	-,486**	-,105	-,286**	-,343**	-,564**	,090	,163	-,401**	-,097	-,147	-,200	,178	-,125	-,169	,230*	,225*	,078	-,067	-,210*	-,034	,076	1

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

_____	_____
Datum	Unterschrift

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name, Vorname:	Apt, Norman
Anschrift:	Bergiusstr. 78
	86199 Augsburg
Geburtsdatum:	27.10.1982
Geburtsort:	Leipzig
Familienstand:	ledig

Schulbildung

09/1989 - 06/1993	Sankt-Ulrich-Volksschule, Schwabmünchen
09/1993 - 06/2002	Leonhard-Wagner-Gymnasium, Schwabmünchen
	Allgemeine Hochschulreife

Wehrdienst

07/2002 - 06/2003	Grundwehrdienst und freiwilliger Wehrdienst, Günzburg
	Transport- und Stabsdienst

Studium

04/2004 - 11/2009	Studium der Zahnmedizin an der
	Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
11/2009	Zahnärztliche Prüfung, Approbation

Ehrenamtliche und studienbegleitende Tätigkeiten

04/2008 - 04/2009	Student. Vertreter im akademischen Senat der Universität Greifswald
04/2007 - 04/2009	Student. Vertreter im medizinischen Fakultätsrat der Univ. Greifswald
06/2006 - 06/2008	Stellv. Vors. der Fachschaft Zahnmedizin, Universität Greifswald
04/2001 - 04/2007	Stellv. Vors. im Ortsverband Schwabmünchen der Jungen Union
07/2003 - 03/2004	Zahntechnisches Praktikum bei Dentaltechnik Krüger, Schwabmünchen

Berufliche Tätigkeit

01/2010 - 03/2010	Assistenzzahnarzt in der Praxis für Zahnmedizin Dres. Apt & Greiner, Schwabmünchen
seit 04/2010	Assistenzzahnarzt in der Zahnarztpraxis Dr. Eberle, Nordendorf

Danksagung

Mein Dank gilt allem voran Herrn Prof. Dr. med. Thomas Koppe, Oberassistent am Institut für Anatomie und Zellbiologie der Ernst- Moritz-Arndt-Universität Greifswald, für die freundliche Überlassung des hier bearbeiteten Themas und die fortwährende Unterstützung dabei. Die regelmäßigen, konstruktiven Besprechungen und die kurzfristigen Korrekturen waren mir eine Motivation, die Arbeit in einem angemessenen Zeitrahmen fertigzustellen.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Peter Proff bedanken für die Bereitstellung zahlreicher Fernröntgenseitenaufnahmen aus seinen Studien sowie für hilfreiche Anregungen am Anfang dieser Studie und stete Ansprechbarkeit auch zum Ende hin. Auch seiner ehemaligen Promovendin Dr. Susanne Ohl gilt mein Dank für die Einführung in das überlassene Material.

Der Poliklinik für Kieferorthopädie, Präventive Zahnmedizin und Kinderzahnheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald unter der Leitung von Prof. Dr. med. dent. Tomasz Gedrange danke ich für die Bereitstellung der restlichen Fernröntgenseitenaufnahmen sowie der zugehörigen Modelle. Herrn Dr. Philipp Eigenwillig, Assistenzzahnarzt in Weiterbildung auf selbiger Poliklinik, danke ich für wertvolle Anregungen in der Schlussphase dieser Arbeit.

Mein besonders herzlicher Dank gilt meinen Eltern für ihre bis heute anhaltende Unterstützung finanzieller und persönlicher Art und dafür, dass sie nicht verhindert haben, dass ich in ihre beruflichen Fußstapfen trete.