Aus der Abteilung CAD/CAM- und CMD-Behandlung
der Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
(Prof. Dr. med. dent. B. Kordaß)

Bedeutung der Höckergradneigung für die funktionelle Okklusion

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung des akademischen
Grades

Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med.dent.)

der
Universitätsmedizin
der

Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald
2012

vorgelegt von:
Elisa Ecke,
geb. am: 28.01.1988
in: Berlin

Dekan: Prof. Dr. Reiner Biffar

1. Gutachter: Prof. Dr. B. Kordaß

2. Gutachter: Prof. Dr. H. Küpper

Ort: Greifswald

Tag der Disputation: 10. Juli 2013

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 5

2 Literaturübersicht 7

2.1 Okklusion und Okklusionskonzepte 7

2.1.1 Okklusion 8

2.1.2 Okklusionskonzepte 14

2.1.3 Höckerneigung 22

2.2 Okklusion bei Prothesenzähnen 25

2.3 Aufwachstechnik versus CAD/CAM- Technik 29

3 Material und Methode 32

3.1 Aufgabenstellung 32

3.2 Probandengut und Untersuchungsablauf 32

3.3 Messsystem: Climb Analysis 1.0 33

3.4 Messgrößen: Höckerwinkel 35

4 Ergebnisse 39

4.1 Vergleich der drei Messreihen mithilfe des Messwiederholungstests ... 39

4.2 Test der Winkelwerte auf Normalverteilung 42

4.3 T-Test zur Überprüfung auf Winkelgleichheit 43

4.4 Deskriptive Statistik für die Höckerwinkel einer Zahnreihe 45

4.5 Abhängigkeiten 56

4.5.1 Abhängigkeiten innerhalb einer Zahnreihe 56

4.5.2 Abhängigkeiten zwischen Ober- und Unterkiefer 64

4.5.3 Korrelationen zwischen den Winkeln 66

4.5.4 Winkelverhältnisse 72

5 Diskussion 81

6 Zusammenfassung 93

7 Anhang 95

7.1 Deskriptive Statistik 95

7.2 Aufgeschlüsselte Winkelverhältnisse für jeden Zahntyp 99

7.3 Vergleich der Winkelverhältnissen zwischen den Zahntypen 103

8 Literaturverzeichnis 107

Abkürzungsverzeichnis:

viHW	vestibulärer innerer Höckerwinkel
oiHW	oraler innerer Höckerwinkel
FW	Fissurenwinkel
tHW	tragender Höckerwinkel
- oHW	oraler Höckerwinkel
- vHW	vestibuläre Höckerwinkel
atHW	äußerer tragender Höckerwinkel
- oaHW	oraler äußerer Höckerwinkel
- vaHW	vestibulärer Höckerwinkel
3er	Eckzahn
4er	erster Prämolar
5er	zweiter Prämolar
6er mesial	mesiales Höckerpaar des ersten Molars
6er distal	distales Höckerpaar des ersten Molars
7er mesial	mesiales Höckerpaar des zweiten Molars
7er distal	distales Höckerpaar des zweiten Molars

1 Einleitung

Die Zahnmedizin entwickelte sich im Laufe des letzten Jahrhunderts zu einer Wissenschaft, die überwältigt wurde von kariösen, parodontologischen und vermehrt funktionellen Erkrankungen (Kaidonis, 2007). Den Zahnärzten steht eine Vielzahl unterschiedlichster Geräte, Techniken und Mittel zur Verfügung, um Erkrankungen des Kauorgans zu erkennen, deren Diagnosen zu stellen und Therapien durchzuführen. Dennoch ist es schwierig das stomatognathe System in seiner komplexen Anatomie vollständig im Detail zu erfassen. Ein Baustein dieses Systems stellt das Höcker- Fissurenrelief der Zahnreihen und der damit verbundenen Okklusion dar. Diese Arbeit untersucht die Bedeutung der Höckergradneigung für die Okklusion. Dazu werden mit moderner Scanner- und digitaler Vermessungstechnik im Ober- und Unterkiefer je fünf morphologische Neigungen der Zahnhöcker im füllungs- und kariesfreien Gebiss analysiert.

Die Rekonstruktion von zerstörten Kauflächen steht im Mittelpunkt der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde. Kenntnisse über die Zahnmorphologie, sowie über die dynamische und statische Okklusion sind daher für jeden Zahnarzt und Zahntechniker unerlässlich.

In der Literatur unterscheidet man prinzipiell drei Konzepte der Okklusion, die den okklusalen Kontakt während der zahngeführten Unterkieferbewegung beschreiben. Dazu gehören die Front- Eckzahn- geführte, die Gruppen- geführte (gegenseitig schützend) und die (bilateral) balancierte Okklusion (Türp & Strub, 1996). Neben der Okklusion üben weitere funktionelle Determinanten, wie die Höckerneigung einen profunden Einfluss auf die Kraftentfaltung über Gelenk und Zahnbogen aus (J. Santos et al., 1991).

Zusammenhänge zwischen Form und Funktion werden somit immer deutlicher und es ist unverkennbar, dass Okklusionskonzepte allein nicht mehr ausreichen, um die Okklusion präzise zu beschreiben. Okklusionskonzepte sollten an natürliche okkluso- artikuläre Vorgänge angepasst werden.

In der internationalen Literatur ist wenig über die Beschaffenheit der Okklusion ausgehend vom Aufbau des einzelnen Zahns und seiner Stellung im Zahnbogen zu finden.

Die Zahnmorphologie ist eine genetisch determinierte Variable des Kauorgans und bleibt lebenslang in ihrer Struktur erhalten, sofern sie nicht durch irreversible Zerstörung geschädigt wird. So stellen Fissurenverlauf, Tiefe der Fissuren oder der Höckerabstand beziehungsweise die Höckerneigungen feste Anhaltspunkte für die Rekonstruktion zerstörter Zahnoberflächen (Albert, Litzenburger, Dr. Blanz, & Kern, 2007) dar.

Bisher erhobene Daten zur funktionellen Höckergradneigung von Eckzähnen, Prämolaren und Molaren verschiedener Autoren variieren sehr stark und sind auf die Analyse einer führenden Artikulationsfläche im Oberkiefer begrenzt. Ziel der Studie ist es, neue Anhaltspunkte zu mathematischen und metrischen Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Zahnbögen des einzelnen Kiefers und zwischen Ober- und Unterkiefer zu gewinnen und zu klären, welche Aussage sich zum Okklusionskonzept im natürlich vorkommenden Gebiss treffen lässt. Durch derartig erfasste Abhängigkeiten könnten bestehende Therapien und Systeme optimiert und die Okklusion präziser beschrieben werden.

2 Literaturübersicht

Die nachfolgende Übersicht soll bisherige Ansätze zu Untersuchungen der Höckergradneigung aufzeigen und seine Bedeutung für das stamatognathe System herausarbeiten.
Die Höckergradneigung vom Eckzahn, über die Prämolaren bis zu den zweiten Molaren stellt eine funktionelle Komponente des Kauorgans dar, sodass zunächst auf die allgemeine Funktion des Kauorgans eingegangen wird.
Bevor man sich mit dem okklusalen Relief auseinander setzt, ist es sinnvoll sich zunächst mit dem Begriff der Okklusion zu beschäftigen. Es wurden viele verschiedene Konzepte erarbeitet, aus denen heraus man sich folglich den einzelnen funktionellen Determinanten, wie der Höckergradneigung, gewidmet hat. Der Begriff der Höckerneigung wird in der Literatur verschieden verwendet und definiert und im dritten Teil des Literaturüberblicks behandelt. Zuletzt werden die unterschiedlichen Herangehensweisen und Möglichkeiten im Vergleich erläutert, die bis dato zur Beschreibung des okklusalen Reliefs genutzt werden.

2.1 Okklusion und Okklusionskonzepte

Unter Okklusion versteht man jeden Zahnkontakt zwischen Ober- und Unterkiefer. Die mit der Okklusion in Zusammenhang stehenden Aufgaben sind sehr vielfältig (Hugger, 2006). Hervorzuheben sind die Gewährleistung der Funktion, kombiniert mit einer ausgeglichen Muskelaktivität (Röthler, 1983), sowie die Stabilisierung der vertikalen Distanz zwischen Ober- und Unterkiefer. So wird das stomatognathe System vor Dysfunktionen (Rosenbaum, Gross, Pertes, Ashman, & Kreisberg, 1997) und schlimmstenfalls vor Zerstörung geschützt (Shupe, Mohamed, Christensen, Finger, & Weinberg, 1984).

2.1.1 Okklusion

Die Okklusion wird verschieden definiert. Man unterscheidet Zahnkontakte der dynamischen Okklusion, die bei zahngeführten Unterkieferbewegungen auftreten, von Kontakten in statischer Okklusion. Dabei sollen alle zahngeführten Vor- und Seitwärtsbewegungen des Unterkiefers zum Oberkiefer auf eine gemeinsame und reproduzierbare Ausgangsposition zurückführbar sein, die gleichzeitig der physiologischen Zentrik entsprechen soll (Biffar, 1999).
Bei der Interkuspidation befinden sich die Zähne im maximalen Vielpunktekontakt, welcher idealerweise mit dem gewohnheitsmäßigen Schlussbiss, der habituellen Okklusion, übereinstimmt. Ist bei maximaler Annäherung kein Kontakt zwischen einem Zahnpaar möglich, spricht man von Nonokklusion. Hebt sich ein Kontakt bei Bewegungsfunktionen hervor, so diskludieren die Zähne vorzeitig. Man spricht in diesem Fall von einem Vorkontakt, der das neuromuskuläre Gleichgewicht stören kann.
Die kieferorthopädische Angle- Klasse I klassifiziert den idealen Neutralbiss. Als erster Anhaltspunkt wird der mesiobukkale Höcker des ersten Oberkiefermolars betrachtet, der auf die vestibuläre Fissur zwischen dem bukkomesialen und –medialen Höcker des Unterkiefermolars trifft. Als zweiter Referenzpunkt dient der obere Eckzahn, dessen Spitze zwischen den unteren Eckzahn und ersten Prämolaren greift. Abweichend von dieser Position, spricht man von einer Mesial- oder Distalokklusion.
Mit Regelokklusion und normalen anatomischen Gegebenheiten sollten folgende Kontaktverhältnisse vorliegen: Die Frontzähne haben bei normalem Kieferschluss ohne übermäßigen Kraftaufwand keinen oder nur mäßigen Kontakt. Die Schneidekanten der oberen Frontzähne greifen 1mm in horizontaler und 2mm in vertikaler Richtung über die unteren Frontzähne. Man spricht vom Overjet und Overbite, die die Front-Eckzahnführung gewährleisten. Bei den Seitenzähnen dagegen greifen die tragenden bukkalen Höcker des Unterkiefers in die zentralen Gruben beziehungsweise Randleisten der Oberkieferzähne. Die tragenden Höcker des Oberkiefers, hier die palatinalen, greifen ebenfalls in die zentralen Fossen und Randleisten der Unterkieferzähne. Die tragenden Höcker werden auch Stampfhöcker oder Zentrische

Höcker genannt und sollten auf konvexen Höckerabhängen abgestützt sein. Dadurch wird eine vollständige Disklusion der Seitenzähne bei der protrusiven oder laterotrusiven Bewegung erleichtert. (Biffar, 1999)

Schuyler postuilierte desweiteren, dass die Kraft des Aufpralls von einem bewegten Zahnhöcker auf eine geneigte antagonistische Fläche vermindert, während sie bei einem senkrechten Aufschlag, wie auf einen steilen Höcker, verstärkt wird und zu einer Traumatisierung des Kauorgans führen kann (Hohmann, 1994).

Die Abstützung sollte gleichmäßig und gleichzeitig durch A-,B- und C- Kontakte nahe der Höckerspitzen und durch Zweipunktkontakte an den Randleisten erfolgen. Man spricht von einer Tri-, beziehungsweise Bipodisierung der Kontaktpunkte.

In der zentrischen Okklusion befinden sich die Gelenkköpfe in einer zentrischen Position. Dabei liegen die Kondylen bei entspannter Muskulatur kranioventral, nicht seitenverschoben, als Diskus- Kondylus- Komplex in den Fossae articulares. Es wird angenommen, dass diese physiologische Stellung des Kondylus beim entspannten und beschwerdefreien Patienten der Ausgangsposition für alle Unterkieferbewegungen entspricht. Durch manuelles Zurückdrücken des Unterkiefers durch den Zahnarzt ist in 85% der Fälle eine retrudierte Kontaktposition möglich. Diese stimmt selten mit der Interkuspidation überein (Reitemeier, 2006).

Es existieren mehrere Konzepte zur statischen Okklusion, wobei man das der *point-centric* von dem der *freedom in centrik* unterscheidet.

Der Begriff der *point-centric* wurde von der gnathologischen Schule in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts geprägt. Mit ihm verbindet man Gnathologen, wie McCollum, Stuart, Stallard, Payne und Thomas (José Santos, 1988). Im Mittelpunkt dieser Theorie steht die Übereinstimmung der maximalen Interkuspidation mit der zentrischen Kondylenposition.

Die maximale Verzahnung in der Schlussbisslage lässt dem Unterkiefer keinen weiteren Bewegungsspielraum. Durch die Tripodisierung der Stützhöcker wird eine hohe Stabilität erreicht. Die okklusalen Kontakte von Ober- und Unterkiefer in maximaler Interkuspidation werden auch *okklusale Stopps* genannt. Dieses Konzept findet sich allerdings selten im natürlichen Gebiss

wieder (Suckert, 1999). Es wurde hauptsächlich für die Herstellung von totalem Zahnersatz verwendet.

Da es schwierig ist therapeutisch die Interkuspidation mit der retralen und zentrsichen Kontaktposition optimal abzustimmen, findet im Konzept der *freedom in centric* keine Verriegelung in der zentrischen Okklusion statt. Es wird versucht ein horizontales Plateau von 0,3-0,8mm zwischen der Interkuspidation und der retralen Kontaktposition im Sinne einer *long centric* zu schaffen.

Als wichtige Vertreter dieser Schule galten Posselt (Posselt, 1968), Ash (Ash, 1995), Schuyler (Schuyler, 1967) und Beyrons (Beyron, 1969). Durch eine Punkt- Flächenabstützung soll bei exzentrischen Bewegungen ein störungsfreies Gleiten in der Horizontalebene ermöglicht werden, ohne dass steile Höckerabhänge die Bewegung abrupt stoppen können. Innerhalb dieser zentrischen Okklusion wird zahngeführten Unterkieferbewegungen durch Freiräume im Front- Eckzahnbereich beidseitig mehr Bewegungsspielraum gelassen (Geering, 1974). Ein physiologischer Gleitweg des Unterkiefers von der retralen Kontaktposition in die Interkuspidation von 0,5- 1mm ist ebenfalls möglich und wird *slide in centric* genannt. Verursacht dieser in sagittaler oder transversaler Richtung verlaufende Gleitweg eine Veränderung der Bisshöhe, spricht man von einer *perverted centric*. Im Konzept der *wide centric* hat der Unterkiefer auch in transversaler Richtung eine Gleitmöglichkeit von der retralen Kontaktposition in die Interkuspidation. Es ist jedoch nur ein sagittales Gleiten von bis zu 1mm als physiologisch zu betrachten. Ein horizontales Gleiten sollte vermieden werden, da dieses einem Mediotrusionsvorkontakt entsprechen und ein Hindernis in der dynamischen Okklusion darstellen würde (Biffar, 1999).

Ein zentrischer Vorkontakt eines Zahnes oder einer Zahngruppe führt den Unterkiefer aus der Zentrischen Kondylenposition in eine Zwangsposition (Weber, 2010a).

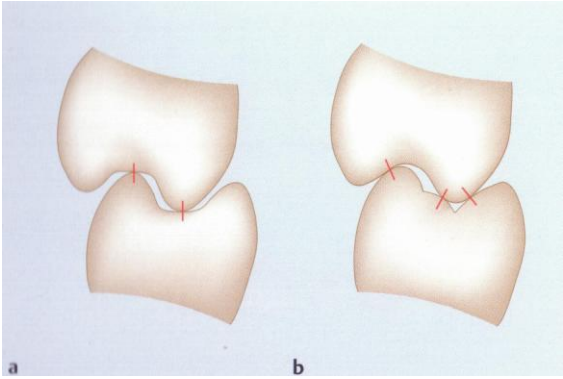

Abbildung 1.
Freedom in centric durch Freiheitsgrade in long centric (a), sowie durch vorgelagerte Höckerchen nahe der Zentrik (b) (Reitemeier, 2006)

Die mittlere Okklusionsposition entsteht durch dynamische Okklusionskontakte, die bei der relativen Bewegung des Unterkiefers gegen den Oberkiefer auftreten (Davies & Gray, 2001). Bevor der Unterkiefer in Interkuspidation gebracht wird, werden schneller Abfolge leichte Öffnungsbewegungen ausgeführt. Dabei entsteht mittels Okklusionsfolie ein okklusales Feld, welches besonders kau- und schluckrelevante Kontakte enthält und welche nahe der statischen Interkuspidation liegen. Diese *Tap-Tap- Bewegungen* werden häufig für das Einschleifen restaurativ- prothetischer Arbeiten genutzt.

Der *dynamischen Okklusion* werden verschiedene *Therapiekonzepte* zugeteilt. Bei der Protrusionsbewegung des Unterkiefers aus der Interkuspidation heraus, sollen die palatinalen Flächen der oberen Frontzähne als Führungsflächen für die Schneidekanten der unteren dienen und eine Disklusion der Seitenzähne bewirken. Bei der zahngeführten Unterkieferbewegung sind vier klinisch relevante Konzepte möglich.

Charakteristisch für die Front- Eckzahnführung ist die Disklusion aller Seitenzähne bei der Seit- und Vorwärtsbewegung. Die distale Facette des unteren Eckzahns sollte dabei über die mesiale Facette des oberen Eckzahns gleiten (Biffar, 1999). Durch die Führung der Schneide- beziehungsweise Eckzähne werden okklusale Interferenzen im Seitenzahngebiet vermieden (U Lotzmann, Jablonski, Scherer, & Kobes, 1990). Die unilateral geführte Okklusion ist durch die Gruppenführung der Prämolaren, eventuell auch der ersten Molaren auf der Laterotrusionsseite bei der Seitwärtsbewegung charakterisiert, während die Seitenzähne der Mediotrusionsseite vollständig

diskludieren. Bei der Protrusion führen hingegen beide Seiten. Bei der bilateral balancierten Okklusion führen zusätzlich die Seitenzähne der Mediotrusionsseite (Bumann, 2000). Dieses Konzept ist im natürlichen Gebiss eher selten der Fall. Es ist vor allem für die Totalprothetik von besonderer Bedeutung. Bei der bilateral balancierten Okklusion nach Koeck (Koeck, 2005) besteht in dynamischer Okklusion ein möglichst allseitiger und großflächiger Kontakt aller Zähne in beiden Kieferhälften. Es ist wichtig, dass bei der Gruppenführung und der bilateral geführten Okklusion die Führungsflächen der Zähne funktionell aufeinander abgestimmt werden, damit keine Gleithindernisse die Bewegung stören. Slavicek vertritt das Konzept der sequentiellen Führung. Es stellt eine Mischform aus der Front- Eckzahnführung und der Gruppenführung dar. Bei der initialen Bewegung führen zunächst die Eckzähne, bei weiterer Exkursion die um wenige Grad flacher geneigten Höcker der Prämolaren und zuletzt die der Molaren (Slavicek, 2000).

Die Verlaufsrichtung zahngeführter Bewegungsbahnen nach protrusiv, lateroprotrusiv, lateral und medial, sowie eine retrale Einschwingbewegung wird im okklusalem Kompass nach Polz beschrieben(Reitemeier, 2006). Er zeigt die jeweiligen Verlaufsrichtungen des tragenden Höckers in Beziehung zu den Fossa- und Randleistenstrukturen an. Dementsprechend ist es möglich, die Höcker funktionell zu modellieren. Die individuelle Bewegungsbahn wird von weiteren okklusalen Determinanten bestimmt. Professor Kordaß beschreibt den Einfluss dieser Determinanten auf die okklusale Höckergestaltung in der nachfolgenden Tabelle 1. Der zahngeführte Bewegungsverlauf der tragenden Höcker auf der antagonistischen Zahnoberfläche verändert sich, wenn funktionelle Faktoren, wie die Gelenkbahnneigung, oder anatomische Parameter, wie die Lage der Kauebene, variieren. Die Höckeranordnung, wie auch die Höckerhöhe oder -steilheit und damit die Kauflächengestaltung werden maßgeblich durch diese Determinanten beeinflusst.

Tabelle 1
Einfluss funktioneller Determinanten auf das okklusale Höckerrelief (Kordaß, 2006)

Determinante		Eigenschaft		Auswirkung
Kondylenbahn	je	steiler	desto	höher und steiler die Höcker
Frontzahnführung	je	größer der vertikale Überbiss Größer der horizontale Überbiss	desto	höher und steiler die Höcker kürzer und flacher die Höcker
Okklusionsebene	je	paralleler zur Kondylenbahn	desto	kürzer und flacher die Höcker
Spee- Kurve	je	gekrümmter die Spee- Kurve	desto	kürzer und flacher die Höcker
Immediate side shift (ISS)	je	größer der ISS	desto	kürzer und flacher die Höcker
Shift- Winkel des rotierenden Kondylus	je	surtrusiver die Bewegungsbahn	desto	kürzer und flacher die Höcker
Entfernung der Kaufläche vom rotierenden Kondylus	je	größer die Entfernung	desto	größer der Winkel zwischen Medio- und Laterotrusionsbahn im okklusalen Kompass
Entfernung der Kaufläche von Mittsagittalebene	je	größer die Entfernung	desto	größer der Winkel zwischen Medio- und Laterotrusionsbahn im okklusalen Kompass
Bennett- Bewegung	Je	stärker ausgeprägt	desto	größer der Winkel zwischen Medio- und Laterotrusionsbahn im okklusalen Kompass
Immediate side shift (ISS)	je	größer der ISS	desto	größer der Winkel zwischen Medio- und Laterotrusionsbahn im okklusalen Kompass
Shift- Winkel des rotierenden Kondylus	je	retrusiver die Bewegungsbahn	desto	größer der Winkel zwischen Medio- und Laterotrusionsbahn im okklusalen Kompass
Interkondylarlänge	je	länger	desto	kleiner der Winkel zwischen Medio- und Laterotrusionsbahn im okklusalen Kompass

Als funktionell gilt die Okklusion, wenn ein maximaler Vielpunktekontakt in Interkuspidation zu einer gleichmäßigen und gleichzeitigen Abstützung auf den antagonistischen Seitenzähnen führt, die zusätzlich die Verlagerung der Kondylen verhindert. Die Frontzähne schützen zugleich durch anteriore Führung, indem sie eine initiale Disklusion der Seitenzähne bei Vor- und Seitwärtsbewegungen einleiten. Die funktionelle Okklusion erlaubt die optimale Erfüllung der oben genannten Aufgaben des Kauorgans.

2.1.2 Okklusionskonzepte

Um therapeutisch das Zusammenspiel von Form und Funktion zu erreichen, wurden verschiedene künstliche Ordnungsprinzipien in Form von Okklusionskonzepten aufgestellt, wobei die Lehrmeinungen zum Thema Okklusion in der Geschichte der Zahnmedizin sehr stark auseinander gehen und Theorie und Praxis oft nicht vereinbar erscheinen (End, 2005).
Die Okklusion wird des Weiteren in vier als klinisch sinnvoll erachtete Formen unterteilt:

1. Physiologische Okklusion
2. Nicht-physiologische Okklusion
3. Theoretisch ideale Okklusion
4. Therapeutische Okklusion

Die ersten beiden Formen entsprechen einer von der Natur vorgegebenen oder einer iatrogen beeinflussten Okklusion, während die letzten beiden durch theoretisch ideale beziehungsweise therapeutische Überlegungen von Zahnärzten entstanden sind.
Die *Physiologsiche Okklusion* besteht, wenn fünf Kriterien erfüllt sind. Abweichungen von bestimmten Standardwerten sind möglich: Es liegt eine okklusale Stabilität, eine zufriedenstellende Kaufunktion, Phonetik, sowie Ästhetik und Beschwerdefreiheit vor, sodass keine Notwendigkeit einer Be-

handlung besteht. Die physiologische Okklusion zeigt ein weites Spektrum bezüglich Größe, Form oder Stellung der Zähne und Zahnbögen, der Zahnkontakte oder der räumlichen Verteilung der Zähne. Auch bei größeren Abweichungen von der Regelokklusion konnte wissenschaftlich kein negativer Zusammenhang zu damit verbundenen gesundheitlichen Folgen nachgewiesen werden. Die theoretisch ideale Okklusion ist physiologisch betrachtet die Ausnahme.

Bei der *Nicht-physiologischen Okklusion* ist aufgrund subjektiver oder pathologischer Befunde häufig eine Behandlung indiziert. Abweichungen von der „Norm“, wie deutliche kaufunktionelle oder phonetische Einschränkungen, sowie starke ästhetische Einbußen können Grund für eine Behandlungsplanung sein.

Eine *theoretisch ideale Okklusion* ist durch idealisierte strukturelle und funktionelle Standards gekennzeichnet, die künstlich vorher festgelegt wurden. Die nachfolgende Tabelle 2 fasst einige Beispiele idealer Okklusionskonzepte zusammen. Die Konzepte sind weniger Ergebnisse aus kontrollierten klinischen Studien, sondern stellen mehr Erfahrungsberichte dar und entsprechen aus Sicht der Anthrophologen auch nicht den natürlichen Bedingungen.

Tabelle 2
Konzepte der „idealen“ Okklusion (Hugger, 2006)

	Okklusionskonzepte
Stuart	„Gnathologische Okklusionskonzept“: 1.Die maximale Interkuspidation (IKP) ist die retralste Unterkieferposition (RUM-Position) mit Okklusionskontakten auf allen Seitenzähnen und den Eckzähnen 2. In maximaler IKP treten weder Deflexions- noch Führungskontakte auf. 3. Es besteht eine Eckzahnführung bei Seit- und Vorschubbewegungen des UK’s aus der IKP heraus.
Beyron	1.Die maximale IKP erfolgt in der zentrischen UK-Position ohne okklusale Interferenzen, wobei alle Seitenzähne Okklusionskontakte besitzen 2.Aus der IKP ist 1mm Rückschub möglich 3.Die Belastung erfolgt über die Zahnlängsachse 4.Bei Seitschub weisen nur die Zähne der Arbeitsseite, bei Protrusion nur die Frontzähne, Okklusionskontakte auf, ohne dass Interferenzen auftreten 5.Es besteht ein ausreichender Interokklusalraum

	Okklusionskonzepte
Ramfjord	Die Grundlage bildet weiterhin die „oberste und rückwärtigste“ Kondylenposition für ein stabiles Kausystem 1.In RKP besteht eine stabile Okklusion 2.Erhöhte Freiheit in der Zentrik für den UK 3.Ungehinderte, geringfügige exzentrische Gleitbewegungen in verschiedene Richtungen, ausgehend von der maximalen IKP, als auch aus der RKP 4.Die vorhandene vertikale Dimension wird beibehalten 5.Die okklusale Führung liegt auf der Laterotrusionsseite und führt in die maximale IKP 6.Keine Weichteilbehinderung durch Okklusionsontakte 7.Keine horizontalen Schübe oder Drücke auf die Zähne 8.Overjet und Overbite, sowie die Steilheit von Schneide- und Höckerführung spielen keine wichtige Rolle
Andrews	„Sechs Schlüssel“ der stabilen Okklusion nach kieferorthopädischer Behandlung 1.Molarenbeziehung: die distale Fläche des distobukkalen Höckers des permanenten oberen ersten Molaren okkludiert mit der mesialen Fläche des mesiobukkalen Höckers des unteren ersten Molaren 2.Mesiodistale Kronenangulation: Der gingivale Bereich der Zahnkrone liegt weiter distal als der inzisal/okklusale. Die Angulation der Zahnkronenlängsachse ist für die verschiedenen Zahntypen unterschiedlich. 3.Labiolinguale bzw. bukkolinguale Kroneninklination: beschreibt den Steilstand der Zahnkrone 4.Keine Rotationen von Zähnen 5.Enge Approximalkontakte; keine Zahnlücken 6.Flache Spee’sche Kurve
Okeson	Grundlage: störungsfreie Kieferfunktion, keine Pathologien 1.Kieferschluss mit kranialster und anteriorer Kondylenposition, gleichmäßigen und gleichzeitigen statischen Okklusionskontakten auf den Seitenzähnen, sowie schwächere Kontakte auf den Frontzähnen 2.Axiale Belastung der Zähne 3.Eckzahnführung: Laterotrusionskontakte bei gleichzeitiger Disklusion der Seitenzähne auf der Mediotrusionsseite 4.Die Frontzahnführung bei Protrusion führt zur Disklusion der Seitenzähne 5.Die Seitenzahnkontakte sind stärker als die der Frontzähne
Aus Sicht der Anthrophologie	Die ideale Okklusion repräsentiert einen vorrübergehenden Zustand → ein dem Normalfall entsprechender kontinuierlicher Abrieb verändert die Okklusionsverhältnisse im Gebiss (zum Kopfbiss hin) durch: 1.interproximale Attrition mit anschließendem Mesialdrift der Zähne 2.Einebnung der Kaufläche → zeitlebens kontinuierliche Eruption zum Ausgleich der Höckerhöhe

Die *Therapeutische Okklusion* stellt ein künstliches Ordnungsprinzip dar, welches strukturell modifizierte Merkmale aufweist, die von der natürlichen Okklusion abweichen. Direkt in Verbindung mit der therapeutischen Okklusion steht die Kauflächengestaltung, die eng mit der Entwicklung verschiedener Aufwachstechniken zusammenhängt. Die jeweiligen Techniken nach Thomas, Payne und Lundeen oder Polz und Schulz werden in Punkt 2.3 beschrieben. Neben der Gestaltung der Zahnoberflächen spielt auch die okklusionsbezogene Bewegungsfreiheit des Unterkiefers eine entscheidende Rolle. Diese wurde in den Konzepten der statischen und dynamischen Okklusion bereits näher erläutert und sind dementsprechend kurz in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammenfassend aufgeführt.

Tabelle 3
Konzepte der statischen und dynamischen Okklusion in der Übersicht (Weber, 2010)

Statische Okklusionskonzepte	Dynamische Okklusionskonzepte
„Point centric“	Frontzahngeführte Okklusion
„Long centric“	Eckzahngeführte Okklusion
„Wide centric“	Unilateral geführte Okklusion (Schuyler 1947)
„Freedom in centric“	Bilateral geführte Okklusion (Gysi 1910)
„Perverted centric“	Sequentielle Führung mit Eckzahndominanz (Slavicek, 1984)
Zahn-zu- Zahn-Okklusion	
Zahn- zu- 2-Zahn- Okkklusion	Schlittenartikulation auf Basis des Abrasionsgebisses (Hammer, 1941)
Zentrische Stopps	Lingualisierte Scherenartik. (Gerber, 1970)
Zentrischer Vorkontakt	Front-Eckzahnkontrolle (Gausch, 1981)
Zentrische Höcker	
Nichtzentrische Höcker	

Im Rahmen der idealen und der therapeutischen Okklusionskonzepte wurden verschiedene Überlegungen und Studien zu den funktionellen Faktoren des Kauorgans aufgestellt beziehungsweise durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Strukturen, die die Okklusion beeinflussen können, betrachtet.
Der Ingenieur Hanau nahm an, dass die (bilateral balancierte) Okklusion von fünf Faktoren abhängig sei (Levin, 1978):

1. Gelenkbahnneigung (G),
2. Tiefe der Kompensationskurve (O_k),
3. Höckerhöhe (H),
4. Schneidezahnführung (S) und
5. Neigung der Okklusionsebene (O_s)

Mit seinen zehn Artikulationsgesetzen zur “Articulation Quint“ (Hanau, 1926) versuchte er schon 1926 als einer von wenigen Autoren zu zeigen, wie sich diese fünf Komponenten untereinander beeinflussen. Diesen Gesetzen liegen teilweise sehr theoretische Überlegungen zugrunde, da nicht alle Überlegungen den natürlich möglichen Veränderungen des menschlichen Gebisses entsprechen. Von großer Bedeutung ist jedoch die Erkenntnis des Vorliegens eines Artikulationsgleichgewichtes. Konrad Thielemann (Thielemann, 1958) erstellte auf Hanaus Grundlage die folgende Formel 1.

$$\frac{G \times S}{H \times O_s \times O_k}$$

Formel 1.
Nach Thielemanns: mit den Faktoren der Gelenkbahnneigung (G),der Tiefe der Kompensationskurve (Ok), der Höckerhöhe, der Schneidezahnführung (S)und der Neigung der Okklusionsebene (Os).

Wird eine der fünf Determinanten verändert, muss sich entweder einer der benachbarten Faktoren im Gegensinne oder einer der Faktoren auf der anderen Seite des Bruchstriches im gleichen Sinne verändern, damit das Gleichgewicht einer balancierten Okklusion bestehen bleibt. Die Gelenkbahnneigung und die Schneidezahnführung sind umgekehrt proportional zur Höckergradneigung.
Hanaus, wie auch Thielemanns Überlegungen sind sehr mechanistisch und vereinfacht dargestellt. Sie gehen von einer starren Führung der Unterkieferbewegung durch die Gelenke aus. Die natürlich vorkommende Lateralbewegung wird nicht berücksichtigt. Die Hanau’sche Artikulationsquint bot auch anderen Autoren Stoff für neue Gedankenansätze. Nach Santos (Santos, 1988) stellt die Kondylenbahnneigung, im Gegensatz zu den anderen

okklusalen funktionellen Determinanten, die einzige Konstante in der Thielemann‘schen Formel dar.

Bezogen auf die Höckergröße haben die Höcker der Molaren durch die Kondylenbahnneigung die Tendenz höher und voluminöser zu sein. Folglich besitzen die Prämolaren ausgeprägtere und steilere Höcker.

Trapozzano reduzierte diese Faktoren auf die Gelenkbahnneigung, die Schneidezahnführung und die Zahnhöcker. Sowohl Trapozzano als auch Boucher (Boucher, 1963) empfanden Hanaus Formulierung, die Höckerhöhe der posterioren Zähne sei eine der fünf Faktoren, die das Gesetzt der Artikulation bestimmen, als irreführend. Die Veränderung der Höckerhöhe, sprich die vertikale Distanz von der Höckerspitze bis zu seiner Basis, beeinflusst nicht die Neigung des Höckerwinkels. Es ist vielmehr der Höckerwinkel, der für eine balancierte Artikulation als letzter Faktor entscheidend ist. Trapozzanos (Trapozzano, 1963) Aussage folgend bestimmt der Höckerwinkel letztlich den Spielraum des Zahnkontaktes bei exzentrischen Bewegungen der Mandibula.

Was die Höckerhöhe oder den Höckerabstand im Gebiss betrifft, so ist bekannt, dass sich die mesiodistalen Abstände der bukkalen Höcker, sowie die Höckerhöhe vom Eckzahn beginnend bis zum letzten Molar verringern. Begründet werden die unterschiedliche Höckerhöhe und der Höckerabstand mit der Kraftverteilung bei funktionellen Bewegungen. Die höheren spitzeren Schneide- und Eckzähne können einen größeren Schneidedruck erzeugen, während die Seitenzähne durch stumpfere und kürzere Höcker einen höheren Kaudruck aufbauen können (Mohl, 1990). Die natürliche Höckerneigung bleibt als funktionelle Determinante dabei unbeachtet und findet auch in der Literatur noch keine weitere Beachtung.

Marxkors (Marxkors, 2007) erläuterte bei der Beschreibung der bilateral balancierten Okklusion auch die Lateralbewegung und fügte zu Hanaus Artikulationsquint noch drei weitere Faktoren hinzu: die transversale Kompensationskurve, die Bennettbewegung und den Fischerwinkel. Koeck (B. Koeck, 2005) fordert ebenfalls zu den Faktoren der Thielemann‘schen Formel die Berücksichtigung der Kompensationskurven. Er empfiehlt unter anderem den Einsatz von Aufstellkalotten und die Anwendung von Zähnen mit bestimmten

Höckerneigungswinkeln beim Erstellen einer Prothese. Flachere Höcker würden beispielsweise eine steilere Kompensationskurve bedingen.
Ob ein solcher Zusammenhang auch bei der Gelenkbahnneigung existiert, ist nicht erwiesen. P.J. Mack (Mack, 1989) untersuchte computergestützt, wie die kondyläre Bewegung von der Höckerneigung, der Tiefe der Kompensationskurve und der Neigung der Okklusionsebene abhängt. Er stellte fest, dass Zähne und Gelenk harmonisch miteinander agieren. Kleine Abweichungen von der ursprünglichen Struktur können neuromuskulär ausgeglichen werden. Allerdings kommt es bei anormal kombinierten okklusalen Veränderungen von der Gelenkbalance zu einem neuromuskulären Ungleichgewicht, das nicht mit dem früheren harmonischen Muster übereinstimmt und einen Triggerfaktor für Craniomandibuläre Dysfunktionen darstellen kann. Iatrogene oder nicht physiologische Vorkontakte bzw. Hyperbalancen können eine Distraktion des Kiefergelenks verursachen. Ein Seitenzahnverlust kann dagegen zur Kompression des Gelenks führen (Ulrich Lotzmann, 1998).
Auch andere Studien, wie die von Swoope und Kydd (Swoope et al., 1966), untersuchten die Bedeutung der Höckerform bei der balancierten Okklusion. Als Ergebnis stellten sie fest, dass die Reduktion der Höckerwinkel an den hinteren Molaren eine geringere Deformation der Prothese bewirkt, wohingegen die Okklusionsebene keine Rolle spielt. Autoren anderer wissenschaftlicher Arbeiten, wie Boyd (Boyd, Gibbs, Mahan, Richmond, & Laskin, 1990) und Santos, demonstrierten, dass gerade die balancierte Okklusion eine erhöhte mechanische Belastung und Stress im Vergleich zur gruppengeführten Okklusion für das Kauorgan mit sich bringt (J. Santos et al., 1991). Auch Koeck spricht nachteilig von einer Tendenz zum Bruxismus durch die Balancekontakte, wobei dieser Fall nicht repliziert werden konnte (Goiato, Ribeiro, Garcia, & Dos Santos, 2008).
Obwohl das Konzept der balancierten Okklusion auf der Möglichkeit einer höheren Kaueffektivität basiert, konnte jenes im Vergleich zu einer eckzahngeführten Okklusion nicht nachgewiesen werden. (Farias Neto, Mestriner Junior, & Carreiro, 2010). Gausch, Grunert (Grunert, Kofler, Gausch, & Kronenberg, 1994), Kulmer und Grubweiser (Grubwieser et al., 1999) plädieren für eine Front- Eckzahnführung, da bei diesem Konzept, im Gegensatz zur

bilateral balancierten Okklusion, eine signifikant niedrigere Muskelaktivität festgestellt wurde. Des Weiteren entsprechen bei der Eckzahnführung die neuromuskuläre Aktivität und Funktion der hebenden Muskeln am ehesten dem Zustand des natürlichen Gebisses.

Die gnathologischen Prinzipien sind beim unbezahnten Patienten die gleichen wie bei bezahnten Personen. Die Vorzüge der anterioren Führung liegen in der Vorbeugung von Craniomandibulären Dysfunktionen, Muskelschmerzen oder auch Gelenkstörungen (Biffar, 1999).

Letztendlich haben neueste Studien gezeigt, dass kein Grenzbewegungsmuster untersuchter Probanden eindeutig zu einem der gnathologisch geforderten Konzepte der bibalancierten, der unilateral balancierten oder der Front-Eckzahnführung zugeordnet werden konnte. Alle Probanden zeigten individuelle Bewegungsmuster (A. End, 2010).

Günstigere Eigenschaften weist nach Meinung von Slavicek die sequentielle Führung auf. Kulmer et al. befürworten in ihrer Studie ebenfalls die sequentielle Führung mit Front-Eckzahn- Dominanz (Kulmer, Ruzicka, Niederwanger, & Moschen, 1999). Sie untersuchten dafür die Länge und Neigung führender Elemente. Dabei wurde analysiert, dass die Neigungen der oberen lingualen Führungsflächen der Frontzähne und die Neigungen der bukkalen inneren Höcker, bezogen zur Achs- Orbita- Ebene, vom zentralen Schneidezahn bis zum zweiten Molar sukzessiv abfallen. Dabei haben die Molaren eine auffallend flache Neigung. Die Länge der führenden Flächen ist bei den anterioren Zähnen nahezu zweimal so lang wie die der posterioren Zähne.

Im stomatognathen System bedingen skelettale Beziehungen der Kiefer ein individuelles statisches und dynamisches Verhalten der Zahnbögen. Obwohl das natürliche Gebiss im Aufbau variiert, weist es eine jeweils deutliche Abhängigkeit zu skelettalen Prinzipien auf (Slavicek, 2000).

2.1.3 Höckerneigung

Im Laufe der Zeit wurde der Begriff der Höckerneigung unterschiedlich definiert. Gelehrte der Innsbrucker und Wiener Schule verstehen unter Höckerneigung eine funktionelle Bewegungsspur, die durch Bewegungen des Unterkiefers gegen den Oberkiefer, entsteht. In der Totalprothetik dagegen betrachtet man die Höckerneigung als morphologische Eigenschaft des Zahnes.

1982 und 1984 wurde von Slavicek die Front-Eckzahn-Gruppe näher untersucht. Er betrachtete die bei Protrusion funktionell bedeutsame Neigung der palatinalen Frontzahnflächen in Ausrichtung zur Achs-Orbita- Ebene.

Slavicek stellte eine eindeutige Tendenz fest: Die zur Achs-Orbita- Ebene orientierte Frontzahnführung, welche durch eine Sehne vom Tuberkulum bis zur Schneidekante gebildet wird, ist gegenüber einer mittelwertigen horizontalen Kondylenbahnneigung (HKN: dem Winkel, den die Kondylenbahn mit der Ach-Orbita-Ebene einschließt) um etwa zehn Grad steiler. Bei einer steilen HKN geht die Differenz gegen Null und bei einer flachen HKN wird sie größer (Suckert, 1999).

Da die Front- und Seitenzähne jedoch eine unterschiedliche Rolle in der Stellungsstabilität nehmen, liegt es nahe auch die Form und Charakteristik der Seitenzähne für die Mahlbewegung weiter zu untersuchen und auf einen Zusammenhang zur HKN zu überprüfen (Kaidonis, 2007). Analog zu den Frontzähnen untersuchte Slavicek die funktionelle Beschaffenheit der Oberkieferseitenzähne bei der laterotrusiven Unterkieferbewegung. Die Sehne der Seitenzähne wurde jeweils durch die mesiovestibuläre Höckerspitze und den tiefsten Punkt in der Fissur gelegt. Im Ergebnis zeigte sich eine eindeutige Front-Eckzahndominanz und eine von anterior nach posterior abfallende Steigung der Höckerneigung.

Nach Marxkors (Marxkors, 2007) misst der Höckerneigung eine funktionell wichtige Bedeutung bei, da sie die Funktionstüchtigkeit des totalen Zahnersatzes beeinflusst. Demnach steht nicht nur die Frontzahnführung mit der sagittalen Kondylenbahnneigung im Zusammenhang, sondern auch die Führung der Seitenzahnhöcker. Als führende Flächen dienen die unteren

mesialen Höckerabhänge. Sie gleiten bei linearer Protrusion unter dem gleichen Winkel nach vorn und unten, wie auch der Gelenkkopf. Die Höckerneigungen der posterioren Zähne bestimmen, ob die Seitenzähne bei der Vor- oder Seitwärtsbewegung in Kontakt bleiben.

Vor allem in der Totalprothetik spielt das eine wichtige funktionelle Rolle. Wenn bei planer Kauebene die Höckerneigung geringer ist als die Kondylenbahnneigung, kommt es bei der Vorschubbewegung zur Disklusion der Molaren und die einsetzende Frontzahnführung würde zum dorsalen Abkippen der unteren Prothese führen. Das gleiche gilt für die Seitwärtsbewegung. Wenn sich der Unterkiefer unter Zahnkontakt nach lateral bewegt, hebt der Eckzahn den Molarenkontakt der Gegenseite auf und die obere Prothese würde abgezogen werden. Balancekontakte im Bereich der Molaren würden das Abziehen der Prothese verhindern (Gründler, 2005).

Kulmer, Ruzicka, Niederwanger und Moschen vermaßen in ihrer Studie ebenfalls die Zahnhöcker als führende Bewegungselemente im natürlichen Gebiss und nahmen wie Slavicek die Achs- Orbita- Ebene als Bezugsebene (Kulmer et al., 1999). Als Orientierungspunkte für die Höckerneigung wurden funktionelle Punkte gewählt, die durch die Lateralbewegung gekennzeichnet sind. Ausgehend von *einer* Angle- Klassifikation I folgt die Bewegungsspur auf der Laterotrusionsseite der mesialen Randleiste entlang der bukkalen Höckerspitzen der unteren Prämolaren und Molaren.

Auf Abbildung 1 ist der funktionelle Startpunkt *F1* dort definiert, wo die zentrale Fissur die mesiale Randleiste kreuzt. Der Endpunkt *F2* der Bewegungsspur liegt am Übergang von der mesialen Randleiste zum Höckerkamm und führt weiter auf die bukkale Höckerspitze.

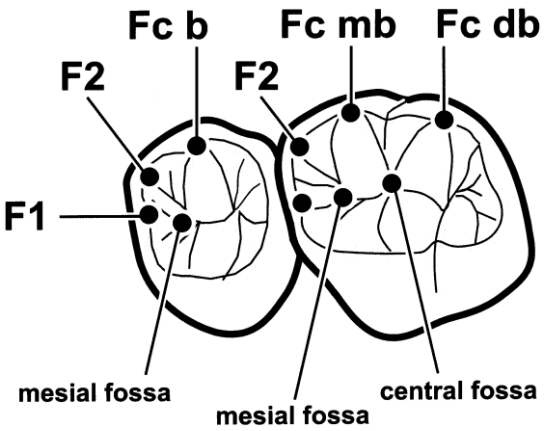

Abbildung 2.
Funktionelle Orientierungspunkte zur Bestimmung der Höckerneigung.
F1: Schneidepunkt aus der zentralen Fissur mit der mesialen Randleiste; F2: Übergangspunkt von der mesialen Randleiste zum Höckerkamm; Fc b: bukkale Prämolarenhöckerspitze; Fc mb:mesiobukkale und Fc db: distobukkale Molarenhöckerspitze (Kulmer et al., 1999)

Wieder andere Wissenschaftler nutzten abweichende Orientierungspunkte bei der funktionellen Betrachtung der Höckerneigung, wie in Abbildung 3-5 ersichtlich wird. Slavicek maß die Bewegungsspur vom tiefsten Punkt der mesialen Fissur bis zur bukkalen Prämolarenhöckerspitze *Fc b* bzw. zur mesiobukkalen Molarenhöckerspitze *Fc mb* oder von der zentralen Fissur des ersten Molaren bis zur distobukkalen Höckerspitze *Fc db*. Celar hingegen definierte den Startpunkt nach Kulmer, den Endpunkt jedoch als Mittelpunkt zwischen dem Übergangspunkt von der mesialen Randleiste zum Höckerkamm und der bukkalen Höckerspitze.

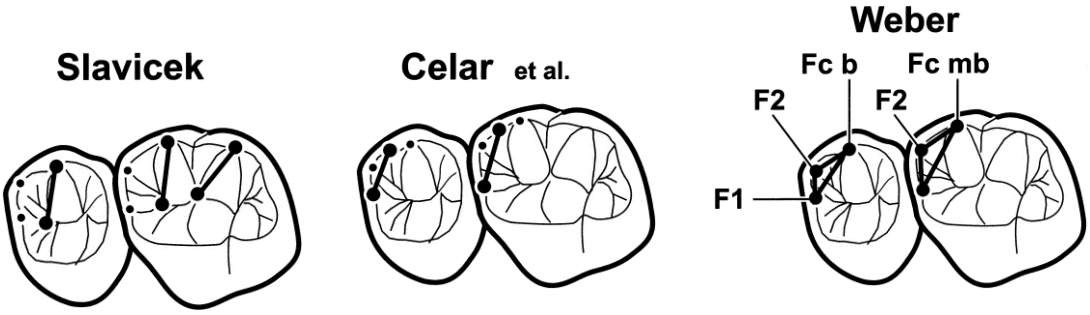

Abbildung 3.
Funktionelle Betrachtung der Höckerneigung nach Slavicek, Celar et al. und Weber (Kulmer et al., 1999)

Die Zahnmorphologie stellt für alle Abläufe des mastikatorischen Systems einen dominierenden form- und funktionsgebenden Faktor dar, da sie die freie Unterkieferbewegung maßgeblich beeinflusst.

2.2 Okklusion bei Prothesenzähnen

Im Rahmen der Totalprothetik setzte man sich besonders intensiv mit einer statisch günstigen Kauflächengestaltung auseinander. Für die Herstellung einer Totalprothese wurden verschiedene Gesamtkonzepte bezüglich der Zahnform und Okklusion aufgestellt. Die Kauflächen künstlicher Zähne orientieren sich an der natürlichen Zweckform des Zahnes und sind in sich stabil und funktionssicher aufgebaut. Abweichungen von der Urform wurden mit dem Ziel entwickelt, einen statisch günstigeren Aufbau zur Unterstützung der Prothese herzustellen.

Grundsteine auf dem Gebiet der Artikulationslehre wurden von Professor Gysi, Professor Gerber oder auch Dr. Hiltebrandt gelegt (Hohmann, 1994).

Das Okklusionsmuster der Seitenzähne nach Gysi orientiert sich an der Kondylenbahnneigung der Kiefergelenke und den Bewegungsbahnen des Unterkiefers. Bereits im Jahre 1910 beschäftigte sich Gysi mit dem Artikulationsproblem (Gysi, 1910). Er erforschte den funktionellen Zusammenhang zwischen Zahnform, Zahnstellung, Kiefergelenk und Unterkieferbewegung.

In seinem Lehrkonzept beschrieb er den Vier- Phasen- Rundbiss: Der Kauakt wird zum einen von der Nahrungskonsistenz und zum anderen von einem genetisch festgelegten Bewegungshabitus bestimmt. In der ersten Phase wird der Mund zur Aufnahme der Nahrung geöffnet. Während der zweiten Phase ist ein leichtes Seitwärtsgleiten des Unterkiefers zur Kauseite zum Fassen der Nahrung zu beobachten. In der dritten Phase wird durch das Schließen des Mundes ein annähernder Höcker- Höcker- Kontakt erreicht, wodurch die Nahrung gequetscht, aber nicht zerrieben wird. Im Anschluss folgt die vierte Phase, in der die Zähne der Arbeitsseite aus der seitlichen Position bei vollem Zahnkontakt in die zentrische Okklusion eingleiten. Folg-

lich wird die Nahrung durch eine ständige Kraftzunahme zerkleinert. Dabei wird die Bewegung nicht nur dorsal durch das Kiefergelenk geführt, sondern auch anterior durch die Kauflächen der Zähne. Die Muskulatur lässt Gysi bei seiner Betrachtung außen vor.

Folglich beschrieb er die sagittale Kondylenbahn als Bestandteil einer funktionellen Einheit, bestehend aus der Höckerneigung der Seitenzähne, der Zahnstellung und den Okklusionskurven. Demnach sollte die Unterkieferbewegung möglichst exakt auf einen Artikulator übertragen werden, um die anatomische Zahnform möglichst genau, unter Berücksichtigung funktioneller Aspekte, rekonstruieren zu können. So entwickelte Professor Gysi den Vollwertartikulator Trubyte. Er ermöglichte die Einstellung der sagittalen Gelenkbahnneigung nach individuellen Werten zwischen 0° und 55°, sowie die individuelle Wahl des Benettwinkels zwischen 0° und 20°.

Neben dem individuellen Vollwertartikulator, schuf Gysi Zahnformen, deren Höckerflächenneigungen der Gelenkbahnneigung angepasst sind. Die sogenannten Anatoformzähne besitzen eine sagittale Neigung von 32° nach bukkal und 10-20° nach lingual, während die Mühlsteinzähne eine sagittale Neigung von 20° und eine laterale Neigung von 3° besaßen. Gysi strebt in seinem Artikulationsgleichgewicht bei Vor- und Seitwärtsbewegungen jeweils eine Dreipunktabstützung an. Diese erfolgt einerseits im Frontzahnbereich und andererseits jeweils auf einer Seite im Seitenzahnbereich. Das Christen'sche Phänomen, sprich das Disklaffen planer Aufbissflächen bei Protrusion, wird durch die transversale und sagittale Kompensationskurve verhindert (Lehmann, 2005).

Marxkors und Siebert plädieren für Seitenzahnformen, die sich an der natürlichen Form orientieren. Die konvexen Höckerabhänge und tiefen Fissuren gewährleisten die Tripodisierung, die unter anderem für eine harmonische Okklusion gefordert wird (Biffar, 1999). Davon leicht abweichend ist das Modell der Höcker- und Flachhöckerzähne nach Ramfjord und Ash. Neben Punktkontakten in der zentralen Fossa, sind Bewegungen in der Transversalebene innerhalb des Okklusionsfeldes möglich (Ramfjord, 1993).

Als abweichendes Beispiel von der möglichst naturgetreuen Nachahmung der Zahnform ist der Muldenzahn nach Hiltebrandt zu nennen (Hohmann,

1994). Er ging davon aus, dass sich die hochhöckrigen Zähne unter Funktion zu Abrasionsformen abnutzen. Hiltebrandt zufolge dienen die Kiefergelenke und das Höckerrelief der Zähne nicht als führende Elemente im Kauorgan.
Er begründet diese Theorie damit, dass die Unterkieferbewegung stets eine nicht gleich verlaufende Bewegung ist. Die Muskulatur reguliert bei diesem Konzept die Bewegung. Quetsch- und Reibebewegungen bedingen ein durch Abrasion vergrößertes Okklusionsfeld und führen zu einer Abnutzung der Zähne, wodurch flache, kuppel – und muldenförmige Funktionsformen entstehen. Das Okklusionsfeld dieser höckerlosen Zähne dient als Funktionsbereich für die effektive Kaubewegung. Alle Bewegungen außerhalb dieses Feldes werden als Artikulation beschrieben.
Hiltebrandt vertritt eine konträre Auffassung zu Gysis Artikulationsgleichgewicht. Seiner Meinung nach existiert ein Gleichgewicht nach Gysi nicht, da transversale Schübe durchaus einen schädlichen Effekt auf die Zähne haben können. Im natürlichen Gebiss gäbe es bei der Seitwärtsbewegung keinen Zahnkontakt auf der Balanceseite. Die Stabilität des Kauorgans wird durch die Form und Stellung der Zähne erzielt.

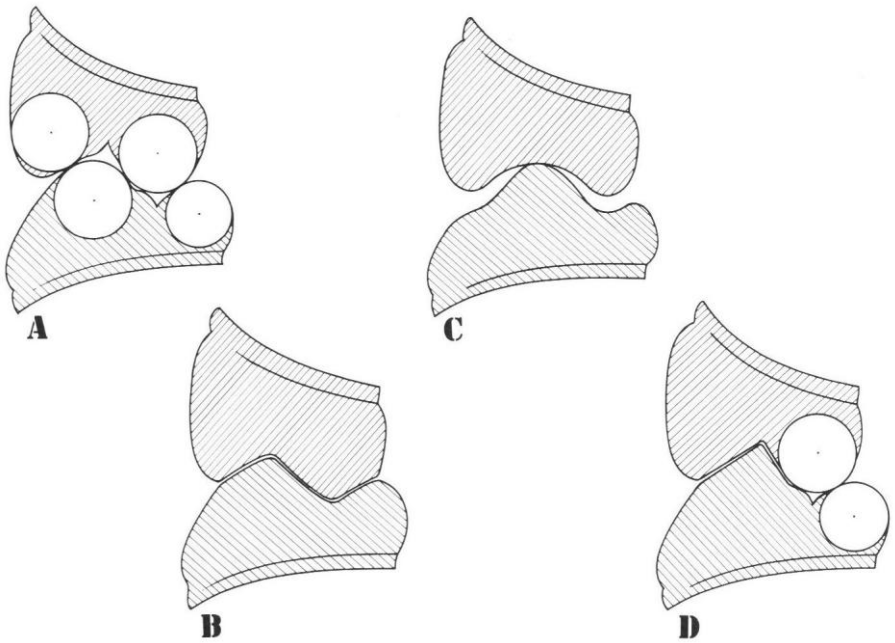

Abbildung 4.
Künstliche Seitenzähne als reduzierte Zweckform des natürlichen Vorbilds zu Gunsten der Statik für die Totalprothese:
A Punktförmige Okklusionskontakte natürlicher Zahnformen
B Starke Abrasionskaufläche mit unterschiedlicher Neigung der Höcker, abgeleitet aus mittleren Gelenkbahnwerten
C Muldenzahn, in den eine Pistillkaufläche greift
D Gelenkbahnbezogene Abrasionsanteile, mit Mörser- Pistill- Anteilen kombiniert (Hohmann, 1994)

Auch Gerber stellte einen funktionellen Zusammenhang zwischen Kiefergelenkformen und Zahnformen her (José Santos, 1988). Seine Theorie der kondylären Verlagerung ist stark von Gysi geprägt. Er verglich Okklusion und Kiefergelenk mit zwei ineinandergreifenden Zahnrädern. Bei idealer Okklusion befindet sich der Kondylus in zentrischer Position und die Zähne befinden sich in einer Höckerspitzen- Fossa- Beziehung. Er beschreibt eine fortschreitende Anpassung zwischen den Gleitflächen der Kiefergelenke und der Zahnoberfläche. Dieser Vorgang erzeugt Schlifffacetten an den Seitenzähnen, die den Gelenkpfannen formähnlich sind. Die Gelenkpfanne und der Gelenkkopf passen wie Mörser und Pistill zusammen. Demnach gleichen sich in Gerbers Condyloform- Seitenzähnen die oberen palatinalen Höcker, als Mikrokondylen, den unteren Kauflächen, als Mikrogelenkpfannen, an. Die Höckerneigung ist der Kondylenbahnneigung angepasst (Hohmann, 1994).

2.3 Aufwachstechnik versus CAD/CAM- Technik

Die Herstellung einzelner Kauflächen in Form von Inlays oder Kronen war zunächst nur mithilfe von Aufwachstechniken erfahrener Zahntechniker realisierbar. Die konventionelle Wachsmodellation, beispielsweise nach Payne und Lundeen (Suckert, 1999), nach Thomas (Ulrich Lotzmann, 1998) oder die biomechanische Aufwachstechnik nach Polz bzw. die naturgemäße nach Schulz (Caesar, 1996) stellten die einzige Möglichkeit dar Kauflächen funktionell zu gestalten.

Die Aufwachstechnik nach Peter K. Thomas orientiert sich am Konzept der *gnathologischen Okklusion* und zeichnet sich durch eine *1-zu-1-Zahnbeziehung* aus. Jeder tragende Höcker der Seitenzähne weist in die Grube des Antagonisten. Er strebt eine Tripodisierung an den Höckerabhängen an. Payne und Lundeen richten sich nach einer *1-zu-2-Zahnbeziehung*. Die tragenden Höcker der unteren Prämolaren und die mesialen Arbeitshöcker der unteren Molaren treffen auf die Randleisten von zwei Antagonisten. Die distalen Arbeitshöcker der unteren Molaren dagegen stützen sich ebenfalls tripodisch in den antagonistischen Fossae ab. Das *Biomechanische Aufwachskonzept* schafft dagegen Freiräume für die zahngeführte Unterkieferbewegung nach dem oben beschriebenen *okklusalen Kompass* und erlaubt so die Gestaltung einer funktionellen und individuellen Zahnoberfläche (Hugger, 2006).

Dank neu entwickelter computergestützter 3D-Technik wurde es möglich, Kauflächen mit hoher Präzision und Akkuratesse einzuscannen (Mehl, Gloger, Kunzelmann, & Hickel, 1997) und eine virtuelle CAD- Rekonstruktion von Zahnoberflächen darzustellen. Letzteres ist nur möglich, wenn das System die typische Geometrie der Zähne kennt. Um einen entsprechenden Datensatz zu erhalten, wurden bisher Standardzähne von erfahrenen Zahntechnikern modelliert und vermessen oder es wurde mit virtuellen Werkzeugen eine CAD- Rekonstruktion durchgeführt (Albert et al., 2007). Beides führte bisweilen nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Da noch nicht für jede klinische Situation ein akzeptables Ergebnis erzielt wird, sind zeitaufwendige Nachbesserungen nötig, die die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen, sodass

neue Ansätze gesucht wurden (Adolph & G\ürke, 2001; Paulus, Wolf, Meller, & Niemann, 1999). Folglich beschäftigten sich Fachleute zunehmend mit der Berechnung von Kauflächen, um digital den Aufwachsprozess simulieren zu können.

Das Biogenerische Zahnmodell nach Mehl, Litzenburger, Blanz und Kern (Blanz, Mehl, Vetter, & Seidel, o. J.; Mehl, Blanz, & Hickel, 2005) versucht die Zahnoberfläche neu zu beschreiben. Um das gesamte natürliche Spektrum der okklusalen Morphologie herzuleiten, benötigt dieses Modell nur wenige Parameter für eine computergestützte automatische Rekonstruktion. Das bisherige Konzept der Aufwachstechnik basierte mehr auf deskriptiven, als auf metrischen Anhaltspunkten, sodass benötigte Daten zur Tiefe der Fissuren, dem Fissurenverlauf, dem Höckerabstand oder dem Neigungswinkel der Höcker für eine computergestützte automatische Rekonstruktion fehlten.

Der gelernte Zahntechniker beziehungsweise Zahnarzt gleicht diesen Kenntnismangel durch Erfahrung aus. Er ist in der Lage einen beliebigen Zahn zu erkennen und einem bestimmten Zahntyp zuzuordnen. Aufgrund eines genetisch determinierten Bauplans eines jeden Zahnes ist es folglich möglich, abstrakte charakteristische Eigenschaften von Zahnmodellen zu erlernen und sie dementsprechend zu rekonstruieren.

Studien von Mehl oder Blanz simulierten diesen Lernprozess mathematisch in einer korrespondierenden Analyse. Für diese Studien wurden Gipsmodelle von füllungsfreien Gebissen hergestellt, dreidimensional eingescannt und vermessen. Mithilfe von korrespondierenden Merkmalen und Strukturen, wie Höckerspitzen, Fissuren, Randleisten und Höckerabhängen wurde ein Durchschnittszahn berechnet. Seltener auftretende Merkmale wurden dabei herausgefiltert, sodass der erschaffene Zahn als Repräsentant eines bestimmten Zahntyps interpretiert werden kann. Mit ca. 20 Abweichungen vom Durchschnittszahn liegt eine sehr effektive Beschreibung der Kronenmorphologie vor, welche einer natürlichen Variabilität von 85% entspricht.

Mit 20 Merkmalen kann demzufolge der Hauptteil der natürlich vorkommenden Strukturen beschrieben werden. Umgekehrt kann aus wenigen übrig gebliebenen Konstruktionspunkten bei nur wenig Restzahnsubstanz eine Zahn-

oberfläche eindeutig rekonstruiert werden. Eine bestimmte Verteilung der Punkte, wie die Lage der Höckerspitzen oder der Approximalkontakte und Antagonistenkontakte bedingt dabei eine charakteristische Morphologie der gesamten Kauoberfläche.

Mithilfe der metrischen bzw. mathematischen Beschreibung des biogenerischen Zahnmodells ist es gegenüber herkömmlichen Aufwachs- oder Okklusionskonzepten möglich Zahnoberflächen zu rekonstruieren, die optimal an die klinische Gesamtsituation angepasst sind. Das biogenerische Zahnmodell wurde mit zugehöriger Rekonstruktionssoftware in das CEREC 3D- System integriert (Albert et al., 2007).

3 Material und Methode

3.1 Aufgabenstellung

Ziel dieser Untersuchung ist es zu eruieren, ob Zusammenhänge zwischen den Höckerneigungswinkeln innerhalb eines Zahnbogens bestehen und ob ein Bezug zwischen den Winkeln des Ober- und Unterkiefers besteht.
Als Grundlage hierfür wurden die Gebisse unterschiedlicher Probanden untersucht und in Form einer Studie ausgewertet.

3.2 Probandengut und Untersuchungsablauf

An der Studie nahmen 18 Personen im Alter von 18 bis 37 Jahren teil. Davon waren jeweils 9 weiblich und 9 männlich. Berechtigt für die Teilnahme waren nur Personen, die ein intaktes, lücken- und füllungsfreies Gebiss ohne prothetische Restaurationen und ohne nennenswerte Abrasionen vorweisen konnten, um eine möglichst natürliche Zahnmorphologie zu untersuchen. Eine kieferorthopädische Behandlung stellte kein Ausschlusskriterium dar, es sei denn die Therapie war noch nicht abgeschlossen.
Ober- und Unterkiefer wurden mit dem Alginat „Yellow Print“ der Fa. Kaniedenta abgeformt. Die Abformungen wurden unmittelbar im Anschluss in Superhartgips (GC Fujirock EP der Fa. GC Europe N.V.) überführt. Professor Kordaß’ Mitarbeiter der Universitätsklinik Greifswald scannten (Activity 101, der Fa. Smartopics) und speicherten die Daten dreidimensional im STL-Format zur weiteren Auswertung. Mit Hilfe der Software Magics X (Materialliste N.V, Leuven, Belgien) konnten die Zahnbögen dreidimensional bewegt werden, um eine optimale Ansicht der Zähne zur Vermessung zu erreichen. Die Ermittlung der 3D- Koordinaten für die Referenzpunkte zur Winkelberechnung wurden dreimal wiederholt, um zu überprüfen, ob die manuell per Mausklick gesetzten Punkte annähernd gleich gesetzt wurden. Die Winkel der Höckerneigungen wurden mithilfe graphischer und statistischer Analysen

auf Abhängigkeiten geprüft. Dafür wurde das Statistikprogramm SPSS (Version17) bzw. PASW (Version18) verwendet.

3.3 Messsystem: Climb Analysis 1.0

Climb Analysis (Ruge, 2009) ist eine Software, die die gescannten Kiefermodelle als STL-Dateien einliest und anhand von Profilbildern, als senkrechte Schnitte durch das Modell, Winkelmessungen ermöglicht. Voraussetzung ist, dass die STL-Dateien der Kiefermodelle die z-Richtung ihres Koordinatensystems als Höhe verstehen und die Modelle beim Scannen richtig ausgerichtet sind.

In dieser Studie wurde die Okklusionsebene als Referenzebene gewählt. Die gespeicherten STL-Dateien der Zahnreihen werden im linken Fenster des Scanbildes (Abbildung 5) geöffnet.

Die Kompass-Darstellung codiert farbig in welche Richtung die Oberfläche sich neigt und hat sich in dieser Studie zum Ermitteln der Höckerspitzen bewährt. Der Start- und Endpunkt einer Geraden wurde mit einem Links- und Rechtsklick auf der Maus gewählt. Im Scanbild wird eine Linie gesetzt, die die Schnittkante durch das 3D-Modell darstellt. Standardmäßig wird im Profilbild entlang der gesetzten Linie automatisch der tiefste Punkt in der Mitte sowie links und rechts davon das nächste Maximum gesucht.

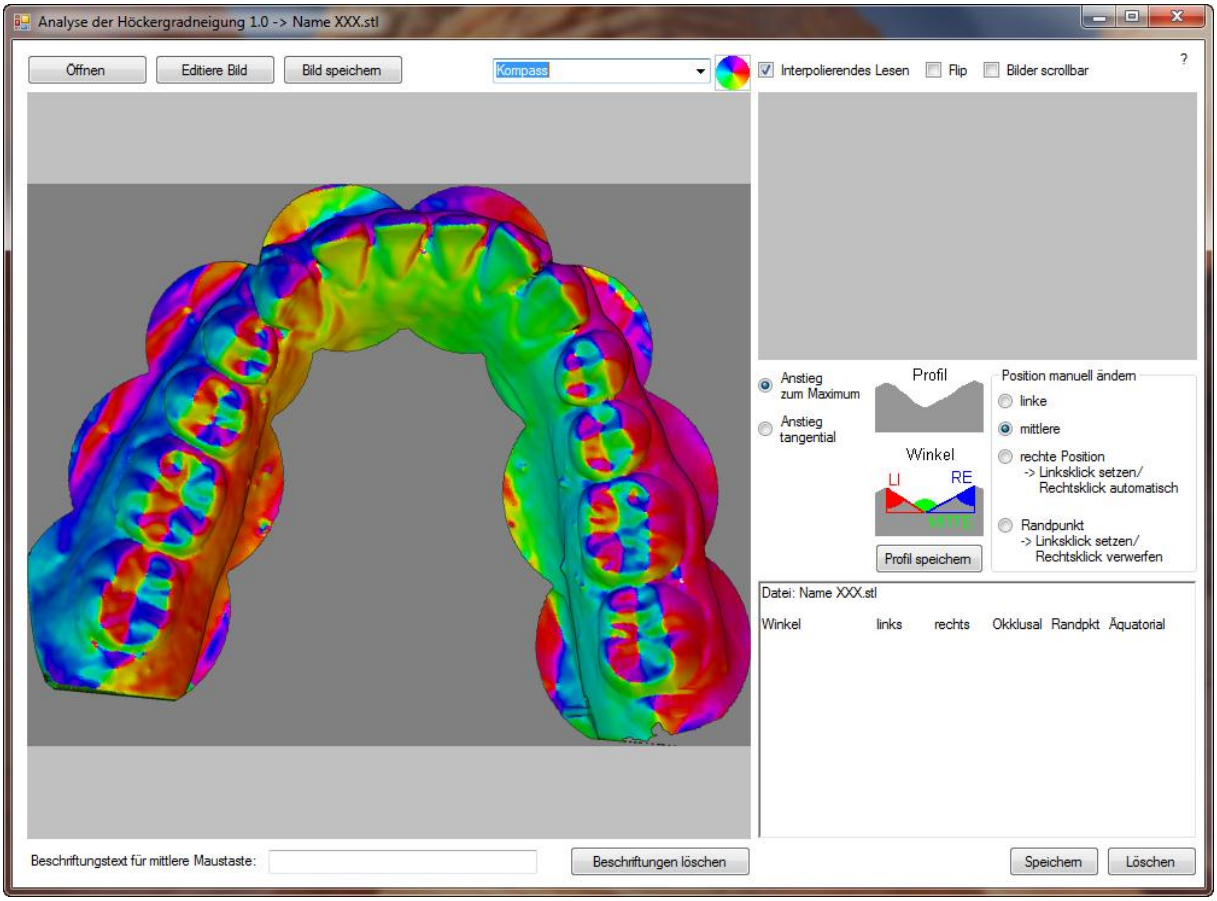

Abbildung 5.
Kompass- Darstellung aus dem Climb Analysis- Messsystem 1.0

Um fünf Winkel zu erhalten, wird manuell ein Randpunkt inzisal der größten Zirkumferenz an der äußeren Höckerfläche gesetzt. Im Profilbild werden durch senkrechte Linien die Postionen der Messpunkte als Schnittpunkte mit der Höckeroberfläche dargestellt (Abbildung 6).

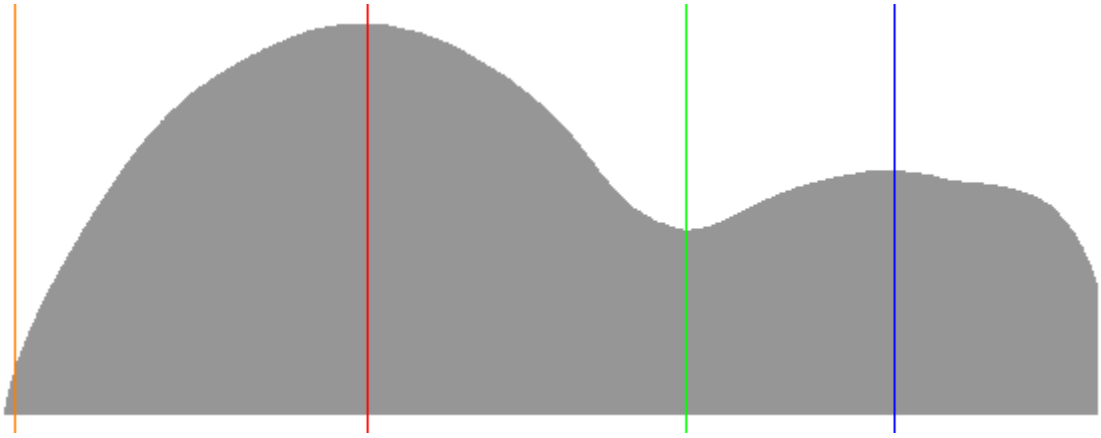

Abbildung 6.
Die farblich hervorgehobenen parallelen Linien bilden Schneidepunkte zwischen der Zahnoberfläche mit dem Randpunkt der inzisal größten Zirkumferenz der äußeren Höckerfläche, dem linken und rechten höchsten Punkt der Höckerspitzen und dem tiefsten Punkt in der Fissur.

Mithilfe der in Abbildung 7 gezeigten Schneidepunkte können Strecken gebildet werden und fünf Winkel im Ober- und Unterkiefer zwischen den Strecken und zwischen den Strecken und Parallelen ermittelt werden, wie unter Punkt 3.4 näher erläutert wird.

3.4 Messgrößen: Höckerwinkel

Aufgrund mangelnder Inzidenz sind die Weisheitszähne kein Gegenstand dieser Studie.
Zur Erfassung der funktionellen Komponenten der Zahnmorphologie wurden jeweils Winkel vom permanenten Eckzahn bis zu den permanenten zweiten Molaren gemessen.
Es wurden für jedes Höckerpaar im Oberkiefer und im Unterkiefer fünf Winkel bestimmt. Dabei wurden das Fissurenrelief mit der Winkelvermessung der inneren Höckerabhänge zur Okklusionsebene und der von ihnen eingeschlossene Fissurenwinkel, sowie die tragenden Höcker einbezogen. Die funktionell bedeutenden Höcker im Oberkiefer sind die tragenden oralen,

wohingegen es im Unterkiefer die tragenden vestibulären sind. Hier wurden die äußeren Höckerabhänge untersucht und der von den jeweils äußeren und inneren Höckerabhängen eingeschlossene Höckerwinkel.

Ein Höckerpaar besteht aus einem vestibulären und dem dazu gehörigen palatinalen Höcker. Bei einer ungeraden Höckeranzahl, wie das teilweise beim zweiten unteren Prämolaren oder auch bei dem ersten unteren Molaren der Fall ist, wurde jeweils der stärker ausgeprägte mesiale Höcker vermessen. Der am weitesten distal gelegene vestibuläre Höcker der ersten unteren Molaren wurde ebenfalls vernachlässigt.

Da der Eckzahn lediglich eine Schneidekante besitzt, wurde der erste Punkt am Knickpunkt der Schneidekante gesetzt und der zweite am Wendepunkt von der konkaven in die konvexe Palatinalfläche. Der Vollständigkeit halber wurde ein dritter Punkt, zervikal der größten Zirkumferenz des Tuberkulums, bestimmt.

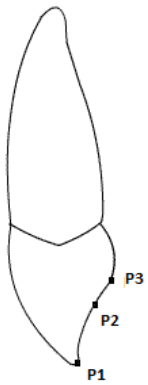

Abbildung 7.
P1: Starpunkt. Knickpunkt der Inzisalkante, P2: Übergang der konvexen in die konkave Palatinalfläche, P3:Endpunkt. Zervikal der größten Zirkumferenz des Tuberkulums.

Jedem Punkt können drei Koordinationswerte im Raum zugeordnet werden, anhand derer ein Winkel zur Okklusionsebene gemessen wurde. Bei den Seitenzähnen wurden die Höcker- und Fissurenwinkel mit dem tiefsten Punkt in der Fissur und den vestibulären und oralen Höckerspitzen bestimmt.

Die Winkel a bis k wurden mittels der Software Climb Analysis 1.0 und der grafisch gesetzten Punkte zur Okklusionsebene berechnet (Abbildung 8).

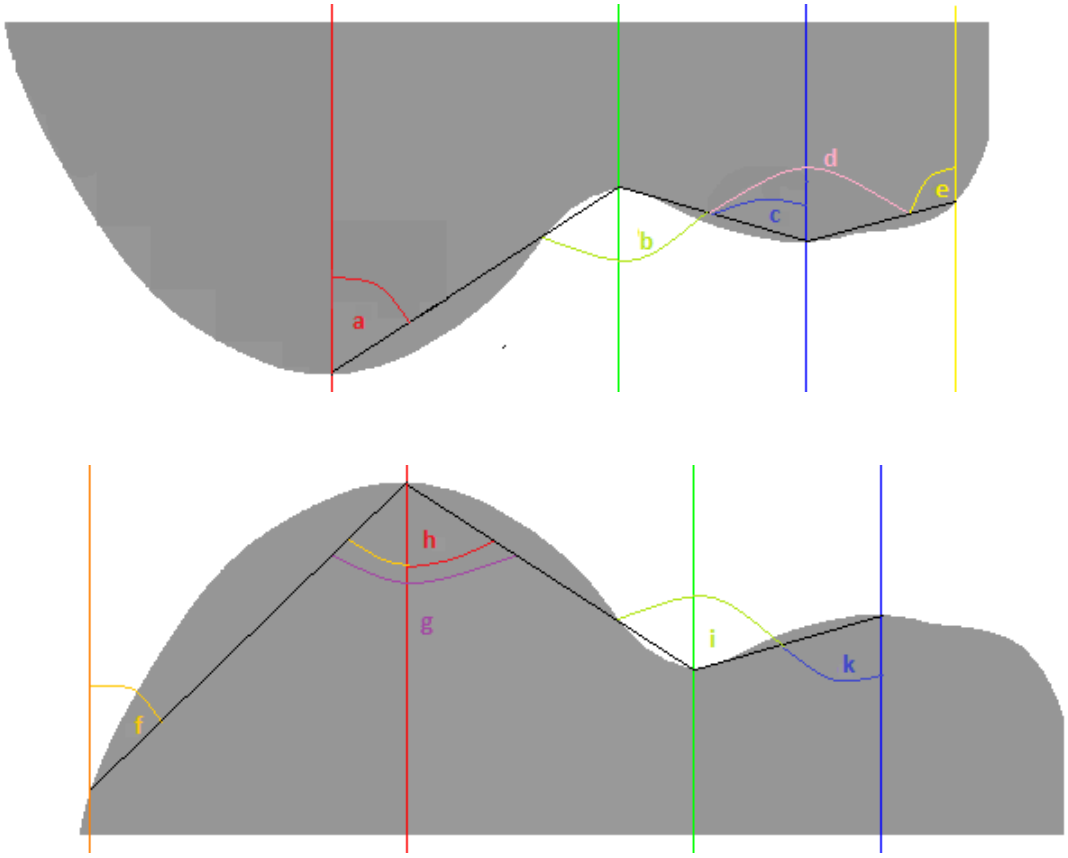

Abbildung 8.
Darstellung der gemessenen Winkel a-k im Schema.

Tabelle 4.
Die im Oberkiefer erhobenen Winkel entsprechen den Winkeln a-e und die des Unterkiefers den Winkeln f-k.

OK	UK
a = vestibulärer innerer Höckerwinkel (viHW)	f = vestibulärer äußerer Höckerwinkel (vaHW bzw. taHW)
b = Fissurenwinkel (FW)	g = vestibulärer Höckerwinkel (vHW bzw. tHW)
c = oraler innerer Höckerwinkel (oiHW)	h = vestibulärer innerer Höckerwinkel (viHW)
d = oraler Höckerwinkel (oHW bzw. tHW)	i = Fissurenwinkel (FW)
e = oraler äußerer Höckerwinkel (oaHW bzw. taHW)	k = oraler innerer Höckerwinkel (oiHW)

Der viHW am Eckzahn entspricht dem Eckzahnneigungswinkel (ENW). Der FW beschreibt die Steilheit der ermittelten vestibulären und oralen Höcker zueinander.

4 Ergebnisse

4.1 Vergleich der drei Messreihen mithilfe des Messwiederholungstests

Die Vermessung der Höcker wurde dreimal durchgeführt. Ziel der Messwiederholungen war es, zu überprüfen, ob die Referenzpunkte gleich gesetzt wurden und das Ergebnis reproduzierbar ist. Mithilfe des Messwiederholungtests (PASW18) wurden die Werte verglichen. Die Nullhypothese geht von einer Gleichheit der drei Messreihen aus. Bei einer Signifikanz von $p< 0,05$ wird die Nullhypothese abgelehnt, bei $p>0,05$ wird sie beibehalten. Für die Winkel viHW mit $p=0,416$, oiHW mit $p=0,72$ und FHW mit $p=0,924$ wurde die Gleichheit der drei Messreihen bestätigt. Mit $p>0,05$ sind die Werte nicht signifikant verschieden voneinander, die Unterschiede sind rein zufällig. Dementsprechend sind die Winkel gleich. Für die Winkel taHW und tHW mit $p=0,000$ liegen optisch ähnliche Werte vor, sie sind jedoch signifikant verschieden, es gilt die Nullhypothese abzulehnen.
Tabelle 5 und Tabelle 6 zeigen die erhobenen Winkelwerte der jeweiligen Messreihen im Vergleich. Tabelle 7 und Tabelle 8 beinhalten die erhobenen Mittelwerte der verschiedenen Winkel aus allen drei Messreihen.
Die Markierung der Messpunkte für die Bestimmung der Winkel viHW, oiHW und FHW stimmte wiederholt überein, da man mithilfe des Programms Climb Analysis die benötigten Referenzpunkte eindeutig definieren kann.
Der höchste Punkt der vestibulären und oralen Höckerspitze und der dazwischen liegende tiefste Punkt der Fissur werden von dem Programm automatisch gewählt, wodurch die Werte sehr genau reproduzierbar sind. Zur Bestimmung des atHW und tHW wurde der zervikal der größten Zirkumferenz gelegte Randpunkt an der äußeren Höckerneigung jeweils manuell gesetzt. Im Gegensatz zu den Höckerspitzen oder dem tiefsten Punkt der Fissur, ist der Randpunkt weniger eindeutig reproduzierbar und führt zu geringen Abweichungen vom Mittelwert in der Größenordnung von 1,17- 3,43°, welche sich folglich nicht vermeiden lassen.

Aufgrund der Übereinstimmung der Winkel viHW, oiHW und FW und der lediglich geringen und oben begründeten Abweichung der Winkel tHW und atHW konnte die statistische Analyse der Winkelwerte stellvertretend für die Gesamtheit aller Messwerte an der ersten Messreihe durchgeführt werden. Auf eine Mittelwertberechnung aus allen drei Messreihen wurde verzichtet, da der Gesamtwinkel aus den Einzelwinkeln zur Okklusionsebene keine 180° mehr ergeben würde.

Tabelle 5
Deskriptive Statistik für alle erhobenen Winkel im Vergleich bei drei Messreihen (1,2,3) im Oberkiefer

OK	N	Spannweite	Minimum	Maximum	Mittelwert
1 viHW	252	46,40	40,30	86,70	62,0345
2 viHW	252	48,20	40,20	88,40	62,3115
3 viHW	252	45,20	41,10	86,30	62,2127
1 oiHW	252	169,60	-80,80	88,80	44,1968
2 oiHW	252	177,20	-88,60	88,60	42,2234
3 oiHW	252	169,30	-80,90	88,40	43,7210
1FW	252	97,20	96,80	194,00	127,6571
2FW	252	98,00	96,40	194,40	128,1056
3FW	252	93,60	98,10	191,70	128,0774
1 taHW	252	63,90	22,80	86,70	45,5480
2 taHW	252	167,00	-81,40	85,60	41,8758
3 taHW	252	67,30	19,10	86,40	38,6960
1 tHW	252	108,20	81,70	189,90	111,1734
2tHW	252	121,40	71,50	192,90	108,3810
3 tHW	252	113,90	74,40	188,30	104,5591
Gültige Werte (Listen-weise)	252				

Tabelle 6

Deskriptive Statistik für alle erhobenen Winkel im Vergleich bei drei Messreihen (1,2,3) im Unterkiefer

UK	N	Spannweite	Minimum	Maximum	Mittelwert
1 viHW	238	58,10	20,80	78,90	53,0777
2 viHW	238	57,80	22,40	80,20	53,1521
3 viHW	238	60,40	20,10	80,50	52,8021
1 oiHW	238	175,70	-89,50	86,20	42,5697
2 oiHW	238	175,10	-86,20	88,90	43,5487
3 oiHW	238	169,90	-82,30	87,60	44,2697
1FW	238	91,30	98,00	189,30	136,4840
2FW	238	95,80	98,80	194,60	136,7782
3FW	238	103,00	88,00	191,00	136,3996
1 taHW	238	53,60	9,10	62,70	33,8866
2 taHW	238	47,80	16,20	64,00	34,1887
3 taHW	238	50,10	16,40	66,50	36,3458
1 tHW	238	82,30	47,50	129,80	86,9668
2tHW	238	96,60	47,60	144,20	87,3399
3 tHW	238	96,60	50,40	147,00	89,1475
Gültige Werte (Listen-weise)	227				

Tabelle 7

Deskriptive Statistik für alle erhobenen Winkel, deren Mittelwert aus den Werten der drei Messreihen für den Oberkiefer berechnet wurde.

Messreihen 1-3	N	Spannweite	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz
viHW	3	0,28	62,03	62,31	62,1862	0,14037	0,020
oiHW	3	1,97	42,22	44,20	43,3804	1,02985	1,061
FW	3	,45	127,66	128,11	127,9467	0,25115	0,063
taHW	3	6,85	38,70	45,55	42,0399	3,42894	11,758
tHW	3	6,61	104,56	111,17	108,0378	3,32047	11,025
Gültige Werte (Listenweise)	3						

Tabelle 8

Deskriptive Statistik für alle erhobenen, deren Mittelwert aus den Werten der drei Messreihen für den Unterkiefer berechnet wurde.

Messreihen 1-3	N	Spannweite	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz
viHW	3	0,35	52,80	53,15	53,0106	0,18439	0,034
oiHW	3	1,70	42,57	44,27	43,4627	0,85326	0,728
FW	3	0,38	136,40	136,78	136,5539	0,19873	0,039
taHW	3	2,46	33,89	36,35	34,8070	1,34117	1,799
tHW	3	2,18	86,97	89,15	87,8181	1,16632	1,360
Gültige Werte (Listenweise)	3						

4.2 Test der Winkelwerte auf Normalverteilung

Die Normalverteilung aller Winkel für jeden Zahntyp wird mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest geprüft. In der deskriptiven Statistik ist die Normalverteilung mithilfe des Boxplots anschaulich dargestellt.

Für den zweiten Prämolaren, den ersten Molaren, sowie für das mesiale Höckerpaar der zweiten Molaren liegt für alle Winkel eine Normalverteilung der Werte vor. Erwartungsgemäß liegt beim Eckzahn für den Fissurenwinkel und die orale innere Höckerneigung keine Normalverteilung vor. Der Eckzahn besitzt keinen oralen Höcker, lediglich ein mehr oder minder stark ausgeprägtes Tuberkulum, weshalb diese Winkel für die weitere Betrachtung nicht weiter wichtig sind. Für den 4er und das distale Höckerpaar des 7ers gilt ähnliches. Der palatinale Höcker des 4ers ist unterschiedlich stark ausgeprägt, weshalb teilweise negative orale innere Höckerwinkel gemessen wurden. Auch der distopalatinale Höcker des 7ers ist in manchen Fällen nur sehr schwach ausgebildet, sodass die Werte in einigen Fällen negativ waren und keine Normalverteilung vorliegen kann.

Tabelle 9
Die Normalverteilung wurde mittels des Kolmgorov- Smirnov- Anpassungstest geprüft. Die aufgeführten Zahlenwerte entsprechen der jeweiligen Signifikanz p. p> 0,05 gilt als signifikant positives Ergebnis: Es liegt eine Normalverteilung vor.

	viHW	oiHW	FW	taHW OK	tHW OK	taHW UK	tHW UK
3er	0,491	0,000	0,022	0.396	0,654	0,953	0,978
4er	0,845	0,000	0,143	0,727	0,447	0,839	0,393
5er	0,751	0,343	0,785	0,850	0,471	0,905	0,679
6er mesial	0,960	0,897	0,992	0,187	0,889	0,649	0,747
6er distal	0,403	0,311	0,940	0,848	0,730	0,472	0,602
7er mesial	0,679	0,413	0,859	0,998	0,714	0,634	0,254
7er distal	0,605	0,000	0,608	0,636	0,743	0,548	0,957

4.3 T-Test zur Überprüfung auf Winkelgleichheit

Mithilfe des T-Tests wurden die einzelnen Winkel des ersten und zweiten Quadranten miteinander verglichen und äquivalent dazu die des dritten mit den Winkeln des vierten Quadranten. Der T-Test ist robust gegenüber der Normalverteilung, sodass die oiHW und der FW des 3ers und auch der oiHW des 4ers und des 7ers distal in den Test mit einbezogen wurden.

Tabelle 10
Die Seitengleichheit der Winkelwerte eines Kiefers für jeden Zahntyp wurde mittels des T-Test geprüft. Die aufgeführten Zahlenwerte entsprechen der jeweiligen Signifikanz p. p>0,05: die Winkel sind nicht signifikant verschieden voneinander, sie sind gleich.

	Zahntyp	oiHW	FW	viHW	tHW	atHW
1-2 Quadrant	3er	0,882	0,675	0,990	0,357	0,589
	4er	0,814	0,844	0,995	0,471	0,459
	5er	0,891	0,776	0,588	0,543	0,62
	6er m	0,744	0,713	0,870	0,854	0,994
	6er d	0,826	0,679	0,786	0,699	0,759
	7er m	0,768	0,762	0,898	0,691	0,495
	7er d	0,691	0,832	0,461	0,95	0,827

	Zahntyp	oiHW	FW	viHW	tHW	atHW
3-4 Quadrant	3er	0,669	0,704	0,350	0,437	0,834
	4er	0,766	0,728	0,843	0,840	0,937
	5er	0,588	0,793	0,754	0,995	0,749
	6er m	0,411	0,549	0,989	0,281	0,269
	6er d	0,309	0,334	0,792	0,221	0,235
	7er m	0,353	0,185	0,379	0,173	0,409
	7er d	0,574	0,861	0,660	0,810	0,524

Die Nullhypothese H_0 geht von einer Gleichheit der Erwartungswerte aus.
H_0 : $\mu_1=\mu_2$. Die Winkel des ersten gleichen denen des zweiten Quadranten und die des dritten denen des vierten Quadranten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit mit $p>0,05$ gibt an, dass die Nullhypothese beibehalten werden soll, sprich die Winkel eines jeden Zahntyps sind zwischen den Quadranten eines Kiefers gleich. Die Unterschiede sind rein zufällig. Wenn $p<0,05$ ist, gilt es die Nullhypothese abzulehnen. Der Unterschied ist hoch signifikant. Es ist statistisch eindeutig.
Die Auswertung des T-Tests gilt auch für die folgenden T-Tests.

Tabelle 11
Die Gleichheit zwischen dem mesialen und distalen Höckerpaar eines Zahnes wurd mittels des T-Tests geprüft. Die aufgeführten Zahlenwerte entsprechen der jeweiligen Signifikanz p. p>0,05: die Winkel sind nicht signifikant verschieden voneinander, sie sind gleich.

	viHW	oiHW	FW	tHW-OK	taHW-OK	tHW-UK	taHW-UK
OK 6er m-d	0,001	0,001	0,905	0,063	0,000	-	-
UK 6er m-d	0,000	0,696	0,000	-	-	0,000	0,904
OK 7er m-d	0,057	0,000	0,000	0,000	0,398	-	-
UK 7er m-d	0,567	0,288	0,014	-	-	0,908	0,523

Die Höckerpaare der Molaren sind zur Hälfte mit $p>0,05$ bei allen gemessenen Winkelwerten gleich. Demnach kann man das mesiale Höckerpaar nicht mit dem distalen gleichsetzen, sondern muss diese getrennt voneinander betrachten.

Tabelle 12

Die Gleichheitsprüfung der Winkelwerte eines Zahntyps von Ober- und Unterkiefer wurde mittels des T-Tests bestimmt. Die aufgeführten Zahlenwerte entsprechen der jeweiligen Signifikanz p.Signifikante Gleichheit bei p>0,05.

	oiHW	FW	viHW	tHW	atHW
3er	0,262	0,397	0,000	0,000	0,000
4er	0,000	0,000	0,567		
5er	0,000	0,000	0,09		
6er m	0,000	0,000	0,012		
6er d	0,000	0,397	0,000		
7er m	0,000	0,577	0,000		
7er d	0,641	0,029	0,000		

Die jeweiligen Winkel für jeden Zahntyp des Oberkiefers sind zum größten Teil mit p<0,05 signifikant verschieden von denen des Unterkiefers. Übereinstimmungen liegen vereinzelt im viHW zwischen dem 4er, 5er und 6er mesial vor und beim FW zwischen dem 6er distal und dem 7er mesial und distal.

4.4 Deskriptive Statistik für die Höckerwinkel einer Zahnreihe

Um Zusammenhänge zwischen den Winkeln innerhalb einer Zahnreihe und zwischen den Kiefern zu veranschaulichen, wurde die Darstellung des Boxplots gewählt. Da die Werte der rechten und linken Seite eines Kiefers für den jeweiligen Zahntyp nach dem Ergebnis des oben dargestellten T-Tests gleich sind, werden die Winkel des ersten und zweiten Quadranten für jeden Zahntyp zusammengefasst und gemittelt, genauso wie die des dritten und vierten Quadranten. Eine Varianzgleichheit zwischen den mesialen und distalen Höckerpaaren eines Zahnes wurde nur teilweise festgestellt, weswegen diese Werte aufgeschlüsselt in die nachfolgenden Boxplotdarstellungen eingehen. Für die Eckzähne wurde im Oberkiefer lediglich der viHW und im Unterkiefer der viHW, tHW, sowie der atHW mit aufgeführt, da lediglich ein mehr oder minder stark ausgeprägtes Tubekulum anstelle eines oralen Höckers ausgeprägt ist. In den Tabellen 40-49 im Anhang sind sie der Vollständigkeit halber mit aufgeführt.

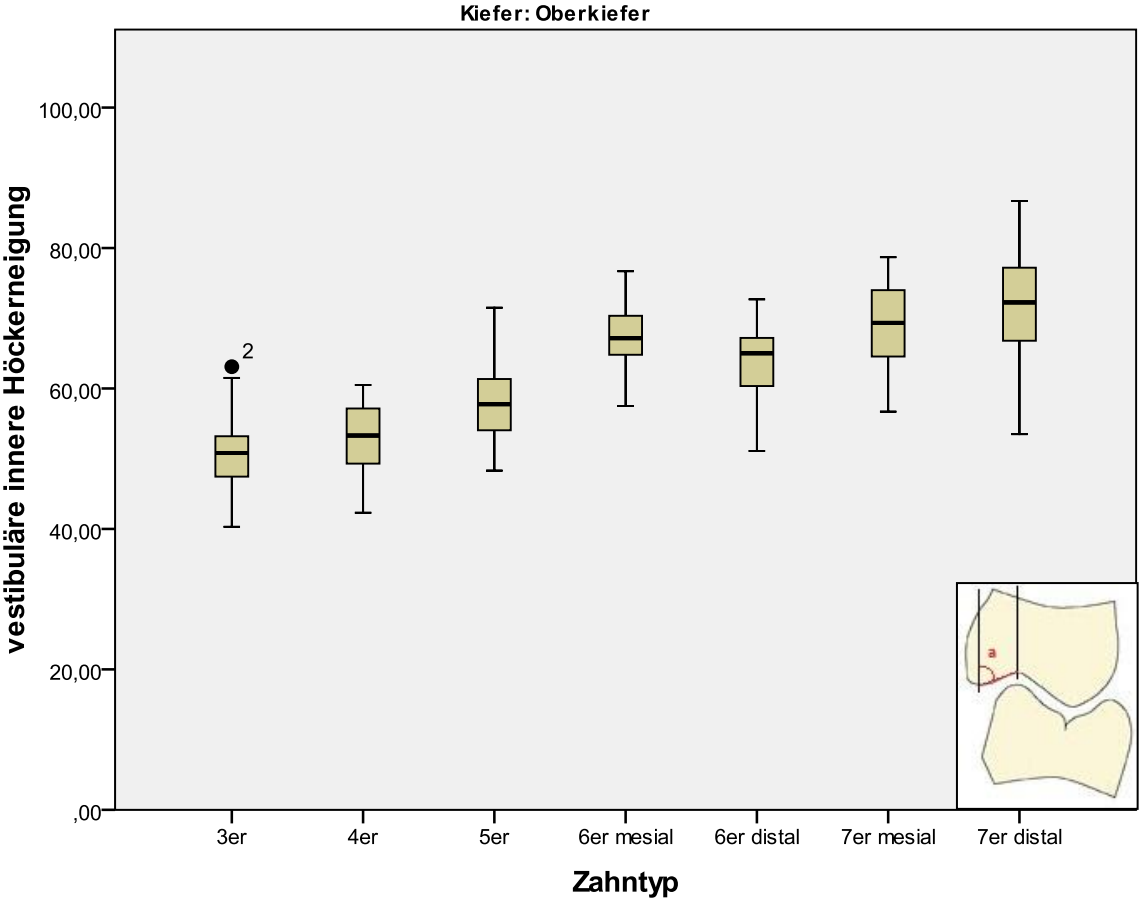

Abbildung 9.
Verteilung der Winkelwerte für die vestibuläre innere Höckerneigung der Oberkieferzähne

Für den viHW im Oberkiefer erkennt man einen deutlichen Anstieg der Werte von mesial nach distal. Die Höcker werden folglich vom Eckzahn bis zu den Molaren hin flacher.

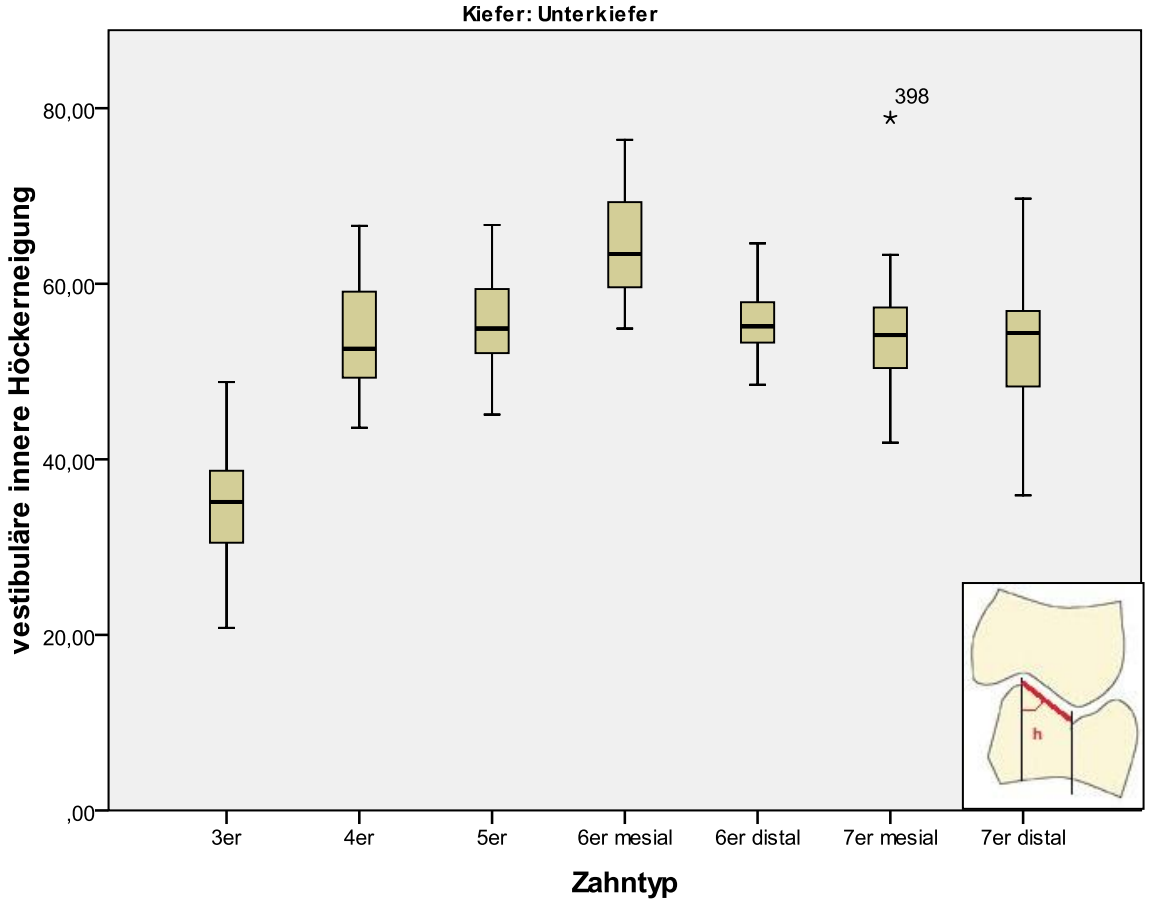

Abbildung 10.
Verteilung der Winkelwerte für die vestibuläre innere Höckerneigung der Unterkieferzähne

Im Unterkiefer wird der viHW vom Eckzahn bin zum mesialen Höckerpaar des ersten Molaren größer und fällt anschließend wieder ab. Auffällig ist, dass die Werte für die Prämolaren, den zweiten Molaren und das distale Höckerpaar des ersten Molars annähernd gleich groß sind (Vergleich Tabelle 41).

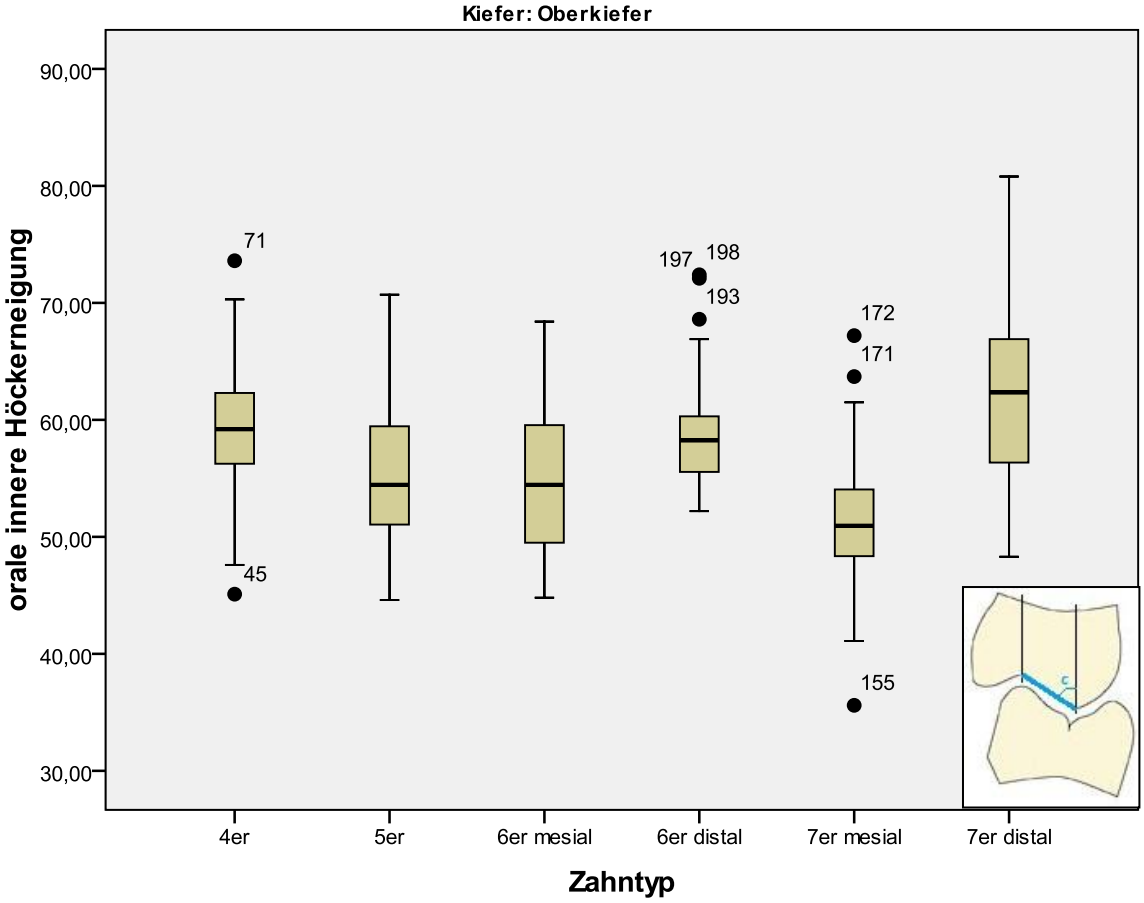

Abbildung 11.
Verteilung der Winkelwerte für die orale innere Höckerneigung der Oberkieferzähne

Die Werte des oiHW im Oberkiefer lassen lediglich eine leicht abfallend Tendenz nach distal hin erkennen, wobei die distalen Höckerpaare der Molaren sich diesbezüglich nicht einordnen lassen.

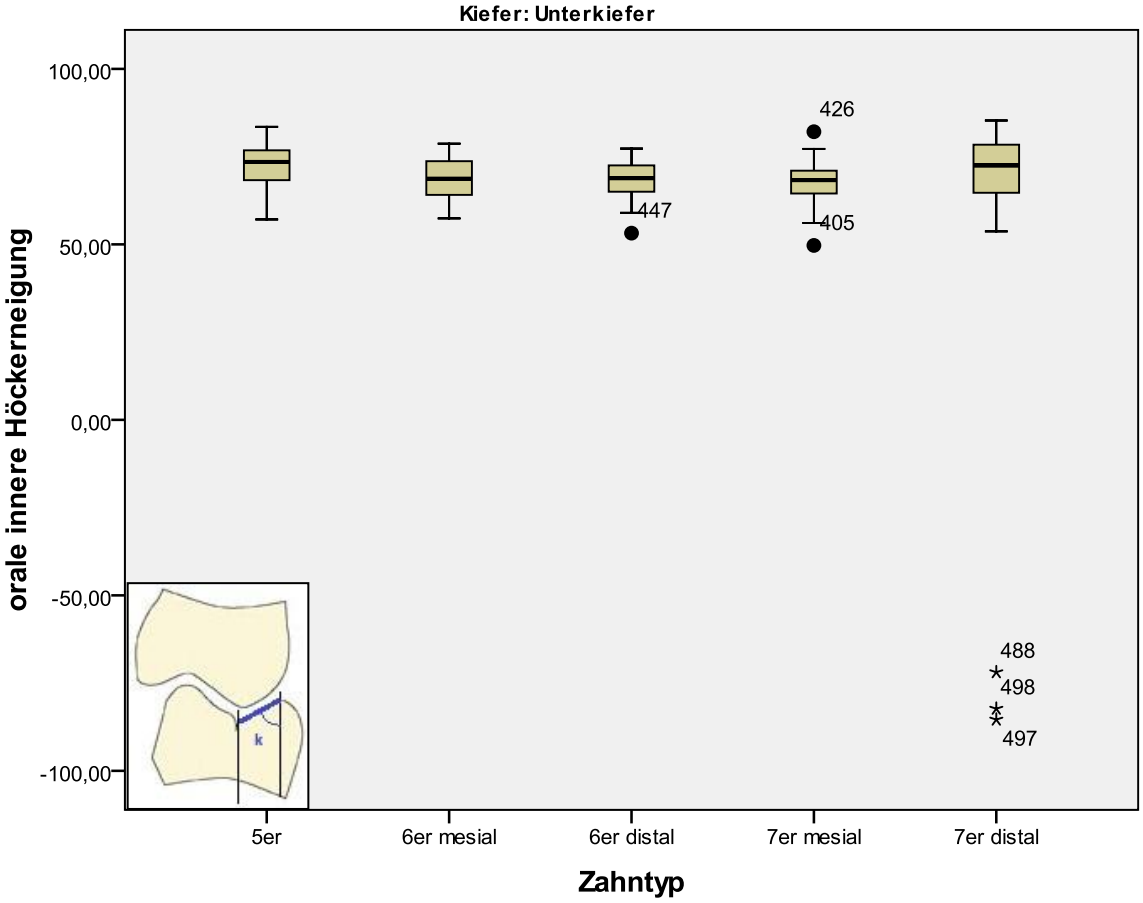

Abbildung 12.
Verteilung der Winkelwerte für die orale innere Höckerneigung der Unterkieferzähne

Die Werte des ersten Prämolaren wurden bei der Darstellung des oiHW im Unterkiefer nicht mit dargestellt, da aufgrund der Formvarianz des oralen Höckers eine sehr große Streuung der Werte vorliegt (siehe Tabelle 43). Auffällig ist, dass die Werte der anderen Seitenzähne annähernd gleich groß erscheinen.

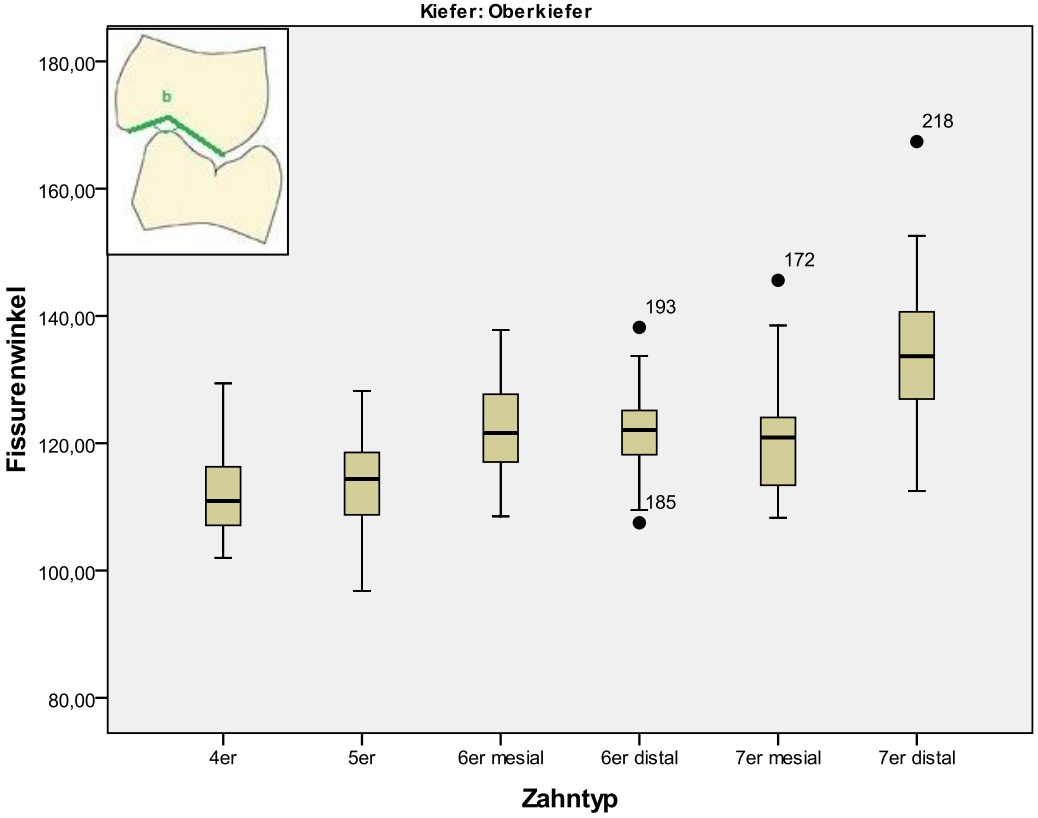

Abbildung 13.
Verteilung der Winkelwerte für den Fissurenwinkel der Oberkieferzähne

Der FW wird im Oberkiefer tendenziell vom Eckzahn bis zum zweiten Molaren größer.

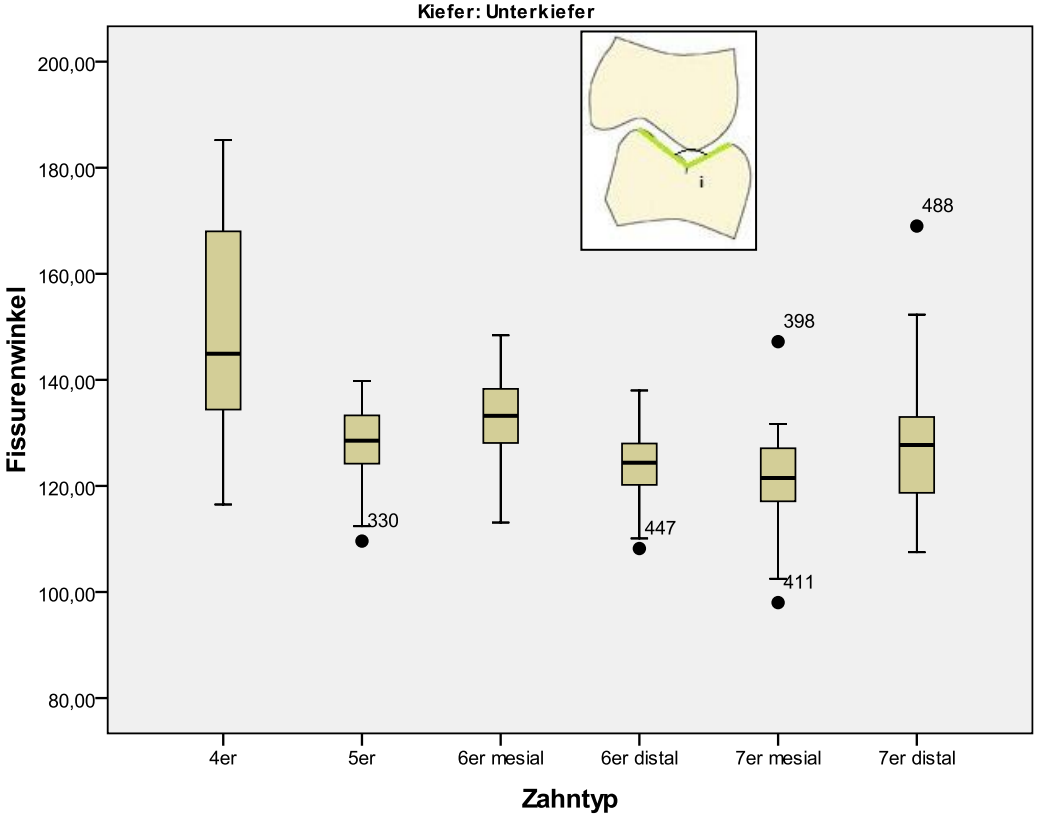

Abbildung 14.

Verteilung der Winkelwerte für den Fissurenwinkel der Unterkieferzähne

Die Darstellung des FW im Unterkiefer zeigt in der Tendenz einen Abfall der Werte nach distal hin, die Winkel werden kleiner.

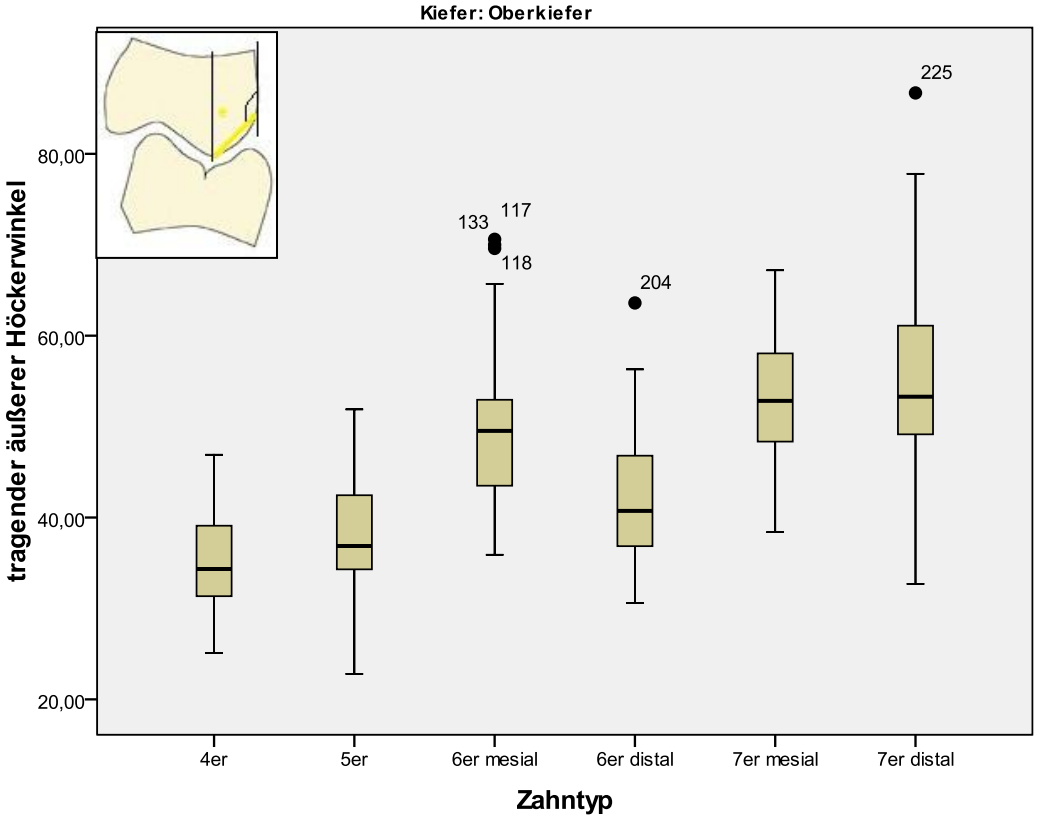

Abbildung 15.
Verteilung der Winkelwerte für den tragenden (oralen) äußeren Höckerwinkel der Oberkieferzähne

Im Oberkiefer weist der taHW ebenfalls nach distal ansteigende Werte auf, wobei die distalen Höckerpaare abweichen.

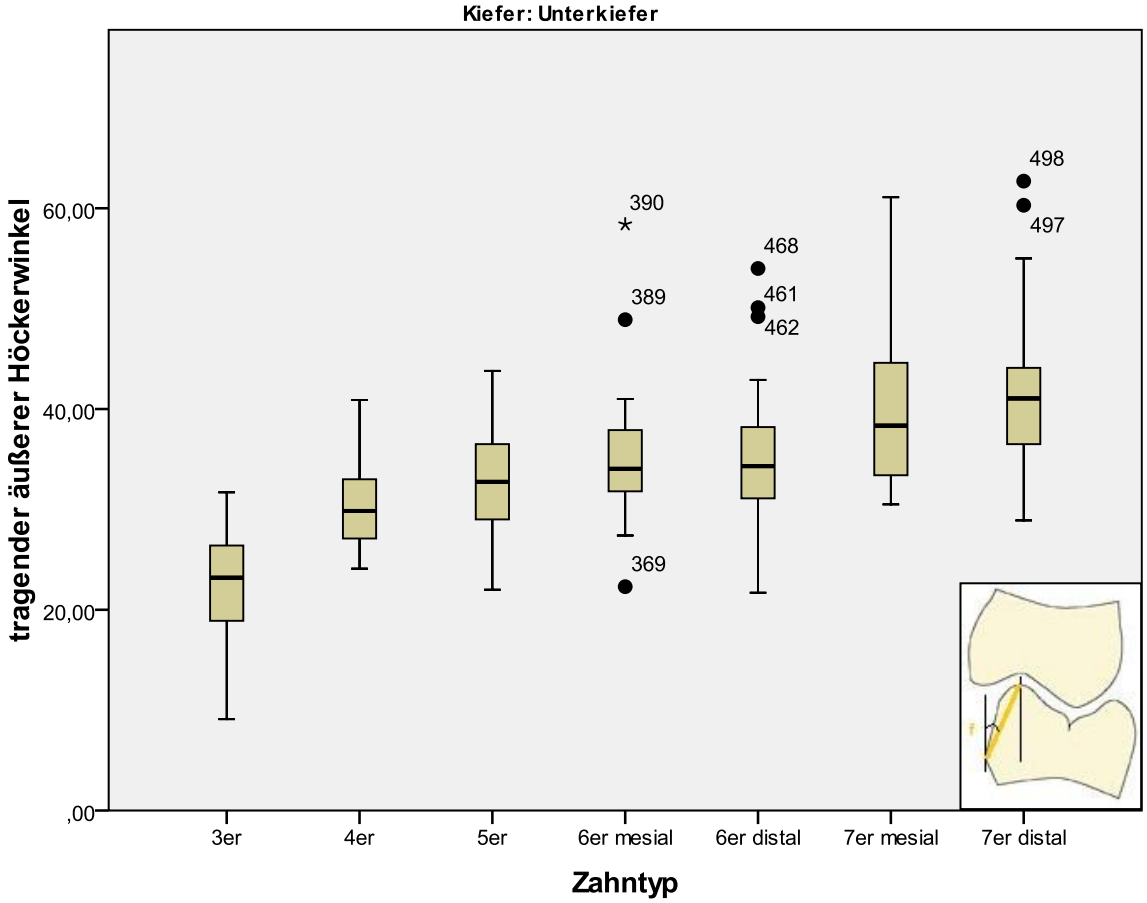

Abbildung 16.
Verteilung der Winkelwerte für den tragenden (vestibulären) äußeren Höckerwinkel der Unterkieferzähne

Der taHW im Unterkiefer wird im Unterkiefer vom Eckzahn bis zum zweiten Molaren zunehmend größer.

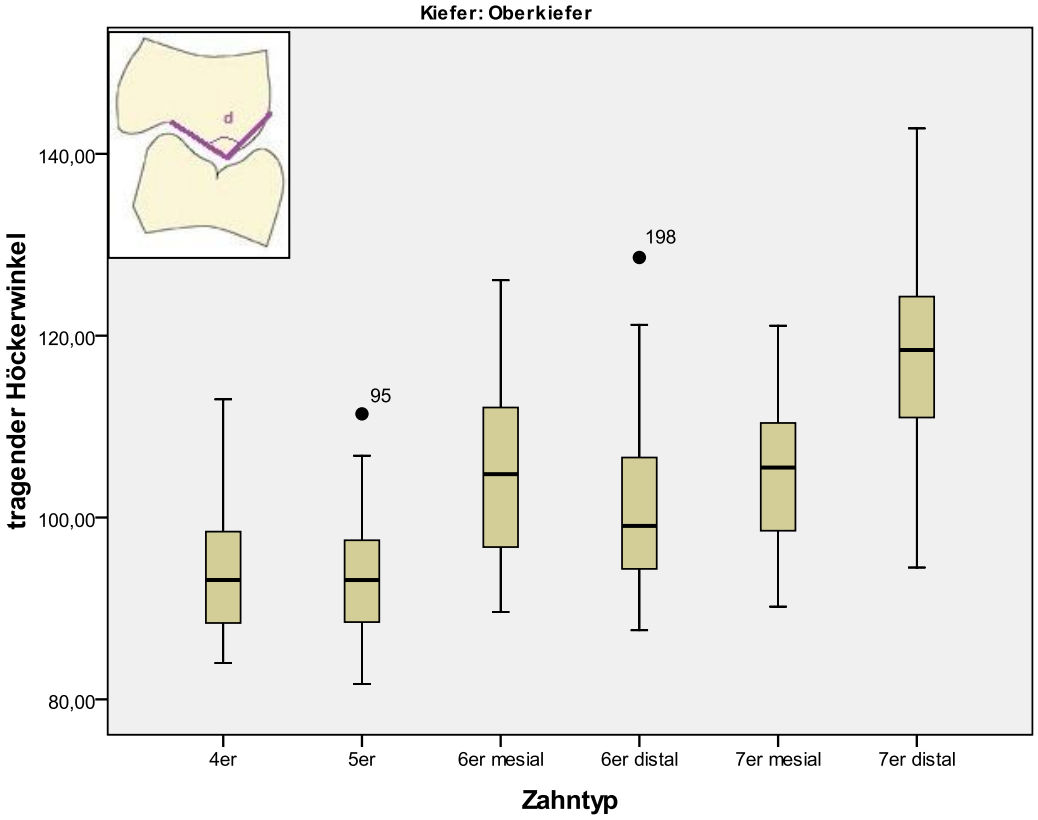

Abbildung 17.
Verteilung der Winkelwerte für den tragenden (oralen) Höckerwinkel der Oberkieferzähne

Die Darstellung des tHW im Oberkiefer zeigt tendenziell ebenfalls einen Anstieg der Werte nach distal hin, wobei die Werte der Prämolaren, als auch die Werte der mesialen Höckerpaare der ersten Molaren annähernd gleich groß erscheinen.

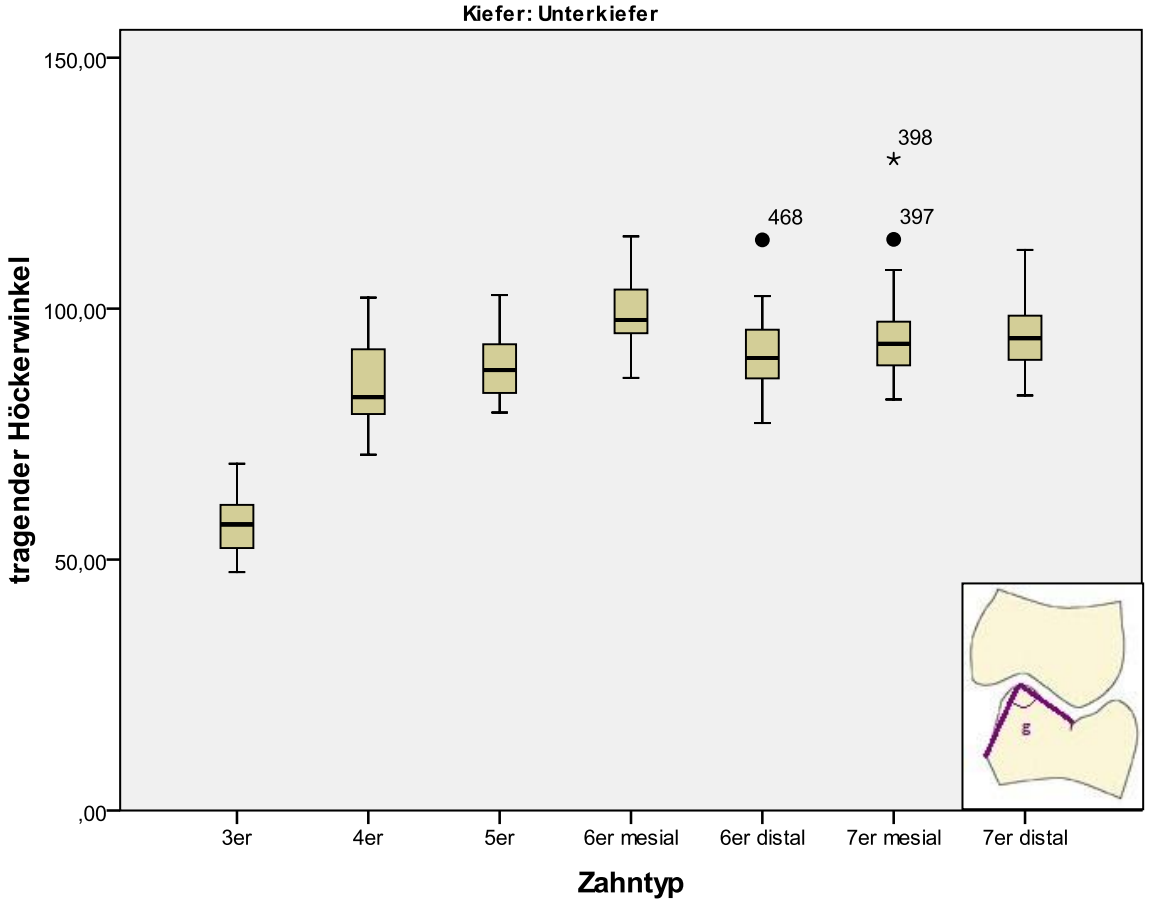

Abbildung 18.
Verteilung der Winkelwerte für den tragenden (vestibulären) Höckerwinkel der Unterkieferzähne

Im Unterkiefer steigt der tHW tendenziell nach distal hin an, wobei das mesiale Höckerpaar des ersten Molaren mit einem steileren Anstieg abweicht.

4.5 Abhängigkeiten

Im Folgenden werden verschiedene Zusammenhänge analysiert. Zum einen werden die Winkel a bis k in Abhängigkeit vom Zahntyp untereinander verglichen und zum anderen wird untersucht, inwiefern sich die einzelnen Winkel innerhalb einer Zahnreihe verändern. Des Weiteren wird geprüft, ob die Ergebnisse auf Ober- und Unterkiefer gleichermaßen zutreffen.

4.5.1 Abhängigkeiten innerhalb einer Zahnreihe

Mittels verschiedener statistischer Verfahren des Programms SPSS wurden Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Winkeln innerhalb einer Zahnreihe analysiert. Die Korrelation nach Spearman wird angewendet, um zu prüfen, ob der Zahntyp (Eckzahn, erster und zweiter Prämolar bzw. Molar) mit der Winkelgröße korreliert. Der Zahntyp stellt hierbei eine ordinale Variable dar, weshalb die Korrelation nach Spearman der nach Pearson vorgezogen wird. Als Nichtparametrischer Test ist dieser unabhängig von der Normalverteilung, wodurch eine Betrachtung aller gemessenen Winkel möglich ist.
Es wird eine positive Korrelation erwartet, sprich je weiter distal der Zahn in der Zahnreihe steht, desto größer wird der Winkel. Ob zusätzlich eine lineare Abhängigkeit besteht, wird mittels der Regression getestet. Entsprechende Regressionsgleichungen geben vereinfacht die Veränderung des Winkels in Form einer Geraden innerhalb der Zahnreihe wieder. Winkel, die außerhalb der Normalverteilung liegen, sind für die Tests Korrelation und Regression ausgeschlossen.

Für den **viHW im Oberkiefer** wurde herausgefunden, dass je weiter distal der Zahn in der Zahnreihe steht, desto größer wird der Winkel. Die Höcker werden folglich nach dorsal hin signifikant (p=0,000) flacher. Der Korrelationskoeffizient ist mit K=0,797 sehr hoch und besitzt entsprechend eine hohe Aussagekraft. Die Verteilung der Boxplots ließ eine lineare Abhängigkeit

vermuten, die durch den Regressionstest signifikant bestätigt wurde mit R=0,783 (p=0,000). Das Streudiagramm veranschaulicht diesen Zusammenhang durch eine vereinfachte Bezugslinie mit der Gleichung y=4,8*x + 35,3.

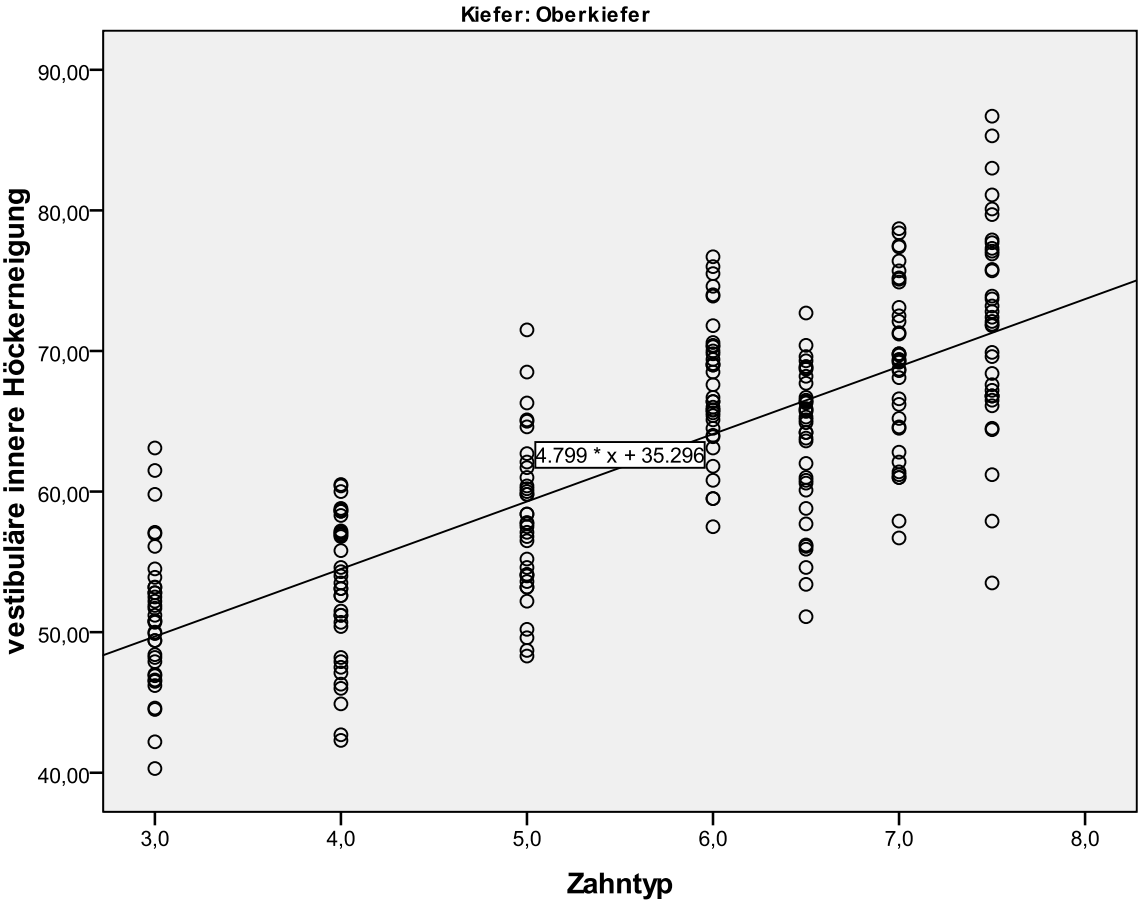

Abbildung 19.
Verteilung der Winkelwerte für den vestibulären inneren Höckerwinkel innerhalb der Zahnreihe des Oberkiefers im Punkt-Streudiagramm und der ermittelten Regressionsgerade y=4,8x + 35,3.

Für den **viHW des Unterkiefers** ergibt sich eine weniger aussagekräftige geringe Korrelation mit K=0,353 (p=0,000). Es liegt keine lineare Abhängigkeit vor (R=0,165; p=0,011).

Der **oiHW des Oberkiefers** spielt für den 3er aufgrund der fehlenden Höckermorphologie keine Rolle. Es liegt keine aussagekräftige Korrelation für

die Werte vom 4er bis zum 7er vor. Es ist ein diskreter Abfall der Winkel nach distal zu erkennen, wobei die distalen Höckerpaare aus der Reihe fallen.

Im Unterkiefer ist der orale Höcker für den 4er teilweise nur schwach ausgeprägt, sodass negative Werte für den **oiHW des Unterkiefers** auftreten und somit eine auffällige Streuung der Winkel. Vom 5er bis zum 7er ist eine diskrete Abnahme der Werte zu erkennen, es liegt jedoch keine aussagekräftige Korrelation vor.

Da der 3er keinen oralen Höcker aufweist, besitzt er auch keine Fissur, weshalb der Winkel bei der weiteren Analyse nicht berücksichtigt wird. Es liegt eine mittlere positive Korrelation mit K=0,524 für den **FW im Oberkiefer** vor.

Mit der berechneten Regression R=0,566 wird der lineare Anstieg durch folgende Gleichung beschrieben y=5,24*x+89,534. Mit nahezu dem gleichen Anstieg korrelieren die Werte für den **FW im Unterkiefer** mit K=-0,433 schwach negativ miteinander. Es besteht entsprechend der Korrelation lediglich ein geringer linearer Zusammenhang, ausgedrückt durch die Gleichung y=-6,24x+168 (R=0,514, p=0,011).
Hierbei ist zu beachten, dass die Streuung der Werte des unteren 4ers vergleichsweise zum oberen größer ist, was zu einer Verfälschung des Ergebnisses führen kann.

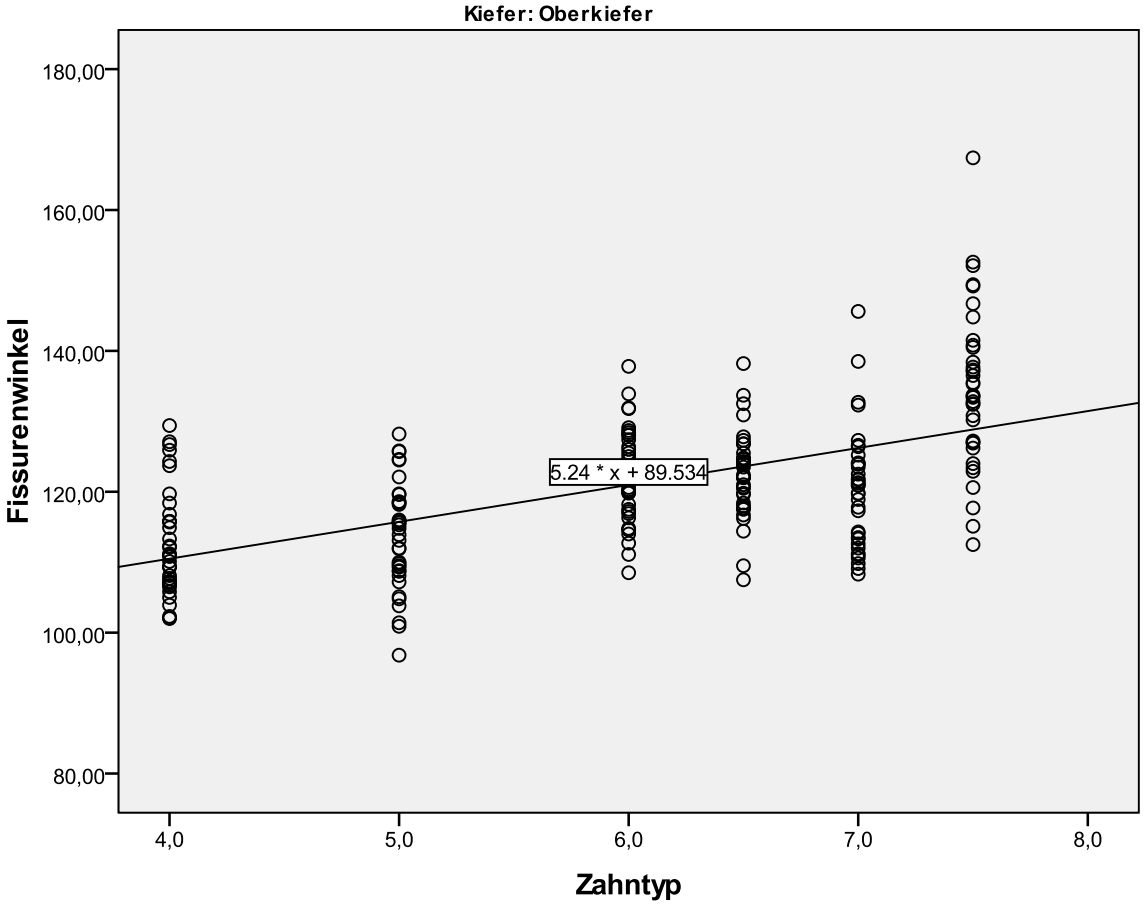

Abbildung 20.
*Verteilung der Winkelwerte für den Fissurenwinkel innerhalb der Zahnreihe des Oberkiefers im Punkt-Streudiagramm und der ermittelten Regressionsgerade y=5,24*x+ 89,534.*

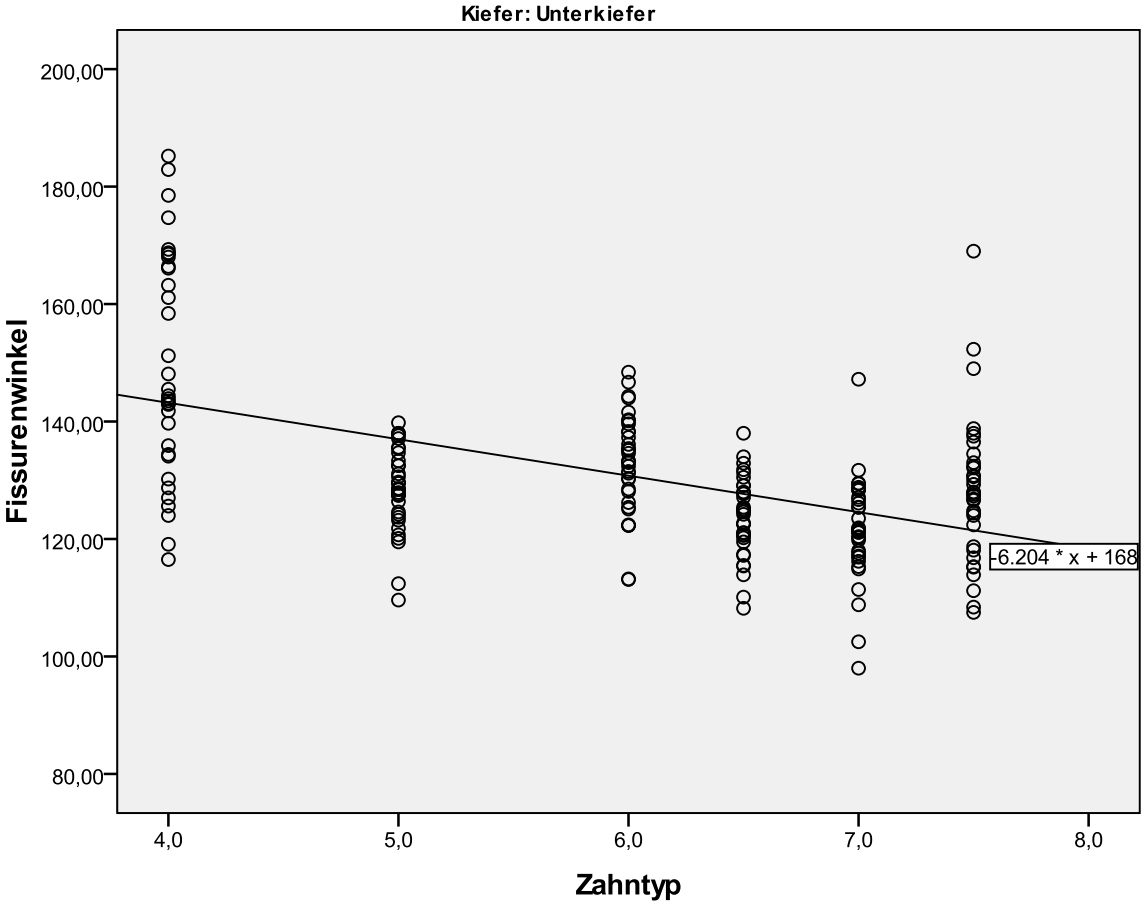

Abbildung 21.
*Verteilung der Winkelwerte für den Fissurenwinkel innerhalb der Zahnreihe des Unterkiefers im Punkt-Streudiagramm und der ermittelten Regressionsgerade y=-6,24*x+ 168.*

Die Werte **taHW (oaHW) des Oberkiefers** wurden für den Eckzahn aufgrund der fehlenden Höckermorphologie ausgeschlossen. Mit einer mittleren Korrelation von K=0,636 (p=0,000) ergibt sich die Regressionsgleichung y=5,703*x+11,455 mit R=0,62 und p=0,000.

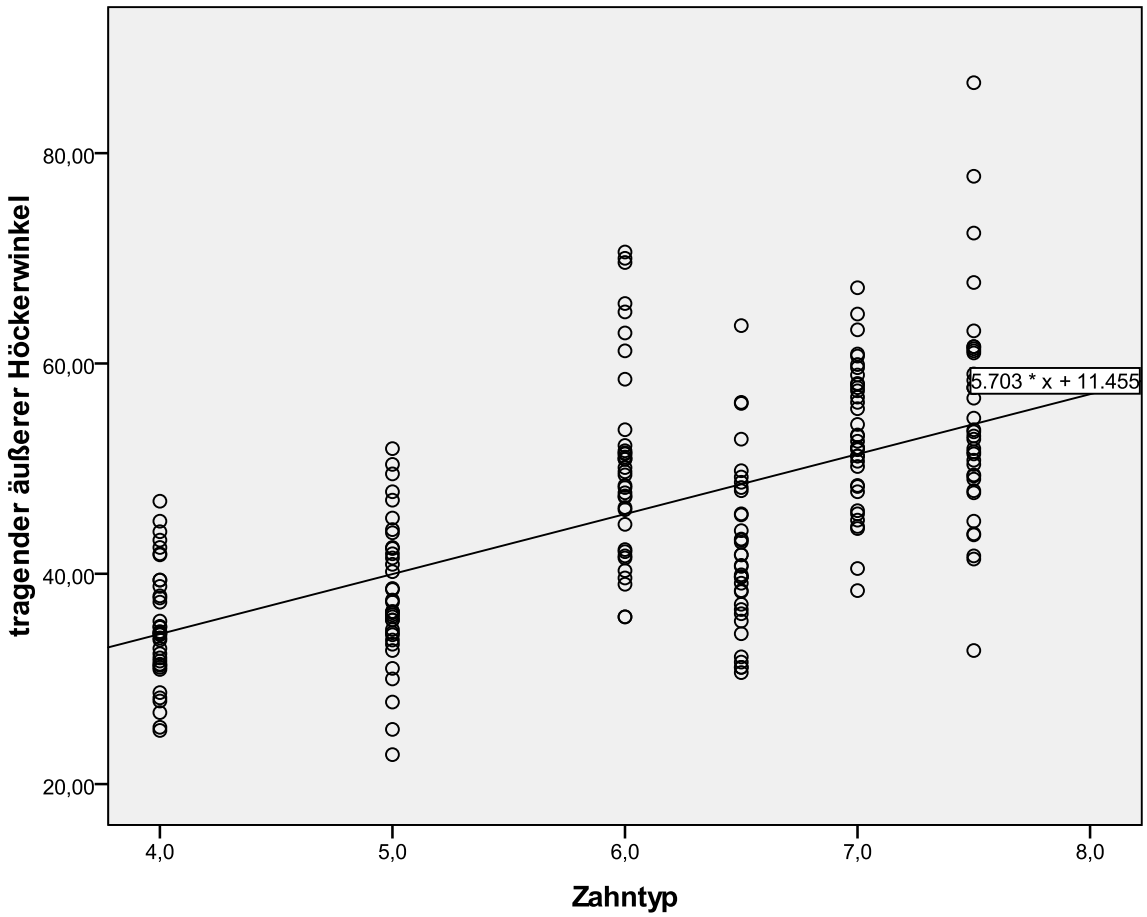

Abbildung 22.
*Verteilung der Winkelwerte für den tragenden (oralen) äußeren Höckerwinkel innerhalb der Zahnreihe des Oberkiefers im Punkt-Streudiagramm und der ermittelten Regressionsgerade y=5,703*x+11,455.*

Für den **atHW (avHW) im Unterkiefer** ergibt sich nach dem Korrelationstest mit K=0,678 (p=0,000) und dem Regressionstest (p=0,000; R=0,659) eine relativ hohe lineare Abhängigkeit mit der Gleichung y=3,646*x+13,576.

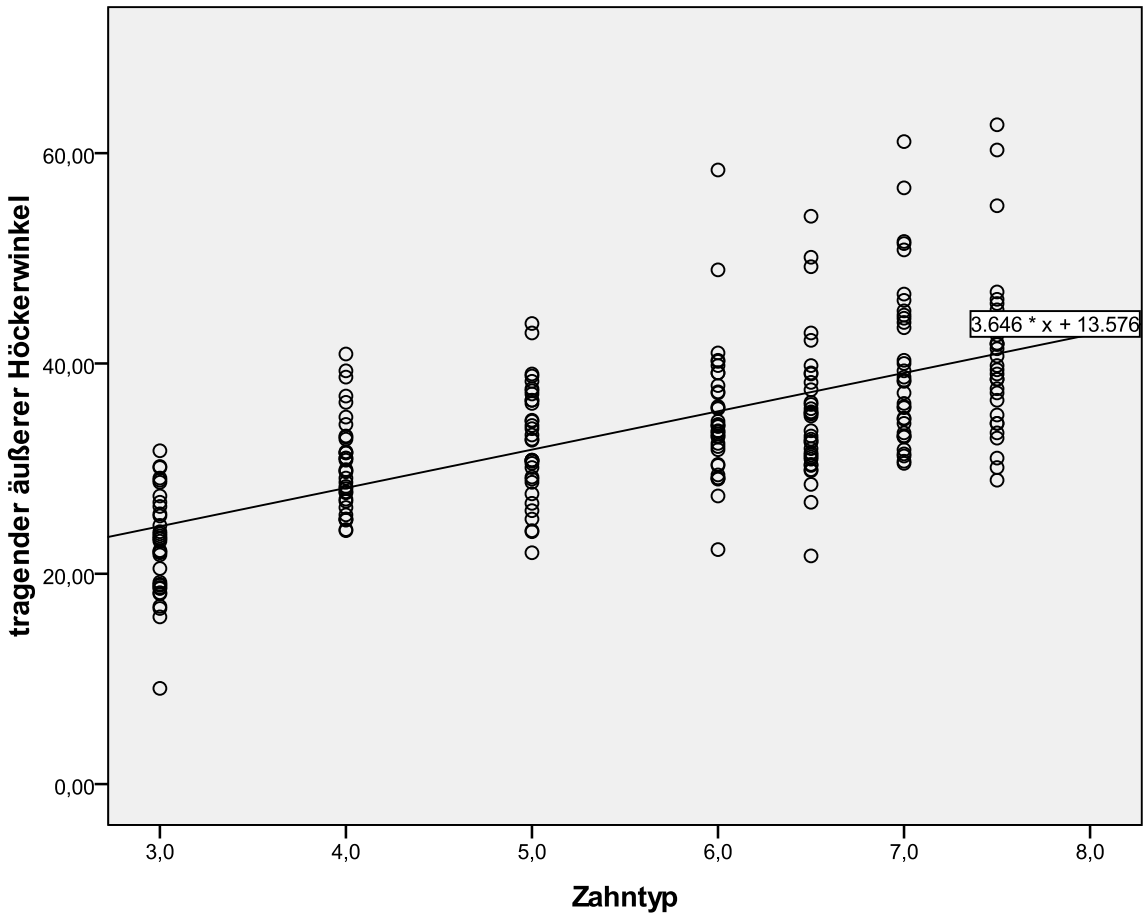

Abbildung 23.
*Verteilung der Winkelwerte für den tragenden (vestibulären) äußeren Höckerwinkel innerhalb der Zahnreihe des Unterkiefers im Punkt-Streudiagramm und der ermittelten Regressionsgerade y=3,646*x+13,576.*

Der **tHW (oHW)** des 3ers **im Oberkiefer** wurde wegen des fehlenden oralen Höckers nicht mit einbezogen. Die Korrelation beträgt K=0,571 und über die Regression (p=0,000) erhält man eine mittlere lineare Abhängigkeit und die Gleichung y=5,67*x+68,628.

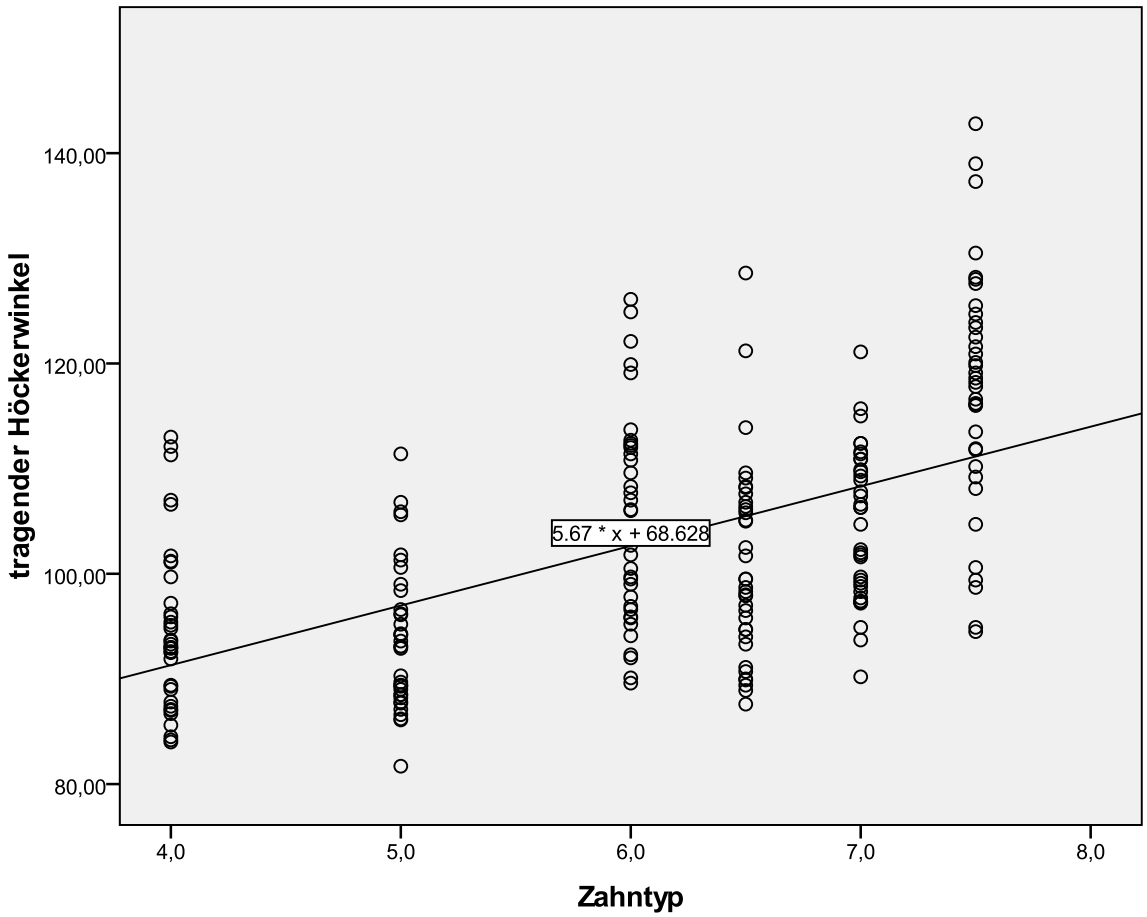

Abbildung 24.
*Verteilung der Winkelwerte für den tragenden oralen Höckerwinkel innerhalb der Zahnreihe des Oberkiefers im Punkt-Streudiagramm und der ermittelten Regressionsgerade y=5,67*x+68,628.*

Es liegt eine mittlere Korrelation mit K=0,575 für den **tHW (vHW) des Unterkiefers** vor. Der Regressionstest mit R=0,722 führt zu der Gleichung y=7*x+47,964.

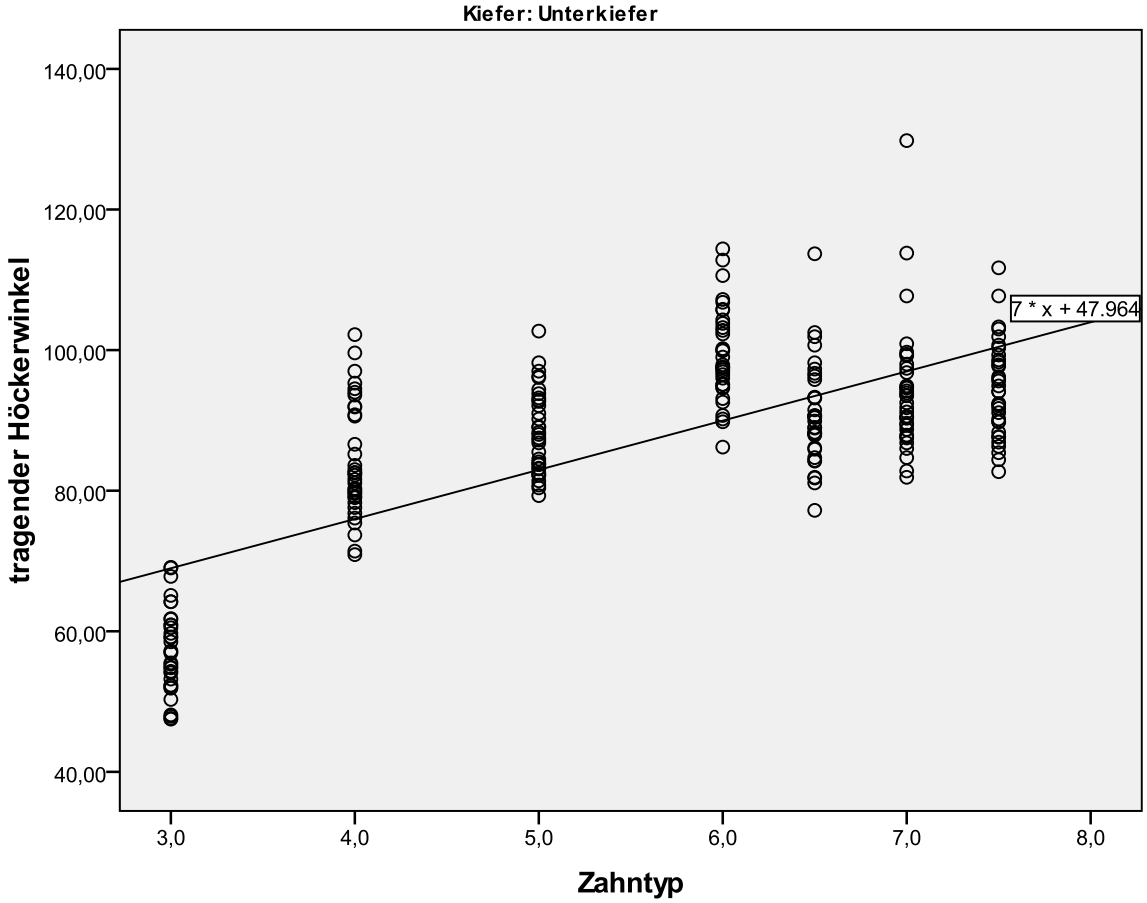

Abbildung 25.
*Verteilung der Winkelwerte für den tragenden vestibulären Höckerwinkel innerhalb der Zahnreihe des Unterkiefers im Punkt-Streudiagramm und der ermittelten Regressionsgerade y=7*x+47,964.*

4.5.2 Abhängigkeiten zwischen Ober- und Unterkiefer

Alle gemessenen Winkel a bis k sind laut dem Messwiederholungstest signifikant verschieden (p=0,000), was in der nachfolgenden Abbildung grafisch veranschaulicht ist. Die Winkel der Oberkiefer a bis e unterscheiden sich von denen des Unterkiefers f bis k.

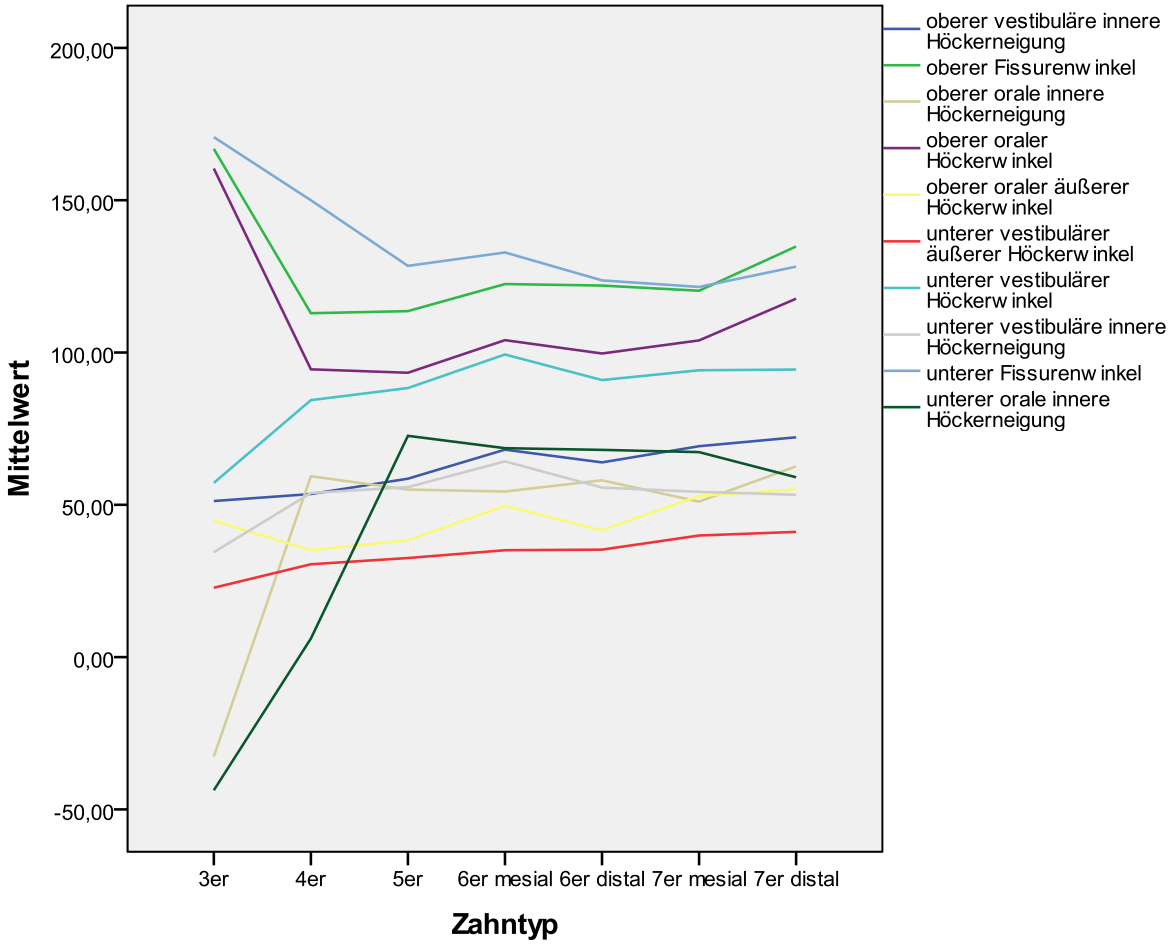

Abbildung 26.
Vergleichende Darstellung des Verlaufes der einzelnen Winkel des Ober- und Unterkiefers vom Eckzahn beginnend nach distal bis zum zweiten Molaren im Liniendiagramm. Die Linien ergeben sich aus den jeweiligen Mittelwerten.

Tabelle 13
*Dargestellt ist der Anstieg m der Winkelgeraden y=m*x+n für die Winkel viHW, oiHW, FHW, tHW und taHW jeweils im Ober- und Unterkiefer. (*weniger aussagekräftig Korrelation bzw. Regression)*

	viHW	oiHW	FHW	tHW	taHW
OK	4,799	konstant	5,24	5,67	5,703
UK	(3,357)*	Konstant	(-6,24)*	7	3,646

Die Anstiege der Regressionsgeraden des viHW, FW, oHW und aoHW im Oberkiefer ähneln einander, verändern sich demnach nach dorsal hin im gleichen Ausmaß um 5° je weiter distal der Zahn in der Zahnreihe steht. Die Streuung um den gemittelten Anstieg m=5,35 ist mit 0,35 gering. Derartige

Zusammenhänge im Unterkiefer sind weniger deutlich, da lediglich ein geringer linearer Zusammenhang über die Korrelations- und Regressionskoeffizienten zwischen der Lage des Zahnes im Zahnbogen und der Winkelgröße des viHW und FW nachgewiesen wurde. Die ermittelten Anstiege weichen des Weiteren um +/-2° voneinander ab. Die oiHW des Ober- und Unterkiefers zeigen einen diskreten Abfall der Winkel nach distal hin, wie auch der untere Fissurenwinkel. Es gibt folglich keinen direkten Zusammenhang zwischen Ober- und Unterkiefer bzgl. der Winkelveränderung innerhalb einer Zahnreihe.

4.5.3 Korrelationen zwischen den Winkeln

In nachfolgenden Abschnitten werden Korrelationen zwischen den Winkeln a bis k gesucht und mittels der Korrelation nach Spearman-Rho und Pearson geprüft. Zunächst wird diese Analyse unabhängig vom Zahntyp durchgeführt und anschließend für alle Zahntypen aufgeschlüsselt, um zu überprüfen, ob die Korrelationen für alle Zahntypen gleich zutreffen oder sich voneinander unterscheiden.

4.5.3.1 Korrelationen zwischen den Winkeln a bis k, unabhängig vom Zahntyp

Im Folgenden wird überprüft, ob Korrelationen zwischen den Winkeln a bis k vorliegen, die für jeden Zahntyp gleichermaßen gültig sind. Dafür wurde für jeden Winkel ein Durchschnittswert gebildet, der die unterschiedliche Morphologie der Zähne innerhalb einer Zahnreihe außer Acht lässt. Um ein signifikantes Ergebnis zu erzielen, werden zwei Korrelationsverfahren angewendet. Die Korrelationen nach Spearman-Rho und nach Pearson zeigten einerseits unterschiedliche, andererseits übereinstimmende Korrelationsergebnisse zwischen den Winkeln a bis k. Nutzt man zusätzlich das Streumatrix-Diagramm, geht daraus hervor, dass Korrelationen zwischen einigen Winkeln

bestehen, die von beiden Test-Verfahren signifikant gestützt werden. Die korrelierenden Winkel wurden nachfolgend auf Regression getestet.

Tabelle 14
Signifikante (p= 0,000) Regression und Korrelationen nach Spearman-Rho und Pearson zwischen den Winkeln a-k. Aufgeführt sind lediglich mittlere (0,5<K≤0,7) und hohe (0,7<K≤0,9) Korrelationsergebnisse. Der Korrelationskoeffizient K nach Pearson gleicht dem Regressionskoeffizienten R.

Winkel	Korrelation nach Pearson	Korrelation nach Spearman-Rho	Regression
a zu f	0,574	0,606	y=0,633*x+40,949
a zu g	0,642	0,653	y=0,404*x+27,283
b zu d	0,894	0,748	y=0,764*x+42,62
f zu g	0,737	0,748	y=0,421*x-2,7
g zu h	0,833	0,714	y=1,196*x+23,461

Die Ergebnisse der Tabelle 14 sind wie folgt zu interpretieren:
Je kleiner der verstibuläre innere Höckerwinkel im Oberkiefer ist, desto flacher ist der vestibuläre äußere Höckerwinkel bzw. desto flacher ist der gesamte vestibuläre Höcker (a zu f/g). Je größer der Fissurenwinkel im Oberkiefer ist, desto flacher ist der orale ober Höcker (b zu d). Je größer der vestibuläre äußere Höckerwinkel des Unterkiefers ist, desto größer ist der des gesamten vestibulären unteren Höckers (f zu g). Je flacher der vestibuläre Höckerwinkel des Unterkiefers ist, desto stumpfer ist sein vestibulärer innerer Höckerwinkel (g zu h).

4.5.3.2 Korrelationen zwischen den Winkeln a-k, aufgeschlüsselt für jeden Zahn

Nunmehr gilt es, die in Tabelle 14 aufgeführten Korrelationen und Regressionen auf Zusammenhänge in Abhängigkeit des jeweiligen Zahntyps zu prüfen.
Die nachfolgenden Tabellen betrachten für jeden Zahntyp einzeln die Korrelationen und Regressionen. Aufgeführt sind lediglich mittlere (0,5<K≤0,7) und

hohe (0,7<K≤0,9) Korrelationsergebnisse, die mit dem Korrelationstest nach Pearson, als auch nach Spearman-Rho nachgewiesen wurden. Bei signifikanter Regression ist die entsprechende Regressionsgleichung aufgeführt. Der Korrelationskoeffizient K nach Pearson entspricht dabei dem Regressionskoeffizienten R. Geringe Korrelationen (K<0,5) wurden aufgrund der schwachen Aussagekraft nicht berücksichtigt.

Tabelle 15
Signifikante Regression und übereinstimmende Korrelationen nach Spearman-Rho und Pearson zwischen den Winkeln a-k des Eckzahns

Zahn	Winkel	Korrelation nach Pearson		Korrelation nach Spearman-Rho		Regression
		K	p	K	p	
3er	a-k	0,502	0,003	0,544	0,001	
	b-d	0,874	0,000	0,842	0,000	
	b-e	-0,568	0,000	-0,496	0,002	
	b-i	0,517	0,000	0,599	0,000	
	b-k	0,567	0,000	0,639	0,000	
	d-k	0,484	0,003	0,507	0,002	
	g-h	0,671	0,000	0,641	0,000	y=0,663*x+34,377
	g-i	0,590	0,000	0,557	0,001	
	i-h	0,511	0,002	0,529	0,001	
	i-k	0,627	0,000	0,549	0,001	

Für den Eckzahn sind durch das Fehlen des oralen Höckers bzw. durch das teilweise nur schwach ausgeprägte Tuberkulum nur die Winkel a,f,g und h interessant, sodass lediglich die Korrelation zwischen den Winkeln g und h eine Rolle spielt.

Tabelle 16

Signifikante Regression und übereinstimmende Korrelationen nach Spearman-Rho und Pearson zwischen den Winkeln a-k des ersten Prämolaren

Zahn	Winkel	Korrelation nach Pearson		Korrelation nach Spear-man-Rho		Regression
		K	p	K	p	
4er	a-b	0,602	0,000	0,616	0,000	y=0,407*x+7,213
	b-c	0,739	0,000	0,609	0,000	y=0,923*x+57,65
	b-d	0,578	0,000	0,396	0,017	
	b-g	0,511	0,000	0,395	0,021	
	c-d	0,707	0,000	0,702	0,000	y=0,545*x+8,001
	d-e	0,641	0,000	0,558	0,000	y=0,903*x+62,984
	g-h	0,845	0,000	0,750	0,000	y=1,052*x+27,658
	k-i	-0,793	0,000	-0,522	0,002	y=-0,205*x+151,227
	f-g	0,598	0,000	0,698	0,000	y=0,322*x+3,277

Tabelle 17

Signifikante Regression und übereinstimmende Korrelationen nach Spearman-Rho und Pearson zwischen den Winkeln a-k des zweiten Prämolaren

Zahn	Winkel	Korrelation nach Pearson		Korrelation nach Spearman-Rho		Regression
		K	p	K	p	
5er	a-b	0,635	0,000	0,629	0,000	y=0,46*x+5,717
	a-i	0,48	0,004	0,517	0,002	
	b-c	0,694	0,000	0,702	0,000	y=0,893*x+63,991
	b-i	0,577	0,000	0,640	0,002	y=0,642*x+31,138
	d-e	0,621	0,000	0,549	0,001	y=0,626*x+69,892
	f-g	0,534	0,000	0,520	0,002	y=0,483*x-10,107
	g-h	0,559	0,001	0,544	0,001	y=0,606*x+54,537
	k-i	0,676	0,000	0,606	0,000	y=0,734*x+75,117

Tabelle 18

Signifikante Regression und übereinstimmende Korrelationen nach Spearman-Rho und Pearson zwischen den Winkeln a-k des mesialen Höckerpaars der ersten Molaren

Zahn	Winkel	Korrelation nach Pearson		Korrelation nach Spearman-Rho		Regression
		K	p	K	p	
6er mesial	a-b	0,604	0,000	0,648	0,000	y=0,423*x+15,884
	b-c	0,718	0,000	0,689	0,000	y=0,894*x+73,379
	d-e	0,84	0,000	0,824	0,000	y=0,884*x+60,458
	f-g	0,572	0,000	0,506	0,002	y=0,554*x-19,908
	f-k	0,504	0,002	0,446	0,008	
	g-i	0,679	0,000	0,723	0,000	y=0,531*x+28,76
	h-i	0,687	0,000	0,632	0,000	y=0,49*x-0,892
	i-k	0,7	0,000	0,685	0,000	y=0,963*x+66,807

Tabelle 19

Signifikante Regression und übereinstimmende Korrelationen nach Spearman-Rho und Pearson zwischen den Winkeln a-k des distalen Höckerpaars der ersten Molaren

Zahn	Winkel	Korrelation nach Pearson		Korrelation nach Spearman-Rho		Regression
		K	p	K	p	
6er distal	a-b	0,624	0,000	0,648	0,000	y=0,536*x32,012
	b-c	0,57	0,000	0,519	0,001	y=0,697*x+81,351
	b-i	0,501	0,003	0,341	0,049	
	c-d	0,547	0,001	0,462	0,005	
	d-e	0,838	0,000	0,826	0,000	y=1,002*x+58,75
	f-g	0,854	0,000	0,787	0,000	y=0,78*x-35,655
	g-i	0,418	0,014	0,505	0,000	y=0,45*x+35,314
	h-i	0,59	0,000	0,553	0,001	y=0,334*x+14,332
	i-k	0,824	0,000	0,807	0,000	Y=1,02*x+54,257

Tabelle 20

Signifikante Regression und übereinstimmende Korrelationen nach Spearman-Rho und Pearson zwischen den Winkeln a-k des mesialen Höckerpaars der zweiten Molaren

Zahn	Winkel	Korrelation nach Pearson		Korrelation nach Spearman-Rho		Regression
		K	p	K	p	
7er mesial	a-b	0,685	0,000	0,683	0,000	y=0,493*x+9,661
	b-c	0,697	0,000	0,607	0,000	y=0,956*x+71,217
	d-e	0,616	0,000	0,565	0,000	y=0,653*x+69,894
	f-g	0,704	0,000	0,792	0,000	y=0,602*x-16,79
	g-i	0,601	0,000	0,364	0,034	y=0,622*x+18,538
	h-i	0,714	0,000	0,588	0,000	y=0,536*x-10,855
	i-k	0,660	0,000	0,659	0,000	y=0,941*x+58,206

Tabelle 21

Signifikante Regression und übereinstimmende Korrelationen nach Spearman-Rho und Pearson zwischen den Winkeln a-k des distalen Höckerpaars der zweiten Molaren

Zahn	Winkel	Korrelation nach Pearson		Korrelation nach Spearman-Rho		Regression
		K	p	K	p	
7er distal	a-b	0,771	0,000	0,729	0,000	y=0,496*x+5,330
	b-c	0,777	0,000	0,734	0,000	y=-0,253*x+159,35
	c-d	0,471	0,004	0,548	0,001	
	d-e	0,777	0,000	0,681	0,000	y=0,866*x+69,932
	f-g	0,507	0,003	0,558	0,000	y=0,557*x-11,443
	f-h	-0,578	0,000	-0,526	0,000	y=-0,606+73,434
	g-i	0,634	0,000	0,59	0,000	y=0,341*x+50,668
	h-i	0,505	0,000	0,473	0,005	y=0,288*x+16,332
	(i-k)	-0,317	0,068	0,509	0,002	

Schlüsselt man die Korrelation zwischen den Winkeln a bis k für jeden Zahntyp auf, ist zu erkennen, dass die Winkelkorrelationen zwischen den Eckzähnen, Prämolaren und Molaren verschieden sind, sodass die in Tabelle 14 aufgeführten Korrelationen keine allgemeine Gültigkeit für alle Zahntypen besitzen. Es ergeben sich signifikant positive Korrelationen, die für die Prämolaren und Molaren (in den Tabellen 15-21 gelb markiert) gleichermaßen zutreffen. Es handelt sich dabei um folgende Winkelpaare: a-b, b-c, d-e, f-g und i-k, wobei i-k für das distale Höckerpaar des zweiten Molaren wegfällt, da der orale Höcker teilweise nur schwach ausgeprägt ist und die Winkel i und k positive, als auch negative Werte aufweisen. Für die Molaren (in den Tabellen 15-21 grün markiert) ergeben sich für die Winkelpaare i-g und i-h gemeinsame Winkelpaare, während für den Eckzahn und die Prämolaren (in den Tabellen 15-21 violett markiert) nur die Winkel h und g positiv korrelieren.

4.5.4 Winkelverhältnisse

Nachdem die Winkel im Vorherigen einzeln betrachtet und verglichen wurden, werden im Folgenden jeweils zwei Winkel ins Verhältnis zueinander gesetzt beziehungsweise der Quotient aus ihnen gebildet. Danach werden alle möglichen Quotienten miteinander verglichen. Dies erfolgt zunächst mit gemittelten Winkeln, die unabhängig vom Zahntyp sind und anschließend mit aufgeschlüsselten Winkeln für jeden Zahntyp.

4.5.4.1 Vergleich von Winkelverhältnissen der Winkel a-k im Mittelwert

Die Winkel a bis k sind jeweils in Zeile und Spalte aufgeführt. Für die Berechnung wurden für jeden Winkel unabhängig vom Zahntyp die Mittelwerte erstellt. Die folgenden Tabellen zeigen in der Kopfzeile die Winkel a-k als Dividenden und in der ersten Spalte die Winkel a-k als Divisoren. Der Quotient ist dementsprechend als Zahlenwert bzw. Verhältnis aufgeführt. Gleich

erscheinende Winkelverhältnisse wurden mithilfe des Tests Messwiederholung (PASW 18) auf Gleichheit geprüft. Die Auswertung gleicht der des T-Tests.

Tabelle 22
Darstellung von Winkelquotienten der unabhängig vom Zahntyp gemittelten Winkelwerte a-k

OK UK	a	b	c	d	e	f	g	h	i	K
a	-	2,112	0,6892	1,8525	0,7404	0,5433	1,4011	0,8577	2,2634	0,625
b	0,4958	-	0,3809	0,8675	0,3633	0,2731	0,7036	0,4305	1,0825	0,3631
c	0,8785	1,4892	-	1,2359	0,6251	0,5052	1,3055	0,8003	1,6911	0,9525
d	0,5813	1,1637	0,4528	-	0,4176	0,3211	0,8288	0,5677	1,2659	0,4377
e	1,4156	2,9493	1,0168	2,5337	-	0,7751	2,0089	1,2337	3,1975	0,9495
f	1,9235	4,1018	1,1981	3,5903	1,4119	-	2,6431	1,6430	4,4115	1,0977
g	0,7297	1,5547	0,4506	1,3628	0,5377	0,3891	-	0,6108	1,6594	0,4164
h	1,2134	2,5907	0,7344	2,2748	0,8975	0,6579	1,6580	-	2,7491	0,6783
i	0,4697	0,9419	0,3484	0,8131	0,3410	0,2568	0,6563	0,3995	-	0,3560
k	0,4767	0,6358	0,6682	0,4778	0,3188	0,2767	0,7248	0,4482	0,6194	-

Tabelle 23.
Bsp.: Darstellung des Verhältnisses zwischen tragenden Höckerwinkel und äußerem tragenden Höckerwinkel zwischen Ober- und Unterkiefer. p=0,131

OK:UK	OK:UK
oaHW: vaHW (=d:g)	= oHW: vHW (=e:f)

Das Verhältnis der tragenden Höcker beider Kiefer zueinander entspricht dem Verhältnis der tragenden äußeren Höckerwinkel von Oberkiefer und Unterkiefer zueinander. In folgender Tabelle sind weitere Winkelverhältnisse mit dem dazugehörigen Signifikanznachweis p aufgeführt.

Tabelle 24.

Darstellung von Winkelverhältnisse zwischen Ober- und Unterkiefer der unabhängig vom Zahntyp gemittelten Winkel a-k

Winkelverhältnisse	Größenverhältnis	Signifikanz p
a/g= c/h=c/k	7:10	0,295
a/i= a/k= c/g= d/k	1:2	0,905
c/i= e/i=e/k	1:3	0,538
a/h= c/f	5:4	0,89
h/c= h/a= g/d	4:5	0,061
k/c= k/e	9:10	0,957

Tabelle 25.

Darstellung von Winkelverhältnisse im Unterkiefer der unabhängig vom Zahntyp gemittelten Winkel a-k

Winkelverhältnisse	Größenverhältnis	Signifikanz p
f/h= k/h = g/i = g/k	2:3	0,13
h/g= i/k	3:5	0,954
g/h= i/g	5:3	0,973
f/g= h/i=k/g	2:5	0,46
f/i= f/k	1:4	0,444

Tabelle 26.

Darstellung von Winkelverhältnisse im Oberkiefer der unabhängig vom Zahntyp gemittelten Winkel a-k

Winkelverhältnisse	Größenverhältnis	Signifikanz p
a/c= d/b	9:10	0,815
c/a= e/a	2:3	0,279
c/b= e/b	2:5	0,257
e/c= a/d	3:5	0,145
d/c= b/d	6:5	0,468

Tabelle 27.
Vergleich der Winkelverhältnisse aus den oberen vier Tabellen

Kiefer	Winkelverhältnisse	Größenverhältnis	p	Erklärung
UK/OK= OK/UK	k/c= k/e= a/c= d/b	9:10	0,164	
OK/OK= UK/UK	k/h= c/a	2:3	0,97	Das Verhältnis von viHW zu oiHW ist in beiden Kiefern gleich.
	f/g= h/i= c/b	2:5	0,078	Der oiHW zum FW des OKs verhält sich genauso wie der viHW zum FW des UKs (tragende Höcker!).

4.5.4.2 Auf jeden Zahn aufgeschlüsselte Winkelverhältnisse

Nachfolgende Tabellen stellen die Verhältnisse zwischen den Winkeln a bis k für jeden Zahn einzeln dar. Erscheinen zwei Quotienten gleich, so wird dieses mittels des T-Tests geprüft. Sind es mehr als zwei, wird der Messwiederholungstest genutzt. Ist der Wert p>0,05 sind die Quotienten als nicht signifikant verschieden voneinander einzuschätzen, sprich sie sind gleich. Für den Eckzahn sind lediglich die Winkel a, f, g und h relevant bezüglich der Eckzahnführung relevant. Alle anderen Winkel setzen einen oralen Höcker voraus, der beim Eckzahn nicht angelegt ist.

Tabelle 28
T-Test zur Überprüfung auf Gleichheit für Winkelverhältnisse am Eckzahn mit Signifikanznachweis p

T-Test	Signifikanz p
g/h= h/f= 1,65	0,709
f/h= h/a= 0,68	0,771

Tabelle 29
Messwiederholungstest und T-Test zur Überprüfung auf Gleichheit für Winkelverhältnisse der ersten Prämolaren mit Signifikanznachweis p

Messwiederholungstest mit Signifikanz p		T-Test mit Signifikanz p	
a/d= e/c=f/h= g/i= f/a= h/d= 0,57	0,482	a/b= h/b= 0,47	0,749
c/d=a/g=d/i= e/h= h/g= 0,64	0,919	c/b= f/c= 0,52	0,665
a/e= d/c= g/h= g/a= h/e= i/d= 1,6	0,973	a/c= h/c= 0,91	0,878
c/e= d/a= a/f= d/h= h/f= i/g= 1,8	0,823	f/e= g/d= 0,9	0,9
i/h= i/a= d/e=g/f= 2,8	0,872	b/i= g/b= 0,75	0,514
c/a= c/h= d/g= 1,1	0,862	g/b= c/g= 0,7	0,12
e/d= a/i=f/g= h/i= 0,32	0,879	b/d= e/f= 1,2	0,608
		b/a= b/h= 2,1	0,994
		e/b= f/d= 0,32	0,422
		a/h= h/a= 1	0,871
		b/g= i/b= 1,34	0,883
		b/k=g/k= -1	0,851

Tabelle 30
Messwiederholungstest und T-Test zur Überprüfung auf Gleichheit für Winkelverhältnisse der zweiten Prämolaren mit Signifikanznachweis p

Messwiederholungstest mit Signifikanz p		T-Test mit Signifikanz p	
c/d= f/h= f/c=h/d= 0,6	0,268	c/b= h/b= 0,49	0,463
c/g=a/d= h/g= k/b= 0,63	0,788	a/i=f/k= 0,45	0,59
e/c= e/h= g/i= 0,69	0,591	c/i= e/g= 0,43	0,733
a/c= a/h= d/g= 1,06	0,79	f/a= k/i= 0,56	0,724
c/e= h/e= g/a= 1,5	0,97	e/a= a/g= 0,66	0,813
d/a= g/h= g/c=a/e= b/k= 1,6	0,73	d/c= d/h= 1,7	0,611
b/d= g/k=k/a= e/f= 1,2	0,749	b/c= b/h= 2,06	0,663
c/a= g/d= h/a= 0,95	0,84	k/e=b/a= 1,95	0,773
d/b=a/k= k/g= 0,82	0,823	c/h= h/c= 1	0,565
g/b= h/k= k/d= c/k= 0,77	0,717	b/e= d/f= 3	0,366
h/f= i/k= c/f= 1,76	0,592	b/i= f/e= 0,88	0,721
b/g= d/k= k/h= k/c= 1,3	0,723	e/b= f/d= 0,34	0,557
i/h= i/c= k/f= g/e= 2,3	0,616	e/i= f/b= 0,29	0,247
		b/f= i/e=3,5	0,426

Tabelle 31

Messwiederholungstest und T-Test zur Überprüfung auf Gleichheit für Winkelverhältnisse beim mesialen Höckerpaar der ersten Molaren mit Signifikanznachweis p

Messwiederholungstest mit Signifikanz p		T-Test mit Signifikanz	
a/i= f/k= f/a= k/i= e/g= 0,51	0,839	e/b=c/i= 0,41	0,902
d/g= k/h= i/b= a/h= 1,07	0,478	c/d= h/b= 0,525	0,944
a/b= c/g= f/h= k/b= 0,55	0,891	e/d=h/i= 0,48	0,477
a/d= f/c= h/g= k/d= 0,65	0,756	f/g= e/i= 0,36	0,117
a/g= k/g=e/k/f/e= 0,7	0,163	a/c= b/g= 1,25	0,409
d/a= d/k= g/h= c/f= 0,53 c/f= d/h= 0,61	0,455 0,669	b/d=h/c= 1,19	0,836
e/f= g/k= g/a= k/a= a/e= 0,45	0,783	h/e= i/g= 1,33	0,809
b/a=b/k= g/c= 1,82	0,691	i/d= k/c= 1,28	0,746
h/f= b/h= d/c= i/k= i/a= 1,93	0,611	c/k= d/i= 0,79 d/i= e/h= 0,78	0,444 0,698
h/k= h/a= g/d= e/c= b/i= 0,94	0,52	e/a=g/i= 0,74	0,498
		i/h= g/e= 2,06	0,691
		b/e= i/c= 2,5	0,504
		i/e= g/f= 2,8	0,14
		k/a= a/k= 1	0,766
		c/a= g/b= 0,8	0,578

Tabelle 32
Messwiederholungstest und T-Test zur Überprüfung auf Gleichheit für Winkelverhältnisse beim distalen Höckerpaar der ersten Molaren mit Signifikanznachweis p

Messwiederholungstest mit Signifikanz p		T-Test mit Signifikanz p	
a/b= a/i= f/k= 0,52	0,411	c/h= i/b= 1,03	0,128
f/a= h/d= k/i= k/b= 0,55	0,293	g/h= h/f= 0,63	0,93
a/c= d/g= k/a= 1,1	0,333	b/c= i/c= 2,1	0,103
b/d= e/f= i/d= k/h= 1,22	0,428	b/h= i/h= 2,2	0,143
a/g= k/d= e/c= 0,7	0,457	b/f= i/f= 3,6	0,112
a/d= e/a= c/g= f/h= 0,64	0,889	h/c= b/i= 0,97	0,169
f/c= h/g= e/k= 0,61	0,992	c/b= c/i= 0,47	0,193
e/h= g/b= k/g= 0,75	0,966	f/i= f/b= 0,29	0,174
c/e= g/a= d/k= 1,45	0,374		
d/a= g/c=a/e= 1,57	0,991		
b/e= d/f= i/e= 3	0,291		
i/k= b/k= d/h= a/f= 1,8	0,513		
b/a= i/a= k/f= 1,95	0,224		
c/f= d/c= k/e= 1,7	0,883		
g/d= c/a= a/k= 0,92	0,422		
d/b= d/i= h/k= 0,81	0,243		
c/k= f/e= h/a= 0,87	0,611		
b/g= g/k= h/e= i/g= 1,35	0,502		
h/b= h/i= e/g= 0,45	0,318		
e/b= e/i= f/d= 0,34	0,221		

Tabelle 33
Messwiederholungstest und T-Test zur Überprüfung auf Gleichheit für Winkelverhältnisse beim mesialen Höckerpaar der zweiten Molaren mit Signifikanznachweis p.

Messwiederholungstest mit Signifikanz p		**T-Test mit Signifikanz p**	
a/b= a/i= e/g= f/a= h/g= k/b= 0,57 f/a= f/k= 0,59	0,116 0,177	c/d= e/d= 0,5	0,338
c/g= h/d= k/i= 0,54 f/a=k/i= 0,57	0,315 0,195	a/e= c/f= 1,32	0,791
i/g= a/h= b/g= k/e= 1,29	0,94	d/a= d/k= 1,55	0,98
a/c= e/f= g/a= 1,37	0,984	b/f= i/f= 3,1	0,455
b/c= i/e= i/c= g/f= 2,38 i/h= b/h= b/e= 2,28 i/h= b/h= b/c= i/e= 2,29	0,532 0,711 0,101	f/i=f/b= 0,33	0,576
b/i= e/h= i/b= 1	0,787	c/e= k/a= 0,98	0,784
e/c= a/k= h/c= h/e= 1,05	0,449	g/k= h/f= 1,4	0,974
b/d= d/g= i/d= 1,14	0,28		
b/a= g/h= k/f= i/a= 1,75	0,831		
a/f= g/e= i/k= b/k= g/c= 1,8	0,846		
d/b= d/i= g/d= 0,88	0,289		
c/k= h/a= g/b= g/i= e/k= e/a= f/c= f/e= h/k= c/a= f/h= a/g(= k/g?)= 0,78	0,054		
c/b= e/i= f/g= h/b= h/i= e/b(= c/i)= 0,44	0,141		
d/c= d/e= d/h= 2	0,178		

Tabelle 34
Messwiederholungstest und T-Test zur Überprüfung auf Gleichheit für Winkelverhältnisse beim distalen Höckerpaar der zweiten Molaren mit Signifikanznachweis p.

Messwiederholungstest mit Signifikanz p		**T-Test mit Signifikanz p**	
a/i= f/a= h/g= e/g= 0,57	0,823	a/c= b/d= 1,16	0,684
c/d= a/b= k/d= 0,52	0,93	c/e= c/h= 1,18	0,778
b/i= g/k= k/h= e/h= h/e= 1,05	0,778	i/d= k/e= 1,11	0,882
e/k= k/g= h/k= a/d= f/c= c/g= 0,64	0,218	g/i= h/a= 0,73	0,793
f/e= e/a= a/g= 0,77	0,931	g/b= c/k= 0,71	0,812
a/e= a/h= d/k= e/f= i/g= h/f= g/a= 1,35	0,904	b/g= i/k= 1,43	0,989
i/e= i/h= g/f= 2,4	0,701	b/e= b/h= 2,55	0,794
b/c= d/e= i/c= 2,12 b/c=d/e= 2,15	0,073 0,796	b/a= d/c= 1,9	0,704
g/e= i/a= a/f= g/h= 1,8	0,994		
c/a= d/b= h/c(= e/c?)= 0,87	0,91		
a/k= f/h= g/d= k/a= 0,82	0,972		
a/i= e/d= c/b= h/d= 0,46	0,976		
k/b= f/k= f/g= e/i= 0,4 e/b= h/i= h/b= 0,41	0,074 0,74		
k/f= b/k= c/f= g/c= d/a= 1,55	0,268		
d/i= i/b= k/c= 0,95	0,77		

Die Tabelle 28- 34 zeigen für den jeweiligen Zahn und bei den Molaren zusätzlich für das entsprechende Höckerpaar eine Vielzahl an Winkelverhältnissen. Die Größenverhältnisse sind jeweils unterschiedlich. Grundlage dieser Berechnung sind die Tabelle 48- 46.

Von weiterem Interesse war die Frage, ob unter den für jeden Zahn einzeln aufgeführten Winkelverhältnissen auch einige Allgemeingültigkeit für jeden Zahntyp besitzen. In diesem Fall wurde auch geprüft, ob das gleiche Größenverhältnis vorliegt. Der Vergleich, der in den Tabellen 47- 53 aufgeführt ist, ergab jedoch, dass es kein Winkelverhältnis gibt, das allen Zahntypen gemeinsam ist. Einige treffen auf mehr als zwei, aber nie auf mehr als vier Zahntypen zu und die Größenrelation stimmt nur vereinzelt überein. Benachbarte Zähne weisen relativ viele gemeinsame Winkelverhältnisse mit ähnlichen, jedoch meist verschieden Quotienten auf, sprich ihr Zahlenverhältnis, der Quotient, unterscheidet sich.

5 Diskussion

Es wurden Ober- und Unterkiefermodelle von 18 Probanden mit unveränderter Zahnmorphologie dreidimensional eingescannt und mithilfe des Programms Climb Analysis 1.0 vermessen. Die Probandenzahl erscheint klein, ist aber für diese Studie insofern ausreichend, da die morphologischen Unterschiede der Zahnoberfläche innerhalb der Normvariation liegen.

Im Detail ist jeder Zahn ein Unikat (Hillson, 1996), jedoch weist jeder Zahntyp charakteristische Merkmale auf, die einer als normal definierten Form entsprechen. Diese wird durch die Summe immer wiederkehrender Merkmale dargestellt.

Mathematisch stellen die Höckerwinkel als Merkmale statistische Mittelwerte dar, die eine gewisse Streuungsbreite mit sich bringen (Schumacher, 1983).

In beiden Kiefern wurden jeweils die inneren vestibulären und inneren oralen Höckerwinkel, sowie die Fissurenwinkel vom Eckzahn bis zum zweiten Molaren gemessen, wobei bei den Molaren jeweils das mesiale und distale Höckerpaar getrennt betrachtet wurde. Des Weiteren wurden die tragenden Höckerwinkel und die tragenden äußeren Höckerwinkel vermessen. Das betrifft im Oberkiefer die oralen Höcker und im Unterkiefer die vestibulären. Die Winkelvermessung wurde zweimal wiederholt, um die Reproduzierbarkeit der Messdaten zu prüfen. Drei der vier Referenzpunkte zur Erfassung der zehn Winkel wurden programmgestützt gesetzt, gegebenenfalls mussten sie manuell korrigiert werden.

Der Vergleich der drei Messreihen ergab, dass die Höckerspitzen und der tiefste Punkt der Fissur allgemein reproduzierbare Referenzpunkte darstellen und folglich auch die Winkel viHW, oiHW und FW. Die Existenz einer geringen Streuung ließ sich für die Winkel tHW und atHW durch das manuelle Setzen des entsprechenden Referenzpunktes nicht vermeiden. Der vierte manuell gesetzte Punkt an der breitesten Zirkumferenz an der tragenden äußeren Höckerwand ist demnach nicht eindeutig reproduzierbar, wobei die begründete Streuung nur kleinen Ausmaßes ist und mit in die Auswertung einbezogen werden kann.

Während in dieser Studie die Winkel zu Geraden, die senkrecht zur Okklusionsebene stehen, gemessen wurden beziehungsweise zwischen den Winkelstrecken selbst, wurden die Winkel in anderen Studien überwiegend zur Okklusionsebene oder zur Achs-Orbital-Ebene bestimmt (Mack, 1989). Um die Werte dieser Studie mit denen anderer Autoren vergleichen zu können, wurde die Differenz der erhobenen Winkel mit 90° gebildet, sodass sie in Relation zur Okklusionsebene stehen.

Der Schwerpunkt dieser Untersuchung wurde auf den morphologischen Höckerwinkel gesetzt, wohingegen in einer Vielzahl anderer Untersuchungen die funktionellen Bahnen der Seitenzähne bei der exzentrischen Bewegung des Unterkiefers betrachtet wurden. Folglich wurden die Messpunkte von verschiedenen Autoren unterschiedlich gesetzt.

Der tiefste Punkt der Fissur wurde in dieser Studie auf der Verbindungslinie zwischen zwei einander gegenüberliegenden Höckerspitzen gesetzt. Bei Slavicek oder Kulmer dagegen wurde dieser jeweils in der mesialen, distalen oder zentralen Fissur platziert. Auch Weber setzte seinen zentralen Stopp auf die mesiale Randleiste der Prämolaren und Molaren und einen zweiten funktionellen Referenzpunkt auf die Höckerkammlinie. Celar et al. definierte seinen Funktionsendpunkt dagegen mesial nahe der Höckerspitze (Kulmer et al., 1999).

Des Weiteren ist zu beachten, dass die eben genannten Autoren nur eine führende Neigung im Oberkiefer betrachten, die hier äuquivalent als vestibuläre innere Höckerneigung bezeichnet wird. Zusätzlich werden in dieser Untersuchung die vestibulären inneren, wie auch lingualen Höckerflächen und die der äußeren tragenden Höcker von Ober- und Unterkiefer ausgewertet. Diese variierenden Voraussetzungen erschweren es die Winkelwerte dieser Studie mit anderen internationalen Studien zu vergleichen, da verschiedene Referenzpunkte zu abweichenden Winkelgrößen führen.

Tabelle 35.
Mittelwerte der vestibulären inneren Höckerneigungen zur Achs-Orbital- Ebene in Grad

	Kulmer	Slavicek	Celar et al	Weber	Ruzicka et al	Müller	Eigene Werte*
Eckzahn	46,7	48,7	44,2	47,3	46,7	45,8	49
1.Prämolar	39,7	36,2	31,0	30,8	29,3	45,6	36,9
2.Prämolar	32,6	29,2	22,8	21,9	20,7	40,5	31,9
1.Molar mesial	19,3	23,1	13,0	9,7	9,3	26,4	22,4
1.Molar distal		21,5			23,5		26,5
2.Molar mesial	18,0		9,0	7,0	6,4	23,0	21
2.Molar distal					13,3		18

Der Eckzahnneigungswinkel findet bei den verschiedenen Autoren eine relativ große Übereinstimmung.

Je komplexer die Zahnmorphologie nach distal hin wird, desto mehr weichen die in Tabelle 35 aufgeführten Winkelwerte der unterschiedlichen Autoren voneinander ab. Obwohl Müller das gleiche Messsystem verwendete, weichen seine Winkel von denen aus dieser Studie ab. Anstelle der Höckerspitze, legte er einen tangentialen Punkt an den vestibulären inneren Höckergrat der Seitenzähne. Auch beim Eckzahn variieren die Messpunkte. Die Punkte P2 und P3 in Abbildung 7 markieren unterschiedliche Endpunkte.

So kommt es, dass in dieser Studie mit P2 als Endpunkt, die Eckzahnneigung größer ist als die anderer Autoren, die P3 verwendeten. Slavicek teilte die Gleitführung P1P2 der Front- und Eckzähne im Wendepunkt der palatinalen Konkavität (Suckert, 1999).

Der in dieser Studie gemessene oiHW des Eckzahns, sprich die Strecke P2P3, würde hier der flachen Führung entsprechen und der viHW, sprich die Strecke P1P2, der steilen Führung. Aufgrund der von Slavicek schon festgestellten gering ausgeprägten Konkavität des Eckzahns ist der angulare Unterschied zwischen der P1P2 und P1P3 lediglich gering. Der durchschnittliche Fissurenwinkel (Winkel zwischen P1P2 und P2P3) beträgt um die 171° und die Strecke P1P2 ist länger als die Strecke P2P3, sodass ein Unterschied des Eckzahnneigungswinkels zu den anderen Autoren von etwa 3° besteht.

Slavicek stellte beim Vergleich der steilen Führungsabschnitte der Front- und Eckzähne eine Dominanz des Eckzahns fest, die sich in dieser Arbeit gegenüber den Seitenzähnen ebenfalls zeigte.

Da keine äquivalenten Werte bezüglich der anderen neun Höckerwinkel in der Literatur existieren, wird das Ergebnis dieser Studie nur für den viHW durch andere Studien bestätigt, was vor allem die hohe Übereinstimmung der Werte des viHW‘s mit denen von Slavicek in Tabelle 35 zeigt.

Voraussetzung für weitere zielführende Studien zu einer präziseren Beschreibung der Zahnmorphologie über die Höckerneigungen ist sowohl die Vermessung mehrerer Höckerabhänge, als auch die Verwendung von einheitlichen Messpunkten, sowie einer gemeinsamen Referenzebene, die einen Vergleich mehrerer Studien ermöglichen. Die Höckerspitzen eignen sich gut als Referenzpunkte. Die von Slavicek als funktionellen Startpunkt genutzte mesiale Fissur der Seitenzähne erscheint ebenfalls gut reproduzierbar. Lediglich für das distale Höckerpaar des ersten Molaren weichen die Werte stärker ab, sodass es zu überlegen gilt, ob man der zentralen Fissur die distale vorzieht oder den in dieser Studie gewählten tiefsten Punkt der Fissur auf der Höckerspitzenverbindungslinie für alle Seitenzähne beibehält.

Ein übereinstimmendes Resultat aller Studien liegt in der Sequenz der vestibulären inneren Höckerneigung. Je weiter distal der Zahn liegt, desto flacher werden die Zahnhöcker. Die Untersuchung von neun weiteren Winkeln ergab neben der vestibulären inneren Höckerneigung auch eine nach distal zunehmende Sequenz der Neigungen des oralen äußeren Höckers, des Fissuren- und oralen Höckerwinkels im Oberkiefer, sowie eine Zunahme der vestibulären äußeren Höckerneigung und des vestibulären Höckerwinkels im Unterkiefer. Diese bestätigen auch das Abflachen der Höcker nach distal für den Ober- und Unterkiefer.

Der höchste lineare Zusammenhang wurde dabei für den viHW des Oberkiefers und für den funktionell äquivalenten vaHW des Unterkiefers nachgewiesen. Dies lässt vermuten, dass die letztgenannten beiden Flächen die zahngeführten Unterkieferbewegungen maßgeblich beeinflussen. Lediglich bei der inneren Neigung des vestibulären Höckers und beim Fissurenwinkel der Unterkieferzähne ist kein eindeutiger linearer Zusammenhang erkennbar.

Der obere und untere orale innere Höckerwinkel nimmt dagegen nach distal hin ab, sprich der orale Höcker wird steiler, was Müller in seiner Studie ebenfalls postulierte. Im Oberkiefer liegt ein identischer Anstieg der vier Winkel viHW, FW, oHW und aoHW, um 5° je distaler der Zahn liegt, vor. Für den Unterkiefer konnte solch ein homogener Anstieg nicht bestätigt werden.

Die okklusale Aktionsfläche steht mit der Funktion des Kausystems als Ganzes in Verbindung. Diese Studie untersuchte 18 Probanden und unterstützt die Annahme, dass im unbehandelten natürlichen Gebiss die Sequenz der Neigungen vom Eckzahn bis zum zweiten Molaren dem Konzept einer sequentiellen Führung mit Eckzahndominanz entspricht.

Dieses Design wurde für den Ober- und Unterkiefer durch die Berechnung der morphologischen Höckerneigungen bestätigt. Das Ergebnis lässt jedoch keine allgemein gültige Aussage für alle Populationsgruppen zu, da diese Fakten nicht berücksichtigt wurden.

Andere epidemiologische Studien beschäftigten sich ebenfalls mit der Okklusionsform im natürlichen Gebiss, analysierten dafür aber nicht die Zahnmorphologie, sondern die funktionelle Bewegung des Unterkiefers, nachgestellt im Artikulator. So zeigt Beyron, dass bei erwachsenen australischen Aborigines das Konzept der Gruppenfunktion vorherrscht (Beyron, 1964). Weinberg bestätigte dieses Schema ebenfalls für 81% seiner Probanden. 5% wiesen jedoch eine Eckzahn- geführte Okklusion auf (Weinberg, 1964). In Scaifes und Holts Studie, die 1200 Individuen einschließt, dominiert dagegen die Eckzahn- geschützte Okklusion (Scaife & Holt, 1969).

Obwohl morphologisch, wie funktionell die Eckzahn- bzw. Gruppengeführte Okklusion nachgewiesen wurde, ist das Konzept der balancierten Okklusion noch immer das bevorzugte Design für die Therapie bei Totalprothesen. Es wird angenommen, dass dieses Schema eine höhere Stabilität aufweist, obwohl sich alternative Designs durchaus bewährt haben.

Eckzahn- geführte Totalprothesen werden an der Universität Innsbruck seit Jahren mit Erfolg eingesetzt (Grunert et al., 1994). Die Stabilisierung des Unterkiefers gegen den Gesichtsschädel ist nach Krough- Poulsen und Troest eine der wichtigsten Funktionen der Okklusion. Gewährleistet wird diese durch gleichmäßige Zahnkontakte zwischen Ober- und Unterkiefer, sowie

einer Neutralposition des Kondylus- Diskus- Komplex, um eine ausgeglichene Beanspruchung der Muskulatur zu erreichen.

Bei einer pathophysiologischen Reaktion sind es meist die okklusalen Aktionsflächen, die nicht harmonisch übereinstimmen (Bernd Koeck, 1995). Einige Autoren (Flatz, 1997; Grunert et al., 1994; J. Santos et al., 1991), die sich mit der Veränderung der Muskelaktivität in Abhängigkeit von der Okklusion auseinandersetzten, fanden heraus, dass das Konzept der bilateral balancierten Okklusion einen höheren Muskeltonus und somit mehr Stress für das stomatognathe System verursacht als die gruppengeführte oder Eckzahngeschützte Okklusion.

Wie schon Shupe schlussfolgerte, sollte bei der Restauration der anterioren Führung, die Eckzahn-geschützte Okklusion beachtet werden, sodass die Kräfte auf die posterioren Zähne reduziert und stressinduzierende Balancekontakte vermieden werden (Shupe et al., 1984). Santos et al. postulierte des Weiteren, dass nicht nur die Unterkieferposition Einfluss auf die Kraftmagnitude ausübt, sondern auch die Höcker- und die Kondylenbahnneigung (J. Santos et al., 1991). Folglich reicht es nach Kulmer nicht mehr aus, die Okklusion allein über die verschiedenen Okklusionskonzepte präzise und umfassend zu beschreiben (Kulmer et al., 1999).

Mack untersuchte in seiner Studie den Einfluss der Höckerneigung auf die Kondylusbewegung (Mack, 1989). Im Ergebnis zeigte sich, dass steile Höcker eine flache Kompensationskurve des Kondylus bewirken, welche zur Distraktion des Gelenks führen, während flache Höcker eine steile Kompensationskurve bedingen und eine Kompression des Gelenks verursachen.

Derartige Veränderungen der Kondylenbewegung traten jedoch erst bei starken Variationen des okklusalen Reliefs auf. Dass schon kleinste Veränderungen des okklusalen Reliefs pathologische Folgen nach sich ziehen können, zeigte die Studie von Kobayashi u. Hansson. Sie erhöhten bei gesunden Probanden die Okklusion an einem Zahn um 0,1 mm mit dem Ergebnis schmerzhafter Kaumuskulatur, Kiefergelenkknacken und sogar verlängerter Apnoephasen im Schlaf (Kobayashi & Hansson, 1988). Das Risiko derartiger Folgen besteht jedoch vor allem bei Personen mit hoher okklusaler Kontaktaktivität (Bernd Koeck, 1995).

Es überrascht, dass sich bisher nur einige wenige Studien wissenschaftlich mit der Neigung führender Elemente und ihrer Beziehung zu funktionellen Parametern des Kiefergelenks befasst haben. Müller konnte noch keine direkten Korrelationen zwischen Zahnmorphologie und Kiefergelenksbahnen ableiten.

Analysen komplexer Zusammenhänge weisen aber auf derartige Zusammenhänge hin und sollten weiter untersucht werden. In der Literatur wurde diesbezüglich das Augenmerk vermehrt auf die oberen Frontzähne gerichtet (Trapozzano, 1963). Slavicek stellte einen funktionellen Zusammenhang der Frontzahnneigung bzw. -führung zur Kondylenbahn fest (Mohl, 1990).

Um solche Abhängigkeiten auch für die Seitenzahngruppe vom Eckzahn bis zum zweiten Molaren abzuleiten, setzt es auch hier voraus, dass die Höckerneigungen bezüglich ihrer Referenzpunkte klarer definiert werden und der Zahn- und Bewegungsstruktur entsprechend mehrere Gleitflächen des Ober- und Unterkiefers in die Analyse mit einbezogen werden.

Weitere morphologische Zusammenhänge wurden von den oben aufgeführten Autoren nicht untersucht. Mithilfe von Winkelkorrelationen und Winkelverhältnissen wurden in dieser Studie weitere Ansätze für die Rekonstruktion des okklusalen Reliefs gesucht. Es gibt keine allgemein gültigen Korrelationen zwischen den Winkeln a bis k, die allgemein für jeden Zahntyp gelten, weshalb man sie für jeden Zahntyp einzeln betrachten muss. Die aus gemittelten Winkeln erhobenen Korrelationen unterstützen die sich verändernden Winkelsequenzen innerhalb einer Zahnreihe, wie die nachfolgende Abbildung an zwei Beispielen verdeutlichen soll.

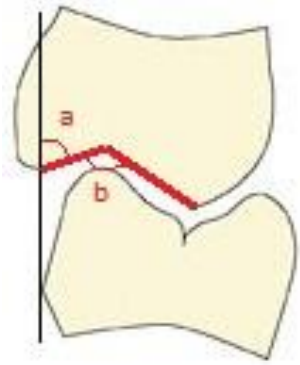	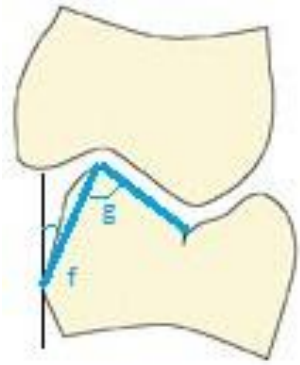
Oberkiefer: Je größer die vestibuläre innere Höckerneigung, desto größer der Fissurenwinkel.	Unterkiefer: Je größer der vestibuläre äußere Höckerwinkel, desto größer ist der vestibuläre Höckerwinkel.

Abbildung 27.
Positive Korrelationen für den Ober- und Unterkiefer, die für alle Seitenzähne gelten, den Eckzahn ausgeschlossen

Ähnliches gilt für die Betrachtung von Winkelverhältnissen. Setzt man zwei Winkel ins Verhältnis beziehungsweise bildet den Quotient, kommt man zu einem bestimmten Größenverhältnis der beiden Winkel zueinander, die man mit weiteren Winkelpaaren/ -brüchen vergleichen kann. So erhält man eine Vielzahl an gleichen Winkelpaaren, die man zum Teil an mehreren Zähnen in ähnlicher oder unterschiedlicher Größenrelationen findet, wie in nachfolgender Abbildung an zwei Beispielen dargestellt.

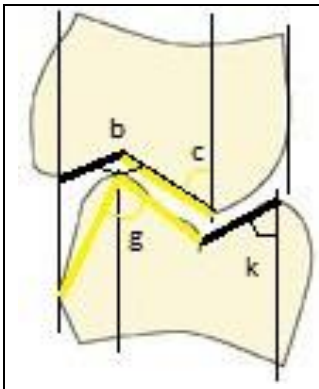	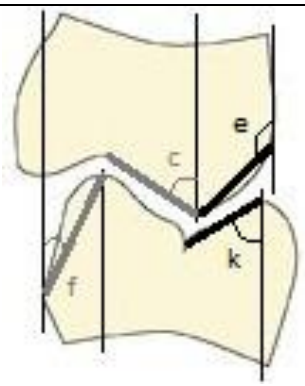
b/k= g/c: der obere Fissurenwinkel steht zur unteren oralen inneren Höckerneigung, wie die obere innere orale Höckerneigung zum unteren vestibulären Höckerwinkel; gilt für 5er, 6er mesial, 7er mesial und distal mit unterschiedlichen Größenverhältnissen	f/c= e/k: der untere äußere tragende Höckerwinkel steht zur oberen inneren Höckerneigung im gleichen Größenverhältnis, wie der obere äußere tragende Höckerwinkel zur unteren oralen inneren Höckerneigung; gilt für 6er distal, 7er mesial und distal mit unterschiedlichen Größenverhältnissen

Abbildung 28.
Zwei Beispiele für die Darstellung von Winkelpaaren/ -brüchen mit dem gleichen Größenverhältnis. Die einzelnen Größenverhältnisse eines jeden Zahnes sind unter Punkt 4.5.4.3. aufgeschlüsselt

Die Analyse des Höckerreliefs vom Eckzahn bis zum zweiten Molaren im Ober- und Unterkiefer ließ vermuten, dass es eine Reihe von Gesetzmäßigkeiten gibt, die das okklusale Relief mit Hilfe von Regressionsgleichungen, Korrelationen und Winkelverhältnissen beschreiben können.

Die Erkenntnisse dieser Studie sind ein Versuch das genetisch determinierte morphologische Gerüst eines jeden Zahnes als Formelwerk vereinfacht darzustellen. Von Interesse ist folglich, ob diese für einen Mittelwert berechneten Formeln unter Punkt 4.5.4.2, in Form von Winkelverhältnissen, auch für jeden individuellen Zahn gelten und wenn dies der Fall ist, ob man die zerstörten Flächen eines Zahnes mithilfe der Daten seines gesunden Antagonisten rekonstruieren kann.

In den nachfolgenden Tabellen werden die Formeln auf den berechneten Durchschnittszahn angewendet. Es wird dafür angenommen, dass die rot markierten Winkel durch kariöse Zerstörung unbekannt sind.

Tabelle 36.
Die Tabelle führt die mittels des Programms Climb Analysis 1.0 gemessenen und für den Durchschnittszahn gemittelten Winkel für das mesiale Höckerpaar der Zähne 27 und 37 auf

Zahn i.D.	viHW	oiHW	FW	atHW	tHW
	a	c	b	e	d
27 m	68,98°	51,41°	120,38°	53,23°	104,64°
	h	k	i	f	g
37 m	54,25°	67,29°	121,53°	39,93°	94,17°

Tabelle 37.
Gesucht sind die Winkel k,i,h und g des Zahns 37, die mithilfe der ermittelten Formeln aus Tabelle 33 und Winkel aus Tabelle 36 berechnet werden

Winkel	Formel	Umgestellte Formel	Ist	Soll	Differenz [Ist]-[Soll]
k	k/b= 0,57 a/b=k/b	k= 0,57x b k=a	68,61° 68,98°	67,29°	1,32° 1,69°
i	i/f= 3,1 b/f=i/f	i= 3,01x f i=b	120,19° 120,38°	121,53°	-1,34° -1,15°
h	h/a= 0,78 h/a=f/c	h= 0,78 x a h= f/c x a	53,8° 53,57°	54,25°	-0,45° -0,68°
g	g/a= a/c g/a= 1,37	g= a/c g= 1,37x a	92,55° 94,5°	94,17°	-1,62° 0,33°

Mit Hilfe der Formeln wurden die Ist- Winkel für den Durchschnittszahn in Tabelle 37 berechnet. Die geringe Streuung um etwa +/-2° ist darin begründet, dass die Winkelpaare durch gerundete Ergebnisse nicht zu 100% übereinstimmen und daraus der Quotient aus den Winkelpaaren gemittelt wurde. Um die Streuung der Ergebnisse weiter zu reduzieren, müssten für jedes Winkelpaar einzeln die Quotienten aufgeführt werden. Aufgrund der Übersichtlichkeit wurde in dieser Untersuchung darauf verzichtet.

Zu bedenken ist, dass die am Höckerabhang angelegte Sekante nicht zwangsläufig der wirklichen Neigung der Führungsflächen entsprechen muss. Die Höckersphärik bleibt in dieser Studie unbeachtet und müsste für eine naturgetreue Rekonstruktion des okklusalen Reliefs weiter untersucht werden.

Die Neigung der Führungsflächen ist eine entscheidende Komponente für die okklusale Anatomie, das Gleichgewicht der okklusalen Krafteinteilung und die Vermeidung von Parafunktionen. Um die okklusalen Kräfte optimal zu verteilen, misst man nach Santos allen Höckerabhängen den gleichen Winkel zu oder man verbessert die axiale Kraftausrichtung, sprich die Höcker-Fossa- Beziehung aller Zähne (José Santos, 1988).

Das in dieser Studie ermittelte Formelwerk mag sich für die individuelle Restauration des Einzelnen nicht eignen, für die Herstellung von künstlichen Zähnen könnte sie jedoch durchaus von Nutzen sein.

Anstelle von gleich großen Höckerabhängen, wie es Santos oder Gysi postulierten (Hohmann, 1994), könnten die hier ermittelten Regressionsgeraden, die auf der Basis von Winkelmittelwerten entstanden, verwendet werden. Sie beschreiben nach distal flacher werdende Höckerabhänge innerhalb einer künstlichen Zahnreihe.

Ob die Kraftverteilung und Stabilität durch derart konstruierte Zähne optimiert würde, müsste in weiteren Studien getestet werden. Swoope et al. beschäftigte sich mit dem Konzept der balancierten Okklusion und stellte im Rahmen seiner Untersuchung fest, dass nach dorsal flacher werdende Höckerabhänge die Stabilität der Prothese erhöhen(Swoope et al., 1966). Die Nutzung dieser Erkenntnis wäre eine Möglichkeit einen Teil der gnathologischen Prinzipien des bezahnten auf den unbezahnten Patienten zu übertragen.

Inwiefern diese Studie für die Rekonstruktion des Einzelzahns beim bezahnten Patienten im Zeitalter der CAD/CAM-Technologie nutzt, ist, wie im vorhergehenden Text angedeutet, fraglich. Der mathematisch kalkulierte Durchschnittszahn greift auf einen dreidimensionalen Datensatz zurück, der die typischen und gemeinsamen Eigenschaften des natürlichen füllungsfreien Zahns enthält und eine effektive Beschreibung der Kronenmorphologie ermöglicht (Mehl et al., 2005). Derart rekonstruierte CAD/CAM- Kronen finden schon vermehrt und erfolgreich Anwendungen in der Praxis. Für die Herstellung prothetischer Zähne bei herausnehmbarem Zahnersatz könnte diese Untersuchung jedoch neue Ansätze, wie oben bereits beschrieben, bringen, ebenso für die weitere wissenschaftliche Suche nach funktionellen Zusam-

menhängen und pathologischen Ursachen im Rahmen kraniomandibulärer Dysfunktionen.

6 Zusammenfassung

Es galt in dieser Arbeit herauszufinden, welche Bedeutung die Höckergradneigung für die Okklusion darstellt.
Dafür haben 18 Probanden an der Untersuchung teilgenommen, die ein karies- und füllungsfreies Gebiss aufwiesen. Die 18 Oberkiefer- und 17 Unterkiefermodelle wurden dreidimensional eingescannt (Activity, Smart opticts, Bochum) und die Eckzähne bis zum zweiten Molaren vermessen (Climb Analysis 1.0, Greifswald).
Es wurden die Fissurenwinkel, die inneren Höckerneigungen der nicht tragenden Höcker und bei tragenden Höckern zusätzlich die äußeren Höckerneigungen und Höckerwinkel der Prämolaren und Molaren bestimmt. Neben der palatinalen Führungsfläche der Eckzähne im Oberkiefer, wurde im Unterkiefer auch die vestibuläre Neigung berechnet. Geschlecht und Population wurden nicht weiter berücksichtigt.
Ziel dieser Untersuchung war es mathematische Gesetzmäßigkeiten aufzustellen, die die vermutete Abhängigkeit der entsprechenden Höckerneigungen innerhalb einer Zahnreihe eines Kiefers, sowie zwischen beiden Kiefern beschreiben können.
Im Ergebnis zeigten die tragenden äußeren Höckerneigungen und Höckerwinkel des Ober- und Unterkiefers, sowie für die vestibuläre innere Höckerneigung und den Fissurenwinkel des Oberkiefers eine zunehmende Sequenz der Zahnwinkel von den Eckzähnen bis zu den zweiten Molaren. Auch wenn die orale innere Höckerneigung von mesial nach distal in beiden Kiefern abnimmt, werden die Höcker in der Gesamtheit nach distal hin flacher.
Durch die generelle Verteilung der Höckerneigungen wird das Konzept der Eckzahn- geführten Okklusion mit sequentieller Führung für den Ober- und Unterkiefer bestätigt. Die in der Literatur aufgeführten Werte zur vestibulären inneren Höckerneigung stützen das Ergebnis, wobei die Werte verschiedener Autoren durch variierende Referenzpunkte oder unterschiedlich gewählte Bezugsebenen teilweise abweichen. Bei weiterführenden Studien sollte auf Einheitlichkeit geachtet werden.

Die größte Übereinstimmung der Autoren besteht bei der Eckzahnneigung und der damit verbundenen Feststellung einer Eckzahndominanz im natürlichen Gebiss. Auffällig ist, dass nur die vestibuläre innere Höckerneigung des Oberkiefers in der Literatur aufgeführt ist, während der Unterkiefer bis dato unbeachtet bleibt.

Mithilfe von Korrelationen und der Berechnung von Winkelverhältnissen über SPSS, in der die zehn Höckerwinkel von Ober- und Unterkiefer zueinander in Beziehung gesetzt werden, entstand ein Formelwerk, das Größenrelationen und Zusammenhänge enthält, die ein Durchschnittsgebiss beschreiben. Jeder Zahntyp wird dabei einzeln betrachtet, da keine für alle Zahntypen allgemein gültigen Winkelverhältnisse abgeleitet werden konnten.

Für die Berechnung des individuellen Zahns müssten weitere komplexe mathematische Betrachtungen folgen, die die individuelle Streuung berücksichtigen. Bei der Herstellung von Einzelzahnersatz mithilfe von Gesetzmäßigkeiten spielen die Ergebnisse dieser Studie demnach weniger eine Rolle.

Das für das Durchschnittsgebiss aufgestellte Formelwerk könnte dahingegen für die Weiterentwicklung der Prothesenzähne von Nutzen sein. Auch in der Totalprothetik sollte die sich verändernde Abfolge der Höckerneigungen innerhalb einer Zahnreihe beachtet werden. Fortführende Studien könnten sich weitergehend mit der Höckersphärik beschäftigen, die in dieser Studie außer Acht gelassen wurde. Auch der funktionelle Zusammenhang der Höckerneigung zu Kiefergelenksbahnen könnte von weiterem Interesse sein.

7 Anhang

7.1 Deskriptive Statistik

Tabelle 38

Deskriptive Statisitk für die vestibuläre innere Höckerneigung des Oberkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	50,9667	36	5,00697	40,30	63,10	25,070
4er	53,0667	36	5,14237	42,30	60,50	26,444
5er	58,0528	36	5,52658	48,30	71,50	30,543
6er mesial	67,6111	36	4,79719	57,50	76,70	23,013
6er distal	63,5278	36	5,29040	51,10	72,70	27,988
7er mesial	68,9806	36	6,00494	56,70	78,70	36,059
7er distal	72,0361	36	7,34342	53,50	86,70	53,926
Insgesamt	62,0345	252	9,40887	40,30	86,70	88,527

Tabelle 39

Deskriptive Statistik für die vestibuläre innere Höckerneigung des Unterkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	34,4206	34	6,11574	20,80	48,80	37,402
4er	53,8765	34	6,59513	43,60	66,60	43,496
5er	55,7941	34	5,46559	45,10	66,70	29,873
6er mesial	64,2618	34	6,03118	54,90	76,40	36,375
6er distal	55,6529	34	3,81840	48,50	64,60	14,580
7er mesial	54,2500	34	6,61400	41,90	78,90	43,745
7er distal	53,2882	34	7,16920	35,90	69,70	51,397
Insgesamt	53,0777	238	10,29333	20,80	78,90	105,953

Tabelle 40

Deskriptive Statistik für die orale innere Höckerneigung des Oberkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	-33,2000	36	53,79860	-80,80	88,80	2894,289
4er	59,5722	36	6,09560	45,10	73,60	37,156
5er	55,6306	36	5,92403	44,60	70,70	35,094
6er mesial	54,5722	36	5,49569	44,80	68,40	30,203
6er distal	58,8333	36	5,03797	52,20	72,40	25,381
7er mesial	51,4111	36	6,08393	35,60	67,20	37,014
7er distal	62,5583	36	7,42568	48,30	80,80	55,141
Insgesamt	44,1968	252	38,05347	-80,80	88,80	1448,066

Tabelle 41

Deskriptive Statistik für die orale innere Höckerneigung des Unterkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	-43,7176	34	6,75598	-57,50	-27,10	45,643
4er	6,1000	34	74,51029	-89,50	86,20	5551,783
5er	72,6500	34	6,48580	57,10	83,50	42,066
6er mesial	68,5882	34	6,14560	57,40	78,70	37,768
6er distal	68,0353	34	5,44893	53,20	77,30	29,691
7er mesial	67,2941	34	6,17953	49,70	82,10	38,187
7er distal	59,0382	34	44,47650	-85,40	85,30	1978,159
Insgesamt	42,5697	238	52,73420	-89,50	86,20	2780,896

Tabelle 42

Deskriptive Statistik für den Fissurenwinkel des Oberkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	167,7639	36	18,80973	125,70	194,00	353,806
4er	112,6278	36	7,60728	102,00	129,40	57,871
5er	113,6750	36	7,62576	96,80	128,20	58,152
6er mesial	122,1833	36	6,84458	108,50	137,80	46,848
6er distal	122,3667	36	6,16293	107,50	138,20	37,982
7er mesial	120,3806	36	8,35025	108,30	145,60	69,727
7er distal	134,6028	36	11,42550	112,50	167,40	130,542
Insgesamt	127,6571	252	20,47534	96,80	194,00	419,240

Tabelle 43

Deskriptive Statistik für den Fissurenwinkel des Unterkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	170,7088	34	7,36611	156,50	189,30	54,260
4er	149,9794	34	19,23040	116,50	185,20	369,808
5er	128,4412	34	7,04381	109,60	139,80	49,615
6er mesial	132,8500	34	8,44943	113,10	148,40	71,393
6er distal	123,6824	34	6,74512	108,20	138,00	45,497
7er mesial	121,5294	34	8,81340	98,00	147,20	77,676
7er distal	128,1971	34	12,56398	107,50	169,00	157,854
Insgesamt	136,4840	238	19,64218	98,00	189,30	385,815

Tabelle 44

Deskriptive Statistik für den tragenden äußeren (oralen) Höckerwinkel des Oberkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	44,7972	36	8,37948	28,80	63,70	70,216
4er	35,0556	36	5,61215	25,10	46,90	31,496
5er	38,1500	36	6,78252	22,80	51,90	46,003
6er mesial	50,5667	36	9,44808	35,90	70,60	89,266
6er distal	42,0472	36	7,70141	30,60	63,60	59,312
7er mesial	53,2306	36	6,74104	38,40	67,20	45,442
7er distal	54,9889	36	10,42403	32,70	86,70	108,660
Insgesamt	45,5480	252	10,63691	22,80	86,70	113,144

Tabelle 45

Deskriptive Statistik für den tragenden (vestibulären) äußeren Höckerwinkel des Unterkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	22,7706	34	4,94574	9,10	31,70	24,460
4er	30,4794	34	4,42841	24,10	40,90	19,611
5er	32,5294	34	5,35710	22,00	43,80	28,699
6er mesial	35,0941	34	6,39801	22,30	58,40	40,935
6er distal	35,2853	34	6,63056	21,70	54,00	43,964
7er mesial	39,9265	34	7,80692	30,50	61,10	60,948
7er distal	41,1206	34	7,51829	28,90	62,70	56,525
Insgesamt	33,8866	238	8,43788	9,10	62,70	71,198

Tabelle 46

Deskriptive Statistik für den tragenden (oralen) Höckerwinkel des Oberkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	161,6056	36	13,78401	132,80	189,90	189,999
4er	94,6333	36	7,90537	84,00	113,00	62,495
5er	93,7722	36	6,83339	81,70	111,40	46,695
6er mesial	105,1389	36	9,93784	89,60	126,10	98,761
6er distal	100,8722	36	9,20679	87,60	128,60	84,765
7er mesial	104,6389	36	7,14540	90,20	121,10	51,057
7er distal	117,5528	36	11,61129	94,50	142,80	134,822
Insgesamt	111,1734	252	23,93934	81,70	189,90	573,092

Tabelle 47

Deskriptive Statistik für den tragenden (vestibulären) Höckerwinkel des Unterkiefers

Zahntyp	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Varianz
3er	57,2029	34	6,04736	47,50	69,10	36,571
4er	84,3559	34	8,21795	70,90	102,20	67,535
5er	88,3294	34	5,92435	79,30	102,70	35,098
6er mesial	99,3529	34	6,61473	86,20	114,40	43,755
6er distal	90,9471	34	7,26011	77,20	113,70	52,709
7er mesial	94,1706	34	9,12906	81,90	129,80	83,340
7er distal	94,4088	34	6,75858	82,70	111,70	45,678
Insgesamt	86,9668	238	14,79137	47,50	129,80	218,785

7.2 Aufgeschlüsselte Winkelverhältnisse für jeden Zahntyp

Die Winkel a bis k sind jeweils in Zeile und Spalte aufgeführt. Für die Berechnung wurden für jeden Winkel die Mittelwerte bestimmt. Die Tabellen zeigen in der Kopfzeile die Winkel a bis k als Dividenden und in der ersten Spalte die Winkel a bis kals Divisoren. Der Quotient ist dementsprechend als Zahlenwert bzw. Verhältnis aufgeführt.

Tabelle 48

Winkelverhältnisse am Eckzahn. Die für den Eckzahn relevanten Werte sind grau hinterlegt.

OK UK	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	f	g	h	i	k
a		3,3081	-,6517	3,1944	,8860	,4468	1,1253	,6783	3,3568	-,8676
b	,3066		-,1697	,9677	,2743	,1377	,3471	,2093	1,0349	-,2685
c	-,6758	-2,3999		-2,2509	-,5265	-,2934	-,7225	-,4290	-2,1688	,5182
d	,3170	1,0367	-,1880		,2803	,1425	,3592	,2167	1,0705	-,2762
e	1,1758	3,9140	-,8799	3,7385		,5283	1,3341	,8055	3,9661	-1,0048
f	2,3779	7,7368	-1,5030	7,4440	2,0846		2,6381	1,6373	7,9522	-2,0739
g	,9040	2,9439	-,5807	2,8367	,7966	,3990		,6008	3,0091	-,7726
h	1,5411	5,0221	-1,0189	4,8391	1,3578	,6967	1,6970		5,1145	-1,2990
i	,3001	,9768	-,1894	,9403	,2636	,1335	,3348	,2012		-,2576
k	-1,2123	-3,9576	,8188	-3,7887	-1,0432	-,5439	-1,3438	-,7997	-4,0268	

Tabelle 49

Winkelverhältnisse der ersten Prämolaren

OK UK	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
a		2,1345	1,1347	1,8009	,6661	,5719	1,5831	1,0112	2,8263	,0995
b	,4714		,5287	,8414	,3127	,2702	,7482	,4779	1,3371	,0427
c	,9014	1,9012		1,5961	,5960	,5174	1,4325	,9152	2,5633	,0730
d	,5644	1,1944	,6300		,3699	,3241	,8963	,5722	1,6009	,0496
e	1,5491	3,2946	1,7458	2,7459		,8901	2,4588	1,5687	4,3774	,1662
f	1,7840	3,7642	1,9807	3,1530	1,1722		2,7998	1,7997	5,0100	,2124
g	,6381	1,3464	,7085	1,1267	,4182	,3616		,6384	1,7886	,0655
h	1,0041	2,1193	1,1154	1,7725	,6570	,5732	1,5732		2,8123	,0953
i	,3626	,7665	,4040	,6412	,2371	,2061	,5698	,3637		,0913
k	-,0606	-,1098	-,0491	-,0918	-,0426	-,0415	-,0963	-,0547	-0,4286	

Tabelle 50

Winkelverhältnisse der zweiten Prämolaren

OK UK	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
a		1,9677	,9678	1,6287	,6610	,5596	1,5166	,9569	2,2045	1,2477
b	,5109		,4892	,8270	,3379	,2876	,7804	,4927	1,1337	,6410
c	1,0553	2,0552		1,6982	,6983	,5962	1,6196	1,0233	2,3518	1,3286
d	,6219	1,2161	,5943		,4057	,3488	,9491	,6003	1,3815	,7813
e	1,5687	3,0897	1,5212	2,5210		,8722	2,3762	1,5039	3,4705	1,9666
f	1,8498	3,5852	1,7357	2,9379	1,2025		2,7753	1,7752	4,0584	2,2834
g	,6648	1,2900	,6254	1,0595	,4343	,3678		,6322	1,4581	,8260
h	1,0565	2,0518	,9955	1,6877	,6923	,5922	1,5923		2,3179	1,3180
i	,4564	,8851	,4288	,7285	,2998	,2541	,6887	,4346		,5654
k	,8114	1,5722	,7609	1,2943	,5335	,4492	1,2254	,7761	1,7761	

Tabelle 51

Winkelverhältnisse beim mesialen Höckerpaar der ersten Molaren

OK UK	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
a		1,8117	,8118	1,5650	,7532	,5175	1,4647	,9472	1,9575	1,0103
b	,5537		,4463	,8624	,4162	,2878	,8134	,5256	1,0871	,5615
c	1,2524	2,2524		1,9387	,9387	,6538	1,8447	1,1909	2,4654	1,2744
d	,6494	1,1710	,5216		,4784	,3394	,9597	,6203	1,2835	,6631
e	1,3834	2,5024	1,1189	2,1189		,7225	2,0513	1,3288	2,7456	1,4167
f	1,9969	3,5945	1,5977	3,0532	1,4555		2,8971	1,8972	3,8938	1,9966
g	,6883	1,2373	,5490	1,0497	,5007	,3525		,6476	1,3390	,6914
h	1,0683	1,9190	,8507	1,6284	,7777	,5547	1,5547		2,0765	1,0765
i	,5145	,9247	,4102	,7849	,3746	,2650	,7487	,4837		,5163
k	1,0001	1,7988	,7987	1,5277	,7290	,5117	1,4563	,9446	1,9446	

Tabelle 52
Winkelverhältnisse beim distalen Höckerpaar der ersten Molaren

OK UK	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
a		1,9350	,9349	1,5997	,6650	,5529	1,4281	,8750	1,9436	1,0686
b	,5191		,4809	,8248	,3440	,2896	,7463	,4567	1,0151	,5584
c	1,0888	2,0889		1,7195	,7196	,6120	1,5737	,9615	2,1387	1,1773
d	,6347	1,2202	,5855		,4146	,3563	,9170	,5606	1,2469	,6864
e	1,5551	2,9986	1,4433	2,4431		,8714	2,2454	1,3738	3,0570	1,6833
f	1,8621	3,5638	1,7016	2,9186	1,2174		2,6312	1,6310	3,6153	1,9846
g	,7052	1,3472	,6420	1,1015	,4596	,3857		,6142	1,3656	,7515
h	1,1522	2,1985	1,0462	1,7960	,7500	,6378	1,6379		2,2279	1,2280
i	,5174	,9878	,4704	,8076	,3372	,2858	,7362	,4503		,5497
k	,9436	1,8026	,8589	1,4745	,6157	,5204	1,3438	,8233	1,8232	

Tabelle 53
Winkelverhältnisse beim mesialen Höckerpaar der zweiten Molaren

OK UK	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
a		1,7513	,7514	1,5285	,7771	,5815	1,3707	,7892	1,7649	,9759
b	,5733		,4267	,8718	,4450	,3329	,7857	,4529	1,0136	,5608
c	1,3623	2,3621		2,0560	1,0561	,7884	1,8647	1,0765	2,4122	1,3360
d	,6622	1,1538	,4917		,5084	,3843	,9096	,5253	1,1751	,6499
e	1,3168	2,3041	,9874	1,9874		,7662	1,8152	1,0492	2,3419	1,2930
f	1,7943	3,1095	1,3154	2,6840	1,3688		2,4099	1,4101	3,1431	1,7334
g	,7412	1,2861	,5449	1,1125	,5676	,4223		,5778	1,2963	,7186
h	1,2923	2,2456	,9534	1,9472	,9938	,7515	1,7514		2,2575	1,2578
i	,5714	,9933	,4220	,8612	,4392	,3300	,7760	,4461		,5540
k	1,0342	1,7985	,7645	1,5593	,7949	,5949	1,4082	,8133	1,8131	

Tabelle 54
Winkelverhältnisse beim distalen Höckerpaar der zweiten Molaren

OK UK	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
a		1,8759	,8758	1,6503	,7744	,5729	1,3193	,7464	1,7900	,8405
b	,5354		,4645	,8775	,4129	,3055	,7037	,3982	,9559	,4454
c	1,1647	2,1648		1,8936	,8936	,6619	1,5257	,8638	2,0754	,9600
d	,6193	1,1535	,5342		,4658	,3523	,8106	,4582	1,1028	,5094
e	1,3605	2,5417	1,1811	2,1812		,7753	1,7815	1,0062	2,4241	1,1257
f	1,7995	3,3586	1,5588	2,9411	1,3821		2,3502	1,3503	3,2075	1,5478
g	,7661	1,4316	,6654	1,2527	,5873	,4349		,5651	1,3588	,6340
h	1,3794	2,5785	1,1988	2,2530	1,0540	,7995	1,7995		2,4372	1,0715
i	,5659	1,0588	,4928	,9279	,4350	,3230	,7398	,4168		,4731
k	,8208	1,5457	,7248	1,3691	,6442	,4459	1,0803	,6344	1,4342	

7.3 Vergleich der Winkelverhältnissen zwischen den Zahntypen

Die nachfolgenden Tabellen zeigen auf, zwischen welchen Zähnen gleiche Winkelverhältnisse herrschen und inwiefern der Quotient übereinstimmt. Es ist anzunehmen, dass zwischen benachbarten Zähnen bzw. Höckerpaaren die meisten Übereinstimmungen vorliegen.

Tabelle 55.
Vergleich der Winkelverhältnisse zwischen ersten und zweiten Prämolaren

Übereinstimmungen	**4er**	**5er**
e/c= g/i	0,57	0,69
f/h= h/d	0,57	0,6
a/e= g/h	1,6	1,6
g/a= h/e	1,6	1,5
e/f= b/d	1,2	1,2

Tabelle 56.
Vergleich der Winkelverhältnisse zwischen zweiten Prämolaren und ersten Molaren

Übereinstimmung	5er	6er mesial
a/i= f/k	0,45	0,515
f/a= k/i	0,56	0,515
c/g= k/b	0,63	0,55
a/d= h/g	0,63	0,65
d/a= g/k	1,6	0,53
e/f= g/k= k/a	1,2	0,45
b/k= g/c	1,6	1,82
h/f= i/k	1,76	1,93
h/a= g/d	0,95	0,94
d/g= a/h	1,06	1,07
i/h= g/e	2,3	2,06

Tabelle 57.
Vergleich der Winkelverhältnisse zwischen mesialen und distalen Höckerpaar der ersten Molaren

Übereinstimmung	6er mesial	6er distal
h/b= e/g	0,515	0,45
a/i= f/k	0,515	0,52
f/a= k/i	0,515	0,55
c/g= f/h	0,55	0,64
f/e= h/g	0,65	0,61
h/e= i/g	1,33	1,35

Tabelle 58.
Vergleich der Winkelverhältnisse zwischen den distalen Höckerpaaren der ersten Molaren und den mesialen Höckerpaaren der zweiten Molaren

Übereinstimmung	6er distal	7er mesial
a/b= a/i= (f/k)	0,52	0,58
f/a= k/b	0,53	0,57
h/d= k/i	0,55	0,54
f/a=k/i	0,55	0,57
i/g= b/g	1,35	1,29
i/h= b/h	2,2	2,28

Übereinstimmung	6er distal	7er mesial
b/d= i/d	1,22	1,14
b/a= i/a= k/f	1,95	1,75
a/f= i/k= b/k	1,8	1,8
d/b=d/i	0,81	0,88
c/k= f/e= h/a	0,87	0,78
g/b= k/g	0,75	0,78
f/c= e/k	0,61	0,78
e/a= f/h	0,64	0,78
c/b= c/i ?	0,47	0,44
e/i= e/b	0,34	0,44
h/b= h/i	0,45	0,44
b/f= i/f	3,6	3,1
f/i= f/b	0,29	0,33

Tabelle 59.
Vergleich der Winkelverhältnisse zwischen mesialen und distalen Höckerpaaren der zweiten Molaren

Übereinstimmung	**7er mesial**	**7er distal**
a/i= e/g= f/a= h/g	0,57	0,57
i/g= a/h	1,29	1,35
e/f= g/a	1,37	1,35
b/c= i/c	2,38	2,12
i/e= g/f	2,38	2,4
b/h= b/e	2,28	2,55
b/i= e/h	1	1,05
g/h= i/a	1,75	1,8
a/f= g/e	1,8	1,8
b/k= g/c	1,8	1,55
c/k= g/b	0,78	0,71
h/a= g/i	0,78	0,73
e/k= f/c= h/k= k/g	0,78	0,64
e/a= f/e= a/g	0,78	0,77
e/i= f/g	0,44	0,4
h/b= h/i= e/b	0,44	0,41
k/b= f/k?	0,58	0,4

Tabelle 60.
Vergleich der Winkelverhältnisse zwischen den distalen Höckerpaaren der ersten Molaren und zweiten Molaren

Übereinstimmung	6er distal	7er distal
a/d= c/g	0,64	0,64
f/c= e/k	0,61	0,64
g/a= d/k	1,45	1,35
d/a= g/c	1,57	1,55
g/d= c/a	0,92	1,55
g/k= h/e	1,35	1,05
b/c= i/c	2,1	2,12

Tabelle 61.
Vergleich der Winkelverhältnisse zwischen den mesialen Höckerpaaren der ersten und zweiten Molaren

Übereinstimmung	6er mesial	7er mesial
a/i= e/g= f/a	0,515	0,57
f/a= f/k?	0,515	0,59
a/b= k/b	0,55	0,57
a/g= e/k= f/e(=k/g)	0,7	0,78
d/a= d/k	0,53	1,55
e/f= g/a	0,45	1,37
h/k= h/a	0,94	0,78
e/b= c/i	0,94	0,44
f/g= e/i	0,36	0,44
e/a= g/i	0,74	0,78
k/e= i/c	2,5	2,35
i/e= g/f	2,8	2,38
c/a= g/b	0,8	0,78

Die Tabellen 57-63 zeigen, dass es kein Winkelverhältnis gibt, das allen Zahntypen gemeinsam ist. Die farbig markierten Winkelverhältnisse sind bei mehr als zwei, aber maximal bei vier Zahntypen zu finden.

8 Literaturverzeichnis

Adolph, S., & G\ürke, S. (2001). Modeling of a fitting inlay from various information. VMV Stuttgart, 309, 316.

Albert, P. D. M., Litzenburger, A., Dr.Blanz, V., & Kern, M. (2007). Biogenerisches Zahnmodell: Neue Beschreibung von Kauflächen bzw. Zahnoberflächen. International Journal Digital Dental.News, 22–27.

Ash, M. (1995). Occlusion (4th ed.). Philadelphia: W.B. Saunders.

Beyron, H. (1964). Occlusal Relations and Mastication in Australian Aborigines. Acta Odontologica Scandinavica, 22(6), 597–678.

Beyron, H. (1969). Optimal occlusion. Dental Clinics of North America, 13(3), 537–554.

Biffar, R. (1999). Die prothetische Versorgung des Lückengebisses : Befunderhebung und Planung (4., völlig neu bearb. Aufl.). Köln ; München: Dt. Zahnärzte-Verl. DÄV-Hanser.

Blanz, V., Mehl, A., Vetter, T., & Seidel, H.-P. (o. J.). A statistical method for robust 3D surface reconstruction from sparse data. In Proceedings. 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, 2004. 3DPVT 2004. (S. 293–300). Gehalten auf der Proceedings. 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, 2004. 3DPVT 2004., Thessaloniki, Greece.

Boucher, C. O. (1963). Discussion of „Laws of Articulation“. The Journal of Prosthetic Dentistry, 13(1), 45–48.

Boyd, R. L., Gibbs, C. H., Mahan, P. E., Richmond, A. F., & Laskin, J. L. (1990). Temporomandibular joint forces measured at the condyle of Macaca arctoides3. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 97(6), 472–479.

Bumann, A. (2000). Farbatlanten der Zahnmedizin. Stuttgart: Thieme.

Caesar, H. (1996). Die Ausbildung zum Zahntechniker. München: Verlag Neuer Merkur.

Davies, S., & Gray, R. (2001). What is occlusion? British Dental Journal, 191(5), 235–245.

End, A. (2010). Statische und dynamische Okklusionstheorien. Untersuchung zu bestehenden Theorien, Vorkommen im nat\ürlichen Gebiss und deren Anwendung im Artikulator.

End, E. (2005). Die physiologische Okklusion des menschlichen Gebisses : Diagnostik & Therapie (1. Aufl.). München: Verl. Neuer Merkur.

Farias Neto, A., Mestriner Junior, W., & Carreiro, A. da F. P. (2010). Masticatory efficiency in denture wearers with bilateral balanced occlusion and canine guidance. Brazilian Dental Journal, 21(2), 165–169.

Flatz, A. (1997). EMG-Untersuchung der Aktivität der Kaumuskeln bei Prothesenträgern mit anteriorem und posteriorem Okklusionskonzept. Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck.

Geering, A. H. (1974). Occlusal interferences and functional disturbances of the masticatory system. Journal of Clinical Periodontology, 1(2), 112–119.

Goiato, M. C., Ribeiro, P. D. P., Garcia, A. R., & Dos Santos, D. M. (2008). Complete denture masticatory efficiency: a literature review. Journal of the California Dental Association, 36(9), 683–686.

Grubwieser, G., Flatz, A., Grunert, I., Kofler, M., Ulmer, H., Gausch, K., & Kulmer, S. (1999). Quantitative analysis of masseter and temporalis EMGs: a comparison of anterior guided versus balanced occlusal concepts in patients wearing complete dentures. Journal of Oral Rehabilitation, 26(9), 731–736.

Gründler, H. (2005). Grundwissen für Zahntechniker 4. Die Totalprothese / Horst Gründler ; U. Stüttgen. München: Verl. Neuer Merkur.

Grunert, I., Kofler, M., Gausch, K., & Kronenberg, M. (1994). Masseter and temporalis surface electromyography in patients wearing complete dentures comparing anterior and posterior occlusal concepts ? A pilot study. Journal of Oral Rehabilitation, 21(3), 337–347.

Gysi, A. (1910). The problem of articulation. The Dental Cosmos, 52.

Hanau, R. L. (1926). Articulation defined, analyzed, and formulated. The Journal of the Amarican Dental Association, 13.

Hillson, S. (1996). Dental anthropology. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press.

Hohmann, A. (1994). Lehrbuch der Zahntechnik (3., überarb. Aufl.). Berlin ;Chicago ;London ;Kopenhagen ;Paris ;Mailand ;Barcelona ;Istanbul ;São Paulo ;Tokio ;Neu-Delhi: Quintessenz-Verl.-GmbH.

Hugger, A. (2006). Curriculum Orale Physiologie. Berlin: Quintessenz.

Kaidonis, J. A. (2007). Tooth wear: the view of the anthropologist. Clinical Oral Investigations, 12(S1), 21–26.

Kobayashi, Y., & Hansson, T. L. (1988). Auswirkungen der Okklusion auf den menschlichen Körper. Phillip Journal Restaur Zahnmed, 5, 255–264.

Koeck, B. (2005). Totalprothesen (4., [überarb.] Aufl.). München: Urban & Fischer.

Koeck, Bernd. (1995). Funktionsstörungen des Kauorgans. München; Baltimore: Urban & Schwarzenberg.

Kordaß, B. (2006). Mastikatorische Funktion - Okklusion und Nahrungsaufnahme. In B. Reitmeyer, M. Schwenzer, & M. Ehrenfeld (Hrsg.), Einführung in die Zahnmedizin (1. Aufl., S. 103–114). Stuttgart: Thieme.

Kulmer, S., Ruzicka, B., Niederwanger, A., & Moschen, I. (1999). Incline and length of guiding elements in untreated naturally grown dentition. Journal of Oral Rehabilitation, 26(8), 650–660.

Lehmann, K. (2005). Zahnärztliche Propädeutik (10., überarb. Aufl.). München: Elsevier Urban & Fischer.

Levin, B. (1978). A reevaluation of Hanau's Laws of Articulation and the Hanau Quint. The Journal of Prosthetic Dentistry, 39(3), 254–258.

Lotzmann, U, Jablonski, F., Scherer, C., & Kobes, L. (1990). [The neuromuscular effect of anterior guidance on the protrusive movement pattern of the mandible. Observations in the horizontal plane]. Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia / SSO, 100(5), 560–564.

Lotzmann, Ulrich. (1998). Die Prinzipien der Okklusion : eine Einführung in das okklusionsgerechte Arbeiten (5. Aufl., 22. - 26. Tsd.). München: Verl. Neuer Merkur.

Mack, P. J. (1989). A computer analysis of condylar movement as determined by cuspal guidances. The Journal of Prosthetic Dentistry, 61(5), 628–633.

Marxkors, R. (2007). Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik : mit 4 Tabellen (4., überarb. Aufl.). Köln ;;München: Dt. Zahnärzte-Verl.

Mehl, A., Blanz, V., & Hickel, R. (2005). A new mathematical process for the calculation of average forms of teeth. The Journal of prosthetic dentistry, 94(6), 561–566.

Mehl, A., Gloger, W., Kunzelmann, K.-H., & Hickel, R. (1997). A New Optical 3-D Device for the Detection of Wear. Journal of Dental Research, 76(11), 1799–1807.

Mohl, N. (1990). Lehrbuch der Okklusion. Berlin ;Chicago: Quintessenz.

Paulus, D., Wolf, M., Meller, S., & Niemann, H. (1999). Three-dimensional computer vision for tooth restoration. Medical Image Analysis, 3(1), 1–19.

Posselt, U. (1968). Physiology of occlusion and rehabilitation (2nd ed.). Oxford ;Edinburgh: Blackwell Scientific.

Ramfjord, S. (1993). Individuell optimale Okklusion. Berlin: Quintessenz.

Reitemeier, B. (2006). Einführung in die Zahnmedizin. Stuttgart: Thieme.

Rosenbaum, R. S., Gross, G., Pertes, R. A., Ashman, L. M., & Kreisberg, M. K. (1997). The Scope of TMD/Orofacial Pain (Head and Neck Pain Management) in Contemporary Dental Practice. The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry, 11(1), 78.

Röthler, G. (1983). Massetermuskelhypertrophie : Untersuchungen zur Genese und Symptomatologie. Stuttgart ; New York: Thieme.

Ruge, S. (2009). Auswertesoftware für Höckergradneigungen „ClimbAnalysis 1.0“. Greifswald: CIFT & Uni Greifswald.

Santos, J., et al.. (1991). Vectorial analysis of the static equilibrium of forces generated in the mandible in centric occlusion, group function, and balanced occlusion relationships. The Journal of Prosthetic Dentistry, 65(4), 557–567.

Santos, José. (1988). Gnathologie : Prinzipien und Konzepte. Köln: Dt. Ärzte-Verl.

Scaife, R. R., & Holt, J. E. (1969). Natural occurrence of cuspid guidance. The Journal of Prosthetic Dentistry, 22(2), 225–229.

Schumacher, G.-H. (1983). Odontographie : Anatomie der Zähne und des Gebisses. Heidelberg: Hüthig.

Schuyler, C. H. (1967). Fundamental principles in the correction of occlusal disharmony, natural and artificial. Bulletin - San Mateo County Dental Society, 19(1).

Shupe, R. J., Mohamed, S., Christensen, L. V., Finger, I. M., & Weinberg, R. (1984). Effects of occlusal guidance on jaw muscle activity. The Journal of Prosthetic Dentistry, 51(6), 811–818.

Slavicek, R. (2000). Das Kauorgan : Funktionen und Dysfunktionen. Klosterneuburg: Gamma.

Suckert, R. (1999). Okklusions-Konzepte (2. Aufl.). München: Verl. Neuer Merkur.

Swoope, C. C., et al.. (1966). The effect of cusp form and occlusal surface area on denture base deformation. The Journal of Prosthetic Dentistry, 16(1), 34–43.

Thielemann, K. (1958). Einflu\ss der Gleitbehinderung auf Zahnreihen-und Kiefergelenkformen. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthop\ädie, 19(1), 8–15.

Trapozzano, V. R. (1963). Laws of articulation. The Journal of Prosthetic Dentistry, 13(1), 34–44.

Türp, J. C., & Strub, J. R. (1996). Prosthetic rehabilitation in patients with temporomandibular disorders. The Journal of prosthetic dentistry, 76(4), 418–423.

Weber, T. (2010a). Zahnmedizin 116 Tabellen (3., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart;New York NY: Thieme.

Weber, T. (2010b). Memorix Zahnmedizin. Stutgart: Thieme.

Weinberg, L. A. (1964). A cinematic study of centric and eccentric occlusions. The Journal of Prosthetic Dentistry, 14(2), 290–293.

Eidesstattliche Erklärung

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

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

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

_____

Ort, Datum, Unterschrift