

Aus der Klinik für Kieferorthopädie  
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg / Saar  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. J. A. Lisson

# **Zur posterioren Diskrepanz als mögliche Ätiologie der anterioren Apertognathie**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Zahnheilkunde  
der Medizinischen Fakultät  
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES*

2015

vorgelegt von: **Christina Rijpstra**  
geboren am 13.04.1983 in Düsseldorf

Tag der Promotion:

Dekan:

Prof. Dr. M. D. Menger

1. Gutachter:

Prof. Dr. J. A. Lisson

2. Gutachter:

*Widmung*  
voor mijn schatje

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
1.1	Deutsch	1
1.2	English - Posterior discrepancy as possible anterior open bite aetiology	2
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
2.1	Apertognathie	3
2.1.1	Anteriore Apertognathie	3
2.1.2	Posteriore Apertognathie	4
2.2	Ätiologien der anterioren Apertognathie	4
2.2.1	Habits	5
2.2.2	Zunge	5
2.2.3	Atemwegsobstruktionen	6
2.2.4	Neuromuskuläre Schwäche	6
2.2.5	Trauma	6
2.2.6	Rheumatoide Erkrankung	7
2.2.7	Haltung	7
2.3	Platzmangel	8
2.3.1	Anterior	8
2.3.2	Posterior	8
2.4	Kephalometrie	9
2.4.1	Grundlagen	9
2.4.2	Vergleichbare Untersuchungen	10
2.4.2.a	Winkel	10
2.4.2.b	Strecken	10
2.4.2.c	Platzdiskrepanz	11
2.5	Nullhypothesen	12
<b>3</b>	<b>Probanden und Methode</b>	<b>13</b>
3.1	Voruntersuchung	13
3.2	Probanden	13
3.2.1	Untersuchungsgruppe	14
3.2.2	Kontrollgruppe	14
3.3	Kephalometrische Auswertung	15
3.3.1	Messpunkte	16
3.3.2	Bezugslinien	18
3.3.3	Berechnung der Frontzahnstufen	18
3.3.4	Winkel	19
3.3.5	Strecken	19

3.3.6	Platzdiskrepanz.....	20
<b>3.4</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5</b>	<b>Methodenfehler.....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Voruntersuchung.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>Probanden.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3</b>	<b>Kephalometrische Auswertung.....</b>	<b>25</b>
4.3.1	Winkel.....	26
4.3.2	Strecken.....	27
4.3.3	Platzdiskrepanz.....	28
<b>4.4</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>29</b>
4.4.1	Winkel.....	29
4.4.2	Strecken.....	29
4.4.3	Platzdiskrepanz.....	30
<b>4.5</b>	<b>Methodenfehler.....</b>	<b>30</b>
<b>4.6</b>	<b>Zusammenfassung der Auswertung.....</b>	<b>31</b>
4.6.1	Winkel.....	31
4.6.2	Strecken.....	31
4.6.3	Platzdiskrepanz.....	31
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>Patienten und Methode.....</b>	<b>32</b>
5.1.1	Voruntersuchung.....	32
5.1.2	Probanden.....	33
5.1.2.a	Untersuchungsgruppe.....	34
5.1.2.b	Kontrollgruppe.....	35
5.1.3	Kephalometrische Auswertung.....	35
5.1.3.a	Messpunkte.....	37
5.1.3.b	Bezugslinien.....	38
5.1.3.c	Bestimmung der Frontzahnstufen.....	39
5.1.3.d	Winkel.....	40
5.1.3.e	Strecken.....	40
5.1.3.f	Platzdiskrepanz.....	41
5.1.4	Statistische Auswertung.....	41
5.1.5	Methodenfehler.....	42
<b>5.2</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>43</b>
5.2.1	Voruntersuchung.....	43
5.2.2	Probanden.....	43

## Inhaltsverzeichnis

---

5.2.3	Auswertung.....	44
5.2.3.a	Winkel.....	44
5.2.3.b	Strecken.....	45
5.2.3.c	Platzdiskrepanz.....	48
5.2.4	Methodenfehler.....	49
<b>5.3</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>Verzeichnisse.....</b>	<b>52</b>
<b>6.1</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>52</b>
<b>6.2</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>61</b>
<b>6.3</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>Publikationen / Danksagungen.....</b>	<b>63</b>
<b>7.1</b>	<b>Publikationen.....</b>	<b>63</b>
<b>7.2</b>	<b>Danksagungen.....</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>65</b>

# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Deutsch

Apertognathie ist eine Dysgnathie, bei der Habits, Zunge, Atemwegsobstruktionen, neuromuskuläre Schwäche, Trauma, rheumatoide Erkrankungen, Haltung und Platzmangel als mögliche Ätiologien genannt werden. Die Molaren spielen dabei eine besondere Rolle, denn 1 mm Bisshebung führt über Gelenkautorotation zu 2 - 3 mm Bissöffnung. Die Hypothese der posterioren Diskrepanz beruht darauf, dass durch evolutionsbedingt kleinere Kiefer Platzmangel besteht. Es ist nicht genug Knochen für den Durchbruch aller Zähne vorhanden, daher kommt es durch kontinuierlichen Druck der dritten Molaren zur Supraeruption der davor liegenden Zähne. Dies kann zur Bissöffnung führen. Daher wurde in der vorliegenden retrospektiven Studie die sagittale und vertikale Dimension des Molarenplatzmangels untersucht. Die Rolle der *Dentes sapientes* bei Frontzahnengständen wird viel diskutiert. Daher wurden auch die Inzisiven, sowie der sagittale Platzmangel im gesamten Kiefer betrachtet.

Es wurde eine Analyse für Fernröntgenseitenbilder entwickelt, die auf bekannten Punkten und Strecken basierte. Nach einer Voruntersuchung mit Fallzahlbestimmung wurden 146 Probanden ausgesucht. Das wichtigste Kriterium war die Vollständigkeit der zweiten Dentition. Die Probanden wurden in eine eugnathe ( $n = 70$ ) und eine apertognathe Gruppe ( $n = 76$ ) aufgeteilt. Letztere wurde zusätzlich nach ANB-Winkel unterteilt. Die 33 Klasse I, 25 Klasse II und 18 Klasse III Probanden hatten alle einen fehlenden vertikalen Überbiss. Alle erhobenen Daten wurden auf Unterschiede zwischen den Gruppen untersucht. Dies erfolgte bei Vorliegen einer Normalverteilung mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA). Anschließend wurden Post-Hoc-Tests unter Berücksichtigung der Varianzhomogenität durchgeführt. Bei paarweisen Vergleichen wurde die Bonferroni-Korrektur angewandt. Die Intra- und Interrater-Reliabilität wurde mit der Dahlberg-Formel und der Intraklassen-Korrelation überprüft.

Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe bei allen Parametern im Oberkiefer. Im Unterkiefer traf dies für beide Zahnhöhen und die Inzisivenneigung zu. Apertognathe wiesen einen größeren Platzmangel zwischen Zähnen und Knochen auf als Eugnathe. Dies stellte sich bei der Klasse I in der bignathen Molarenextrusion und maxillären posterioren Platzdiskrepanz heraus. Bei der Klasse II wurden stärker ausgeprägte Werte im Unter- als im Oberkiefer festgestellt. Bei der Klasse III verhielt es sich entgegengesetzt. Der Platzmangel und das sagittale Wachstumsmuster zeigten Zusammenhänge. Anterior wurde eine vergrößerte dentoalveoläre Höhe bei der Untersuchungsgruppe festgestellt. Es wurde jedoch eine geringere als in den rein vertikalen Kontrollgruppen der Literatur und keine alveoläre Protrusion gemessen. Da in allen Untergruppen retrudiertere mandibuläre Schneidezähne zu finden waren, ist davon auszugehen, dass keine Dekompensation zwischen dem inneren und äußeren Funktionskreis vorlag. Weitergehende Untersuchungen scheinen sinnvoll, um Unterschiede deutlicher auszuarbeiten.

## 1.2 English - Posterior discrepancy as possible anterior open bite aetiology

Apertognathy is a malocclusion with many possible aetiologies. Such are habits, tongue, airway obstructions, trauma, rheumatoid diseases, posture and posterior discrepancy. Molars play a role in the causes, since 1 mm bite raising leads through joint autorotation to 2 - 3 mm bite opening. The posterior discrepancy hypothesis is based on evolutionary smaller jaws that lead to space discrepancy. When there is not enough bone for the eruption of all teeth, the continuous pressure of the third molars leads to supraeruption of the teeth mesial to them and with it to an opening of the bite. Therefore this retrospective study analysed the sagittal and vertical dimension of the molar space discrepancy. Since the *dentae sapientes* have often been connected to anterior crowding the incisors and the total sagittal discrepancy were evaluated as well.

A cephalometric analysis was developed and introduced, based on known points and distances. After a preliminary study with sample size calculations 146 subjects were selected. The most important criterion was the presence of the permanent second dentition. The probands were divided into a eugnathic control (n = 70) and an apertognathic research group (n = 76) with three subgroups divided according to their ANB-angle. The 33 Class I, 25 Class II and 18 Class III subjects all had a negative overbite. After testing normality and variance homogeneity the data was analysed with a one-way analysis of variance (ANOVA) and adjacent post-hoc-tests. In paired comparisons a bonferroni-correction was done. The intra- and interrater-reliability was checked according to the Dahlberg-formula and the intra-class-correlation.

Statistical significant differences were found between the control and research group in all parameters of the upper jaw. In the lower jaw this applied to both dentoalveolar heights and the incisor inclination. The apertognathic group showed a bigger space discrepancy between the amount of teeth and bone than the eugnathic group. This can be seen in the Class I group's bignathic molar extrusion and the maxillary posterior discrepancy. Class II had higher results in the mandible than in the maxilla. Class III showed contrary results. The space discrepancy and the sagittal growths pattern showed a connection. Also a bigger anterior height of the teeth was found in the control group, even though it was less than in the strictly vertical control groups from the literature. No bialveolar protrusion could be found in the research groups and since the lower incisors were found to be more retruded one can assume, that no decompensation between the inner and outer oral functional matrices was present. Further research seems useful to clarify some aspects.

## 2 Einleitung

### 2.1 Apertognathie

Apertognathie setzt sich aus dem lateinischen Adjektiv *apertus* [offen, entblößt] und dem griechischen Nomen *gnáthos* [Kinnbacke] zusammen. Übersetzt wird es mit ‚offene Kiefer‘, umgangssprachlich ‚offener Biss‘. Die Apertognathie bezeichnet eine vertikale Abweichung von der idealen Okklusion, die auch durch sagittale und transversale Fehlstellungen beeinflusst sein kann. Sie tritt daher kombiniert mit allen nach Angle definierten Wachstumsmustern auf [31, 57, 61]. Die weitere Definition variiert je nach Land [103]. Es herrscht Konsens darüber, dass eine verringerte vertikale Frontzahnstufe oder ein gerade noch bestehender Kontakt zwischen den Zähnen nicht dazu zählt [108]. Es muss eine „*definite [...] openness*“ [eindeutig offene] [108] Situation vorliegen. Eine negative Stufe ist eindeutig. Die Meinungen gehen jedoch auseinander, wenn eine vertikale Überlappung der Zähne ohne Kontakt vorliegt. In den Vereinigten Staaten wird diese Situation als „*open bite*“ [offener Biss], in England als „*incomplete overbite*“ [unvollständiger Überbiss] bezeichnet [103]. Einige Autoren definieren die Apertognathie als klinische Situation, in der kein Kontakt **und** keine vertikale Überlappung vorhanden sind [62, 113]. Andere als eine, in der kein Kontakt **oder** keine vertikale Überlappung vorhanden sind [61].

Wird die ideale Okklusion über die notwendige Funktion der Zähne definiert, dann muss die Schneide- beziehungsweise Mahlfunktion der Inzisiven respektive Molaren vorhanden sein [62, 120]. Zusätzlich muss eine richtige Artikulation möglich sein [120]. Probleme mit beiden Abläufen stehen in Zusammenhang mit der Apertognathie [73], denn die volle Funktion ist nur gegeben, wenn die Zähne Kontakt zueinander haben. Manche Autoren vertreten die Meinung, dass es keine „wahre“ Apertognathie ist, so lange der Patient einen Inzisalkontakt mit einer Verschiebung des Unterkiefers erreichen kann [103]. Allerdings würde das implizieren, dass eine Malokklusion inexistent ist, so lange der Patient sie durch Kieferbewegungen kompensieren oder verbessern kann.

Eine Apertognathie liegt bei fehlendem Kontakt zwischen Ober- und Unterkieferzähnen in zentrischer Okklusion vor [24, 103, 119]. Die Behandlungsnotwendigkeit ist von der Feststellung unabhängig. Sie steht in Zusammenhang mit dem Schweregrad und der informierten Patientenentscheidung. Abhängig von der Lokalisation lässt die Apertognathie sich in anterior und posterior einteilen.

#### 2.1.1 Anteriore Apertognathie

Die anteriore Apertognathie wird wesentlich häufiger in der Literatur beschrieben als die posteriore. Meist wird nicht differenziert sondern nur impliziert, dass die Anteriore gemeint ist. Dies wird auch im weiteren Verlauf dieser Abhandlung so gehandhabt. Die anteriore

Apertognathie ist das Gegenteil vom Tiefbiss [80] und es müssen wenigstens die Inzisiven betroffen sein. In der Literatur lassen sich viele mögliche Ätiologien finden (Kapitel 2.2).

### **2.1.2 Posteriore Apertognathie**

Die posteriore oder auch laterale Apertognathie tritt selten auf [17, 82]. Daher wird sie in Publikationen immer spezifiziert. Sie bezeichnet fehlende Kontakte distal der Eckzähne ohne Inzisivenbeteiligung. Eine mögliche Ursache ist ein Trauma mit folgender Ankylose. Degenerative Vorgänge und kondyläre Hyperplasie können ebenso dazu führen, wie kontinuierliche Kräfte der Zunge [77]. Ein seltener non-syndromatischer Grund kann die primäre Durchbruchsstörung sein (PFE - *primary failure of eruption*). Sie betrifft meist einzelne Sechsjahrmolaren oder ist nach distal hin progredient. Häufig tritt diese Erkrankung unilateral auf. Geennzeichnet ist sie durch Infraokklusion ohne erkennbare Ursache und kieferorthopädisch nicht zu bewegendende Zähne [1].

## **2.2 Ätiologien der anterioren Apertognathie**

Eine Öffnung des Bisses in der Front kann bereits durch mesial geneigte Molaren entstehen [54, 83]. Über das Kiefergelenk führt eine Bisshebung von 1 mm im Molarenbereich gemäß des Strahlensatzes zu ca. 2 - 3 mm bei den Inzisiven [10, 81, 113]. Insbesondere durch Übereruption spielen die Molaren eine Rolle bei der Ätiologie [5]. Ohne Kompensation durch Wachstum beim Kondylus oder Ramus führt dies zur Bissöffnung [11, 73]. Es ist daher wichtig, diejenigen Faktoren zu bestimmen, die Zahn- und Kieferpositionen beeinflussen. Dies gilt besonders bei Heranwachsenden, um unnötige Behandlungen zu vermeiden. Denn bei ihnen korrigieren sich bis zu 80% der offenen Bisse ohne Therapie [55]. Evolutionsbedingt hat der moderne Mensch kleinere Kiefer [81] mit vertikaleren Wachstumsmustern. Dies führt zu einem erhöhten Risiko für Zahn- und Kieferfehlstellungen inklusive der Ausbildung einer Apertognathie. Bei Erwachsenen tritt sie in 1,2 - 3,3% der Population auf [14, 80], wobei dies abhängig von der ethnischen Herkunft variiert. Schwarze [24, 81, 113] und Asiaten [19, 44] haben häufiger einen offenen Biss als Kaukasier [24, 44, 81, 113]. Das Wachstumsmuster bestimmt oft den Schweregrad [27, 61, 83, 102]. Umgebungseinflüsse können bei ausreichender Kraftereinwirkung ab durchschnittlich sechs Stunden [81] das stomatognathe System in seiner Aktivität und Entwicklung beeinflussen [81, 92]. Die Gesichtshöhe ist die zweithäufigste Wachstumscharakteristik, die familiäre Gemeinsamkeit zeigt [81]. Apertognathien können sich in Familien zudem häufen, weil sie genetisch beeinflusste Reaktionen zur selben Umwelt zeigen [81]. Die Auswirkungen der Gene können nur bedingt beeinflusst werden, daher sollten die veränderbaren Umwelteinflüsse, die zur Bildung einer Apertognathie führen, näher untersucht werden. Neben den nachfolgenden Unterpunkten stellt auch die posteriore Diskrepanz eine mögliche Ätiologie des offenen Bisses dar. Sie bildet den Schwerpunkt dieser Arbeit, weshalb der Platzmangel unter 2.3 ausführlich und gesondert erläutert wird.

### **2.2.1 Habits**

Vielerlei Habits [10, 27, 61, 83, 118] können den Biss anterior öffnen. Bis ungefähr zum dritten Lebensjahr sind persistierende Fehlstellungen dadurch unwahrscheinlich. Spätestens jedoch mit dem Durchbruch der zweiten Dentition sind permanente Auswirkungen zu erwarten [23, 72, 81, 113]. Die Prävalenz verdoppelt sich in Patienten mit Wechselgebiss, wenn ein Habit vorhanden ist [61]. Neben der aufrotierten Mandibula führt die kaudale Zungenlage zu einem muskulären Ungleichgewicht [2, 81, 113]. Dieses kann durch negativen Druck beim Saugen verstärkt werden [81]. Die entstehende Zahnbogenenge in der Maxilla und -weite in der Mandibula verhindern eine vollständig schließende Kieferrotation mit Inzisalkontakt durch die doppelte Höckerokklusion.

Einige Autoren zählen auch die Zunge zu den Habits [73], wenn sie gepresst wird oder ein falsches Schluckmuster vorliegt [118]. Allerdings ist Schlucken definitionsgemäß keine Gewohnheit. Es ist nicht erlernt, sondern ein physiologischer Akt mit unbewusster Anpassung an die umgebenden Strukturen [81]

### **2.2.2 Zunge**

Die Zunge hat drei Charakteristiken, die in der Literatur kontrovers diskutiert werden: Funktion, Lage und Größe. Die Funktion beim Schlucken ist, dieses zu initiieren und Speise- und Flüssigkeitsverlust zu verhindern [62, 81]. Diese Art der Abdichtung, die bei Säuglingen als physiologisches Schluckmuster anerkannt ist [41, 81], wird ebenso bei Patienten mit fehlenden Zahnkontakten gefunden. Es wird postuliert, dass dies die Fehlfunktion ist, die den Biss öffnet [10, 27, 83, 103, 112, 114, 122]. Andere Autoren sind zurückhaltender und sprechen nicht von Ursache oder Folge, sondern erwähnen nur, dass ein solches Schluckmuster bei diesen Patienten auftritt [23, 66, 76, 120]. Diese Vorsicht erscheint sinnvoll, da eine Übergangsphase zwischen dem infantilen und dem adulten Schluckmuster physiologisch ist. Eine Verzögerung dieses Entwicklungsschrittes ist bei einer Habit-bedingten Infraposition der Schneidezähne zu erwarten [81]. Denn die Abdichtung mit der Zunge ist eine physiologische Notwendigkeit solange Zähne keinen Kontakt haben [113]. Des Weiteren hat nur jedes 10. Kind ab sechs Jahren mit diesem Schluckmuster einen offenen Biss. Bei Erwachsenen kommt es ebenfalls mit 10-15% der Fälle häufiger vor als die Apertognathie [81]. Es gibt daher Literaturquellen, die dieses Schluckmuster als Folge der Apertognathie bezeichnen [62, 81]. Gestützt wird diese Aussage durch Studien, die zeigen, dass bei diesem Schluckmuster geringe [38, 79], beziehungsweise geringere [81] Kräfte entstehen als bei dem physiologischen adulten Muster. Diese geringen Kräfte treten zudem weniger als 20 min pro Tag auf [81]. Es scheint daher plausibel, dass die Zunge nur eine Divergenz der Kieferbasen hervorrufen kann, wenn auch die Zungenruhelage [27, 38, 61, 81, 83, 103] verändert ist. Diese ‚relative Makroglossie‘ kann wie die ‚tatsächliche‘ [10, 62, 78, 113] durch kontinuierliche Kräfte zu einer vertikal veränderten Position der Zähne führen.

### **2.2.3 Atemwegsobstruktionen**

Nasopharyngeale Obstruktion kann bedingt sein durch adenoide Hyperplasie [61, 66], allergische Schwellungen oder andere anatomische Blockaden [47]. Diese Blockaden führen zur oralen Respiration [27, 83] mit einem posterior geneigtem Kopf [72, 81] und kaudaler Zungenlage. Wie bei den Habits (siehe 2.2.1), kann das zu einem hyperdivergenteren Wachstumsmuster [72] und einem frontal offenen Biss führen [2, 66, 81, 114]. Die gegen den Uhrzeigersinn rotierte Maxilla vergrößert den Abstand der Kiefer zueinander und erhöht somit das Risiko der Molarenübereruption [81]. Dolichofaziale Menschen sind häufiger Mundatmer, allerdings entwickeln nur wenige mit respirativ offener Mundhaltung eine solche Malokklusion [81]. Bei der Risikobeurteilung eine Apertognathie zu entwickeln, muss eine habituell offene Mundhaltung in Ruhe von einer für das Atmen notwendigen unterschieden werden [81]. Erkennbare Merkmale Letzterer sind die adenoiden Gesichtern mit dunklen Augenringen [73], schmalen Nasenlöchern und schmalen Wangen [73, 97]. Ihre Anpassung der Körperhaltung an das Atemmuster, könnte ein Grund für variierende Muskelkraft sein [73].

### **2.2.4 Neuromuskuläre Schwäche**

In der Literatur wird ein Zusammenhang zwischen Muskulatur und Apertognathie beschrieben [10, 61, 76, 81, 92, 93]. Es wird erläutert, dass starke Muskeln während des Wachstums wichtig für die Annäherung der Kieferbasen zueinander sind. Schwache Gesichtsmuskeln führen zu divergierenden Okklusionsebenen mit Supraeruption der posterioren Segmente [92, 113]. Beides soll heutzutage häufiger bei Jugendlichen auftreten, da viel industriell gefertigte und dadurch weichere Nahrung gegessen wird [81, 120]. Im Kontrast dazu stützen andere Studien die These, dass die schwache Muskulatur Folge und nicht Ursache des offenen Bisses ist [76, 81]. Diese Menschen haben bereits vor einer kritischen Unterfunktion ein vertikales Wachstumsmuster [81]. Sie zeigen häufig maxilläre Zahnbogenengungen [76] und es fehlt ihnen die anteriore dentale Führung beim Kauen. Das Fehlen dieser Information führt zu engeren und kürzeren Kaubewegungen und -mustern. Dies bedingt die niedrige Muskelaktivierung, die gehäuft bei Apertognathen gefunden wird [76]. Diese These wird gestützt durch Studien, die zeigen, dass sich der Tonus der Muskulatur von Patienten mit offenem und tiefem Biss nach chirurgischen Eingriffen angleicht [32].

### **2.2.5 Trauma**

Ein dentoalveoläres oder skeletofaziales Trauma [113] kann die Okklusion negativ beeinflussen [81, 116]. Beispielsweise kann ein Schlag gegen den Unterkiefer kann die Kondylen in ihrem Wachstum hemmen, sie ankylosieren [113] oder frakturbedingt verkürzen. Im Oberkiefer kann unter anderem eine Le Fort I Fraktur zu deflektiven okklusalen Kontakten führen [116]. Eine anteriore Bissöffnung kann erfolgen, wenn eines dieser Traumata zu einer Rotation der Mandibula im Uhrzeigersinn führt. Zähne der zweiten Dentition können durch trau-

matische Kräfte ankylosieren oder in ihrem Durchbruch gehemmt sein. Diese Belastungen können auch indirekt durch die Vorgänger übertragen werden. Dadurch bedingte fehlende physiologische Zahnkontakte sollten differentialdiagnostisch beachtet werden.

### **2.2.6 Rheumatoide Erkrankung**

Kontinuierliches Remodeling hält die Kiefergelenksfunktion im Gleichgewicht [4] mit der okklusalen Relation [21, 109]. Die biomechanischen Eigenschaften des Discus articularis bestimmen das Maß der auftretenden Kräfte, welche zwischen dem Schädel und dem Kondylus abgefedert werden können [60]. Im Fall, dass zu große Kräfte auftreten oder die Adaptionfähigkeit durch Alter, Abnutzung oder Entzündung vermindert ist, kann es zur Reduzierung der Kondylushöhe kommen. Diese und andere pathologische Formänderungen des Gelenks [63, 91] können zu einer aufrotierten Mandibula führen. Rheumatoide Erkrankungen im Temporomandibulargelenk [101] sind selten [10]. Sie können jedoch durch Degeneration zu einem erworbenen offenen Biss führen [21, 63, 91, 113, 116]. Entzündliche oder nicht-entzündliche Ursachen können primär oder sekundär zueinander auftreten. Als entzündliche Ursachen werden die (juvenile) rheumatoide Arthritis [21, 101, 113], ankylosierte Spondylitis [101] und seltene Bindegewebserkrankungen [21] genannt. Viele Studien zeigen, dass Kompression zu kontinuierlicher knöcherner kondylärer Resorption führt [4]. Okklusale Fehlstellungen werden auch als Grund für Kiefergelenksprobleme genannt, wobei nicht jeder mit einer Malokklusion ein Gelenkproblem hat [18]. In einem vorgeschädigtem Gelenk mit reduzierter Adaptionfähigkeit kann dies jedoch der ausschlaggebende Faktor sein, da eine gesicherte Okklusion die Kompression im Gelenk vermindern kann. Die Meinungen bezüglich der Korrelation zwischen okklusalen Interferenzen und Kiefergelenkproblemen gehen auseinander, trotzdem wird meist ein Zusammenhang zu Apertognathen gefunden [29, 64, 73, 88, 116].

### **2.2.7 Haltung**

Eine zum Ideal veränderte Zungenposition, Kopf- oder Unterkieferhaltung kann zur Apertognathie führen [73, 81, 83]. Evolutionsbedingt hat der moderne Mensch nicht nur eine aufrechtere Kopf- und Körperhaltung, sondern auch kleinere viscerocraniale Abmessungen [92, 93] als seine Vorfahren. Die Reduzierung der Kiefergröße [81] hat zu retrognathen Profilen mit vertikalen Wachstumstendenzen geführt. Insbesondere der nach unten gerichtete Zuwachs der maxillären Okklusalebene führt zu einer Öffnung des Bisses anterior [92, 93], wenn der Unterkiefer nicht konstant adaptiert [92].

## **2.3 Platzmangel**

Die entwicklungsgeschichtlich bestimmten kleineren Kiefer kombiniert mit gleich bleibender Zahnanzahl führen bei den meisten Menschen zu einem Missverhältnis zwischen der Menge an Knochen und Zahnschmelz. Es ist nicht geklärt, ob dies durch Veränderungen in Kau-, Abstill- oder anderen demographische Verhaltensweisen zustande kommt. Es ist jedoch sicher, dass der Platz für den Durchbruch aller Zähne fehlt [25]. Die dadurch entstehenden Engstände [81] sind die häufigsten Malokklusionen [81, 95]. Obwohl Platzdiskrepanz im gesamten Kiefer auftritt, ist in der Literatur häufig nur vom anterioren Platzmangel die Rede [36, 69, 74]. Vermutlich liegt dies an der durch die schmalen Zähne leichteren Erkennbarkeit. Die Zähne verdrängen sich innerhalb des Alveolarfortsatzes und können gestaffelt stehen. Posterior sind die Zähne zu breit, um sich orovestibulär voneinander zu schieben. Die Dimension des Knochenangebotes erlaubt meist nur Supraeruption und Kippung der Zähne.

### **2.3.1 Anterior**

Frontzahnengstand ist der häufigste Grund für kieferorthopädische Behandlungen. Er verstärkt sich am meisten während der Pubertät, aber auch stetig danach [40]. Dies könnte der Grund dafür sein, dass Frontzahnstabilität nur bei Langzeitretention als erreichbar angesehen wird [36]. Ein erblicher Einfluss wurde dabei nachgewiesen. Eine Studie verglich die Bewohner zweier Dörfer miteinander, die bedingt durch ihre geographische Nähe auf die gleiche Nahrung angewiesen waren, aber nicht völlig gleiche Gene hatten [74]. Platzmangel und Kieferdivergenz treten zusammen auf. Dies könnte sein, da Letztere die Inzisiveneruption steigert [40] oder da ein derartiger Platzmangel zur Abweichung der Kieferbasen voneinander führt. Die Mutmaßung, dass diese Engstände in der Front entstehen, wurde bereits häufig be- und widerlegt [42, 105]. Es wurde dabei jedoch der Einfluss auf die näher liegenden zweiten und ersten Molaren vernachlässigt.

### **2.3.2 Posterior**

In der limitierten Molarenregion fehlt den meisten Menschen der Platz für alle drei Molaren, wodurch ein posteriorer Platzmangel entsteht. Dieser bezeichnet den Größenunterschied zwischen Kiefer und Zähnen im Bereich hinter dem ersten Molar [93]. Engstände verschlimmern sich im Laufe des Lebens [40, 95], was zu der Annahme führt, dass die zuletzt durchbrechenden Zähne dafür mitverantwortlich sind. Metabolische Aktivitäten im Periodontium kreieren wahrscheinlich die eruptiven Kräfte der Zähne. Das Potential, das Gleichgewicht zu stören, ist immer vorhanden. Dies lässt sich zum Beispiel an Zähnen erkennen, die nach Antagonistenverlust trotz jahrelang stabiler Position weiter extrudieren [81]. Die zuletzt durchbrechenden Molaren, sind nur einer der vielen kontinuierlichen Prozesse, die während des Wachstums durchlaufen werden [92]. Die Entwicklung der dritten Molaren ist üblicherweise nicht mit der Pubertät zu Ende und ihr weiterer Durchbruch fällt mit post-pubertären

Wachstumsschüben zusammen. Sie bedingen die vierte physiologische Bisshebung. Die ersten drei Bisshebungen werden durch den Durchbruch der Molaren der ersten Dentition, der ersten Molaren der zweiten Dentition beziehungsweise durch die zweiten Molaren [71] hervorgerufen. Es wird jedoch aus der physiologischen eine pathologische Bisshebung, wenn kein Platz für deren Durchbruch vorhanden ist. Die Sapietes sind durch die Platzdiscrepanz zwischen Kiefer und Zähnen meist impaktiert [95] und ihre einzige mögliche Wachstumsrichtung ist mesial. Dies erzeugt zusätzlichen Druck auf die bereits ausreichend durchgebrochenen Molaren, die als Folge davon nach mesial kippen [95] und supraeruptieren [5, 55, 95, 100]. Okklusale Veränderungen treten auf [55]. Die Okklusionsebene wird steiler [115] oder flacher [100, 110, 115]. Dieser Anstieg der vertikalen Dimension kann dazu führen, dass die Molaren zu Hypomochlions werden und die Mandibula funktionell verlagern [55, 92]. Ihre vertikale Position wird entscheidend durch die Stellung der Molaren definiert [120]. Die Kondylenbelastung steigt, wodurch das mandibuläre Wachstum reguliert wird. Begleitend dazu kann eine rotatorische Modulation des Unterkiefers durch die Gesichtsmuskeln stattfinden [92, 93]. Bei Überschreiten der Adaptionfähigkeit führen die divergierenden Okklusionsebenen des Ober- und Unterkiefers zu einer apertognathen Situation [55, 83, 92, 93]. Dies würde fast Jeden zu dieser Malokklusion prädisponieren [81].

## **2.4 Kephalometrie**

### **2.4.1 Grundlagen**

Die Kephalometrie mit Hilfe eines Fernröntgenseitenbildes ist ein seit 1931 übliches diagnostisches Verfahren in der Kieferorthopädie [16, 43]. Dabei hat sich die Aufnahme mit Blickrichtung nach rechts etabliert. Diese Art der Kopfmessung ermöglicht die sagittale und vertikale Beurteilung der knöchernen und weichgewebigen Schädelstrukturen und der Halswirbelsäule. Die transversale Dimension ist nur indirekt als Fehlerquelle erkennbar. Aufgrund der divergenten Strahlung werden die weiter vom Film entfernten Strukturen größer abgebildet als die nahen. Ein geringer Abstand der Person zum Film und ein großer zum Fokus reduzieren die daraus resultierenden Doppelkonturen, erhöhen die Bildschärfe und optimieren die größenrichtige Darstellung. Durch Filter und Blende kann der Kontrast für unterschiedliche Gewebe angepasst werden. Die stabile Ausrichtung des Patienten gewährleistet durch Stirnstütze (Kephalostat) und Ohroliven weitgehend reproduzierbare, symmetrische Aufnahmen [22, 28]. Für Auswertungen und anschließende Vergleiche müssen wiederholbare Punkte, Strecken und Winkel definiert sein.

## 2.4.2 Vergleichbare Untersuchungen

### 2.4.2.a Winkel

Die Zahnneigung apertognather Patienten wurde auch in anderen Studien mit eugnathen Kontrollgruppen verglichen. Besonders häufig wurden dabei Inzisiven untersucht.

- Die Neigung der maxillären und mandibulären Molaren zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen apertognathen Klasse I und II Probanden und der Kontrollgruppe [20].
- Die Inklination der ersten und zweiten maxillären Molaren vergrößert sich durch Durchbruch der dritten Molaren [33].
- Maxilläre Inzisiven waren bei apertognathen Klasse III Probanden  $6,72^\circ$  protrudierter [5].
- Maxilläre und mandibuläre Inzisiven von apertognathen Klasse I und/oder II Probanden zeigten statistisch keine signifikanten Unterschiede [5, 37, 46].
- Mandibuläre Inzisiven waren bei Apertognathen ohne Einteilung nach Klassen  $8,1^\circ$  [58] und bei Klasse III Probanden  $10,07^\circ$  retrudierter [5].

### 2.4.2.b Strecken

In einigen Studien wurde zwischen Apertognathen und ihren Kontrollgruppen das Maß für die Höhe eines Zahnes, die Kombination aus Kronen- und Alveolarfortsatzhöhe, verglichen.

- Der Vergleich zwischen apertognathen Klasse I und II respektive nur Klasse I Probanden und der Kontrollgruppe zeigte keine Unterschiede in der maxillären Höhe des ersten Molaren [37, 46].
- Die maxillären Molaren zeigten ein größeres Alveolarfortsatzwachstum, um 3,4 mm bei aus allen Klassen bestehenden Apertognathen [58], um 4,62 mm bei Klasse II und um 4,04 mm bei Klasse III [5] im Vergleich zur Kontrollgruppe.
- Die Werte der mandibulären ersten Molaren zeigten höhere Werte, jedoch nicht statistisch signifikant im Vergleich der Klasse III zu den Eugnathen [5].
- Bei apertognathen Klasse I Probanden wurden um 2,19 mm [46] respektive bei Klasse I und II Probanden 2,9 mm [37] geringere Höhen bei den mandibulären Molaren gemessen als bei den Kontrollgruppen.
- Bei gemischt Apertognathen waren die mandibulären Molaren 1,8 mm [58] und bei Klasse II 4,48 mm [5] höher.
- Eugnathe mit vertikalem Wachstum und Apertognathe zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede beim Molarenwachstum in beiden Kiefern [58].
- Die Werte der maxillären Inzisiven zeigten keine statistischen Unterschiede im Vergleich der Klasse III zur Kontrollgruppe [6].

- Die apertognathe Klasse II Gruppe zeigte ein um 2,73 mm stärkeres Alveolarfortsatzwachstum bei den maxillären Inzisiven [6] im Vergleich zu den Eugnathen.
- Bei Apertognathen ohne Einteilung nach Klassen wurde ein um 3,1 mm [58] größeres respektive bei Klasse I und II ein um 1,43 - 3,07 mm [20] geringeres Wachstum bei den maxillären Inzisiven festgestellt.
- Der Vergleich einer dolichofazialen Kontrollgruppe zur apertognathen Gruppe zeigte nahezu identische Werte der maxillären Inzisiven [97].
- Der Vergleich zwischen Klasse I und II respektive nur Klasse I Probanden und Eugnathen zeigte keine Unterschiede in der Höhe der maxillären [37, 46] und der mandibulären Inzisiven [46].
- Bei Klasse I und II zeigte sich ein 2,22 - 3,38 mm geringeres Wachstum der Unterkieferschneidezähne im Vergleich zur Kontrollgruppe [20, 37].
- Andere Studien fanden bei Probanden mit offenem Biss ein 2 mm größeres respektive 2,3 mm geringeres Wachstum der mandibulären Inzisiven [58].
- Studien, die eugnathe Gruppen zusätzlich nach vertikalem Wachstum trennten, fanden 1,16 - 5,3 mm größeres Inzisivalveolarfortsatzwachstum bei den Dolichofazialen [20, 45, 58].
- Apertognathe Probanden zeigten ein geringeres anteriores Alveolarfortsatzwachstum als eugnathe Probanden mit vertikalem Wachstumsmuster [58].

### **2.4.2.c Platzdiskrepanz**

Aufgrund des Mangels an vergleichbaren Studien werden im folgenden Abschnitt Aussagen aus der Literatur gezeigt, die sich im Ansatz mit der Thematik beschäftigt haben.

- Extraktion von dritten Molaren führt zu einer Reduktion des offenen Bisses [94].
- Aplasien der dritten Molaren treten häufiger bei reduzierter sagittaler maxillärer Dimension auf [48].
- In der Maxilla wird Platz für den Durchbruch der Molaren durch Apposition am Alveolarfortsatz gewonnen, in der Mandibula durch Resorption am Ramus mandibularis [50, 86].
- Im Unterkiefer besteht ein Molarenengstand [85–87].
- Sechs Monate nach Entfernung der mandibulären dritten Molaren zeigt sich tendenziell eine Distalbewegung der zweiten Molaren [106].

## 2.5 Nullhypothesen

Aufbauend auf den in der Literatur beschriebenen möglichen Ätiologien werden folgende Hypothesen postuliert:

- Bei den apertognathen Patienten besteht eine größere Diskrepanz zwischen Zahn- und Knochenmenge als bei der eugnathen Kontrollgruppe.
- Bei den Patienten mit einer disto-basalen Kieferrelation ist die Diskrepanz im Unterkiefer ausgeprägter als im Oberkiefer.
- Bei den Probanden mit einer mesio-basalen Relation besteht eine stärker ausgeprägte Diskrepanz im Oberkiefer als im Unterkiefer.
- Die Probanden der Untersuchungsgruppe weisen eine vergrößerte Zahn- und Alveolarfortsatzhöhe der Inzisiven auf.
- Bei den Apertognathen liegt eine bialveoläre Proklination der Schneidezähne im Vergleich zur Kontrollgruppe vor.

### 3 Probanden und Methode

Es wurden Fernröntgenseitenbilder aus dem Archiv des Universitätsklinikum des Saarlandes mit OnyxCeph<sup>3TM</sup>® (Image Instruments®, Chemnitz, Deutschland) ausgewertet. Alle Unterlagen wurden im Rahmen der kieferorthopädischen oder -chirurgischen Diagnostik angefertigt. Beurteilt wurde die Vollständigkeit der Dentition mit Hilfe von Orthopanthomogrammen und intraoralen Fotos. Analoge Röntgenbilder wurden mit einer Auflösung von 300 dpi mit Hilfe eines Epson® Expression 1680 (Epson, Deutschland; Software: Silver Fast Ai®; Laser Soft Imaging AG, Kiel, Deutschland) digitalisiert. Die Text-, Daten- und Bildverarbeitung der hier vorliegende Arbeit erfolgte mit Microsoft® Office® (Microsoft Corp., Version 14.4.6, Redmond, WA, USA) auf einem MacBook Pro® (Apple Inc., OS X 10.9.5, Cupertino, USA). Die statistische Auswertung und die Erstellung der Boxplots erfolgte mit SPSS® (IBM Corp., IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0., Armonk, NY, USA).

#### 3.1 Voruntersuchung

Die Röntgenbilder wurden ausgewertet, um eine Analyse zu erstellen und ihre Relevanz zu testen. Hierfür wurden 45 apertognathe mit 30 eugnathen Probanden verglichen. Die Kriterien entsprechen größtenteils denen unter Kapitel 3.2. Es wurden jedoch auch Einzelkiefer ausgewertet, wenn diese 16 Zähne der zweiten Dentition aufwiesen. Die Untersuchungsgruppe teilte sich, abhängig vom ANB-Wert, in 15 Angle-Klasse I, 12 -Klasse II und 18 -Klasse III Probanden auf. Für die Voruntersuchung wurde weder Alter noch Geschlecht berücksichtigt. Die Röntgenbilder wurden auf Papier ausgedruckt und mit der in Kapitel 3.3 beschriebenen Methode analysiert. Es wurden nur Werte für die posteriore Platzdiskrepanz der Maxilla (PdMx), der Mandibula (PdMn), die Höhe der ersten Molaren der Maxilla (6Mx) und der Mandibula (6Mn) erhoben. Es wurde Normalverteilung angenommen und abhängig von dem Ergebnis des F-Tests mit Hilfe des T-Tests, beziehungsweise des Welch-Tests, die Höhe der Signifikanz überprüft. Die Ergebnisse ließen eine erweiterte Studie sinnvoll erscheinen. Es wurde außerdem eine Fallzahlbestimmung mit G\*Power 3.1 durchgeführt. Sie basierte auf den Mittelwerten, Standardabweichungen und Probandenanzahlen der Voruntersuchung. Bei dem geplanten Testvorgehen mit ANOVA in der Hauptuntersuchung konnte so die minimal benötigte Patientenzahl bestimmt werden. Dabei betrug das Signifikanzniveau 5% und die Teststärke 95%. Da die Patienten der Voruntersuchung auch in der weiteren Studie beinhaltet wurden, sind nur die Ergebnisse der Fallzahlbestimmung aufgeführt.

#### 3.2 Probanden

Die Auswahl der Fernröntgenseitenbilder erfolgte unabhängig von der ethnischen Herkunft und vom Geschlecht, aber nach folgenden Ein- und Ausschlusskriterien:

- Vollständige zweite Dentition vorhanden

- Durchbruch aller Zähne oder bis auf die Sapientes erfolgt
- Keine Syndrome vorhanden
- Keine Entwicklungsstörungen (beispielsweise Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten)
- Kein Frontzahntrauma in der Vorgeschichte bekannt
- Keine großen kariösen Läsionen
- Keine prothetischen Restaurationen der zu vermessenden Zähne

Es gab eine Gruppe mit apertognathen Patienten und eine Kontrollgruppe. Alle Fernröntgenseitenbilder wurden anonymisiert ausgewertet, konnten aber anhand einer Kontrollnummer nach durchgeführter Analyse zugeordnet werden. Dies ermöglichte eine spätere Altersbestimmung. Bis auf das Kriterium des erfolgten Zahndurchbruchs gab es keine weiteren Altersbeschränkungen. Für die Auswertung wurden Männer und Frauen innerhalb ihrer Klasse in getrennte Gruppen eingeteilt und auf Unterschiede überprüft. Sie sollten nur als Gesamtheit mit den Untersuchungsgruppen verglichen werden, wenn keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten. Die Klasse wurde anhand der Kieferposition gemäß des ANB-Winkels festgelegt.

Es wurde das digitale Archiv der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikum des Saarlandes gesichtet. Dieses weist Daten ab 2003 auf. Die Diagnose wurde anhand von Fotos und Fernröntgenseitenbildern bestätigt oder verworfen.

### **3.2.1 Untersuchungsgruppe**

Haupteinschlusskriterium für die Patienten der Untersuchungsgruppe war ein fehlender vertikaler Überbiss. Aufgrund der in der Literatur stark variierenden Definitionen der Apertognathie, wurden nur solche Patienten berücksichtigt, bei denen auf dem Fernröntgenseitenbild eine negative vertikale Frontzahnstufe im Lot zur Frankfurter Horizontalen vorhanden war.

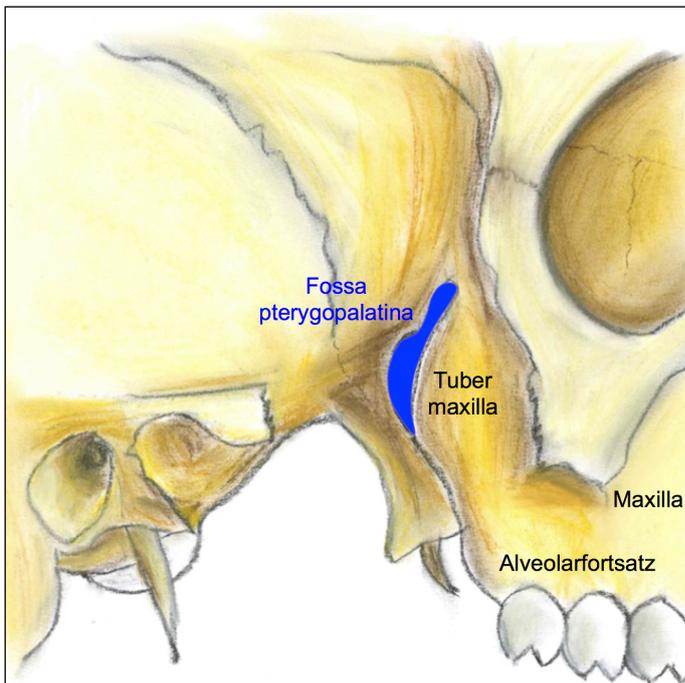
Zur Zusammenstellung ausreichend großer Gruppen, wurde auch das analoge Archiv der Kieferorthopädie durchsucht. Apertognathien werden meistens auch chirurgisch behandelt, daher wurden zusätzlich die Akten der Klinik für Mund-Gesichts-Kieferchirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes anhand folgender Stichworte überprüft: „offen“, „Apertognathie“, „Long Face“, „geringer Überbiss“, „Nonokklusion“, „Abbiss gestört“, „Zwanghafter Lippenschluss“, „Inkompetenter Lippenschluss“, „Overbite: -x“, „negative vertikale Frontzahnstufe“. Patienten mit gegenteiligen Vermerken wurden aussortiert.

### **3.2.2 Kontrollgruppe**

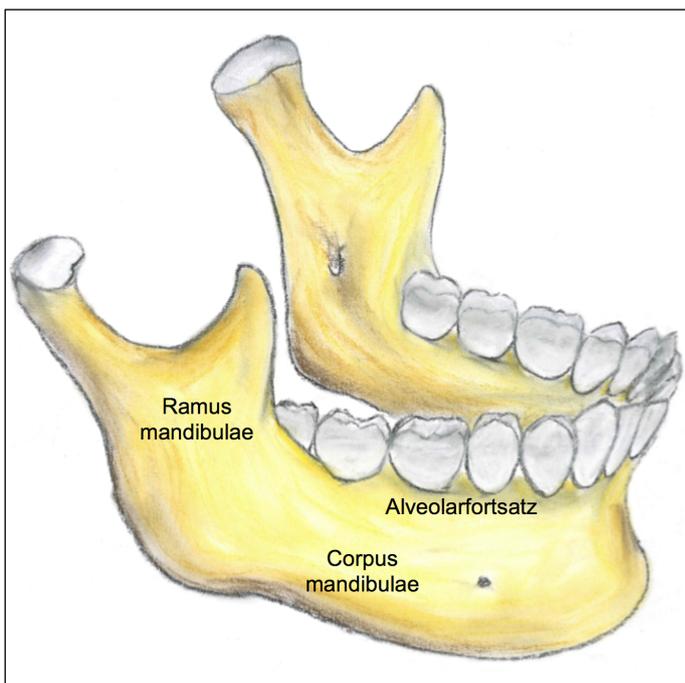
Die Kontrollgruppe beinhaltete ausschließlich Patienten aus dem kieferorthopädischen Archiv, die eine neutrale Okklusion und Kieferposition aufwiesen. Die Beurteilung der Okklusion wurde anhand von Modellen oder intraoralen Fotos getroffen. Die Kieferposition entsprach einem ANB-Winkel von 0 - 4° im Fernröntgenseitenbild. Weiterhin musste eine positive vertikale Frontzahnstufe gemäß oben genannter Definition bestehen.

### 3.3 Kephalometrische Auswertung

Eine neue kephalometrische Auswertung wurde erstellt. Als Bezugspunkte und -linien wurden, so weit möglich, bereits bekannte verwendet. Zur Verdeutlichung der anatomischen maxillären Grenzen siehe **Abb. 1**. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der röntgenologisch gut zu erkennenden Fossa pterygopalatina. Die strukturellen Gegebenheiten des Unterkiefers sind in **Abb. 2** zu sehen.



**Abb. 1** Begrenzung der Maxilla durch Fossa pterygopalatina



**Abb. 2** Begrenzung des Alveolarfortsatzes vom Corpus mandibulae durch den Ramus mandibulae

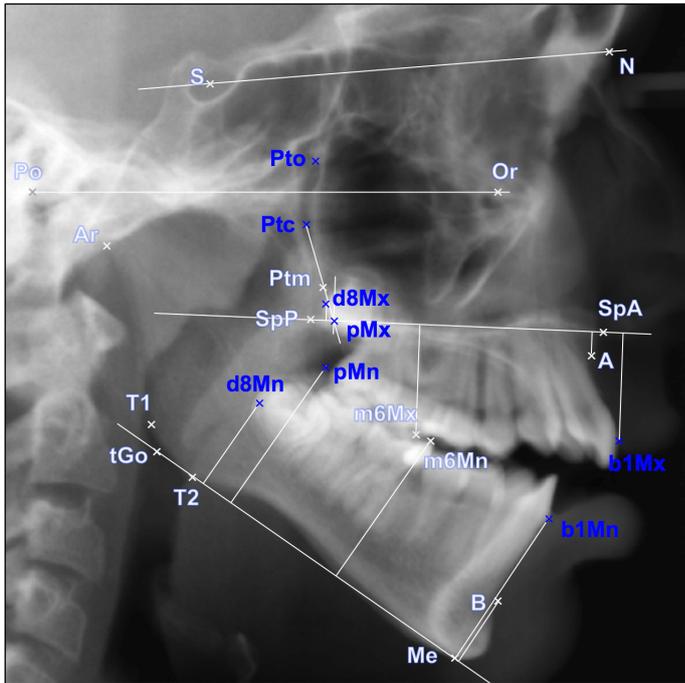
Nach der analogen Voruntersuchung wurde eine digitale Analyse programmiert und angewandt. Um diese präzisere Auswertung zu ermöglichen, wurden digitale Röntgenbilder verwendet, beziehungsweise alle analogen Röntgenbilder digitalisiert. Die Bilder wurden anhand des Kephalometers skaliert. Bei fehlender Skala wurde die Pixelanzahl vergleichbarer Bilder als Maßstab [mm/Pixel] verwendet. Bei den archivierten Röntgenbildern war nicht mehr festzustellen, mit welchem Röntgengerät sie angefertigt wurden. Alle Fernröntgenseitenbilder wurden anhand der Frankfurter Horizontalen ausgerichtet und anschließend von einem Untersucher in einem abgedunkelten Raum ausgewertet. Der Untersucher wertete alle Bilder in einem Abstand von vier Monaten zweimal aus. Bei der zweiten Auswertung wird wiederholungsbedingt von einer höheren Genauigkeit ausgegangen [70], daher wurden diese Ergebnisse hier dargestellt.

### 3.3.1 Messpunkte

Auf den Fernröntgenseitenbildern wurden anatomische Strukturen und konstruierte Punkte in der Median-Sagittal-Ebene markiert. Alle Punkte die aufgrund von Doppelstrukturen nicht eindeutig waren, wurden gemittelt. Die Auflistung aller Punkte sind in **Tab. 18** im Anhang zu finden. Näher erläutert werden in **Tab. 1** nur die Punkte, die für diese Analyse eingeführt wurden. Zur besseren Nachvollziehbarkeit siehe auch **Abb. 3**.

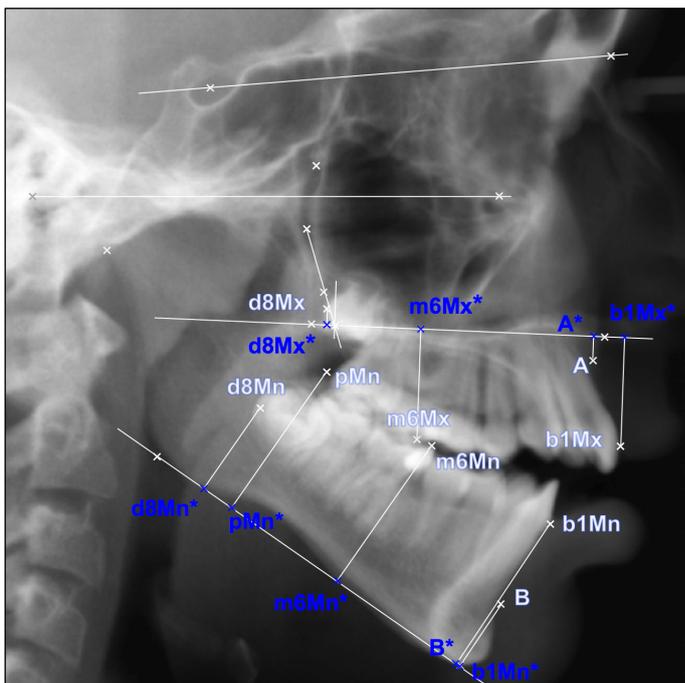
**Tab. 1** Neu eingeführte kephalometrische Punkte  
(\* für weitere Erläuterungen siehe Abschnitt 3.3.2 Bezugslinien)

Kürzel	Bezeichnung	Definition	Hilfestellung
<b>Dentale Punkte</b>			
<b>b1Mx</b>	Bukkal maxillärer 1er	Bukkalster Punkt der Krone des mittleren maxillären Inzisivus	Entlang einer Orthogonalen zur Oberkieferbasis
<b>d8Mx</b>	Distal maxillärer M3	Distalster Punkt des dritten maxillären Molaren	
<b>b1Mn</b>	Bukkal mandibulärer 1er	Bukkalster Punkt der Krone des mittleren mandibulären Inzisivus	Entlang einer Orthogonalen zur Unterkieferbasis
<b>d8Mn</b>	Distal mandibulärer M3	Distalster Punkt des dritten mandibulären Molaren	
<b>Knöcherne Punkte</b>			
<b>Pto</b>	Fossa pterygopalatina, oben	Kranialster Punkt der Fossa pterygopalatina	/
<b>Ptc</b>	Fossa pterygopalatina, Zentrum	Zentraler Punkt der Fossa pterygopalatina	Mittelpunkt zwischen anteriorer und posteriorer Wand auf horizontaler Hilfslinie*
<b>pMx</b>	Posteriore maxilläre Begrenzung	Posteriore maxilläre Begrenzung des Alveolarfortsatzes	Schnittpunkt der Pterygoid-Linie* und Oberkieferbasis
<b>pMn</b>	Posteriore mandibuläre Begrenzung	Posteriore mandibuläre Begrenzung des Alveolarfortsatzes	Schnittpunkt der Ramus-Linie* mit Ramus ascendens



**Abb. 3** Fernröntgenseitenbild mit neu eingeführten kephalometrischen Punkten (blau)

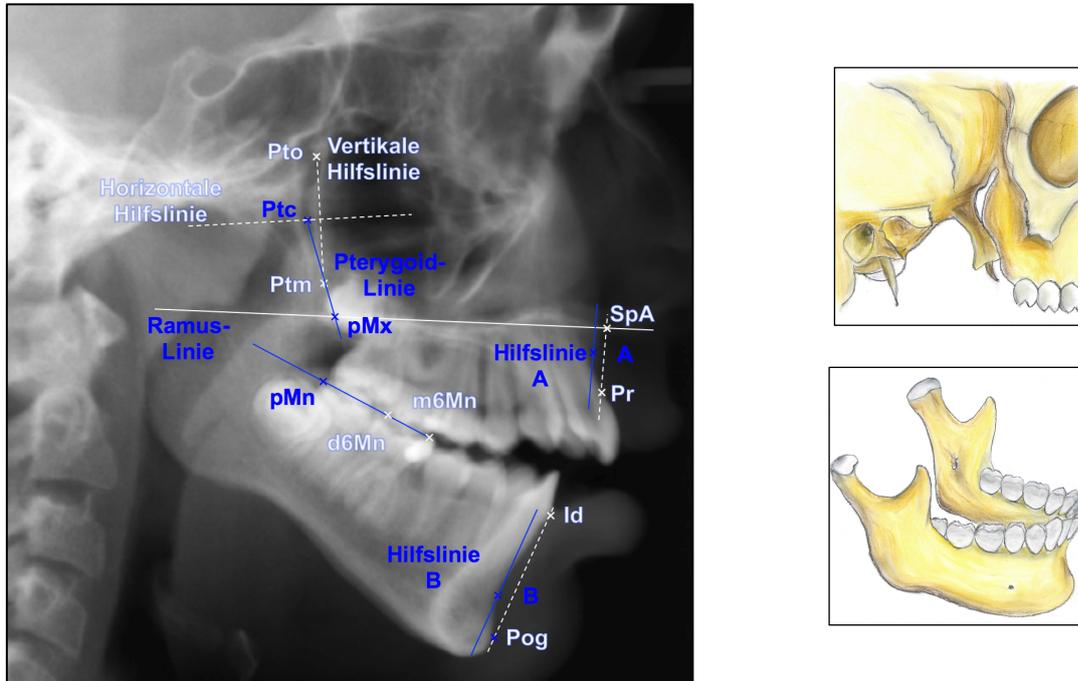
Alle Punkte, die mit einem Stern gekennzeichnet sind, beschreiben gespiegelte Punkte. X\* bezeichnet den Schnittpunkt der Orthogonalen von X zur Oberkieferbasis bei maxillären Punkten, respektive zur Unterkieferbasis bei mandibulären Punkten. Dies betrifft A\*, B\*, b1Mx\*, b1Mn\*, m6Mx\*, m6Mn\*, d8Mx\*, d8Mn\* und pMn\* (**Abb. 4**). Die gespiegelten Punkte werden von der Software für die Berechnung der Strecken der Diskrepanz platziert. Sie werden im Programm nicht angezeigt und nur zum besseren Verständnis der Analyse erläutert.



**Abb. 4** Fernröntgenseitenbild mit gespiegelten Punkten (blau)

### 3.3.2 Bezugslinien

Die bekannten Bezugslinien sind in **Tab. 19** im Anhang zu finden. In **Tab. 2** sind die für diese Analyse neu eingeführten Linien aufgelistet (**Abb. 5**). Diese Hilfslinien werden vom Computer temporär eingezeichnet um das Auffinden der Punkte zu erleichtern.



**Abb. 5** Ferrnröntgenseitenbild mit Hilfslinien von OnyxCeph<sup>3TM</sup> zum Setzen der Punkte pMn, Pto, A und B mit den anatomischen Bildern des Ober- und Unterkiefers zum Vergleich

**Tab. 2** Neu eingeführte Hilfslinien zum Setzen der Punkte Ptc, pMx und pMn

Kürzel	Bezeichnung	Definition
vPtL	Vertikale Hilfslinie	Gerade durch die Punkte Ptm und Pto zum Setzen des Punktes Ptc
hPtL	Horizontale Hilfslinie	Streckenhalbierende Orthogonale zur vertikalen Hilfslinie zum Setzen des Punktes Ptc
PtL	Pterygoid-Linie	Gerade durch die Punkte Ptc und Ptm zum Setzen des Punktes pMx
RmL	Ramus-Linie	Gerade durch die Punkte m6Mn und d6Mn zum Setzen des Punktes pMn

### 3.3.3 Berechnung der Frontzahnstufen

Die Bestimmung der vertikalen und sagittalen Frontzahnstufe erfolgte gemäß der in **Tab. 3** zu findenden Definitionen. Für eine Veranschaulichung siehe auch **Abb. 6**. Diese beiden Messungen wurden in einem gesonderten Abschnitt präsentiert. Die Ergebnisse wurden nicht weiter aufgeführt, auch wenn es sich um Streckenmessungen handelte, da sie ausschließlich als Teil der Ein- und Ausschlusskriterien der Probanden erhoben wurden.

**Tab. 3** Berechnung der Frontzahnstufen

Kürzel	Bezeichnung	Definition	Hilfestellung
OB	Overbite	Vertikaler Inzisivenabstand	Vertikaler Abstand zwischen den Inzisalkanten entlang einer Orthogonalen zur Frankfurter Horizontalen
OJ	Overjet	Horizontaler Inzisivenabstand	Horizontaler Abstand zwischen den Inzisalkanten entlang einer Parallelen zur Frankfurter Horizontalen

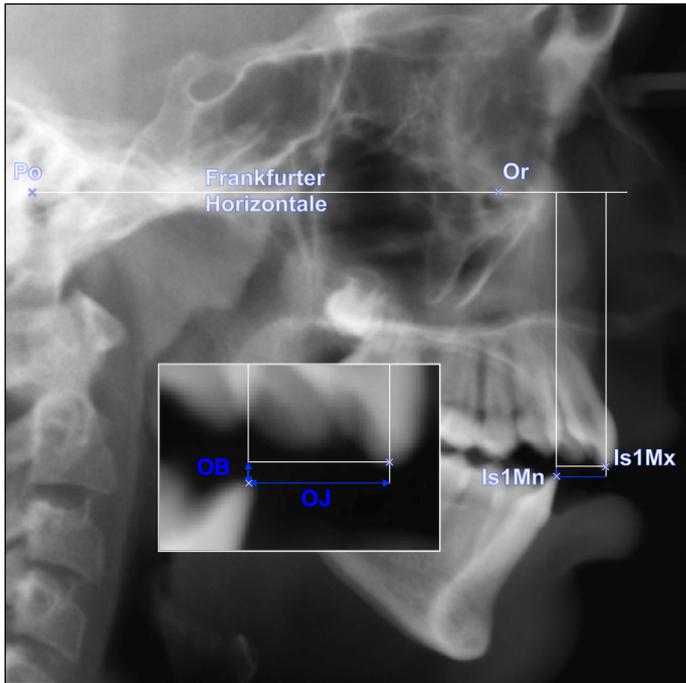


Abb. 6 Fernröntgenseitenbild mit Darstellung zur Berechnung der Frontzahnstufen

### 3.3.4 Winkel

Neben dem ANB-Winkel zur Bestimmung der Angle-Klasse wurden die Neigungen der Zähne berechnet (Tab. 4). Es wurde immer der posteriore Winkel verwendet.

Tab. 4 Berechnung der Zahnneigungen

Kürzel	Bezeichnung	Definition
$\alpha_6$	Neigung des maxillären M1	Posteriorer Winkel zwischen Oberkieferbasis und 6Mx <sup>^</sup>
$\beta_6$	Neigung des mandibulären M1	Posteriorer Winkel zwischen Unterkieferbasis und 6Mn <sup>^</sup>
$\alpha_1$	Neigung des maxillären 1er	Posteriorer Winkel zwischen Oberkieferbasis und 1Mx <sup>^</sup>
$\beta_1$	Neigung des mandibulären 1er	Posteriorer Winkel zwischen Unterkieferbasis und 1Mn <sup>^</sup>

### 3.3.5 Strecken

Die in dieser Studie ausgewerteten Strecken zur dentoalveolären Zahnhöhe sind in Tab. 5 zu finden. In Tab. 6 sind die neu eingeführten Strecken zur Platzdiskrepanz aufgelistet, die zur Berechnung benötigt und auf der jeweiligen Kieferbasis gemessen werden (siehe Abb. 7).

Tab. 5 Berechnung der Zahnhöhen

Kürzel	Bezeichnung	Definition
6Mx	Vertikale Höhe des maxillären M1	Orthogonale Strecke von m6Mx zur Oberkieferbasis
6Mn	Vertikale Höhe des mandibulären M1	Orthogonale Strecke von m6Mn zur Unterkieferbasis
1Mx	Vertikale Höhe des maxillären 1er	Orthogonale Strecke von Is1Mx zur Oberkieferbasis
1Mn	Vertikale Höhe des mandibulären 1er	Orthogonale Strecke von Is1Mn zur Unterkieferbasis

Tab. 6 Strecken für weitere Berechnungen

Kürzel	Bezeichnung	Definition
<b>DMx</b>	Dentes, posterior in der Maxilla	Strecke zwischen d8Mx* und m6Mx*
<b>OMx</b>	Os, posterior in der Maxilla	Strecke zwischen pMx und m6Mx*
<b>DMn</b>	Dentes, posterior in der Mandibula	Strecke zwischen d8Mn* und m6Mn*
<b>OMn</b>	Os, posterior in der Mandibula	Strecke zwischen pMn* und m6Mn*
<b>DMxT</b>	Dentes, total in der Maxilla	Strecke zwischen d8Mx* und b1Mx*
<b>OMxT</b>	Os, total in der Maxilla	Strecke zwischen pMx und A*
<b>DMnT</b>	Dentes, total in der Mandibula	Strecke zwischen d8Mn* und b1Mn*
<b>OMnT</b>	Os, total in der Mandibula	Strecke zwischen pMn* und B*

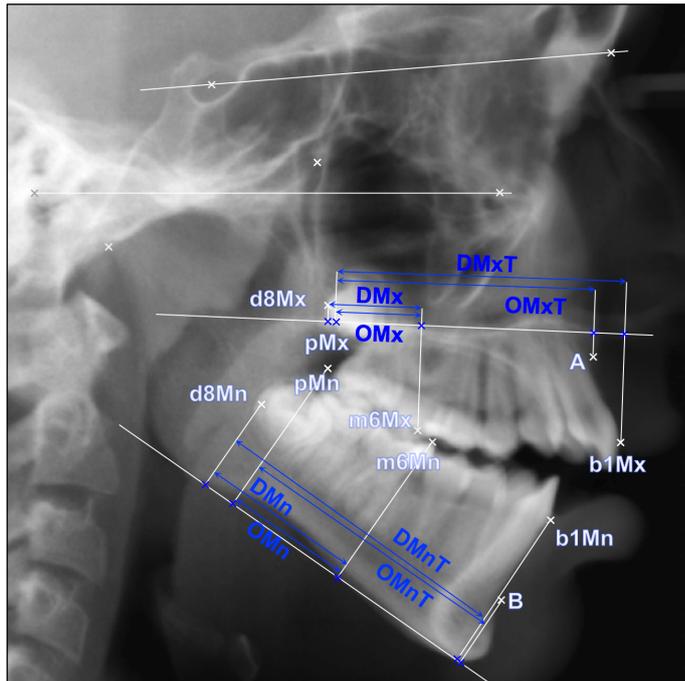


Abb. 7 Fernröntgenseitenbild mit Darstellung zur Berechnung der Strecken der Platzdiskrepanzen

### 3.3.6 Platzdiskrepanz

Für die Bestimmung der sagittalen Platzdiskrepanz (x) wird folgende Gleichung verwendet:

$$x = \frac{D}{O}$$

(x = Platzdiskrepanz, D = Dentes, O = Os)

Verglichen werden die Substanzmengen von Zahn und Knochen, die korrespondierend zueinander im gleichen Kieferabschnitt zu finden sind (Tab. 7). Ohne vergleichbare Richtwerte wird von folgender Annahme ausgegangen:

- x = 1: Zahn- und Knochenmenge sind gleich groß
- x > 1: Platzmangel, mehr Zahn- als Knochenmenge
- x < 1: Platzüberschuss, mehr Knochen- als Zahnmenge

Tab. 7 Berechnungen der Diskrepanzen

Kürzel	Bezeichnung	Definition
<b>PdMx</b>	Posteriore Platzdiskrepanz in der Maxilla	DMx / OMx
<b>PdMn</b>	Posteriore Platzdiskrepanz in der Mandibula	DMn / OMn
<b>TdMx</b>	Totale Platzdiskrepanz in der Maxilla	DMxT / OMxT
<b>TdMn</b>	Totale Platzdiskrepanz in der Mandibula	DMnT / OMnT

### 3.4 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden zunächst alle Daten aus OnyxCeph<sup>3TM®</sup> in eine Excel<sup>®</sup>-Tabelle überführt. Die unabhängige Stichprobe wurde, außer nach ihrer Einstufung in eugnath und apertognath, entsprechend des Geschlechts und der Angle-Klasse aufgeteilt. Nach der Datenüberführung in SPSS<sup>®</sup> wurde die Verteilungsform untersucht. Dafür wurden die Ergebnisse zunächst graphisch mit Hilfe von Histogrammen, Wahrscheinlichkeitsnetzen (QQ-Plots) und Boxplots überprüft [35, 117]. Ausreißer wurden auf Mess- und Dokumentationsfehler überprüft und nach Validierung der Werte belassen. Im Anschluss an den Vergleich der Kennzahlen wurde auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Nachdem die Normalverteilung graphisch und per Test bestätigt wurde, wurde die Varianzhomogenität mit Hilfe des Levene-Tests kontrolliert. Das weitere Testvorgehen war abhängig von der Gruppenanzahl und des Ergebnisses der vorhergehenden Testebene (Abb. 8). Für Tests mit zwei Gruppen wurde bei Normalverteilung (Shapiro-Wilk  $p \geq 0,05$ ) und Varianzhomogenität (Levene  $p \geq 0,05$ ) der T-Test zum Vergleich der Mittelwerte verwendet. Bei einer Ungleichheit der Varianzen (Levene  $p < 0,05$ ) kam der Welch-Test zur Anwendung. Im Falle fehlender Normalverteilung (Shapiro-Wilk  $p < 0,05$ ) wurde die Varianzhomogenität nicht überprüft und der nicht-parametrische Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Der Kruskal-Wallis-Test wurde bei mehr als zwei Gruppen und fehlender Normalverteilung angewandt.

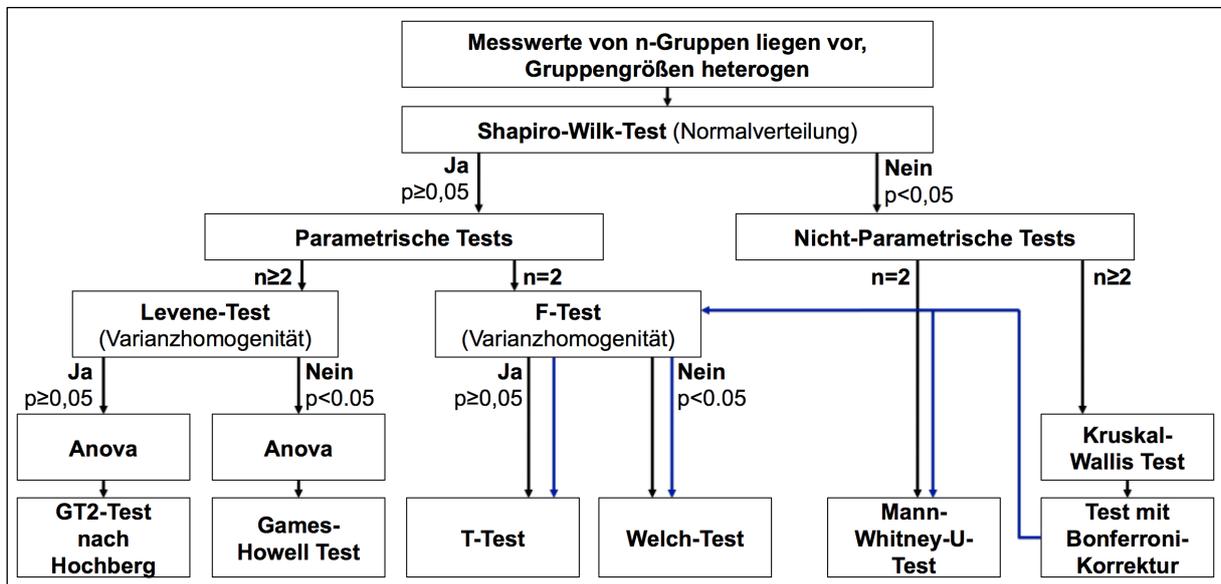


Abb. 8 Testvorgehen

Bei Ergebnissen  $p < 0,05$  wurden die Subgruppen nach der für zwei Gruppen beschriebenen Methode getestet, jedoch mit der zusätzlichen Anpassung des Signifikanzniveaus mit der vereinfachten Bonferroni-Korrektur:

$$p < \frac{\alpha}{k}$$

( $p$  = p-Wert,  $\alpha$  = Signifikanzniveau,  $k$  = Anzahl der Tests)

Für eine bessere Übersicht wurden in den Ergebnistabellen die p-Werte und nicht die Signifikanzniveaus angepasst. Die Formel wurde dementsprechend umgestellt:

$$p * k < \alpha$$

Für Mehrfachvergleiche bei vorliegender Normalverteilung und Varianzhomogenität wurde bei ANOVA mit  $p \geq 0,05$  der GT2-Test nach Hochberg durchgeführt. Im Falle der Varianzungleichheit und einem ANOVA-Welch-Test mit  $p \geq 0,05$  wurde der Games-Howell-Test angewandt.

Die Ergebnisse des GT2-Tests nach Hochberg, des Games-Howell-, T-, Mann-Whitney-U- und Welch-Tests wurden nach den in Tab. 8 genannten Signifikanzniveaus interpretiert.

Tab. 8 Kennzeichnung der Signifikanzniveaus

Signifikanzniveau $\alpha$	Interpretation	Kennzeichnung
p-Wert $\geq 0,05$	Nicht signifikant	
p-Wert $< 0,05$	Signifikant	*
p-Wert $< 0,01$	Hochsignifikant	**
p-Wert $< 0,001$	Höchstsignifikant	***

### 3.5 Methodenfehler

In dieser Analyse kommen neue Punkte hinzu, weshalb noch keine Werte über die Wiederfindbarkeit und Wiederholbarkeit vorliegen. Punkte, die nicht eindeutig zuzuordnen sind, verringern die mögliche Repetition der Studie. Um diese sicherzustellen, wurden die Röntgenbilder zweimal vom selben Untersucher durchgezeichnet. Es lag ein Zeitraum von mindestens vier Monaten zwischen den unterschiedlichen Zeitpunkten. Die Interrater-Reliabilität wurde zusätzlich überprüft, indem 40% der Röntgenbilder von einem anderen Untersucher durchgezeichnet wurden. Dieser war erfahren im Durchzeichnen von Röntgenbildern und platzierte die Punkte nach einer Einführungsphase selbstständig. Die Röntgenbilder wurden innerhalb der Einstufung nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Das Ausmaß der Übereinstimmungen der 58 Fernröntgenseitenbilder wurde mit Hilfe der Dahlberg Formel [26] bestimmt.

$$D = \sqrt{\sum_i^N \frac{d_i^2}{2N}}$$

( $d_i$  = Differenz zwischen den i-ten Messungen,  $N$  = Stichprobenumfang mit Messwiederholungen)

Aufgrund der unterschiedlichen Einheiten und Größen der Winkel, Strecken und Platzdiskrepanzen war eine Vergleichbarkeit erschwert. Daher wurde zusätzlich der Intraklassen-Korrelationskoeffizient zu den drei Messungen erhoben.

## 4 Ergebnisse

Fallzahlbestimmung, Zusammensetzung der Patientengruppen, kephalometrische und statistische Auswertungen werden im Folgenden tabellarisch und graphisch dargestellt. Die Ergebnisse sind unterteilt nach Zahnhöhe (kephalometrische Strecken), -neigung (kephalometrische Winkel) und Platzdiskrepanz. Es werden die Daten der Eugnathen, aller Apertognathen gemeinsam und aufgeteilt nach ihrer Klasse dargestellt.

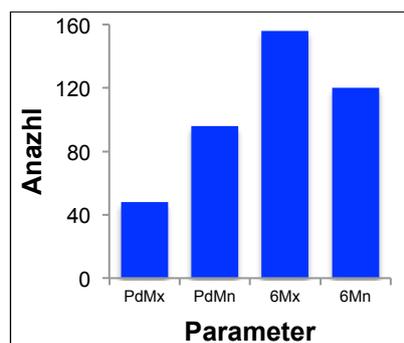
Bei den 48 Tests auf Gleichheit innerhalb einer Klasse zwischen Männern und Frauen wurden nur bei 4 statistisch signifikante Unterschiede nachgewiesen. Geschlechtsunterschiede wurden daher nur für einen Überblick über die Gruppenzusammensetzung im Kapitel 4.2 mit aufgeführt. Es gelten die in **Tab. 9** genannten Abkürzungen.

**Tab. 9** Abkürzungen der Einstufung, Klasse und Geschlecht

	Kürzel	Definition
Einstufung	A	Apertognathe - komplette Untersuchungsgruppe
	E	Eugnathe - Kontrollgruppe
Klasse	I	Apertognathe der Angle-Klasse I - Teil der Untersuchungsgruppe
	II	Apertognathe der Angle-Klasse II - Teil der Untersuchungsgruppe
	III	Apertognathe der Angle-Klasse III - Teil der Untersuchungsgruppe
Geschlecht	m	Männlich
	w	Weiblich

### 4.1 Voruntersuchung

Für jeden der vier Parameter der Voruntersuchung wurde eine Fallzahlbestimmung durchgeführt. Die errechneten Werte lagen zwischen 48 und 156 (**Abb. 9**). Es sollte daher versucht werden ein Minimum von 156 Patienten in dieser Studie zu untersuchen.



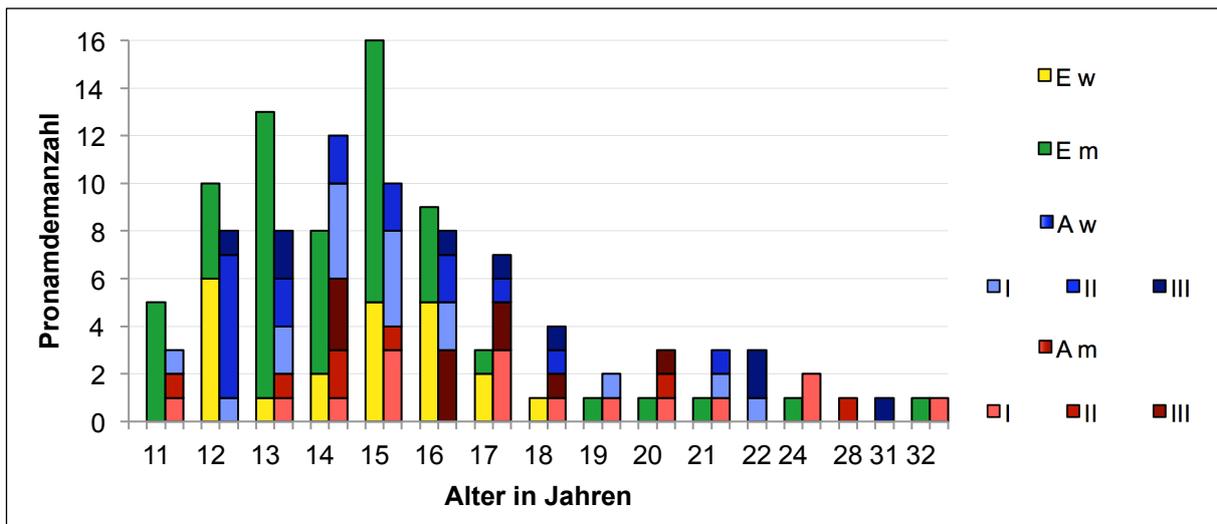
**Abb. 9** Fallzahlbestimmung

PdMx: Posteriore maxilläre Platzdiskrepanz, PdMn: Posteriore mandibuläre Platzdiskrepanz, 6Mx: Zahnhöhe erster maxillärer Molar, 6Mn: Zahnhöhe erster mandibulärer Molar

## 4.2 Probanden

Nach der Durchsicht der Orthopantomogramme und intraoralen Fotos wurden 226 Fernröntgenseitenbilder durchgezeichnet. Diese Zahl lag oberhalb der Fallzahlbestimmung, da davon ausgegangen wurde, dass über das Kriterium Overbite beziehungsweise ANB-Winkel noch Patienten ausscheiden würden. Des Weiteren sollte über eine hohe Fallzahl sichergestellt werden, dass genug Probanden für jede Klasse zur Verfügung standen.

Der Altersdurchschnitt der 146 verbliebenen Probanden lag bei genau 16 Jahren. Innerhalb der Untersuchungsgruppe wurden die 76 Patienten entsprechend ihrer Angle-Klasse eingeteilt. Das durchschnittliche Alter lag bei **16,75 Jahren**. Die 33 apertognathen Klasse I Probanden waren im Durchschnitt 17,17 Jahre alt, die 25 Klasse II Probanden 16,17 Jahre und die 18 Klasse III Probanden 16,83 Jahre. Der Altersdurchschnitt der 33 Männer lag bei 17,75 Jahren, der 43 Frauen bei 16,0 Jahren. Für eine genaue Aufteilung siehe auch **Abb. 10**. In **Tab. 10** sind die relativen und absoluten Häufigkeiten dargestellt. In der Kontrollgruppe lag das durchschnittliche Alter der 70 Probanden bei **15,08 Jahren**. Bei den 22 Männern und 48 Frauen lag es mit 15,0 Jahren respektive 15,17 Jahren dicht beieinander.



**Abb. 10** Altersaufteilung der Probanden  
A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen, m=männlich, w=weiblich

**Tab. 10** Verteilung der Probanden  
A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen, m=männlich, w=weiblich

		E		I		II		III		Gesamt	
Häufigkeit		absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ
E	m	22	15,1%	16	11,0%	7	4,8%	10	6,8%	55	37,7%
	w	48	32,9%	17	11,6%	18	12,3%	8	5,5%	91	62,3%
	<b>Gesamt</b>	<b>70</b>	<b>48,0%</b>	<b>33</b>	<b>22,6%</b>	<b>25</b>	<b>17,1%</b>	<b>18</b>	<b>12,3%</b>	<b>146</b>	<b>100,0%</b>
A	m	33	22,6%								
	w	43	29,4%								
	<b>Gesamt</b>	<b>76</b>	<b>52,0%</b>								
<b>Gesamt</b>		<b>146</b>	<b>100,0%</b>								

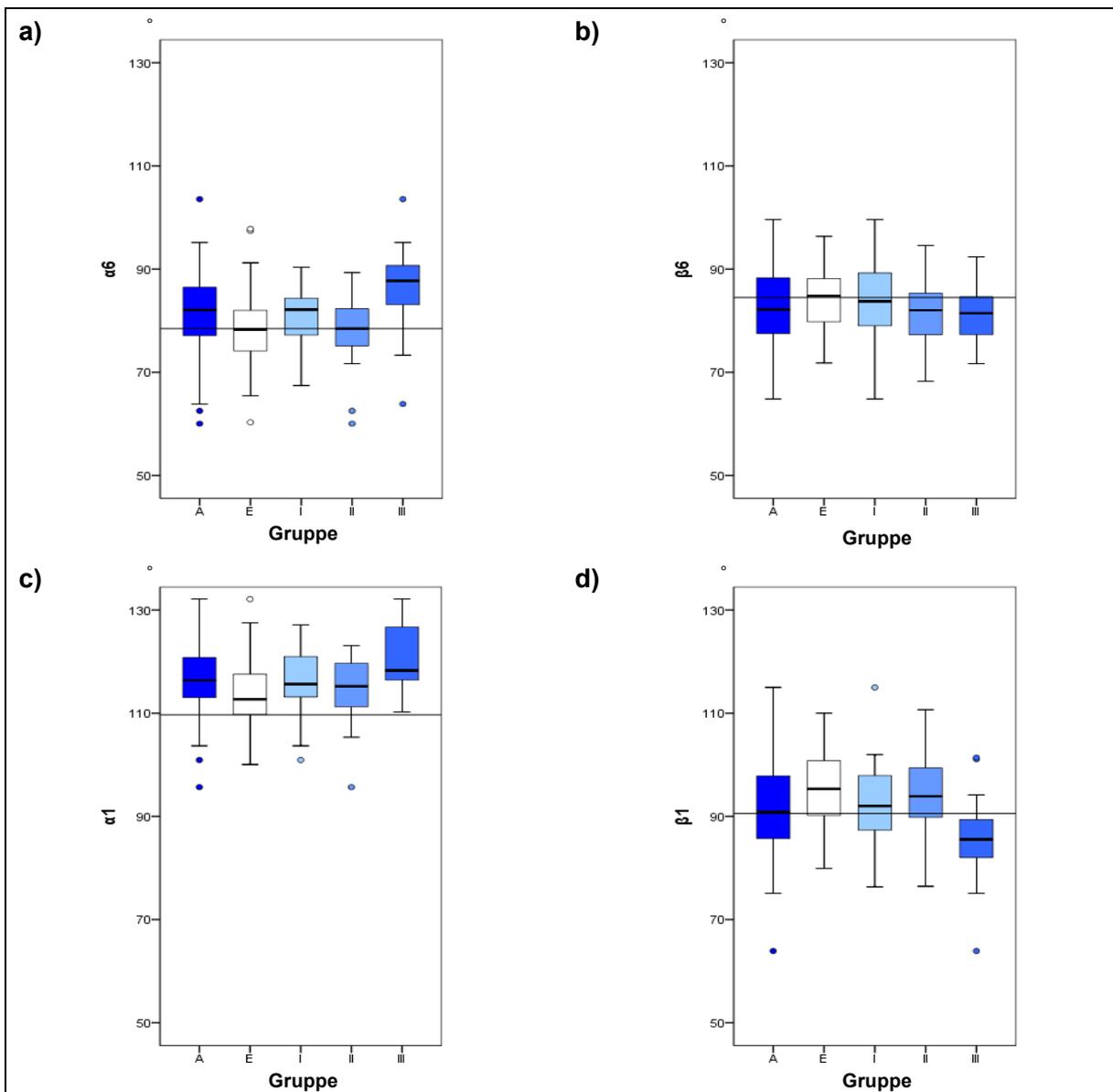
### **4.3 Kephalometrische Auswertung**

Die Annahme der Normalverteilung wurde graphisch und statistisch überprüft. Diese konnte mit Ausnahme von zwei Fällen bestätigt werden. Die Mediane und Mittelwerte zeigten keine großen Abweichungen voneinander. Diese sind zusammen mit den Standardabweichungen, Minima und Maxima neben den Tabellen im Anhang (Tab. 20 - Tab. 22) in Boxplots (Abb. 11 - Abb. 13) dargestellt. Ausreißer sind als Kreise gekennzeichnet, Extremwerte als Sternchen. Da die Untersuchungsgruppe sich aus den Gruppen I bis III zusammensetzte, sind die Randwerte, die in einer Klasse gefunden wurden, analog dazu auch bei den Apertognathen zu finden.

Der in der Literatur angegebene Referenzwert wurde als Querlinie für den jeweiligen Parameter in den Boxplot eingefügt. Geschlechterspezifische Werte wurden anteilig gemittelt. Bei den neu eingeführten Variablen wurde der durchschnittliche Wert der Eugnathen als Referenzwert verwendet. Die überprüften QQ-Plots und Histogramme sind nicht aufgeführt.

### 4.3.1 Winkel

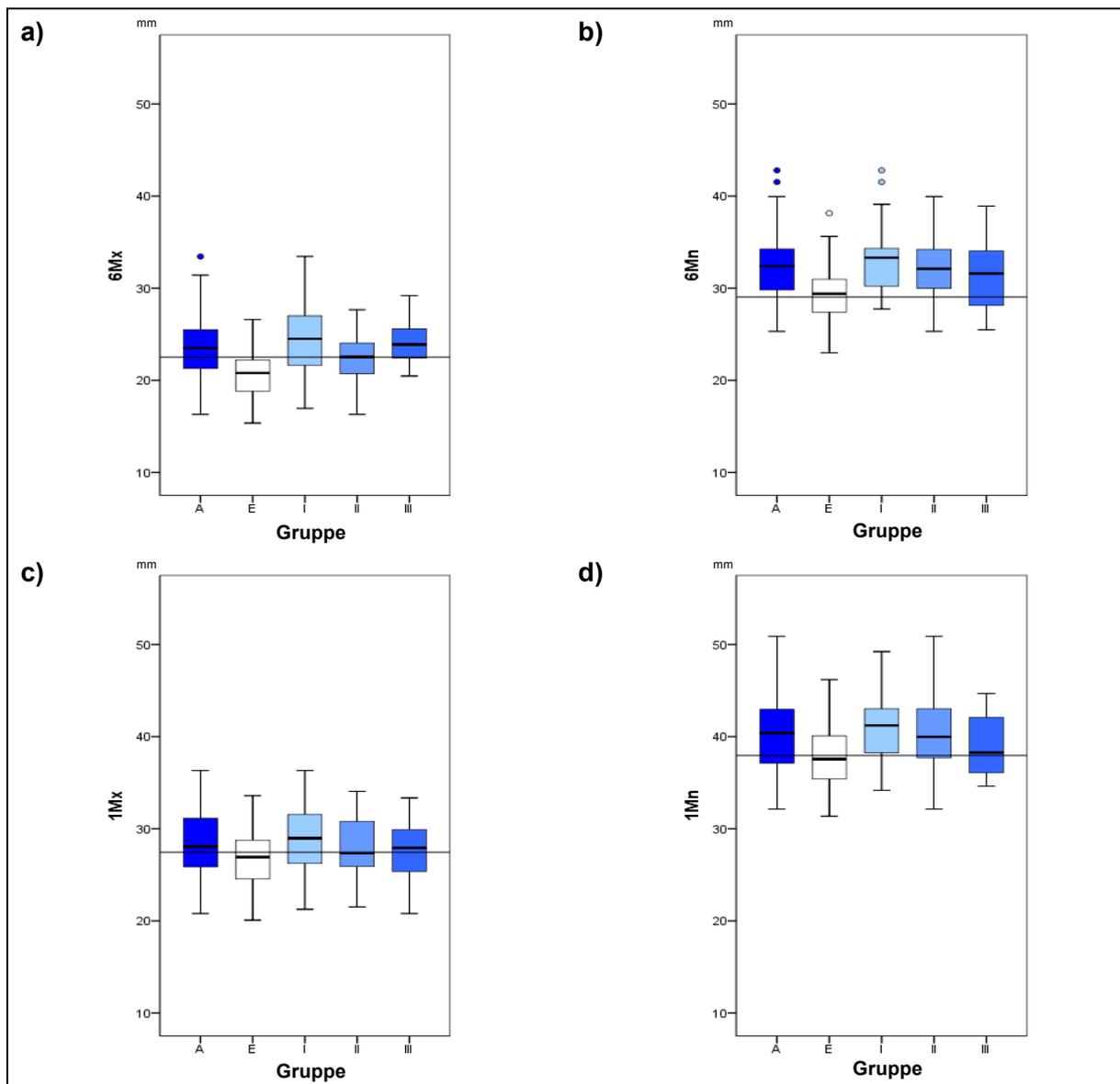
Bis auf die maxilläre Inzisiveninklination ( $\alpha_1$ ) der Klasse II lagen Normalverteilungen vor. Die breiteste Streuung der Werte zeigte sich bei der Inzisivenneigung im Unterkiefer ( $\beta_1$ ), die geringste im Oberkiefer ( $\alpha_1$ ). Die Klasse III unterschied sich deutlich von den anderen Gruppen und verhielt sich bei allen Parametern entgegengesetzt zu den Eugnathen. Bei den mandibulären Molaren ( $\beta_6$ ) und Inzisiven ( $\beta_1$ ) zeigte sie die geringsten Winkel, die Kontrollgruppe hingegen die größten. Im Oberkiefer ( $\alpha_6$  und  $\alpha_1$ ) war es umgekehrt. Bei  $\alpha_6$  lagen fast identische Werte für Eugnathe und Klasse II vor. Die Klasse II hatte weiterhin, bis auf die mandibulären Inzisiven ( $\beta_1$ ), stärker geneigte Zähne als die Klasse I. Die Referenzwerte der Inzisiven lagen unterhalb der Kontrollgruppe, zu den Molaren standen keine externen Werte zur Verfügung (Abb. 11).



**Abb. 11** Boxplots der Zahnneigungen in °  
**a)  $\alpha_6$**  = Neigung erster maxillärer Molar  
**b)  $\beta_6$**  = Neigung erster mandibulärer Molar  
**c)  $\alpha_1$**  = Neigung maxillärer mittlerer Schneidezahn  
**d)  $\beta_1$**  = Neigung mandibulärer mittlerer Schneidezahn  
A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen

### 4.3.2 Strecken

Bei den kephalometrischen Messungen der Zahnhöhen lagen alle Parameter normalverteilt vor. Ihre Streuung war vergleichbar und es lagen nur wenige Ausreißer vor. Diese waren ausschließlich bei den Messungen der Molaren zu finden (6Mx und 6Mn). Die Werte der Eugnathen waren weitgehend vergleichbar mit den Referenzwerten. Einzig die maxilläre Molarenhöhe (6Mx) lag unterhalb. Die Klasse I zeigte in jeder der vier Messungen die höchsten Werte. Die Mittelwerte und Mediane der Kontrollgruppe lagen alle unterhalb denen der untersuchten Gruppen (**Abb. 12**).



**Abb. 12** Boxplots der Zahnhöhen in mm

**a) 6Mx** = Zahnhöhe erster maxillärer Molar

**b) 6Mn** = Zahnhöhe erster mandibulärer Molar

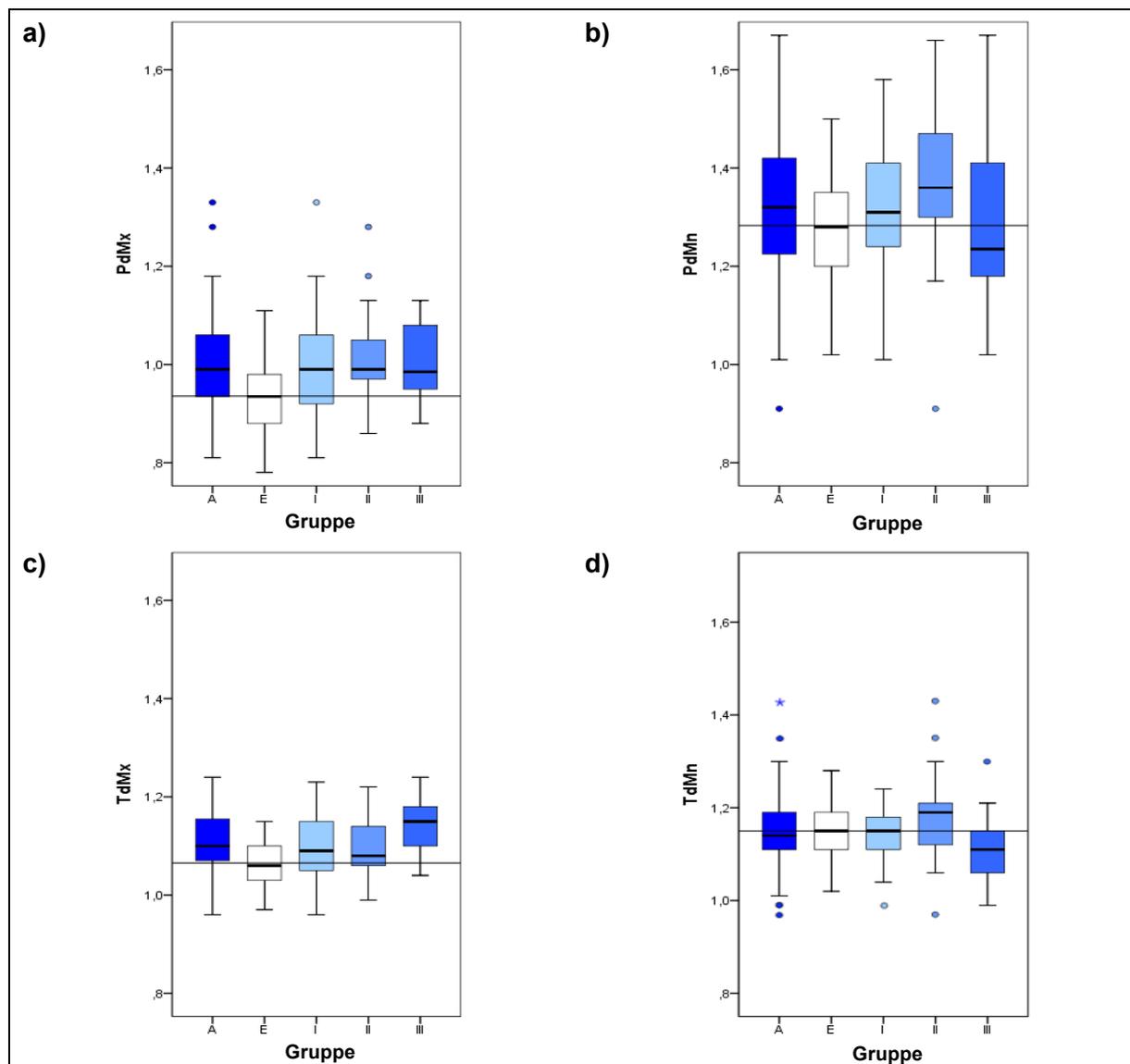
**c) 1Mx** = Zahnhöhe maxillärer mittlerer Schneidezahn

**d) 1Mn** = Zahnhöhe mandibulärer mittlerer Schneidezahn

A = Apertognathe, E = Eugnathe, I/II/III = I/II/III Klasse der Apertognathen

### 4.3.3 Platzdiskrepanz

Die mandibuläre totale Diskrepanz (TdMn) der Apertognathen war nicht normalverteilt und beinhaltete den einzigen Extremwert dieser Studie. Dieser Wert war jedoch innerhalb seiner Klasse II nur ein Ausreißer. Im Unterkiefer (PdMn und TdMn) waren die geringsten Werte bei der Klasse III zu finden, die größten bei der Klasse II. Im Oberkiefer (PdMx und TdMx) lagen alle Mittelwerte und Mediane der Untersuchungsgruppen oberhalb der Kontrollgruppe. Innerhalb der Untersuchungsgruppen ergaben sich bei der posterioren maxillären Diskrepanz (PdMx) nahezu identische Werte. Bei der totalen maxillären Diskrepanz (TdMn) zeigten die Klasse III Probanden die stärkste Ausprägung. Die breiteste Streuung wiesen die Werte der posterioren Diskrepanz im Unterkiefer (PdMn) auf (**Abb. 13**).



**Abb. 13** Boxplots der Platzdiskrepanzen (in mm/mm)

**a) PdMx** = Maxilläre posteriore Diskrepanz

**c) TdMx** = Maxilläre totale Diskrepanz

A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen

**b) PdMn** = Mandibuläre posteriore Diskrepanz

**d) TdMn** = Mandibuläre totale Diskrepanz

## 4.4 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung werden im folgenden Abschnitt in Form von p-Werten und Signifikanzniveaus aufgelistet.

### 4.4.1 Winkel

Die Schneidezahninklationen ( $\alpha_1$  und  $\beta_1$ ) zeigten statistisch hochsignifikante Unterschiede zwischen den Eugnathen und den Apertognathen. Die maxilläre Molarenneigung ( $\alpha_6$ ) wies ebenfalls Signifikanzen auf. Diese statistischen Differenzen zeigten sich fast durchgängig bei Vergleichen der Klasse III zu den anderen untersuchten Gruppen (Tab. 11).

**Tab. 11** p-Werte und Signifikanzniveaus der Zahnneigungen

$\alpha_6$  = Neigung erster maxillärer Molar;  $\beta_6$  = Neigung erster mandibulärer Molar;  $\alpha_1$  = Neigung maxillärer mittlerer Schneidezahn;  $\beta_1$  = Neigung mandibulärer mittlerer Schneidezahn

A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen

<sup>b)</sup> Bonferroni-Korrektur durchgeführt

p-Werte		$\alpha_6$	$\beta_6$	$\alpha_1$ <sup>b)</sup>	$\beta_1$
E	A	0,0156 *	0,0852	0,0026 **	0,0024 **
E	A I	0,5244	0,9985	0,2946	0,2565
E	A II	1,0000	0,4088	1,0000	0,9958
E	A III	0,0000 ***	0,3496	0,0002 ***	0,0000 ***
A I	A II	0,6753	0,8052	1,0000	0,8360
A I	A III	0,0149 *	0,7025	0,0653	0,0202 *
A II	A III	0,0004 ***	0,9999	0,0118 *	0,0013 **

### 4.4.2 Strecken

Alle Zahnhöhen zeigten statistisch hoch- oder höchstsignifikante Unterschiede zwischen der gesamten Untersuchungs- und der Kontrollgruppe (Tab. 12). Die Klasse I zeigte ebenfalls ausgeprägte Abweichungen zur Kontrollgruppe bei allen Strecken und die Klasse II bei den maxillären (6Mx) und mandibulären Molaren (6Mn). Höchstsignifikant war des Weiteren der Unterschied zwischen Eugnathen und Klasse III bei der Oberkiefermolarenhöhe (6Mx).

**Tab. 12** p-Werte und Signifikanzniveaus der Zahnhöhen

**6Mx** = Zahnhöhe erster maxillärer Molar; **6Mn** = Zahnhöhe erster mandibulärer Molar; **1Mx** = Zahnhöhe maxillärer mittlerer Schneidezahn; **1Mn** = Zahnhöhe mandibulärer mittlerer Schneidezahn

A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen

p-Werte		6Mx	6Mn	1Mx	1Mn
E	A	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0031 **	0,0000 ***
E	A I	0,0000 ***	0,0000 ***	0,0295 *	0,0003 ***
E	A II	0,0874	0,0047 **	0,3653	0,0437 *
E	A III	0,0001 ***	0,2768	0,5879	0,5466
A I	A II	0,0470 *	0,7712	0,7647	0,8996
A I	A III	0,9999	0,3506	0,7458	0,1793
A II	A III	0,2295	0,8295	0,9993	0,6306

#### 4.4.3 Platzdiskrepanz

Im Oberkiefer waren höchstsignifikante Ergebnisse bei beiden Diskrepanzen (PdMx und TdMx) zwischen Eugnathen und Apertognathen zu finden. Bei der posterioren (PdMx) zeigten sich die Unterschiede zur Kontrollgruppe zusätzlich zur Klasse I und II und bei der totalen Diskrepanz (TdMx) zur Klasse I und III. Beide Parameter des Unterkiefers zeigten nur bei jeweils einem Vergleich statistische Signifikanzen. Bei der posterioren mandibulären Diskrepanz (PdMn) war dies zwischen Kontroll- und Untergruppe Klasse II, bei der totalen (TdMn) zwischen Klasse II und III (Tab. 13).

**Tab. 13** p-Werte und Signifikanzniveaus der Platzdiskrepanzen

**PdMx** = Maxilläre posteriore Diskrepanz; **PdMn** = Mandibuläre posteriore Diskrepanz; **TdMx** = Maxilläre totale Diskrepanz; **TdMn** = Mandibuläre totale Diskrepanz

A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen

p-Werte		PdMx	PdMn	TdMx	TdMn
E	A	0,0000 ***	0,1131	0,0000 ***	0,5641
E	A I	0,0144 *	0,9369	0,0165 *	0,9843
E	A II	0,0021 **	0,0490 *	0,1606	0,2197
E	A III	0,0628	0,9998	0,0000 ***	0,0628
A I	A II	0,9703	0,4780	0,9972	0,1146
A I	A III	1,0000	0,9256	0,0326 *	0,3377
A II	A III	0,9942	0,1338	0,0145 *	0,0015 **

#### 4.5 Methodenfehler

In der Tab. 14 sind die nach Dahlberg und dem Intraklassen-Korrelationskoeffizienten errechneten Methodenfehler aufgeführt. Es werden die durchschnittlichen Unterschiede zwischen den beiden Messungen des Hauptuntersuchers und beide jeweils im Vergleich zu der des zweiten Untersuchers dargestellt. Die Intrarater-Reliabilität zeigte geringere Abweichungen als beide Interrater-Reliabilitäten. Der Korrelationskoeffizient zeigte mit 0,91 - 0,95 die höchsten Werte bei den Zahnhöhen.

**Tab. 14** Reliabilität nach Dahlberg und Intraklassen-Korrelationskoeffizient

$\alpha_6$  = Neigung erster maxillärer Molar;  $\beta_6$  = Neigung erster mandibulärer Molar;  $\alpha_1$  = Neigung maxillärer mittlerer Schneidezahn;  $\beta_1$  = Neigung mandibulärer mittlerer Schneidezahn; **6Mx** = Zahnhöhe erster maxillärer Molar; **6Mn** = Zahnhöhe erster mandibulärer Molar; **1Mx** = Zahnhöhe maxillärer mittlerer Schneidezahn; **1Mn** = Zahnhöhe mandibulärer mittlerer Schneidezahn; **PdMx** = Maxilläre posteriore Diskrepanz; **PdMn** = Mandibuläre posteriore Diskrepanz; **TdMx** = Maxilläre totale Diskrepanz; **TdMn** = Mandibuläre totale Diskrepanz

A1 = 1. Auswertung des Hauptuntersuchers; A2 = 2. Auswertung des Hauptuntersuchers; B1 = 1. Auswertung des zusätzlichen Untersuchers; ICC= Intraklassen-Korrelationskoeffizient

Parameter	Einheit	Intrarater	Interrater	Interrater	ICC
		A1 vs. A2	B1 vs. A2	B1 vs. A1	A1 vs. A2 vs. B1
$\alpha_6$	°	1,74	2,67	2,78	0,84
$\beta_6$	°	1,13	2,18	2,29	0,88
$\alpha_1$	°	1,72	3,24	2,39	0,86
$\beta_1$	°	1,76	1,93	1,83	0,94
<b>6Mx</b>	mm	0,54	0,7	0,66	0,93
<b>6Mn</b>	mm	0,53	0,74	0,74	0,95
<b>1Mx</b>	mm	0,54	0,93	0,87	0,91
<b>1Mn</b>	mm	0,55	0,74	0,83	0,95
<b>PdMx</b>	(mm/mm)	0,03	0,03	0,03	0,90
<b>PdMn</b>	(mm/mm)	0,02	0,03	0,03	0,93
<b>TdMx</b>	(mm/mm)	0,01	0,02	0,02	0,85
<b>TdMn</b>	(mm/mm)	0,01	0,01	0,01	0,91

## 4.6 Zusammenfassung der Auswertung

In Tab. 15 - Tab. 17 sind die absoluten Mittelwertdifferenzen der statistisch signifikanten Veränderungen ( $p < 0,05$ ) abzulesen. Positive Zahlen bedeuten, dass die Werte der Gruppe in der rechten Spalte höher waren als die in der linken. Negative, dass sie niedriger waren.

### 4.6.1 Winkel

**Tab. 15** Differenzen der signifikanten Zahnneigungen in °

$\alpha 6$  = Neigung erster maxillärer Molar;  $\beta 6$  = Neigung erster mandibulärer Molar;  $\alpha 1$  = Neigung maxillärer mittlerer Schneidezahn;  $\beta 1$  = Neigung mandibulärer mittlerer Schneidezahn

/ = Kein statistisch signifikanter Unterschied

A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen

		$\alpha 6$	$\beta 6$	$\alpha 1$	$\beta 1$
E	A	2,269	/	3,197	-4,033
E	A I	/	/	/	/
E	A II	/	/	/	/
E	A III	6,373	/	7,266	-9,864
A I	A II	/	/	/	/
A I	A III	4,280	/	/	-6,660
A II	A III	6,826	/	6,191	-8,935

### 4.6.2 Strecken

**Tab. 16** Differenzen der signifikanten Zahnhöhen in mm

$6Mx$  = Zahnhöhe erster maxillärer Molar;  $6Mn$  = Zahnhöhe erster mandibulärer Molar;  $1Mx$  = Zahnhöhe maxillärer mittlerer Schneidezahn;  $1Mn$  = Zahnhöhe mandibulärer mittlerer Schneidezahn

/ = Kein statistisch signifikanter Unterschied

A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen

		$6Mx$	$6Mn$	$1Mx$	$1Mn$
E	A	2,766	2,786	1,516	2,491
E	A I	3,525	3,513	2,037	3,249
E	A II	/	2,564	/	2,424
E	A III	3,157	/	/	/
A I	A II	-2,041	/	/	/
A I	A III	/	/	/	/
A II	A III	/	/	/	/

### 4.6.3 Platzdiskrepanz

**Tab. 17** Differenzen der signifikanten Platzdiskrepanzen (in mm/mm)

$PdMx$  = Maxilläre posteriore Diskrepanz;  $PdMn$  = Mandibuläre posteriore Diskrepanz;  $TdMx$  = Maxilläre totale Diskrepanz;  $TdMn$  = Mandibuläre totale Diskrepanz

/ = Kein statistisch signifikanter Unterschied

A=Apertognathe, E=Eugnathe, I/II/III=I/II/III Klasse der Apertognathen

		$PdMx$	$PdMn$	$TdMx$	$TdMn$
E	A	0,064	/	0,043	/
E	A I	0,058	/	0,034	/
E	A II	0,076	0,085	/	/
E	A III	/	/	0,079	/
A I	A II	/	/	/	/
A I	A III	/	/	0,044	/
A II	A III	/	/	0,051	-0,077

## 5 Diskussion

### 5.1 Patienten und Methode

Die Vollständigkeit der Dentition lässt sich, bedingt durch die Überlagerung beider Gesichtshälften, nicht anhand eines Fernröntgenseitenbildes beurteilen. Daher wurden zusätzlich Orthopantomogramme benötigt, wie auch in der Studie von Kajii *et al.* zu Aplasien der Sapientes [48]. Da der vollständige Durchbruch der zweiten Molaren auf den Orthopantomogrammen nicht eindeutig beurteilt werden kann, wurden zusätzlich intraorale Fotos beurteilt. Gipsmodelle wie in einer Studie zum Langzeiteffekt der kieferorthopädischen Behandlung bei Apertognathen [51], wurden nicht begutachtet. Diese hätten keine für die Studie notwendigen Zusatzinformationen geliefert.

In dieser Studie wurde das Fernröntgenseitenbild evaluiert, auch wenn andere Röntgenbilder ebenfalls die Zähne und knöchernen Strukturen zeigen. Das Orthopantomogramm scheint im ersten Moment geeigneter für Messungen. Es weist keine Doppelstrukturen auf und die rechte und linke Seite können getrennt voneinander beurteilt werden. Allerdings führen geringe Fehler der Kopf- und Körperhaltung zu extremen Verzerrungen, die sich nicht nachträglich korrigieren lassen. Weiter ist das Orthopantomogramm nicht die Aufnahme einer Ebene, sondern ein errechnetes Bild, das durch die Summierung von Schichten einer gebogenen Fläche entsteht. Daher eignet es sich eher für Messungen kurzer Distanzen, wie beispielsweise für die Planung von Implantaten. Seitliche Aufnahmen aus einem 60°- anstatt 90°-Winkel [84–86], hätten die Molarenregion vermutlich deutlicher dargestellt. Dies hätte jedoch zusätzliche Röntgenstrahlung bedeutet und wäre nicht im Rahmen einer retrospektiven Untersuchung möglich gewesen. Daher wurde wie in der Literatur üblich das Fernröntgenseitenbild als Grundlage für die Auswertung gewählt. Es liefert eine „nahezu größenrichtige Darstellung der *Norma lateralis*“ [22] und ermöglicht es, viele bereits validierte Aspekte zu übernehmen.

#### 5.1.1 Voruntersuchung

Die Voruntersuchung war, aufgrund der auf Papierausdrucken durchgeführten Auswertung, nicht so genau wie es bei Durchzeichnung von Röntgenbildern in digitaler oder analoger Form möglich ist. Es lagen wahrscheinlich hohe  $\alpha$ - und  $\beta$ -Fehler vor, da bei den Berechnungen nur wenige Testverfahren (F-Tests, T-Tests und Welch-Tests) mit Excel<sup>®</sup> durchgeführt wurden. Um schnell eine ausreichend große Gruppe für die Voruntersuchung zusammenzustellen, wurden zusätzlich Einzelkiefer betrachtet. Dies ist jedoch für eine Gesamtbeurteilung des Gesichtsschädelaufbaus nicht sinnvoll. Es wurden nur wenige Parameter betrachtet und das Geschlecht wurde nicht berücksichtigt. In anderen Studien wurden meist keine Voruntersuchungen durchgeführt. Es wurde nur eine Studie gefunden, bei der dies ebenfalls zutraf [5]. Bei einer Weiteren wurde aus einer Hauptuntersuchung eine Pilotstudie abgespal-

ten [37]. Trotz der suboptimalen Bedingungen sind die Ergebnisse demzufolge als ausreichend zu betrachten. Die Durchführung weiterer Studien war gerechtfertigt und Berechnungen bezüglich der notwendigen Gruppengröße konnten durchgeführt werden. Die Kritikpunkte wurden in der eigentlichen Untersuchung geändert.

### 5.1.2 Probanden

Es erfolgte eine vollumfängliche Zusammenstellung der für diese Studie relevanten Patienten des Universitätsklinikum des Saarlandes. Eine derartige Archivrecherche war zweckmäßig, da aufgrund der Seltenheit der Erkrankung das Risiko bestand, nicht genügend Patienten für valide Aussagen zu akquirieren.

Die Ein- und Ausschlusskriterien lassen sich mit verschiedenen Studien vergleichen. Um die Platzdiskrepanz zwischen Zahn- und Knochenmenge zu beeinflussen, werden im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung Zähne extrahiert oder der Schmelz approximal reduziert. Karies oder größere prothetische Rekonstruktionen können ebenfalls Einfluss auf den notwendigen Platz nehmen. Um zu vermeiden, dass derartige Einflüsse die Ergebnisse verfälschen, wurden nur Patienten mit einer vollständigen zweiten Dentition, ohne ausgedehnte kariöse Läsionen oder prothetische Restaurationen ausgewählt.

Ein weiteres Einschlusskriterium war, dass die Zähne nicht nur angelegt, sondern bis auf die dritten Molaren durchgebrochen sein mussten. Dieses Kriterium war eine indirekte Altersvorgabe wie sie auch in anderen Studien [5, 37, 46] verwendet wurde. Andere Studien nahmen das chronologische Alter als Voraussetzung [32, 48]. Eine Altersvorgabe von  $\geq 18$  Jahren [32] hat den Vorteil, dass das Wachstumsmaximum sicher überschritten ist [12]. Allerdings entwickeln sich Individuen unterschiedlich. Ein zu hoch festgelegtes Alter könnte die Probandengruppe unnötig reduzieren, wohingegen ein maximales Alter von 15 Jahren [48] zu falsch positiven Ergebnissen führen könnte. Die zuletzt erwähnte Studie von Kajii *et al.* fand eine Zunahme an Aplasien im Verhältnis zum vorhandenen Angebot an Oberkieferknochen. Die obere Altersbegrenzung wurde vorgenommen, um Molarenextraktionsfälle vorab auszufiltern. Allerdings wurden, bedingt durch eine fehlende untere Begrenzung, Patienten ab 5 Jahren eingeschlossen. Kajii *et al.* untersuchten zwar Geschlecht und ANB-Winkel als Kovariable, jedoch nicht das Alter. Basierend auf der Tatsache, dass Weisheitszähne sich regulär spät ausbilden [56, 84], war die Aussagekraft der Studie von Kajii *et al.* durch das vorab getroffene Kriterium des Alters reduziert.

Anstatt des chronologischen Alters hätte das skelettale Alter anhand der Entwicklung der Halswirbelkörper als zusätzliches Kriterium gewählt werden können [5, 7, 58]. Mit dem Ausschluss aller Patienten, die das sechste Halswirbelkörperstadium (*Cervical Vertebral Maturation* - CVM6) noch nicht erreicht haben, wäre vermutlich in vorliegender Studie eine homogenere Gruppe untersucht worden. Das Wachstumsmaximum wäre dann wahrscheinlich bereits überschritten und nur geringe Veränderungen des Skeletts wären zu erwarten gewe-

sen. Allerdings ging es in dieser Studie um vertikale Parameter, beziehungsweise um solche, die in dieser Form noch nicht untersucht wurden. Studien zeigten, dass auch nach 20 Jahren Wachstum in der Vertikalen stattfindet und dieses ausgeprägter ist als in den anderen Dimensionen [90]. Dieses Wachstum wurde in mehreren Studien bis zum Ende der vierten Lebensdekade festgestellt [15], weit nach Erreichen des CVM6-Stadiums. Die hier gemessenen neuen Parameter sind vor allem durch die Entwicklung der dritten Molaren beeinflusst, welche in keinem bekannten Zusammenhang zum sechsten Halswirbelkörperstadium steht. Die Weisheitszähne entwickeln sich regulär auch nach dem 18. Lebensjahr weiter [56], das CVM6-Stadium ist durchschnittlich mit 15,57 Jahren erreicht [3]. Der Altersdurchschnitt der Apertognathen mit 16,75 Jahren und der Eugnathen mit 15,08 Jahren lag oberhalb beziehungsweise dicht genug bei dem durchschnittlichen Zeitpunkt des CVM6-Stadiums, um diesen Aspekt nicht zu untersuchen. Zudem gibt es Kritiker, die darlegen, dass diese Methode nicht geeignet ist, um das Wachstumsmaximum zu bestimmen [8, 68].

Die weiteren Auswahlkriterien der Patienten waren weniger schwierig. Es erschien sinnvoll, Patienten mit Syndromen oder Entwicklungsstörungen auszuschließen [48], um unbekannte Einflüsse gering zu halten. Dies galt auch für Patienten, bei denen ein Frontzahntrauma vorlag. Dem stimmte auch eine Studie bezüglich Resorptionen zu, die einen Patienten mit Frontzahntrauma zwar mit einbezog, jedoch in der Evaluation gesondert erwähnte [51]. In anderen Studien gefundene Kriterien, wie das Vorliegen von Elektromyographie-Protokollen [32] oder behandlungsnotwendige Extraktionen [37], waren zu spezifisch, um in dieser Studie Berücksichtigung zu finden.

In Studien zur Apertognathie bei Erwachsenen werden die Gruppen meist nur nach der Vertikalen aufgeteilt und entsprechend beurteilt [32, 45, 59, 97]. Es werden keine Vergleiche in Abhängigkeit der Angle-Klassifikation gezogen. Für die Bestimmung der sagittalen Kieferrelation gibt es vielfältige Möglichkeiten wie den ANB-Winkel, den WITS-Wert oder den Anterior-Posterior-Dysplasie-Indikator (APDI). In der vorliegenden Studie wurde der ANB-Winkel verwendet, da er neben dem WITS-Wert zu den Bekanntesten und meist Verwendeten gehört. Die Okklusionsebene eignet sich bei apertognathen Patienten nicht als Bezugsebene, weshalb der WITS-Wert nicht in Betracht gezogen wurde. In anderen Studien wurde der ANB-Winkel oft nur zur Beurteilung des Durchschnitts erhoben, nicht zur Unterscheidung der Patienten anhand ihrer sagittalen Kieferrelation [45, 97].

#### **5.1.2.a Untersuchungsgruppe**

Eine Studie differenzierte Klasse II und III Patienten mit offenem Biss, wenn auch keine Klasse I [5]. Zusätzlich zu dem hier aufgeführten Kriterium des ANB-Winkels musste die sagittale Frontzahnstufe  $> 5$  mm, beziehungsweise  $< -1$  mm betragen. Dies kann durch kompensatorische Zahnstellungen beeinflusst sein, deshalb wurde dieses Merkmal in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt. Eine andere Studie gab an, dass kein Patient eine

negative sagittale Frontzahnstufe hatte. Dies lässt schlussfolgern, dass entweder keine Klasse III Patienten, oder nur mit geringer Ausprägung, beinhaltet waren [39]. Die anderen Studien enthielten eine gemischte Untersuchungsgruppe, mit Klasse I und II [20, 37, 97] oder I, II und III [45, 58]. Diese wurden nicht weiter unterteilt, umfassten aber bei Kucera *et al.* [58] und Schendel *et al.* [97] hauptsächlich Klasse II Probanden. Es scheint nicht sinnvoll, Patienten, die in der sagittalen Dimension unterschiedliches Wachstum zeigten, als eine Gruppe zu betrachten, da sich die verschiedenen Dimensionen gegenseitig beeinflussen [53, 113]. Weiterhin zeigten die unterschiedlichen Klassen auch innerhalb der Apertognathen voneinander abweichende Morphometrien [57]. Die sagittale Dimension beeinflusst außerdem den kieferorthopädischen und -chirurgischen Behandlungserfolg dieser Patientengruppe [107]. Janson *et al.* [46] sortierten daher einen Probanden aus, um nur Klasse I Patienten zu untersuchen und dadurch die Homogenität der Gruppe zu erhöhen.

Die vertikale Frontzahnstufe der Untersuchungsgruppe war in anderen Studien  $< -0,5$  mm [5, 39] oder  $< -1$  mm [37, 46] im Gegensatz zu  $< 0$  mm [58]. In der aktuellen Studie wurden Patienten ab  $< 0$  mm beinhaltet, da die Funktion der Zähne nicht gegeben ist, sobald der Kontakt fehlt. Alle Röntgenbilder wurden mindestens zwei Mal durchgezeichnet. Es wurden nur Patienten untersucht, die bei jeder Durchzeichnung eine negative vertikale Frontzahnstufe aufwiesen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass keine Patienten an dieser Stelle fehlerhaft einbezogen wurden.

#### **5.1.2.b Kontrollgruppe**

Die hier gewählte Kontrollgruppe konnte nicht aus Probanden bestehen, die keine Fehlstellungen hatten. Es wäre keine Indikation für die notwendige Röntgendiagnostik vorhanden gewesen. Die Problematik einer geeigneten Kontrollgruppe war auch in anderen Studien zu finden. Sie kommt dadurch zum Ausdruck, dass die Kontrollgruppe erst zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt wurde [32], aus einer anderen Studie verwendet wurde [51] oder dass zwei unterschiedliche Kontrollgruppen zum Einsatz kamen [37, 46]. In einer Studie wurden, durch das allgemeine Kriterium der „esthetically and functionally favorable [...] occlusion“ [ästhetisch und funktionell günstigen Okklusion] [20], vermutlich Patienten mit gering ausgeprägter Klasse II und III beinhaltet. Die hier gewählten Kriterien sind spezifischer und vergleichbar mit denen anderer Studien. Gemeinsamkeiten waren die skelettale Klasse I [32], teils über ANB-Winkel definiert [5], die dentale Klasse I [5] und die positive vertikale Frontzahnstufe [5, 39]. Die Kriterien Overjet [5, 39] und Alter [32, 37] wurden aus den oben genannten Gründen auch bei der Kontrollgruppe außer Acht gelassen.

#### **5.1.3 Kephalometrische Auswertung**

Bei der Auswertung von Röntgenbildern gibt es verschiedene Fehlerquellen. Die Erste gilt es bereits vor der Anfertigung zu minimieren: es ist die richtige Positionierung des Patienten im Röntgengerät. Nach der Anfertigung, können beim Setzen der Punkte durch fehlerhaft aus-

gerichtete Röntgenbilder, falsche Lichtverhältnisse oder unterschiedliche Untersucher Fehler entstehen. Beim weiteren Auswerten können Mess- oder Rechenfehler entstehen.

Um mögliche Fehler beim Setzen der kephalometrischen Punkte zu reduzieren, wurden alle Bilder anhand der Frankfurter Horizontalen waagrecht positioniert. Manche Autoren fordern, diese Bezugslinie beim Ausrichten von Fernröntgenseitenbildern durch die natürliche Kopfhaltung als Referenz zu ersetzen [22]. Die Haltung des Patienten kann sich jedoch von seiner natürlichen Kopfhaltung und je Aufnahme unterscheiden, da er sich in einer ungewohnten Situation befindet. Diese Unsicherheit wäre mit der Anfertigung aller Röntgenbilder durch eine Person minimiert worden. Dies hätte jedoch die Wiederholbarkeit der Studie erschwert. Für die Reproduzierbarkeit von kephalometrischen Punkten, wie beispielsweise Pog, war eine eindeutige Ausrichtung anhand der Frankfurter Horizontalen zur Minimierung dieser Fehlerquelle erforderlich. Eine falsche transversale Ausrichtung des Patienten ist im angefertigten Röntgenbild nicht mehr korrigierbar. Es ist jedoch durch das Mitteln von Doppelkonturen kompensierbar [99]. Um die Kontraste besser erkennen zu können, war es zweckmäßig die Bilder in einem dunklen Raum auszuwerten.

Die Einführung einer neuen Analyse war zielführend, da bislang in dieser Form nicht untersuchte Parameter evaluiert wurden. Die Verwendung bereits bekannter Bezugspunkte und Linien erhöhte die Reproduzierbarkeit der Studie und wurde auch von anderen Autoren genutzt [5]. Nur Röntgenbilder zu verwenden, die mit einem Gerät angefertigt wurden, hätte die Anzahl und damit die Aussagekraft der Studie unnötig reduziert. Es war daher wie auch in anderen Studien [37, 46] vertretbar, Röntgenbilder unterschiedlicher Geräte zu verwenden. Die Skalierung stellte sicher, dass die unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren angepasst und damit der geometrische Abbildungsfehler kompensiert wurde. Für die Berechnungen der Platzdiskrepanzen und der Winkel wäre dies nicht relevant, aber es hätte sich negativ auf den Vergleich der Streckenmessungen der Zähne ausgewirkt. Es ist empfehlenswert, bei allen Röntgenbildern die gleiche Methode anzuwenden. Eine Digitalisierung der Bilder erleichterte dies und wurde vorgenommen. Die Platzierung der Messpunkte und die anschließenden Messungen sind vergleichbar zur analogen Auswertung [96]. Ablesefehler können durch die digitale Methode ausgeschlossen werden. Die Durchführung der Analyse durch einen Untersucher war sinnvoll, denn dadurch wurde eine bessere Vergleichbarkeit erreicht [70]. Trotz festgelegter Definition für jeden Punkt, weicht die Umsetzung durch jeden Behandler geringfügig ab und es entstehen interindividuelle Fehler. Die Daten der zweiten Auswertung wurden verwendet, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass alle Bilder mit dem gleichen Maß an Kalibrierung evaluiert wurden und nicht abhängig von der Auswertungsreihenfolge unterschiedlich große Identifikationsfehler vorlagen.

### 5.1.3.a Messpunkte

Bereits bekannte Punkte zu verwenden ist üblich [5]. Die Einführung neuer Punkte erschwert die Vergleichbarkeit, lässt sich aber bei neuen Analysen nicht vermeiden. Die neu eingeführten Messpunkte zur Berechnung der Diskrepanzen werden daher näher erörtert.

Die Festlegung der Grenzen für die Zahnmenge war entsprechend der deutlichen Erkennbarkeit der dentalen Strukturen unproblematisch. Je Kiefer gab es entsprechend drei Punkte: die anteriore Begrenzung der totalen (b1Mx, b1Mn) und posterioren Zahnmenge (m6Mx, m6Mn) und die posteriore Begrenzung beider Zahnmengen (d8Mx, d8Mn). Es wurden immer die Punkte der Zahnkrone gewählt, da diese auch den Platz im Mund einnehmen beziehungsweise diesen anstreben. Die dritten Molaren waren bei den meisten Patienten nicht vollständig entwickelt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die posteriore Grenze der Zahnmenge trotzdem zu bestimmen war, da Zahnkeime bei beginnender Mineralisation keine Größenzunahme der Krone mehr erleben, sondern nur eine weitere Entwicklung. Einige der Sapientes waren stark mesioexzentrisch verlagert. Daraus folgende Einflüsse konnten in dieser Studie nicht berücksichtigt werden.

Als anteriore Begrenzung der posterioren Zahn- beziehungsweise Knochenmenge wurde die mesiale Höckerspitze des ersten Molaren und nicht der Kontaktpunkt gewählt. Dies geschah, da dieser Punkt auch für die Bestimmung der Höhe und Neigung des Zahnes benötigt wurde und somit ein zusätzlicher Messpunkt vermieden werden konnte. Der entscheidende Vorteil dieses Punktes war jedoch die eindeutigere Bestimmbarkeit gegenüber des Kontaktpunktes, bei dem sich meist nicht nur die Konturen der rechten und der linken ersten Molaren überlagern, sondern zusätzlich auch die der zweiten Prämolaren.

Als anteriore Begrenzungen der totalen Knochenmenge wurden die bekannten Punkte A und B gewählt, die zusätzlich für die Bestimmung des ANB-Winkels benötigt wurden. Diese wurden auch in der Studie verwendet, bei der die für den Zahndurchbruch zur Verfügung stehende Knochenmenge bestimmt wurde [48]. Die Punkte Spa und Spp eignen sich nicht für die knöcherne Begrenzung des Oberkiefers, da sie den Nasenboden und nicht den Alveolarfortsatz begrenzen. Die Fossa pterygopalatina stellt die röntgenologisch deutlich zu erkennende posteriore Begrenzung der Maxilla dar [98] (**Abb. 1**). Kajii *et al.* [48] wählten daher Ptm als posteriore knöcherne Begrenzung. Die Fossa kann jedoch einen geschwungenen Verlauf haben und endet auf Höhe des harten Gaumens. Die maxilläre Begrenzung pMx wurde daher mit der Pterygoid-Linie bestimmt. Dafür wurden die Punkte Pto und Ptc eingeführt. Dabei wird der Punkt zur oberen Begrenzung der Fossa (Pto) nur benötigt, um die Mitte (Ptc) auffinden zu können. Im Unterkiefer begrenzt der Ramus ascendens den für den Zahndurchbruch zur Verfügung stehenden Knochen. Es besteht jedoch die Schwierigkeit in der Festlegung des richtigen Schnittpunktes für pMn, da der Übergang vom Corpus mandibulae zum Ramus gekrümmt ist. Es wurde deshalb, wie auch in der Studie von Kajii *et al.* [48], ein vertikaler Punkt bis zu der Höhe gewählt, wo der Durchbruch der Sapientes phy-

siologischerweise erfolgen müsste. In dieser Studie erfolgte dies über die Ramus-Linie. Eine weitere Schwierigkeit bestand darin, dass manche dritten Molaren im Unterkiefer in gewissem Maße medial vom Ramus ascendens durchbrechen (siehe **Abb. 2**). An dieser Stelle ist der Knochen sehr dünn und daher auch nicht so deutlich auf den Röntgenbildern zu erkennen. Eindeutig ließe sich dies nur in dreidimensionalen Auswertungen beurteilen.

#### **5.1.3.b Bezugslinien**

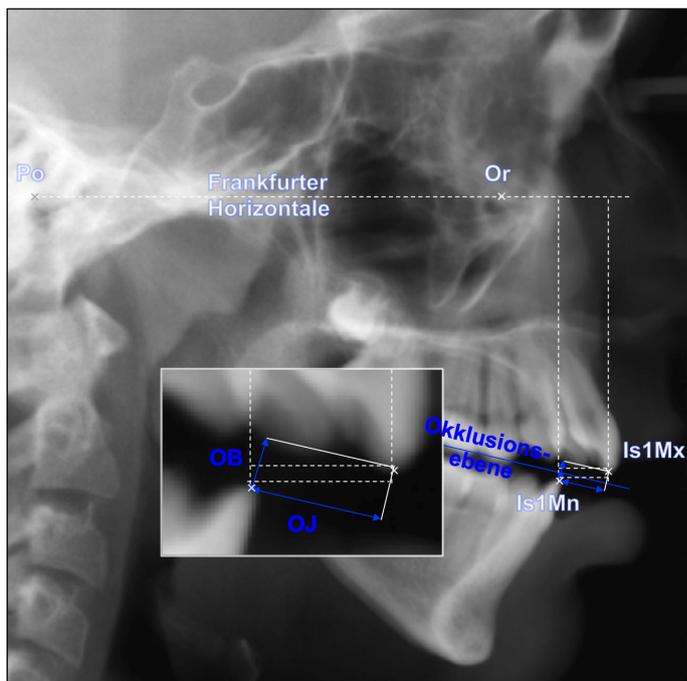
Die Linien für den ANB-Winkel, die Ober- und Unterkieferbasis sind bekannte Bezugslinien [22, 28, 99], die sich als valide erwiesen haben. Die Okklusionsebene wird in anderen Studien als Referenz für die Bestimmung der Frontzahnstufen oder die sagittale, skelettale Relation verwendet. Es ist jedoch wichtig, diese zu spezifizieren. Denn insbesondere bei apertognathen Patienten gibt es voneinander divergierende obere und untere Okklusionsebenen, sowie eine aus diesen gemittelte. Unter Umständen lassen sie sich jeweils noch in anterior und posterior unterscheiden [52, 113]. In dieser Studie wurde die Frankfurter Horizontale verwendet, da sie als Raumebene eines aufrecht stehenden Patienten am ehesten der klinischen Betrachtung entspricht. Erörterungen zu den Zahnachsen folgen aus kontextbezogenen Gründen im Abschnitt 5.1.3.d.

Die Pterygoid- und die Ramus-Linie wurden eingeführt, um anatomisch gerundeten Strukturen gerecht zu werden. Die Pterygoid-Linie führt vom zentralen Punkt (Ptc) über Fissura pterygomaxillare (Ptm) zur Oberkieferbasis (siehe auch **Abb. 3**, **Abb. 5** und **Tab. 2**). Dies entspricht der kaudalen nach anterior gerichteten Krümmung der Fossa und somit der posterioren Begrenzung der Maxilla. Zukünftige Studien mit älteren Patienten könnten einen Zusammenhang zwischen Aplasien der dritten Molaren und der sagittalen maxillären Dimension [48] bestätigen. Dann wäre es sinnvoll, einen Referenzpunkt für die posteriore knöcherne Begrenzung des Unterkiefers zu definieren, der sich ebenfalls an der Fossa pterygopalatina orientiert. Bei der bisherigen Studienlage ist dieser Zusammenhang jedoch nicht ausreichend. Die Okklusionsebene [48] erscheint zweckmäßig, da diese der anzunehmenden Zielhöhe der Sapientes entspricht. Von der schwierigen Bestimmbarkeit in der Untersuchungsgruppe abgesehen, würden über die Strecke der gesamten Dentition stark ausgeprägte Neigungen der Okklusionsebene den Schnittpunkt zum Ramus verlegen. Um nur den posterioren Teil der Unterkieferdentition zu berücksichtigen, wurde eine Linie entlang der Höckerspitzen des ersten mandibulären Molaren zum aufsteigenden Ast gezogen. Ein stark gekippter Zahn könnte die gemessene Knochenmenge genauso negativ beeinflussen wie die Okklusionsebene. Es wurde daher in Betracht gezogen die Pterygoid-Linie, in Verlängerung oder Parallelverschiebung, als Schnittlinie zum Ramus zu verwenden. Beide Messungen wurden durchgeführt. Der Vergleich der Kontrollgruppe zu den verschiedenen Klassen wies jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede in der mandibulären Molarenneigung auf. Daher wurden nur die Erläuterungen und Daten in Bezug zur Ramus-Linie dargestellt.

### 5.1.3.c Bestimmung der Frontzahnstufen

Die Beurteilung des offenen Biss am Gipsmodell, bei dem der Unterkiefer zusätzlich frei nach vorne geschoben wird [51], wurde aufgrund der Anfälligkeit für Subjektivität nicht in Betracht gezogen. In den meisten Studien wird, wie in der vorliegenden, die Apertognathie anhand des Fernröntgenseitenbildes bestimmt. Die vertikale Frontzahnstufe wird, wenn angegeben, in Relation zur N-Me-Linie [121], S-N-Linie [45] oder im Verhältnis zur Okklusionsebene [39, 97, 108], beziehungsweise zur funktionellen Okklusionsebene [37] gemessen. Diese zuletzt genannte Spezifizierung fehlt in anderen Studien, was die Vergleichbarkeit erschwert. Die Autoren Subtelny und Sakuda [108], nach denen sich diese Definition richtet, spezifizierten nicht auf welche Okklusionsebene sie sich bezogen und gaben eine alternative Messmöglichkeit der Frontzahnrelation in Bezug zur Oberkieferbasis an.

Es war vertretbar Patienten ab  $< 0$  mm vertikaler Frontzahnstufe, gemessen in Relation zur Frankfurter Horizontalen, einzubeziehen. Diese Messung disqualifizierte Patienten, die bei der Messung in Relation zur gemittelten Okklusionsebene beinhaltet worden wären. Die gemittelte Okklusionsebene endet anterior bei einem konstruierten Punkt zwischen den Schneidekanten. Dadurch würde eine Strecke gemessen, die in Referenz zur Raumebene teilweise der sagittalen Frontzahnstufe entspräche (Abb. 14). Dies würde insbesondere bei einer steilen Okklusionsebene gelten, wie sie gehäuft bei Patienten mit offenem Biss vorkommt [113].



**Abb. 14** Fernröntgenseitenbild mit Messvergleich der Frontzahnstufe in Relation zur gemittelten Okklusionsebene (blaue Linien) und zur Frankfurter Horizontalen (gestrichelte Linien)

Es wäre für die Vergleichbarkeit besser gewesen, die Frontzahnstufen im Verhältnis zur Okklusionsebene zu bestimmen. Dies hätte jedoch aufgrund unterschiedlicher Konzepte nur für wenige Studien gegolten. Um sich weder auf einen Einzelkiefer noch eine gemittelte Linie

zu beziehen, war es sinnvoll, die Frankfurter Horizontale als Annäherung an einen reproduzierbaren, klinische Blickwinkel zu bevorzugen.

#### **5.1.3.d Winkel**

Die Neigung der Zähne wird meistens, wie auch in der vorliegenden Studie, nach posterior in Relation zur Kieferbasis gemessen [5, 20, 30, 58]. Im Oberkiefer wurde diese Messung auch in Relation zur Schädelbasis [58] durchgeführt. Da Neigungen in beiden Kiefern gemessen wurden, war es zweckmäßiger diese in Relation zur jeweiligen Kieferbasis zu messen, um die Vergleichbarkeit zu erhöhen. Den posterioren anstelle des anterioren Winkels zu erheben, erleichterte die klinische Beurteilung. Es ist üblich, die Zahnachse über die Inzisalkante und den Apex zu bestimmen. In der Studie von Chang und Moon, die auch die Angulation der Molaren gemessen hat, erfolgte dies stattdessen über die Fissur zwischen den Höckern und die Wurzelfurkation [20]. Dies hat den Vorteil, dass weder Abrasionen von Höckern, noch gekrümmte Wurzeln oder traumatisch geschädigte Zähne die Messungen beeinflussen können. Insbesondere der Punkt der Furkation scheint jedoch aufgrund der sechs Wurzeln die sich an der Stelle überlagern, schwer zu beurteilen. In der aktuellen Studie wurden Patienten mit Frontzahntrauma ausgeschlossen. Weiter zeigen Probanden ohne Zahnkontakte keine Abrasionen bei den Inzisiven. Bei den Molaren lässt sich auch bei flächigen Höcker- spitzen ein zentraler Höckerpunkt gut bestimmen. Daher war es für die bessere Vergleichbarkeit angebracht die in der Literatur übliche Messung zu verwenden [5, 30, 37, 46, 58].

Der ANB-Winkel wurde bereits unter Abschnitt 5.1.2 erörtert, da er wichtig für die Einteilung der Gruppen war und die Ergebnisse dazu in dieser Arbeit nicht im Einzelnen aufgeführt worden sind.

#### **5.1.3.e Strecken**

Die dentoalveoläre Höhe wurde in der Literatur auf unterschiedliche Weise gemessen und beurteilt [5, 20, 30, 37, 45, 46, 58, 59, 97]. Diese Messungen wurden in anderen Studien orthogonal zur Okklusionsebene und im Oberkiefer bis zur Schädelbasis gemessen [45, 97]. Es sollte jedoch nur das Wachstum des Oberkiefers und nicht der Schädelbasis berücksichtigt werden. Weiterhin wurde aus oben genannten Gründen die Okklusionsebene nicht als Referenz in Betracht gezogen. Daher wurde die Strecke, wie auch in anderen Studien, orthogonal von der Inzisalkante, beziehungsweise mesialen Höckerspitze zur jeweiligen Kieferbasis gemessen [5, 6, 37, 46, 58]. Dadurch wurde eine Mischung aus Kronen- und Alveolarfortsatzhöhe gemessen. Es wurde das kompensatorische Alveolarfortsatzwachstum und nicht die Zahnlänge durch diese Messung bestimmt. Diese Strecke kann auch entlang des Alveolarfortsatzes [58, 59] oder über den Apex entlang der Zahnachsen gemessen werden [20, 30, 65]. Die Messung entlang des Alveolarfortsatzes wäre nur in der Front möglich und wurde daher nicht in Betracht gezogen. Denn die gleiche Methode sollte für die Messungen aller Zähne angewandt werden. Aus diesem Grund wurde auch bei den Molaren

nicht ab einem Kontaktpunkt [59], sondern ab der Höckerspitze gemessen. Außerdem ist die Höckerspitze für gewöhnlich besser zu erkennen als der Approximalkontakt, aufgrund der Tatsache, dass nur zwei anstelle von vier Zähnen sich überlagern. Die orthoaxiale Messung wurde nicht verwendet, da die Werte durch gekippte Zähne stark beeinflusst worden wären.

#### **5.1.3.f Platzdiskrepanz**

Die Knochen- und Zahnpunkte liegen auf unterschiedlichen Höhen, deshalb wurden sie entlang einer Orthogonalen auf die jeweilige Kiefebene gespiegelt. Dies ermöglichte es, Strecken zwischen den Punkten zu errechnen. Vermutlich wurde dies auch in der Studie von Kajii *et al.* zur Aplasie der dritten Molaren so gehandhabt [48]. Aus den gemessenen Strecken der Zahn- und Knochenmenge wurde der Quotient und nicht die Differenz gebildet. Damit war die absolute Größe der Zähne irrelevant und nur das Verhältnis zwischen den Zähnen und der zugehörigen Knochenmenge wurde beurteilt.

#### **5.1.4 Statistische Auswertung**

Je mehr Daten erhoben werden, desto komplizierter wird das Testverfahren. Bei der falschen Auswahl der Tests kann der  $\alpha$ -Fehler, respektive der  $\beta$ -Fehler, zu groß werden. Dies würde zu Ergebnissen mit zu vielen, beziehungsweise zu wenigen, statistisch signifikanten Ergebnissen führen. Das Wahrscheinlichkeitsniveau für den Fehler 1. Art, der  $\alpha$ -Fehler, wurde auf 5% festgelegt. Abhängig vom Vorhandensein einer Normalverteilung und Varianzhomogenität eignen sich T-, Mann-Whitney-U- oder Welch-Tests. Jedoch sollte bei mehr als zwei Vergleichen auf einer Ebene eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt werden, um eine Summierung des  $\alpha$ -Fehlers zu verhindern. Diese erhöht jedoch den  $\beta$ -Fehler, weshalb Varianzanalysen mit anschließenden Post-Hoc Tests besser geeignet sind, um die Balance zwischen den beiden Fehlern zu gewährleisten. Beim Vergleich zwischen der kompletten Untersuchungs- und Kontrollgruppe wurden daher, wie auch in anderen Studien, der T- [30], der Mann-Whitney-U- [5, 33] oder der Welch-Test verwendet. Aufgrund des Mangels an statistischer Stärke bei der Bonferroni-Korrektur wurden bei mehr als zwei zu vergleichenden Gruppen multiple Tests auf einer Ebene nur bei fehlender Normalverteilung durchgeführt. Um diese zu testen, wurde der Shapiro-Wilk-Test durchgeführt, da er eine höhere Güte hat als der häufig verwendete Kolmogorov-Smirnov-Test [35]. Da die QQ-Plots einzelne Ausreißer an den Enden zeigten, wurde nicht der Anderson-Darling-Test verwendet, der diese besonders stark mit in die Bewertung einbezieht. Bei vorliegender Normalverteilung wurde, wie auch in anderen Studien, eine ANOVA durchgeführt [5–7]. Anschließend wurde bei Unterschieden zwischen den Gruppen der GT2-Test nach Hochberg bei Varianzhomogenität oder der Games-Howell-Test bei Varianzheterogenität durchgeführt. Diese beiden Tests wurden aufgrund der heterogenen Gruppengrößen ausgewählt [35]. Die angewandten statistischen Verfahren waren geeignet, um die vorliegende Untersuchung durchzuführen. Abweichende Methoden und Tests anderer Studien lassen sich durch unterschiedliche Voraussetzungen begründen.

Die Durchführung mit SPSS® und die Festlegung des Signifikanzniveaus  $p < 0,05$  ist gängig und wurde auch in anderen Studien verwendet [5, 15, 48, 65].

### 5.1.5 Methodenfehler

Im Gegensatz zu der Vielzahl an verschiedenen Testverfahren bei der statistischen Auswertung, ist die Dahlberg-Methode zur Evaluierung des Methodenfehlers eine in vielen Studien angewandte Formel [5, 15, 30, 34, 37, 46]. In einer anderen Studie wurde, anstatt den Fehler zu überprüfen, mit gemittelten Werten zweier Auswertungen getestet, um den Fehler zu reduzieren [20]. Es handelte sich um eine zum Teil neu angelegte Auswertung, aus diesem Grund war es zweckmäßig, neben der Intra- auch die Interrater-Reliabilität zu überprüfen. In der Literatur werden 2,2 - 32,8% [15, 30, 33, 37, 46] der Bilder zweimal durch denselben Behandler durchgezeichnet. Daher waren die 100% durch denselben und 40% durch einen anderen Behandler durchgezeichneten Röntgenbilder ausreichend, um die Wiederholbarkeit zu überprüfen. Je geringer das Zeitintervall zwischen zwei Messungen ist, desto näher sollten die Resultate beieinander liegen. Ein ausreichend großer zeitlicher Abstand zwischen den Messungen ist sinnvoll, um Erinnerungseffekte auszuschließen und die Genauigkeit der Methode zu überprüfen. In anderen Studie lagen zwei bis acht Wochen zwischen den wiederholten Messungen [5, 33, 34], weshalb die hier vorliegenden vier Monate als ausreichend betrachtet werden können. Der Intraklassen-Korrelationskoeffizient berücksichtigt nur Werte, die in allen drei Auswertungen vorkommen. Für die bessere Vergleichbarkeit war es daher sinnvoll, dieselben 58 Fernröntgenseitenbilder (= 40%) für alle Berechnungen zur Reliabilität zu verwenden. Der Intraklassen-Korrelationskoeffizient ermöglicht die Messgenauigkeit von Werten mit unterschiedlichen Einheiten zu vergleichen und wird auch in anderen Studien verwendet [5, 33], wenn auch nicht so häufig wie die Dahlberg-Formel. Alternativ kann der Methodenfehler auch graphisch dargestellt werden, indem jeder Auswertung eine Achse im Koordinatensystem zugeordnet wird. Dadurch lässt sich zusätzlich erkennen, ob Abweichungen in einem bestimmten Bereich gehäuft vorkommen, oder ob einzelne Ausreißer das Ergebnis stark beeinflussen [104]. Von der fehlenden Bekanntheit abgesehen, lässt die Darstellung im Koordinatensystem sich jedoch nicht kompakt zusammenfassen und hätte den darstellenden Rahmen dieser Arbeit überschritten.

## 5.2 Ergebnisse

Die Daten wurden nicht nach Kiefer und Region aufgeteilt präsentiert, sondern nach Art der Messung. Denn Messungen mit den gleichen Voraussetzungen und Einheiten lassen sich besser vergleichen. Die ethnische Herkunft findet in vielen Studien keine Erwähnung [5, 20, 37, 46, 58]. Aufgrund der multikulturellen Lebensweise ist die eindeutige Differenzierung schwierig, die über kaukasisch, asiatisch und schwarz hinausgeht. Da in dieser Studie nur ein Proband nicht den Kaukasiern zugeordnet werden konnte, seine Werte aber vergleichbar waren zur restlichen Untergruppe, war es vertretbar, dies nicht weiter zu prüfen.

### 5.2.1 Voruntersuchung

Basierend auf der Voruntersuchung, war es sinnvoll eine Fallzahlbestimmung durchzuführen, um weder zu viele noch zu wenige Daten zu untersuchen. In der einen Studie, in der vor der Hauptuntersuchung eine Fallzahlbestimmung durchgeführt wurde, lag der Wert bei acht Patienten pro Gruppe [5]. Der niedrigste Wert der Fallzahlbestimmung hätte mit 48 Patienten am nächsten an der genannten Studie gelegen. Es wurde jedoch der höchste Wert der Fallzahlbestimmung mit 156 Probanden versucht zu erreichen, denn es ist aus rein statistischer Sicht besser, zu viele anstatt zu wenige Probanden zu untersuchen [35].

### 5.2.2 Probanden

Für jede Studie gilt, dass die Aussagekraft mit der Anzahl der Patienten steigt. Es wurden zunächst anhand der Fotos und Orthopantomogramme 226 Patienten einbezogen, die im Rahmen der kephalometrischen Auswertungen weiter aussortiert wurden. Die verbliebenen 146 lagen geringfügig unter der höchsten in der Voruntersuchung errechneten erforderlichen Patientenanzahl. Allerdings war die Anzahl der Probanden begrenzt, da es sich um eine monozentrische Studie handelt. In der Literatur lassen sich Studien über apertognathe Patienten und mögliche Ätiologien mit über 1000 Probanden finden [23, 89, 111]. Jedoch handelt es sich dabei ausschließlich um Studien mit Kindern und ihrem Saugverhalten (Brust, Daumen, Schnuller oder Ähnliches). Dabei zeigte sich im Rahmen der Auswertung, dass 20 - 30% der Kinder einen offenen Biss hatten. In der hier vorliegenden Studie wurden Patienten mit einem höheren Altersdurchschnitt ausgewertet (16 Jahre), die rigoroseren Ein- und Ausschlusskriterien unterlagen. Ausgehend von den vorliegenden 76 Apertognathen, hätten bei einer jüngeren Gruppe 127 - 380 Probanden untersucht werden können, da 40 - 80% der offenen Bisse bei Kindern sich selbst regulieren. Dies hätte zu einer Studiengröße von insgesamt 423 - 1900 Probanden geführt. In dieser Studie wurde jedoch durch die Voraussetzung der Zahnentwicklung der kompletten zweiten Dentition, gezielt eine ältere Probandengruppe ausgewählt. Bei Studien mit ähnlichem Altersdurchschnitt waren die Teilnehmerzahlen mit circa 70 [5, 32] und  $\leq 20$  [39, 67, 94] geringer als die vorliegenden 146. Die Anzahl der Patienten kann als ausreichend angesehen werden, auch wenn die höchste in der Vor-

untersuchung errechnete Zahl nicht erreicht wurde. Im Rahmen der kephalometrischen Auswertung stellte sich heraus, dass die Anzahl der Klasse III apertognathen Patienten geringer war als bei den anderen Gruppen. Dies ergab sich aber erst im Verlauf der Auswertung. Es wäre außerdem interessant gewesen, altersbedingte Einflüsse genauer zu untersuchen. Dazu wären jedoch größere Gruppen notwendig gewesen. Arriola-Guillén *et al.* [5, 6] berücksichtigten das Alter aufgrund fehlender Signifikanzen ebenfalls nicht weiter. Eine geschlechtsbedingte Notwendigkeit zur Unterscheidung wird in der Literatur nicht immer erwähnt. Vermutlich ist es aufgrund der geringen Probandenzahlen nicht möglich, dies mit zu untersuchen. Allerdings gab es Studien, die um dieses Problem zu umgehen, ausschließlich Frauen beinhalteten [30, 39]. Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze der anderen Studien wurde dieser Aspekt mitbetrachtet, jedoch nicht als Hauptkriterium zur Gruppeneinteilung in Erwägung gezogen. Stattdessen wurde der Angle-Klasse in der Einteilung der Gruppen eine höhere Priorität zugeordnet, da dies eine gängige Einteilung unterschiedlicher Wachstumstypen ist [22, 99].

### **5.2.3 Auswertung**

In der Literatur werden von den deskriptiven Daten üblicherweise die Mittelwerte, Standardabweichungen und die Signifikanzen meist mittels p-Werten dargestellt [5, 6, 20, 37, 46, 58]. Eine gute Bewertung der Daten wurde ermöglicht, da in dieser Studie zusätzlich Mediane, Minima und Maxima präsentiert werden. Das Einfügen der Richtwerte als Querlinie ermöglichte einen schnellen Vergleich zu den Informationen der aktuellen Studie.

#### **5.2.3.a Winkel**

Für die Neigung des ersten Molaren im Oberkiefer wurden in einer Studie Werte für eine aus Klasse I und II bestehende apertognathen Gruppe gefunden, welche vergleichbar zu dem entsprechenden Teil der Untersuchungsgruppe in dieser Studie waren. Die beiden eugnathen Gruppen zeigten jedoch mit  $83,67^\circ$  und  $81,47^\circ$  [20] größere Winkel als die hier vorliegenden  $78,76^\circ$ . In der Vergleichsstudie waren die Molaren bei den Eugnathen statistisch nicht aussagekräftig stärker anguliert als in der Untersuchungsgruppe. Die stärkste Angulation mit höchstsignifikanten Ergebnissen wurde in der aktuellen Studie jedoch bei der Klasse III gefunden, die in der anderen Studie nicht untersucht wurde. Die stärkere Angulation im Oberkiefer bei den Eugnathen lässt sich vermutlich durch unterschiedliche Kontrollgruppen erklären. Denn in der Studie von Chang und Moon [20] wurden keinerlei kephalometrische Parameter als Ausschlusskriterium verwendet. Außerdem war die Vergleichbarkeit durch die unterschiedlichen Messweisen in beiden Kiefern nur bedingt möglich. Im Unterkiefer wurden in allen Gruppen kleinere Molarenwinkel gefunden als in der aktuellen Studie [20]. In beiden Studien konnte nur tendenziell festgestellt werden, dass eugnathe Probanden stärker angulierte Molaren aufwiesen als apertognathe. Dabei hatte die rein vertikale Gruppe der Eugnathen statistisch signifikant kleinere Winkel als die mesofaziale Kontrollgruppe. Die Mes-

sungen beinhalteten nur einen Zeitpunkt. Daher konnte der Einfluss von Remodelierungsvorgängen nicht erörtert werden. Dieser tritt vor allem im Unterkiefer im Bereich des Gonion Winkels [13] auf und könnte die Messungen durch Veränderung der Mandibularebene beeinflussen.

Die tendenziell stärkere Inklination der maxillären Inzisiven bei Patienten mit offenem Biss konnte auch in anderen Studien nachgewiesen werden [5, 37]. Sie war jedoch wie auch in der Vorliegenden nur bei Klasse III Patienten von statistischer Signifikanz [5]. Lediglich eine Studie zeigte nicht wenigstens eine Tendenz zur stärkeren Neigung bei Apertognathen [46]. Diese wiesen weitgehend gleiche Werte auf, wobei die Kontrollwerte über denen der vorliegenden und der anderen Studien lagen [5, 37]. Dies deutet auf Unterschiede in der Auswahl der Kontrollgruppe anstatt in der Untersuchungsgruppe hin.

Die Unterschiede innerhalb der Untersuchungsgruppe zur Klasse III wären bei normalverteilten Werten vermutlich stärker deutlich geworden, denn die strenge Bonferroni-Korrektur führte zu einer Vergrößerung des Fehlers der zweiten Art. Daher wurden vermutlich keine signifikanten Unterschiede erkannt, obwohl die Klasse III im Durchschnitt  $4,68^\circ$  stärker protrudierte maxilläre Inzisiven aufwies als die Klasse I.

Die statistisch signifikant stärkere mandibuläre Schneidezahninklination bei den Eugnathen im Vergleich zu den Apertognathen wurde durch andere Studien bestätigt [37, 46, 58]. Zwei dieser Studien zeigten dies nur in der Tendenz der Werte [37, 46]. Sie beinhalteten jedoch keine Klasse III Probanden in ihren Untersuchungen und bestätigten die vorliegenden Ergebnisse der entsprechenden Untergruppen. Die Schneidezähne der Klasse III waren auch im Vergleich zu den anderen beiden Klassen der Untersuchungsgruppe deutlich retroinkliniert. Eine Studie konnte in Bezug auf die Schneidezahnneigung nicht mit diesen Ergebnissen in Einklang gebracht werden [5]. Es wurden tendenziell stärker protrudierte Inzisiven bei den apertognathen Klasse II Probanden im Vergleich zur Kontrollgruppe gemessen. Eine Studie, die nur apertognathe Klasse I Patienten untersuchte, zeigte mit  $93,7^\circ$  [30] vergleichbare Resultat zu den  $92,17^\circ$  der vorliegenden Klasse I. Die retroinklinierten mandibulären und proklinierten maxillären Inzisiven der Klasse III deuteten auf die übliche dentale Kompensation der sagittalen Kieferrelation hin [9]. Dies unterstützte die Zweckmäßigkeit der Aufteilung nach Angle-Klassen. Die Inzisivenneigungen der Eugnathen lagen in beiden Kiefern oberhalb der Norm. Es wurden jedoch vergleichbare Werte in den Kontrollgruppen der oben diskutierten Studien gemessen, daher ist keine relevante Auswirkung auf die Ergebnisse dadurch zu vermuten.

### **5.2.3.b Strecken**

Andere Studien bestätigten, dass Apertognathe eine größere maxilläre Molarenhöhe aufweisen als Eugnathe. Es wurde in der Tendenz [37, 46] und mit statistischer Signifikanz [5, 58] nachgewiesen. Die hier gemessenen Werte der Eugnathen lagen unter denen als Norm an-

gegebenen. Dies traf jedoch auch für die Werte der Apertognathen im Verhältnis zu vergleichbaren Studien zu. In der Studie von Arriola-Guillén *et al.* [5] wurde außerdem ein 0,58 mm höherer Wert bei Klasse II im Vergleich zur Klasse III festgestellt. Apertognathe Klasse I Patienten wurden nicht untersucht [5]. In der aktuellen Studie wurde hingegen ein 1,67 mm höherer Wert bei der Klasse III im Vergleich zur Klasse II festgestellt. Beide Vergleiche waren jedoch statistisch nicht signifikant. In der vorliegenden Studie könnte dies in der geringeren Gruppengröße der Klasse III begründet sein.

In einer weiteren Studie wurden Ergebnisse gefunden, die mit circa 35 mm im Oberkiefer und 25 mm im Unterkiefer [65] entgegengesetzte Werte zu den vorliegenden Messungen der Kiefer aufwiesen. Die Messungen wurden in diesem Fall entlang der Zahnachse vorgenommen, nicht entlang einer Orthogonalen. Im Vergleich zu den anderen Studien wäre es jedoch schlüssiger, wenn die dadurch entstehenden Veränderungen in beiden Kiefern gleich wären. Da diese jedoch die circa 25 mm des Oberkiefers und 30 mm des Unterkiefers der vorliegenden Studie bestätigten [5, 37, 46, 58], wurde die gegensätzliche Studie nicht weiter berücksichtigt.

Die Unterschiede bei den ersten mandibulären Molaren wurden nicht nur im Vergleich zum Oberkiefer von anderen Studien bestätigt. Die Apertognathen zeigten auch eine statistisch signifikant größere mandibuläre Molarenhöhe [58], insbesondere bei den Klasse II Probanden [5]. Letztere Studie stimmte weiterhin mit der vorliegenden Studie dahingehend überein, dass sie zwar dieselbe Tendenz bei den Klasse III Probanden feststellte, dies allerdings statistisch nicht signifikant war. Bei den Klasse II Probanden wurde jedoch mit 34,16 mm ein höherer Durchschnittswert festgestellt als in der vorliegenden Studie. Daher wurden in der Studie von Arriola-Guillén *et al.* [5] auch statistisch signifikante Unterschiede zu den Klasse III Probanden gefunden. Diese hatten, wie auch die Kontrollgruppe, fast identische Mittelwerte zur aktuellen Studie. Die hier vorgefundenen ausgeprägtesten Unterschiede zur Klasse I konnten nicht bestätigt werden, da sie nicht untersucht wurden. In Studien, die von derselben Forschungsgruppe durchgeführt wurden, fanden die Autoren jedoch signifikant größere Werte für die Molarenhöhe bei den Eugnathen als bei der aus Klasse I respektive aus Klasse I und II bestehenden Gruppe der Apertognathen [37, 46].

Das ebenfalls statistisch signifikant größere, anteriore Alveolarfortsatzwachstum bei den Apertognathen bestätigte die Resultate anderer Studien [6, 58]. In der Studie von Arriola-Guillén und Flores-Mir, die maxilläre Inzisiven nach Klasse II und III getrennt untersuchten, betraf dies insbesondere die Klasse II Probanden [6]. In der vorliegenden Studie bezog es sich auf die Klasse I. Die Studien von Janson *et al.* und de Freitas *et al.*, die nur Klasse I respektive I und II Probanden gemeinsam mit einer Kontrollgruppe verglichen, zeigten hingegen tendenziell [37, 46] beziehungsweise statistisch relevant [20] höhere Werte bei den Eugnathen. In letzterer Studie gab es allerdings zwei Kontrollgruppen. Die statistisch rele-

vanten Unterschiede wurden im Vergleich zu der hyperdivergenten Kontrollgruppe festgestellt. Diese wurden über ihr ausgeprägt vertikales Wachstum zusammengestellt. Es wurde auch in anderen Studien bestätigt, dass Probanden mit ausgeprägt vertikalem Wachstum größere Werte bei der maxillären Inzisivenhöhe aufweisen [45, 58]. In der vorliegenden Studie wurde nicht anhand des vertikalen Wachstums unterschieden. Dieser Unterschied zwischen vertikalen Patienten mit negativem zu denen mit physiologischem Overbite war entscheidend. Es scheint an der individuellen biologischen Kompensation zu liegen. Eine Studie die ausschließlich vertikale Probanden untersuchte, zeigte jedoch nahezu identische Werte in diesem Bereich zwischen den Apertognathen und der Kontrollgruppe [97]. In beiden Gruppen wurden aber keine zusätzlichen Unterteilungen nach der sagittalen Dimension vorgenommen. Dies beeinflusste die Ergebnisse und erschwerte die Vergleichbarkeit zur vorliegenden Studie. In der Studie von Kucera *et al.* [58] zeigte die aus allen drei Klassen bestehende Untersuchungsgruppe geringere Werte als die dolichofaziale Kontrollgruppe.

Weitere Studien, die gezielt das Wachstumsmuster anhand vertikaler Parameter wie dem Kieferbasiswinkel als zusätzliches Unterscheidungskriterium mit einbeziehen, könnten dies aufklären. Im Unterkiefer wurde die statistisch signifikante Erhöhung der Inzisivenhöhe bei den Apertognathen durch zwei Studien bestätigt. Zum einen wurde dies durch vergleichbare Resultate belegt [58] und zum anderen durch eine Studie, die mit 44,9 mm eine extreme anteriore Alveolarfortsatzhöhe bei den Klasse I Probanden feststellte [30]. Diese zeigten ebenfalls in der vorliegenden Studie die höchsten Werte, auch wenn diese noch unter den zuletzt genannten lagen. Dies könnte auf die unterschiedlichen Messweisen zurückzuführen sein. Für stark protrudierte Zähne ergibt sich entlang der Zahnachse eine längere Strecke, als orthogonal zur Kieferbasis gemessen. Die maxilläre Inzisivenneigung in der genannten Studie von Endo *et al.* war jedoch vergleichbar zur aktuellen Studie, die keine signifikante Protrusion im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigte (siehe 5.2.3.a).

Die statistisch signifikanten Unterschiede der Klasse I und II respektive nur Klasse I Probanden im Vergleich zu den Eugnathen wurden nicht bestätigt. Studien, die dies untersuchten, fanden tendenziell [46], beziehungsweise statistisch signifikant [20, 37] größere Werte bei den Eugnathen. Wie auch im Oberkiefer, wurden in den beiden Studien, die Probanden mit vertikalem Wachstum gesondert untersuchten, höhere Werte gemessen als bei den im Normbereich liegenden Kontrollgruppen [20, 58]. In der Studie von Schendel *et al.* [97] wurden wieder nahezu identische mandibuläre Inzisivenhöhen gemessen, daher wären weitere Studien sinnvoll. Die Werte der drei zuletzt genannten Studien lagen viel höher als die der aktuellen Studie. Diese Unterschiede könnten durch bislang nicht bedachte Parameter entstanden sein.

### 5.2.3.c Platzdiskrepanz

Die statistisch signifikanten Unterschiede konnten durch den Mangel an vergleichbaren Studien nur schwer zu der Literatur in Bezug gesetzt werden.

Die Werte der maxillären posterioren Diskrepanz waren weitgehend gleich in allen Untergruppen der Apertognathen. Jedoch zeigte der Vergleich zwischen den Klasse III Probanden und den Eugnathen nur einen tendenziellen Unterschied im Gegensatz zu den anderen Klassen oder der Gesamtgruppe. Dies war vermutlich bedingt durch die geringere Gruppengröße. Je kleiner einer Gruppe ist, desto größer müssten die Differenzen für signifikante Ergebnisse sein. Es lässt sich vermuten, dass eine größere Gruppe die Unterschiede auch statistisch stärker verdeutlicht hätte, da die Messwerte vergleichbar beziehungsweise über denen der anderen Gruppen waren.

Die Platzdiskrepanz im Oberkiefer war auf den gesamten Kiefer bezogen ausgeprägter als nur posterior. Dies wurde jedoch stark durch die Inklination der Inzisiven beeinflusst. Diese zeigte kongruent zur totalen Platzdiskrepanz, ihre stärkste Ausprägung bei den Probanden der Klasse III, gefolgt von Klasse I und II. Daher war der Unterschied zur posterioren Diskrepanz auf die Neigung der Schneidezähne zurückzuführen, denn prokliniertere Inzisiven verlängern den Zahnbogen [75]. Im Unterkiefer ließ sich ebenfalls die stärkere Ausprägung der totalen Diskrepanz bei den Eugnathen im Vergleich zur posterioren Diskrepanz durch die proklinierten Schneidezähne erklären. In der Kontrollgruppe wiesen sie größere Winkel gegenüber der Norm, sowie größere als in der Untersuchungsgruppe auf. Anterior ließ sich die Platzdiskrepanz auf den Fernröntgenseitenaufnahmen nicht schlüssig beurteilen, da die transversale Komponente fehlte. Die Zähne könnten trotz Proklination lückig stehen. Ein starker Zusammenhang zwischen der Inzisiveninklination und der totalen Platzdiskrepanz war zu erwarten und zeugte davon, dass die Punkte A und B bei proklinierten Zähnen nahe der Wurzel und somit weiter zurück liegen im Verhältnis zur Inzisalkante als bei retroinklinierten Zähnen.

Im Unterkiefer zeigte sich die posteriore Diskrepanz deutlich bei den Patienten mit distobasaler Kieferrelation. Es war allerdings unerwartet, dass der mandibuläre Platzmangel auf den gesamten Kiefer bezogen geringer war als nur im Molarenbereich. Dies lässt sich entweder auf die schwierige Bestimmung der posterioren knöchernen Begrenzung zurückführen oder es weist darauf hin, dass die Problematik im Unterkiefer stärker ist als im Oberkiefer. Da jedoch die Werte der posterioren mandibulären Diskrepanz die breiteste Streuung im Vergleich zu den anderen Diskrepanzen aufwies, scheint es an der schwierigen Bestimmbarkeit des Punktes pMn zu liegen. Bei der totalen Diskrepanz wurde dies nicht so deutlich, da die Änderungen innerhalb der Strecken größer sein müssen, um auch im Quotient deutlich zu werden. Weiterhin war die totale Diskrepanz im Unterkiefer der gesamten Apertognathen einer von zwei Werten, der nicht normalverteilt vorlag und der einzige Parameter der einen Extremwert aufwies. Es wurde keine Bonferroni-Korrektur angewandt, da der Vergleich

nur zu den Eugnathen stattfand. Aufgrund der transversalen Komponente im Frontzahnbereich lässt sich die totale Diskrepanz am Modell genauer bestimmen. Die posteriore Diskrepanz beider Kiefer scheint mit ihren Auswirkungen auf die Molareneruption wichtiger als die totale. Außerdem können die Zähne anterior durch Proklination und Staffelstände ausweichen, posterior nur durch Extrusion. Solange physiologische Abläufe die Kiefer posterior verlängern, ist diese Pathologie nicht zu erwarten. Nicht zu jedem Zeitpunkt kann von einem Platzmangel gesprochen werden, da in beiden Kiefern distal der Molaren Platz gewonnen wird durch verschiedene Umbauvorgänge [50, 71, 86]. Die Apposition im Oberkiefer und die Resorption im Unterkiefer kann jedoch nur innerhalb physiologischer Grenzen geschehen, sonst gäbe es keine retinierten dritten Molaren. Diese Grenzen scheinen bei den apertognathen Patienten früher erreicht zu sein als bei den eugnathen. In welchem Maße die dritten Molaren Druck auf die davor liegenden Zähne ausüben, müsste noch weiter untersucht werden. Es gab mehr Studien, die sich mit Platzmangel im Unterkiefer beschäftigten, als im Oberkiefer, bedingt durch die häufigen mandibulären Frontzahnengstände [49]. Richardson zeigte in einer Vielzahl von Artikeln, dass im Unterkiefer ein Molarenengstand besteht [85–87]. Sie bezog dies allerdings auf die Entstehung von Frontzahnengständen. Inwiefern die dritten Molaren Einfluss auf den Frontzahnengstand haben, bietet immer noch viel Raum für Diskussionen [42, 105]. Jedoch scheinen sie Einfluss auf die weit näher gelegenen Molaren auszuüben.

Unterstützt werden die hier gefunden Ergebnisse durch verschiedene Studien. Eine bewies, dass die Inklination der ersten und zweiten Molaren im Oberkiefer durch den Durchbruch der dritten Molaren zunimmt [33]. Eine Andere zeigte, dass die zweiten Molaren im Unterkiefer bereits nach 6 Monaten eine Tendenz zur Distalbewegung nach Extraktion der dritten Molaren aufwiesen [106]. Die vertikale Höhe ist ebenfalls durch den Druck beeinflusst. Dies demonstrierte eine Reihe von apertognathen Fällen, bei denen die Extraktion der dritten Molaren zu einer Besserung des offenen Bisses führte [94].

#### **5.2.4 Methodenfehler**

Die Intrarater-Reliabilität zeigte die größten Abweichungen bei den Winkeln mit 1,13 - 1,76°. Darunter lagen die Höhen der Zähne mit 0,53 - 0,55 mm. Die geringsten Abweichungen wiesen mit 0,01 - 0,03 die Parameter zur Diskrepanz zwischen Zahn und Knochen auf. Die Interrater-Reliabilität zeigte die gleiche Tendenz, wies jedoch insbesondere bei den Winkeln, größere Abweichungen auf. Der Intraklassen-Korrelationskoeffizient zeigte, dass die Zahnhöhen am genauesten waren. Die oben dargestellten Resultate liegen je nach Vergleich in ihrer Genauigkeit unterhalb anderer Studien [5, 6, 30, 33, 34, 37]. In der Vorliegenden wurde jedoch neben der Intra- auch die Interrater-Reliabilität getestet, weshalb dieses Ergebnis zu erwarten war [70]. Des Weiteren ergab der Intraklassen-Korrelationskoeffizient Werte oberhalb 0,8 und es kann somit von einer ausreichenden Genauigkeit ausgegangen werden.

### 5.3 Schlussfolgerungen

Bezogen auf die Hypothesen ergeben sich zusammenfassend folgende Erkenntnisse:

- Apertognathe Patienten zeigen einen größeren Platzmangel zwischen Zahn- und Knochenmenge als Eugnathe. Dieser äußert sich vertikal in der Molarenextrusion, im Oberkiefer zusätzlich durch die mesial angulierten Molaren und sagittal durch die enge Keimlage der Molaren. Der Platzmangel steht im Zusammenhang mit dieser Dysgnathie. Der Vergleich zwischen den Eugnathen und der Klasse I der Apertognathen zeigt, dass die posteriore Platzdiskrepanz und die bignathe Molarenextrusion bei den Apertognathen ausgeprägter sind.
- Patienten mit einer disto-basalen Kieferrelation haben eine vertikal und sagittal größere Platzdiskrepanz im Unter- als im Oberkiefer. Sie weisen dort eine größere posteriore Platzdiskrepanz und eine stärkere Molarenextrusion auf. Weiterhin findet sich dort die einzige statistisch signifikante posteriore Platzdiskrepanz im Vergleich zur Kontrollgruppe und eine höhere Molarenextrusion als bei der Klasse III. Im Oberkiefer zeigt sich die geringste Extrusion und Mesialangulation der Molaren.
- Probanden mit einer mesio-basalen Relation haben eine vertikal und sagittal größere Platzdiskrepanz im Ober- als im Unterkiefer. Die ersten maxillären Molaren sind stärker mesial anguliert und extrudiert als die mandibulären. Im Oberkiefer ist auch die sagittale Relation der posterioren Platzdiskrepanz stärker ausgeprägt. Bei der Klasse III zeigen sich die stärksten Mesialangulationen der Sechsjahrmolaren im Oberkiefer und die geringsten im Unterkiefer im Vergleich zu den anderen Gruppen. Die maxilläre Extrusion ist größer als bei Klasse II und die mandibuläre ist die geringste bei den Apertognathen.
- Die Apertognathen zeigen eine vergrößerte Zahnhöhe der Inzisiven zu den Eugnathen. Andere Studien zeigten allerdings, dass diese geringer ausfiel, als das kompensatorische Alveolarfortsatzwachstum von rein vertikalen Kontrollgruppen.
- Apertognathe zeigen keine bialveolär protrudierten Schneidezähne im Vergleich zur Kontrollgruppe. Dies gilt auch, wenn nur Klasse I Probanden verglichen werden.

Mit der neu eingeführten Analyse lassen sich die vertikale und sagittale Dimension des Platzmangels erfassen. Die ersten drei Hypothesen wurden bestätigt. Es besteht eine größere Platzdiskrepanz bei den Apertognathen als bei den Eugnathen. Bei Klasse II wurde dies besonders deutlich im Unterkiefer und bei Klasse III im Oberkiefer, denn es besteht ein Zusammenhang zur sagittalen Kieferrelation. Es wäre interessant, weitergehend zu untersuchen, inwiefern Unterschiede abhängig davon bestehen in welchem Kiefer eine Pro-, Retro- oder Eugnathe besteht. Es könnte somit sinnvoll sein, nicht nur Richtwerte der Platzdiskrepanz der Klasse I Kontrollgruppe zu haben, sondern auch der Klasse II und III. Die aperto-

gnathen Klasse II und III Probanden könnten jeweils mit Kontrollgruppen verglichen werden, die sich nur in ihrer Angle-Klasse von der hier verwendeten Kontrollgruppe unterscheiden und diese mit der jeweiligen Untersuchungsgruppe gemeinsam hätten. Damit könnten relevante Unterschiede besser und einfacher erkannt werden. Weitere Studien, die dies gezielt untersuchen, sind erforderlich. Gleiches gilt für die vierte Hypothese bezüglich des Alveolarfortsatzwachstums. Es scheint, dass Apertognathe weniger anteriores, kompensatorisches Alveolarfortsatzwachstum aufweisen als Eugnathe mit einem vertikalen Wachstumsmuster. Es ist von Interesse, weitergehend auch die anderen Parameter im Vergleich zwischen brachy-, meso- und dolichofazialen Probanden zu untersuchen. Eine Platzdiskrepanz bei den Molaren könnte bei jemandem mit dolichofazialen Wachstumsmuster eher zu einem offenen Biss führen als bei einem Brachyfazialen. Denn Letzterer bietet eine größere Kompensationsmarge.

Die Hypothese der bialveolären Protrusion konnte nicht bestätigt werden, muskuläre Einflüsse sind bei diesen Probanden daher unwahrscheinlich. Die Unterschiede in den Neigungen der Schneidezähne lassen sich eher durch die Kompensation der Klasse III erklären als durch dekompenzierte innere und äußere Funktionskreise. Dazu hätten die Ätiologien mit muskulären Komponenten gezählt, wie Zunge, Atemwegsobstruktionen, neuromuskuläre Schwächen und Haltung. Dies könnte daran liegen, dass die vorliegenden Patienten keine Störungen der Funktionskreise hatten oder diese Aspekte keinen starken Einfluss auf die Inklination der Zähne haben.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem posterioren Platzmangel und der Apertognathie. Basierend auf den vorliegenden Erkenntnissen lässt sich schlussfolgern, dass die frühzeitige Entfernung der dritten Molaren bei Patienten mit knappen vertikalen Frontzahnstufen im klinischen Alltag sinnvoll ist. Dies betrifft bei allen Klassen die maxillären Sapientes und bei Klasse II zusätzlich die mandibulären. Die rechtzeitige Entfernung sollte angestrebt werden, um eine Verschlechterung der Apertognathie zu vermeiden.

Weitere Forschung zu apertognathen Patienten und zum posterioren Platzmangel ist notwendig. Bei allen zukünftigen Studien sollten die sagittalen und vertikalen Wachstumsmuster unbedingt berücksichtigt werden.

## 6 Verzeichnisse

### 6.1 Literaturverzeichnis

1. Ackerman JL, Nguyen T, Proffit WR (2012) The Decision-making process in orthodontics. In: Graber LW, Vanarsdall RL, Vig KWL (eds) *Orthodontics. Current Principles and Techniques.*, 5th edn. Elsevier Mosby, Philadelphia, pp 3–58
2. Alexander RG (2011) Factors related to relapse. *The Alexander Discipline: long-term stability. Band 2.*, 1st edn. Quintessence Pub., Chicago Berlin Tokyo London Paris Milan Barcelona Istanbul Sao Paulo New Delhi Moscow Prag Warsaw, pp 165–186
3. Altan M, Nebioğlu Dalci Ö, İseri H (2012) Growth of the cervical vertebrae in girls from 8 to 17 years. A longitudinal study. *Eur J Orthod* 34:327–334
4. Arnett GW, Milam SB, Gottesman L (1996) Progressive mandibular retrusion-idiopathic condylar resorption. Part I. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 110:8–15
5. Arriola-Guillén LE, Flores-Mir C (2014) Molar heights and incisor inclinations in adults with Class II and Class III skeletal open-bite malocclusions. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 145:325–332
6. Arriola-Guillén LE, Flores-Mir C (2015) Anterior maxillary dentoalveolar and skeletal cephalometric factors involved in upper incisor crown exposure in subjects with Class II and III skeletal open bite. *Angle Orthod* 85:72–79
7. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA (2005) The Cervical Vertebral Maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod* 11:119–129
8. Ball G, Woodside D, Tompson B, Hunter WS, Posluns J (2011) Relationship between cervical vertebral maturation and mandibular growth. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 139:e455–e461
9. Battagel JM (1993) The aetiological factors in Class III malocclusion. *Eur J Orthod* 15:347–370
10. Beane RAJ (1999) Nonsurgical management of the anterior open bite: a review of the options. *Semin Orthod* 5:275–283
11. Björk A (1969) Prediction of mandibular growth rotation. *Am J Orthod* 55:585–599
12. Björk A (1972) Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation. *Trans Eur Orthod Soc*:61–74
13. Björk A, Skieller V (1972) Facial development and tooth eruption. An implant study at the age of puberty. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 62:339–383
14. Bock JJ, Czarnota J, Hirsch C, Fuhrmann R (2011) Orthodontic treatment need in a representative adult cohort. *J Orofac Orthop* 72:421–433

15. Bondevik O (2012) Dentofacial changes in adults: a longitudinal cephalometric study in 22-33 and 33-43 year olds. *J Orofac Orthop* 73:277–288
16. Broadbent BH (1931) A new x-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod* 1:45–66
17. Castro Cabrera M de, Cabrera CAG, Freitas KMS de, Janson G, Freitas MR de (2010) Lateral open bite: treatment and stability. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 137:701–711
18. Castroflorio T, Titolo C, Deregibus A, Debernardi C, Bracco P (2007) The orthodontic treatment of TMD patients: EMG effects of a functional appliance. *Cranio* 25:206–212
19. Celar AG, Freudenthaler JW, Celar RM, Jonke E, Schneider B (1998) The Denture Frame Analysis: an additional diagnostic tool. *Eur J Orthod* 20:579–587
20. Chang Y Il, Moon SC (1999) Cephalometric evaluation of the anterior open bite treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 115:29–38
21. Chen YJ, Shih TTF, Wang JS, Wang HY, Shiau YY (2005) Magnetic resonance images of the temporomandibular joints of patients with acquired open bite. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 99:734–742
22. Claasen H, Ehmer U, Hartung M, Mischke K-L, Nötzel F, Schultz C, Wree A (2007) Fernröntgenseitenbild-Analyse (F Nötzel, C Schultz, and M Hartung, Eds.), 1st edn. Deutscher Zahnärzte-Verlag, Köln
23. Cozza P, Baccetti T, Franchi L, Mucedero M, Polimeni A (2005) Sucking habits and facial hyperdivergency as risk factors for anterior open bite in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 128:517–519
24. Cozza P, Mucedero M, Baccetti T, Franchi L (2005) Early orthodontic treatment of skeletal open-bite malocclusion: a systematic review. *Angle Orthod* 75:707–713
25. Cramon-Taubadel N von (2011) Global human mandibular variation reflects differences in agricultural and hunter-gatherer subsistence strategies. *Proc Natl Acad Sci USA* 108:19546–19551
26. Dahlberg G (1940) Statistical methods for medical and biological students., 1st edn. George Allen & Unwin, London
27. Deguchi T, Kurosaka H, Oikawa H, Kuroda S, Takahashi I, Yamashiro T, Takano-Yamamoto T (2011) Comparison of orthodontic treatment outcomes in adults with skeletal open bite between conventional edgewise treatment and implant-anchored orthodontics. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 139:S60–S68
28. Drescher D (1994) Kephalmetrie. In: Schmuth GP, Vardimon AD (eds) *Kieferorthopädie*, 3rd edn. Thieme, Stuttgart New York, pp 75–102
29. Egermark-Eriksson I, Carlsson GE, Magnusson T, Thilander B (1990) A longitudinal study on malocclusion in relation to signs and symptoms of cranio-mandibular disorders in children and adolescents. *Eur J Orthod* 12:399–407

30. Endo T, Kojima K, Kobayashi Y, Shimooka S (2006) Cephalometric evaluation of anterior open-bite nonextraction treatment, using multiloop edgewise archwire therapy. *Odontology* 94:51–58
31. Espinar-Escalona E, Barrera-Mora JM, Llamas-Carreras JM, Ruiz-Navarro MB (2013) The segmented arch approach: a method for orthodontic treatment of a severe Class III open-bite malocclusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 143:254–265
32. Farronato G, Giannini L, Galbiati G, Stabilini SA, Maspero C (2013) Orthodontic-surgical treatment: neuromuscular evaluation in open and deep skeletal bite patients. *Prog Orthod* 14:41–47
33. Fayad JB, Levy JC, Yazbeck C, Cavezian R, Cabanis E-A (2004) Eruption of third molars: relationship to inclination of adjacent molars. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 125:200–202
34. Ferrario VF, Serrao G, Ciusa V, Morini M, Sforza C (2002) Cephalometric and in vivo measurements of maxillomandibular anteroposterior discrepancies: a preliminary regression study. *Angle Orthod* 72:579–584
35. Field A (2009) *Discovering statistics using SPSS.*, 3rd edn. SAGE Publications, London Thousand Oaks New Delhi Singapore
36. Francisconi MF, Janson G, Freitas KMS, Gobbi de Oliveira RC, Gobbi de Oliveira RC, Freitas MR de, Henriques JFC (2014) Overjet, overbite, and anterior crowding relapses in extraction and nonextraction patients, and their correlations. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 146:67–72
37. Freitas MR de, Soares Beltrão RT, Janson G, Henriques JFC, Cançado RH (2004) Long-term stability of anterior open bite extraction treatment in the permanent dentition. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 125:78–87
38. Fröhlich K, Thüer U, Ingervall B (1991) Pressure from the tongue on the teeth in young adults. *Angle Orthod* 61:17–24
39. Fujiki T, Takano-Yamamoto T, Noguchi H, Yamashiro T, Guan G, Tanimoto K (2000) A cineradiographic study of deglutitive tongue movement and nasopharyngeal closure in patients with anterior open bite. *Angle Orthod* 70:284–289
40. Goldberg AI, Behrents RG, Oliver DR, Buschang PH (2013) Facial divergence and mandibular crowding in treated subjects. *Angle Orthod* 83:381–388
41. Goldfield EC, Buonomo C, Fletcher K, Perez J, Margetts S, Hansen A, Smith V, Ringer S, Richardson MJ, Wolff PH (2010) Premature infant swallowing: patterns of tongue-soft palate coordination based upon videofluoroscopy. *Infant Behav Dev* 33:209–218
42. Hassan PKS (2011) Influence of third molars on anterior crowding-revisited. *J Int Oral Heal* 3:37–40

43. Hofrath H (1931) Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. *Fortschritte der Orthod Theor und Prax* 1:232–258
44. Ioi H, Nakata S, Nakasima A, Counts AL (2007) Comparison of cephalometric norms between Japanese and Caucasian adults in antero-posterior and vertical dimension. *Eur J Orthod* 29:493–499
45. Isaacson J, Isaacson RJ, Speidel TM, Worms FW (1971) Extreme variation in vertical facial growth and associated variation in skeletal and dental relations. *Angle Orthod* 41:219–229
46. Janson G, Pinelli Valarelli F, Henriques JFC, Freitas MR de, Cançado RH (2003) Stability of anterior open bite nonextraction treatment in the permanent dentition. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 124:265–276
47. Joondeph DR (2012) Stability, retention, and relapse. In: Graber LW, Vanarsdall RL, Vig KWL (eds) *Orthodontics. Current Principles and Techniques.*, 5th edn. Elsevier Mosby, Philadelphia, pp 991–1017
48. Kajii TS, Sato Y, Kajii S, Sugawara Y, Iida J (2004) Agenesis of third molar germs depends on sagittal maxillary jaw dimensions in orthodontic patients in Japan. *Angle Orthod* 74:337–342
49. Kandasamy S, Rinchuse DJ, Rinchuse DJ (2009) The wisdom behind third molar extractions. *Aust Dent J* 54:284–292
50. Kandasamy S, Woods M (2005) Is orthodontic treatment without premolar extractions always non-extraction treatment? *Aust Dent J* 50:146–151
51. Katsaros C, Berg R (1993) Anterior open bite malocclusion: a follow-up study of orthodontic treatment effects. *Eur J Orthod* 15:273–280
52. Kim YH (1987) Anterior openbite and its treatment with multiloop edgewise archwire. *Angle Orthod* 57:290–321
53. Kim JI, Akimoto S, Shinji H, Sato S (2009) Importance of vertical dimension and cant of occlusal plane in craniofacial development. *Int J Stomatol Occlusion Med* 2:114–121
54. Kim YH, Han UK, Lim DD, Serraon MLP (2000) Stability of anterior openbite correction with multiloop edgewise archwire therapy: a cephalometric follow-up study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 118:43–54
55. Klocke A, Nanda RS, Kahl-Nieke B (2002) Anterior open bite in the deciduous dentition: longitudinal follow-up and craniofacial growth considerations. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 122:353–358
56. Knell B, Ruhstaller P, Prieels F, Schmeling A (2009) Dental age diagnostics by means of radiographical evaluation of the growth stages of lower wisdom teeth. *Int J Legal Med* 123:465–469

57. Krey KF, Dannhauer KH, Hierl T (2015) Morphology of open bite. *J Orofac Orthop* 76:213–224
58. Kucera J, Marek I, Tycova H, Baccetti T (2011) Molar height and dentoalveolar compensation in adult subjects with skeletal open bite. *Angle Orthod* 81:564–569
59. Kuitert R, Beckmann S, Loenen M van, Tuinzing B, Zentner A (2006) Dentoalveolar compensation in subjects with vertical skeletal dysplasia. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 129:649–657
60. Kuroda S, Tanimoto K, Izawa T, Fujihara S, Koolstra JH, Tanaka E (2009) Biomechanical and biochemical characteristics of the mandibular condylar cartilage. *Osteoarthr Cartil* 17:1408–1415
61. Lentini-Oliveira DA, Carvalho FR, Ye Q, Junjie L, Saconato H, Machado MAC, Prado LBF, Prado GF (2007) Orthodontic and orthopaedic treatment for anterior open bite in children. *Cochrane Libr* 2:1–24
62. Lin LH, Huang GW, Chen CS (2013) Etiology and treatment modalities of anterior open bite malocclusion. *J Exp Clin Med* 5:1–4
63. Machon V, Hirjak D, Lukas J (2011) Therapy of the osteoarthritis of the temporomandibular joint. *J Cranio-Maxillo-Facial Surg* 39:127–130
64. Marangoni AF, Godoy CHL de, Biasotto-Gonzalez DA, Almeida Alfaya T, Santos Fernandes KP, Mesquita-Ferrari RA, Bussadori SK (2014) Assessment of type of bite and vertical dimension of occlusion in children and adolescents with temporomandibular disorder. *J Bodyw Mov Ther* 18:435–440
65. Martina R, Farella M, Tagliaferri R, Michelotti A, Quaremba G, Eijden TMGJ van (2005) The relationship between molar dentoalveolar and craniofacial heights. *Angle Orthod* 75:974–979
66. Matsumoto MAN, Romano FL, Ferreira JTL, Valério RA (2012) Open bite: diagnosis, treatment and stability. *Braz Dent J* 23:768–778
67. Medeiros de Oliveira TF, Nakao CY, Gonçalves JR, Santos-Pinto A (2014) Maxillary molar intrusion with zygomatic anchorage in open bite treatment: lateral and oblique cephalometric evaluation. *Oral Maxillofac Surg* 19:71–77
68. Mellion ZJ, Behrents RG, Johnston LE (2013) The pattern of facial skeletal growth and its relationship to various common indexes of maturation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 143:845–854
69. Merrifield LL (1978) Differential diagnosis with total space analysis. *J CH Tweed Found*:10–15
70. Miethke RR (1989) Zur Lokalisationsgenauigkeit kephalometrischer Referenzpunkte. *Prakt Kieferorthop* 3:107 – 122

71. Miethke RR (2000) Schädelentwicklung. In: Diedrich P (ed) *Kieferorthopädie. Orofaziale Entwicklung und Diagnostik.*, 4th edn. Elsevier Urban&Fischer, München, pp 17–45
72. Ng CST, Wong WKR, Hagg U (2008) Orthodontic treatment of anterior open bite. *Int J Paediatr Dent* 18:78–83
73. Ngan P, Fields HW (1997) Open bite: a review of etiology and management. *Pediatr Dent* 19:91–98
74. Normando D, Almeida MAO, Quintão CCA (2013) Dental crowding: the role of genetics and tooth wear. *Angle Orthod* 83:10–15
75. O'Higgins EA, Kirschen RH, Lee RT (1999) The influence of maxillary incisor inclination on arch length. *Br J Orthod* 26:97–102
76. Piancino MG, Isola G, Merlo A, Dalessandri D, Debernardi C, Bracco P (2012) Chewing pattern and muscular activation in open bite patients. *J Electromyogr Kinesiol* 22:273–279
77. Ponsford MW, Stella JP (2013) Algorithm for the differential diagnosis of posterior open bites: two illustrative cases. *J Oral Maxillofac Surg* 71:110–127
78. Prada CE, Zarate YA, Hopkin RJ (2012) Genetic causes of macroglossia: diagnostic approach. *Pediatrics* 129:e431–e437
79. Proffit WR (1972) Lingual pressure patterns in the transition from tongue thrust to adult swallowing. *Arch Oral Biol* 17:555–563
80. Proffit WR (2007) Malocclusion and dentofacial deformity in contemporary society. In: Proffit WR, Fields HWJ, Sarver DMS (eds) *Contemporary Orthodontics*, 4th edn. Elsevier Mosby, St. Louis, pp 3–23
81. Proffit WR (2007) The etiology of orthodontic problems. In: Proffit WR, Fields HWJ, Sarver DMS (eds) *Contemporary Orthodontics*, 4th edn. Elsevier Mosby, St. Louis, pp 130–161
82. Proffit WR, Vig KW (1981) Primary failure of eruption: a possible cause of posterior open-bite. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 80:173–190
83. Ribeiro GLU, Regis S, Morais Alves da Cunha T de, Sabatoski MA, Guariza-Filho O, Tanaka OM (2010) Multiloop edgewise archwire in the treatment of a patient with an anterior open bite and a long face. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 138:89–95
84. Richardson ME (1980) Late third molar genesis: its significance in orthodontic treatment. *Angle Orthod* 50:121–128
85. Richardson ME (1985) Lower molar crowding in the early permanent dentition. *Angle Orthod* 55:51–57
86. Richardson ME (1987) Lower third molar space. *Angle Orthod* 57:155–161

87. Richardson ME (1992) Changes in lower third molar position in the young adult. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 102:320–327
88. Riolo ML, Brandt D, TenHave TR (1987) Associations between occlusal characteristics and signs and symptoms of TMJ dysfunction in children and young adults. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 92:467–477
89. Romero CC, Scavone-Junior H, Garib DG, Cotrim-Ferreira FA, Ferreira RI (2011) Breastfeeding and non-nutritive sucking patterns related to the prevalence of anterior open bite in primary dentition. *J Appl Oral Sci* 19:161–168
90. Sarnäs KV, Solow B (1980) Early adult changes in the skeletal and soft-tissue profile. *Eur J Orthod* 2:1–12
91. Sasaguri K, Ishizaki-Takeuchi R, Kuramae S, Tanaka EM, Sakurai T, Sato S (2009) The temporomandibular joint in a rheumatoid arthritis patient after orthodontic treatment. *Angle Orthod* 79:804–811
92. Sato S (2002) The dynamic functional anatomy of the craniofacial complex and its relation to the articulations of dentition. In: Slavicek R (ed) *The Masticatory Organ-Functions and Dysfunctions.*, 1st edn. GAMMA Medizinisch-wissenschaftliche Fortbildungs-AG, Klosterneuburg, pp 484–515
93. Sato S, Akimoto S, Shinji H (2005) Development and orthodontic treatment of Class III Malocclusion. *Informationen aus Orthod Kieferorthopädie* 37:87–99
94. Sato S, Lim DC, Miyakawa Y, Kim R-H (1998) The development of openbite as a result of posterior discrepancy and its treatment approach using multiloop edgewise arch wire. *Int J MEAW*:62–72
95. Sato S, Onodera K, Takashina H, Hori N, Sato S (2003) A consideration of posterior discrepancy in cases of crowding malocclusion: implications for orthodontic treatment. *Bull Kanagawa Dent Coll* 31:131–141
96. 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
97. Schendel SA, Eisenfeld J, Bell WH, Epker BN, Mischelevich DJ (1976) The long face syndrome: vertical maxillary excess. *Am J Orthod* 70:398–408
98. Schünke M, Schulte E, Schumacher U (2006) Prometheus-Lernatlas der Anatomie: Kopf und Neuroanatomie. Band 3., 1st edn. Thieme, Stuttgart New York
99. Segner D, Hasund A (1998) Individualisierte Kephalemetrie, 3rd edn. Dietmar Segner, Hamburg
100. Shinji H, Hiyama T, Yamaguchi M (2007) Interception of Decompensated Class III Malocclusion in Early Mixed Dentition. *Bull Kanagawa Dent Coll* 35:105–111

101. Sidebottom AJ, Salha R (2013) Management of the temporomandibular joint in rheumatoid disorders. *Br J Oral Maxillofac Surg* 51:191–198
102. Silva I, Suska F, Cardemil C, Rasmusson L (2013) Stability after maxillary segmentation for correction of anterior open bite: a cohort study of 33 cases. *J Cranio-Maxillo-Facial Surg* 41:e154–e158
103. Smithpeter J, Covell DJ (2010) Relapse of anterior open bites treated with orthodontic appliances with and without orofacial myofunctional therapy. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 137:605–614
104. Souza Galvão MC de, Sato JR, Capobianco Coelho E (2012) Dahlberg formula: a novel approach for its evaluation. *Dental Press J Orthod* 17:115–124
105. Stanaitytė R, Trakinienė G, Gervickas A (2014) Do wisdom teeth induce lower anterior teeth crowding? A systematic literature review. *Stomatol Balt Dent Maxillofac J* 16:15–18
106. Stanaitytė R, Trakinienė G, Gervickas A (2014) Lower dental arch changes after bilateral third molar removal. *Stomatol Balt Dent Maxillofac J* 16:31–36
107. Steinhäuser EW, Spitzer W (1981) Fortschritte in der chirurgischen Behandlung des offenen Bisses. *Fortschr Kieferorthop* 42:473–481
108. Subtelny JD, Sakuda M (1964) Open-bite: diagnosis and treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 50:337–358
109. Tanaka E, Detamore MS, Mercuri LG (2008) Degenerative disorders of the temporomandibular joint: etiology, diagnosis, and treatment. *J Dent Res* 87:296–307
110. Tanaka EM, Sato S (2008) Longitudinal alteration of the occlusal plane and development of different dentoskeletal frames during growth. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 134:602.e1–602.e11
111. Tornisiello Katz CR, Rosenblatt A (2005) Nonnutritive sucking habits and anterior open bite in Brazilian children: a longitudinal study. *Pediatr Dent* 27:369–373
112. Torres F, Almeida RR, Rodrigues de Almeida M, Almeida-Pedrin RR, Pedrin F, Henriques JFC (2006) Anterior open bite treated with a palatal crib and high-pull chin cup therapy. A prospective randomized study. *Eur J Orthod* 28:610–617
113. Uribe FA, Nanda R (2005) Management of open bite malocclusion. In: Nanda R (ed) *Biomechanics and Esthetic Strategies in Clinical Orthodontics.*, 1st edn. Elsevier Saunders, St. Louis, pp 156–176
114. Uribe FA, Nanda R (2010) Efficient mechanics and appliances to correct vertical excess and open bite. In: Nanda R, Kapila S (eds) *Current Therapy in Orthodontics.*, 1st edn. Elsevier Mosby, St. Louis, pp 171–185

115. Velásquez Torres R, Sato S, Tanaka Lozano EM (2003) Tratamiento ortodóntico diferencial de la maloclusión de clase III mordida-abierta y clase II mordida-abierta. *Ayud Clin*:8–16
116. Wanjau J, Sethusa MPS (2010) Etiology and pathogenesis of anterior open bite: a review. *East Afr Med J* 87:452–455
117. Weiß C (2013) Basiswissen medizinische Statistik.
118. Werres A (2007) Craniomandibular dysgnathia: orthodontic classification, assessment and management. In: Piekartz HJM von (ed) *Craniofacial Pain*, 1st edn. Elsevier Butterworth Heinemann, Philadelphia, pp 285–294
119. Worms FW, Meskin LH, Isaacson RJ (1971) Open-bite. *Am J Orthod* 59:589–595
120. Yamaguchi K (2010) Etiological and therapeutic considerations with open bite. In: Nanda R, Kapila S (eds) *Current Therapy in Orthodontics.*, 1st edn. Elsevier Mosby, St. Louis, pp 159–170
121. Yousefzadeh F, Shcherbatyy V, King GJ, Huang GJ, Liu ZJ (2010) Cephalometric and electromyographic study of patients of East African ethnicity with and without anterior open bite. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 137:236–246
122. Zuroff JP, Chen SH, Shapiro PA, Little RM, Joondeph DR, Huang GJ (2010) Orthodontic treatment of anterior open-bite malocclusion: stability 10 years postretention. Editor's Summary and Q&A. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 137:302–303

## 6.2 Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1</b> Begrenzung der Maxilla durch Fossa pterygopalatina .....	15
<b>Abb. 2</b> Begrenzung des Alveolarfortsatzes vom Corpus mandibulae durch den Ramus mandibulae.....	15
<b>Abb. 3</b> Fernröntgenseitenbild mit neu eingeführten kephalometrischen Punkten (blau) .....	17
<b>Abb. 4</b> Fernröntgenseitenbild mit gespiegelten Punkten (blau).....	17
<b>Abb. 5</b> Fernröntgenseitenbild mit Hilfslinien von OnyxCeph <sup>3TM®</sup> zum Setzen der Punkte pMn, Pto, A und B mit den anatomischen Bildern des Ober- und Unterkiefers zum Vergleich	18
<b>Abb. 6</b> Fernröntgenseitenbild mit Darstellung zur Berechnung der Frontzahnstufen .....	19
<b>Abb. 7</b> Fernröntgenseitenbild mit Darstellung zur Berechnung der Strecken der Platzdiskrepanzen .....	20
<b>Abb. 8</b> Testvorgehen .....	21
<b>Abb. 9</b> Fallzahlbestimmung .....	23
<b>Abb. 10</b> Altersaufteilung der Probanden.....	24
<b>Abb. 11</b> Boxplots der Zahnneigungen in ° .....	26
<b>Abb. 12</b> Boxplots der Zahnhöhen in mm .....	27
<b>Abb. 13</b> Boxplots der Platzdiskrepanzen (in mm/mm).....	28
<b>Abb. 14</b> Fernröntgenseitenbild mit Messvergleich der Frontzahnstufe in Relation zur gemittelten Okklusionsebene (blaue Linien) und zur Frankfurter Horizontalen (gestrichelte Linien).....	39

### 6.3 Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1</b> Neu eingeführte kephalometrische Punkte .....	16
<b>Tab. 2</b> Neu eingeführte Hilfslinien zum Setzen der Punkte Ptc, pMx und pMn .....	18
<b>Tab. 3</b> Berechnung der Frontzahnstufen .....	18
<b>Tab. 4</b> Berechnung der Zahnneigungen .....	19
<b>Tab. 5</b> Berechnung der Zahnhöhen .....	19
<b>Tab. 6</b> Strecken für weitere Berechnungen .....	20
<b>Tab. 7</b> Berechnungen der Diskrepanzen .....	20
<b>Tab. 8</b> Kennzeichnung der Signifikanzniveaus .....	22
<b>Tab. 9</b> Abkürzungen der Einstufung, Klasse und Geschlecht.....	23
<b>Tab. 10</b> Verteilung der Probanden .....	24
<b>Tab. 11</b> p-Werte und Signifikanzniveaus der Zahnneigungen .....	29
<b>Tab. 12</b> p-Werte und Signifikanzniveaus der Zahnhöhen.....	29
<b>Tab. 13</b> p-Werte und Signifikanzniveaus der Platzdiskrepanzen.....	30
<b>Tab. 14</b> Reliabilität nach Dahlberg und Intraklassen-Korrelationskoeffizient.....	30
<b>Tab. 15</b> Differenzen der signifikanten Zahnneigungen in ° .....	31
<b>Tab. 16</b> Differenzen der signifikanten Zahnhöhen in mm .....	31
<b>Tab. 17</b> Differenzen der signifikanten Platzdiskrepanzen (in mm/mm).....	31
<b>Tab. 18</b> Kephhalometrische Punkte, soweit möglich gemäß Claasen <i>et al.</i> [22] .....	65
<b>Tab. 19</b> Linien für weitere Berechnungen .....	66
<b>Tab. 20</b> Numerische Daten der Boxplots zu den Zahnneigungen .....	67
<b>Tab. 21</b> Numerische Daten der Boxplots zu den Zahnhöhen .....	67
<b>Tab. 22</b> Numerische Daten der Boxplots zu den Diskrepanzen .....	67

## 7 Publikationen / Danksagungen

### 7.1 Publikationen

1. Rijpstra C, Lisson JA (2014) Anterior Apertognathy - Etiology with special consideration of the posterior discrepancy. In: Slavicek R (ed) *Concepts - Jahrestagung der Vienna School of Interdisciplinary Dentistry*. VieSID, Vienna
2. Rijpstra C, Lisson JA (2014) Zur Ätiologie der anterioren Apertognathie - ein Review der Literatur. In: Wichelhaus A (ed) *Kieferorthopädie - Tradition und Innovation (Abstractband) Wissenschaftliche Jahrestagung*, 87. edn. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V., München, pp 137
3. Rijpstra C, Delahaye B, Lisson JA (2015) Posteriorer Platzmangel bei apertognathen Patienten. In: Lux CJ (ed) *Kieferorthopädie - Perspektiven in Diagnostik und Therapie (Abstractband) Wissenschaftliche Jahrestagung*, 88th edn. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V., Mannheim
4. Delahaye B, Rijpstra C, Lisson JA (2015) Vergleich der Schneidezahnhöhe und -inklination apertognather Patienten. In: Lux CJ (ed) *Kieferorthopädie - Tradition und Innovation (Abstractband) Wissenschaftliche Jahrestagung*, 88th edn. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V., Mannheim

Voraussichtlich:

5. Rijpstra C, Lisson JA (2015) Aetiology of Anterior Apertognathia - A review.  
Eingereicht beim: *J Orofac Orthop*

## 7.2 Danksagungen

Besonders möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. Jörg A. Lisson für die direkte Unterstützung bei allen auftretenden Fragen und die stetige Motivation bedanken.

Mein herzlicher Dank gilt auch Professor Dr. Dr. Wolfgang J. Spitzer, der mir durch den Zugang zum Archiv der Klinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie ermöglichte, eine größere Anzahl von Patienten zu akquirieren.

Bei Professor Dr. Sadao Sato möchte ich mich für das geweckte Interesse an dem Thema „offener Biss“ und die Möglichkeit zur Literaturrecherche in Yokosuka bedanken und Dr. Koichi Sugimoto für die Betreuung vor Ort.

Professor Dr. L. Alejandra Londoño Mejía bestärkte mich in der Idee für die Entwicklung einer neuen Analyse und ohne Bettina Delahaye wäre der Interrater-Vergleich nicht möglich gewesen.

Meinen Freunden, meiner Familie und meinen Kolleginnen möchte ich für das Austreiben des Fehlerteufels danken, der in der eigenen Arbeit sehr viel schwieriger zu finden ist als in der von Anderen.

Meinen Eltern, MSc. Bertram Eicher, Dr. Cornelia Holtkamp und Professor Dr. Jörg A. Lisson danke ich dafür dass sie mich in meinem beruflichen Werdegang unterstütz haben und mir dabei helfen der bestmögliche *doctor* zu werden.

Abschließend möchte ich Benjamin Mangler danken, der mir die Irrungen und Wirrungen der Statistik erklärt hat und mir durch die Erleichterung des alltäglichen Lebens die zügige Fertigstellung dieser Dissertation erst ermöglichte.

## 8 Anhang

**Tab. 18** Kephalometrische Punkte, soweit möglich gemäß Claasen *et al.* [22]  
(in Klammern geschriebene Punkte werden vom Computer errechnet)

Kürzel (Original)	Bezeichnung	Definition	Autor (Jahr)
<b>NORM A</b>	Normierungspunkt A		
<b>NORM B</b>	Normierungspunkt B		
<b>Schädelbasis</b>			
<b>N (kein Kürzel)</b>	Nasion	Sutur zwischen dem Os nasale und Os frontale (am weitesten anterior gelegener Punkt)	William B. Downs (1948)
<b>S (s)</b>	<i>Sella (Bezeichnung erst 1975 / 1988)</i>	Zentralpunkt des Türkensattels (Mittelpunkt des Horizontaldiameters)	Arne Björk (1947)
<b>Po</b>	Porion	Oberseite des Gehörgangschattens beziehungsweise des Meatus acusticus externus	Robert E. Moyers (1973)
<b>Knöcherner Oberkiefer</b>			
<b>Or</b>	Orbita	Tiefster Punkt des Infraorbitalrandes	Arne Björk (1947)
<b>Ptm</b>	Fissura pterygomaxillare	Eine beidseitige auftretende tränenförmige Röntgenkontur. Der anteriore Schatten repräsentiert die Tuberositas pterygoidea der Maxilla. Der zu bezeichnende Punkt befindet sich am vordersten inferioren Auslauf der Konturen. (Schnittpunkt der dorsalen Kontur des Corpus maxillae mit dem Gaumen.)	Robert E. Moyers (1973)
<b>Spa (sp)</b>	Spina nasalis anterior (Spinapunkt)	Spitze der spina nasalis anterior (anteriorster Punkt)	Arne Björk (1947)
<b>A (ss)</b>	A-Punkt (Subspinale)	Tiefster Punkt am oberen Alveolarfortsatz, zwischen Spina (nasalis anterior) und Prosthion	Arne Björk (1947)
<b>Spp (PNS)</b>	Spina nasalis posterior	Hinterster Punkt des harten Gaumens	Michael L. Riolo (1974)
<b>Pr</b>	Prosthion	Vorderster Punkt des Oberkieferalveolarknochens	T.M. Graber (1975)
<b>Knöcherner Unterkiefer</b>			
<b>Ar (a)</b>	Artikulare	Schnittpunkt des Hinterrandes des aufsteigenden Unterkieferastes mit dem Schläfenbein	Arne Björk (1947)
<b>T1</b>	Tangentenpunkt 1	Anlagepunkt der Tangente von Artikulare am dorsalsten Punkt des Ramus ascendens im Bereich des Kieferwinkels	/
<b>Me</b>	Menton	Tiefster Punkt an der Kontur der Mandibularsymphyse	Viken Sassouni (1971)
<b>T2</b>	Tangentenpunkt 2	Anlagepunkt der Tangente von Menton an den dorsokaudalsten Punkt des Unterkieferkörpers	/
<b>tGo</b>	Gonion, Tangentenpunkt	Kreuzungspunkt der Mandibular-Linie und der Ramus-Linie (konstruierter Punkt)	Arne Björk (1960)
<b>Pog (kein Kürzel)</b>	Pogonion	Vorderster Punkt auf der Symphyse der Mandibula, wenn der Kopf nach der Frankfurter Horizontalen ausgerichtet ist	B. Holly Broadbent (1975)
<b>Id</b>	Infradentale	Anterior oberster Punkt des Alveolarfortsatzes der Mandibula, für gewöhnlich an der Schmelz-Zement-Grenze des unteren mittleren Schneidezahnes	Robert E. Moyers (1988)
<b>B (sm)</b>	B-Punkt (Supramentale)	Tiefster Punkt an der Kontur des Alveolarfortsatzes der Mandibula, zwischen Infradentale und Pogonion	Arne Björk (1947)

## Anhang

Kürzel (Original)	Bezeichnung	Definition	Autor (Jahr)
<b>Dentale Punkte im Oberkiefer</b>			
<b>Ap6mMx</b>	Mesialer Apex maxillärer M1	Anteriore Wurzelspitze des ersten unteren Molaren	/
<b>Ap1Mx</b>	Apex maxillärer 1er	Wurzelspitze des oberen mittleren Schneidezahnes	/
<b>m6Mx (UMT)</b>	Mesiale Höckerspitze maxillärer M1	Anteriore Höckerspitze des ersten oberen Molaren	Michael L. Riolo (1974)
<b>Is1Mx (is)</b>	Inzisalkante maxillärer 1er (Incision superius)	Inzisalpunkt des oberen mittleren Schneidezahnes	Arne Björk (1960)
<b>Dentale Punkte im Unterkiefer</b>			
<b>Ap1Mn</b>	Apex mandibulärer 1er	Wurzelspitze des unteren mittleren Schneidezahnes	/
<b>Is1Mn (ii)</b>	Inzisalkante mandibulärer 1er (Incision inferius)	Inzisalpunkt des unteren mittleren Schneidezahnes	Arne Björk (1947)
<b>Ap6mMn</b>	Mesialer Apex mandibulärer M1	Anteriore Wurzelspitze des ersten unteren Molaren	/
<b>d6Mn</b>	Distale Höckerspitze mandibulärer M1	Posteriore Höckerspitze des ersten unteren Molaren	/
<b>m6Mn (LMT)</b>	Mesiale Höckerspitze mandibulärer M1	Anteriore Höckerspitze des ersten unteren Molaren	Michael L. Riolo (1974)

**Tab. 19** Linien für weitere Berechnungen

Kürzel	Bezeichnung	Definition
<b>FH</b>	Frankfurter Horizontale	Or-Po Bezugsebene eines aufrecht stehenden Menschen
<b>NL</b>	Nasal-Linie	Spp-Spa (Oberkieferbasis)
<b>ML</b>	Mandibular-Linie	Me-T2 (tgo) (Unterkieferbasis)
<b>RL</b>	Ramus-Linie	Ar-T1
<b>NA</b>	NA-Linie	N-A Verbindung zwischen anteriorestem Punkt der Schädelbasis und des Oberkiefers
<b>NB</b>	NB-Linie	N-B Verbindung zwischen anteriorestem Punkt der Schädelbasis und des Unterkiefers
<b>6Mx<sup>^</sup></b>	Achse maxillärer erster Molar	Gerade durch die Punkte m6Mx und Ap6mMx bis zur Oberkieferbasis
<b>6Mn<sup>^</sup></b>	Achse mandibulärer erster Molar	Gerade durch die Punkte m6Mn und Ap6mMn bis zur Unterkieferbasis
<b>1Mx<sup>^</sup></b>	Achse maxillärer mittlerer Inzisivus	Gerade durch die Punkte Is1Mx und Ap1Mx bis zur Oberkieferbasis
<b>1Mn<sup>^</sup></b>	Achse mandibulärer mittlerer Inzisivus	Gerade durch die Punkte Is1Mn und Ap1Mn bis zur Unterkieferbasis

## Anhang

**Tab. 20** Numerische Daten der Boxplots zu den Zahnneigungen

$\alpha 6$  = Neigung erster maxillärer Molar;  $\beta 6$  = Neigung erster mandibulärer Molar;  $\alpha 1$  = Neigung maxillärer mittlerer Schneidezahn;  $\beta 1$  = Neigung mandibulärer mittlerer Schneidezahn

A = Apertognathe, E = Eugnathe, I/II/III = I/II/III Klasse der Apertognathen

Md = Median; Mw = Mittelwert; SD = Standard Deviation; Min = Minimum; Max = Maximum

		Md	Mw	SD	Min	Max			Md	Mw	SD	Min	Max
$\alpha 6$	A	81,85	80,95	7,33	60,04	103,57	$\beta 6$	A	82,17	82,74	6,63	64,79	99,64
	E	78,66	78,67	6,41	60,30	97,79		E	84,62	84,30	5,53	71,79	96,32
	I	82,16	80,78	6,06	67,40	90,32		I	83,76	83,93	7,22	64,79	99,64
	II	78,46	78,23	7,07	60,04	89,29		II	82,03	82,03	6,35	68,28	94,58
	III	85,19	85,06	8,28	63,86	103,57		III	81,46	81,55	5,79	71,69	92,35
		Md	Mw	SD	Min	Max			Md	Mw	SD	Min	Max
$\alpha 1$	A	116,38	116,63	6,44	95,67	132,14	$\beta 1$	A	90,90	91,34	9,03	63,90	114,99
	E	112,71	113,40	6,26	100,08	132,11		E	95,33	95,29	6,72	79,96	109,98
	I	115,65	116,02	6,08	100,93	127,10		I	92,01	92,17	8,58	76,37	114,99
	II	115,21	114,51	6,14	95,67	123,07		II	93,89	94,44	8,17	76,43	110,70
	III	118,31	120,70	5,92	110,27	132,14		III	85,55	85,51	8,67	63,90	101,40

**Tab. 21** Numerische Daten der Boxplots zu den Zahnhöhen

$6Mx$  = Zahnhöhe erster maxillärer Molar;  $6Mn$  = Zahnhöhe erster mandibulärer Molar;  $1Mx$  = Zahnhöhe maxillärer mittlerer Schneidezahn;  $1Mn$  = Zahnhöhe mandibulärer mittlerer Schneidezahn

A = Apertognathe, E = Eugnathe, I/II/III = I/II/III Klasse der Apertognathen

Md = Median; Mw = Mittelwert; SD = Standard Deviation; Min = Minimum; Max = Maximum

		Md	Mw	SD	Min	Max			Md	Mw	SD	Min	Max
$6Mx$	A	23,44	23,53	3,28	16,29	31,44	$6Mn$	A	32,41	32,19	3,65	25,31	42,79
	E	20,88	20,83	2,27	15,36	26,58		E	29,44	29,51	2,74	22,99	38,14
	I	23,88	24,29	3,94	16,95	33,44		I	33,31	32,92	3,81	27,22	42,79
	II	22,53	22,25	2,58	16,29	26,65		II	32,11	31,97	3,25	25,31	39,96
	III	23,86	23,92	2,29	20,46	29,19		III	31,60	31,17	3,78	25,50	38,94
		Md	Mw	SD	Min	Max			Md	Mw	SD	Min	Max
$1Mx$	A	28,07	28,20	3,44	20,79	36,32	$1Mn$	A	40,38	40,18	3,91	32,13	50,88
	E	27,14	26,80	2,92	20,09	33,58		E	37,59	37,72	3,19	31,38	46,20
	I	28,97	28,72	3,74	21,25	36,32		I	40,76	40,94	3,93	34,16	49,24
	II	27,34	27,77	3,10	21,54	32,58		II	39,97	40,11	4,11	32,13	50,88
	III	27,94	27,83	3,39	20,79	33,34		III	38,27	38,88	3,42	34,63	44,69

**Tab. 22** Numerische Daten der Boxplots zu den Diskrepanzen

$PdMx$  = Maxilläre posteriore Diskrepanz;  $PdMn$  = Mandibuläre posteriore Diskrepanz;  $TdMx$  = Maxilläre totale Diskrepanz;  $TdMn$  = Mandibuläre totale Diskrepanz

A = Apertognathe, E = Eugnathe, I/II/III = I/II/III Klasse der Apertognathen

Md = Median; Mw = Mittelwert; SD = Standard Deviation; Min = Minimum; Max = Maximum

		Md	Mw	SD	Min	Max			Md	Mw	SD	Min	Max
$PdMx$	A	1,04	1,05	0,10	0,86	1,38	$PdMn$	A	1,37	1,37	0,15	0,96	1,72
	E	0,99	0,99	0,07	0,83	1,16		E	1,33	1,33	0,12	1,07	1,55
	I	1,04	1,04	0,12	0,86	1,38		I	1,36	1,36	0,13	1,06	1,63
	II	1,04	1,06	0,09	0,91	1,33		II	1,41	1,42	0,15	0,96	1,71
	III	1,04	1,05	0,09	0,90	1,18		III	1,29	1,32	0,17	1,07	1,72
		Md	Mw	SD	Min	Max			Md	Mw	SD	Min	Max
$TdMx$	A	1,15	1,16	0,06	1,01	1,29	$TdMn$	A	1,14	1,15	0,08	0,97	1,43
	E	1,11	1,12	0,04	1,02	1,20		E	1,15	1,15	0,06	1,02	1,28
	I	1,14	1,15	0,07	1,01	1,28		I	1,15	1,14	0,06	0,99	1,24
	II	1,13	1,14	0,05	1,04	1,27		II	1,19	1,18	0,09	0,97	1,43
	III	1,20	1,19	0,06	1,09	1,29		III	1,11	1,10	0,08	0,99	1,30