

Aus der Anatomischen Anstalt
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Vorstand: Univ. Prof. Dr. med. Dr. h. c. R. Putz

**Morphologie und metrische Dimensionen des lateralen oberen
Inzisivus -
Eine 3D-Untersuchung mittels Laserscanner und
Flächenrückführungsprogramm**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Jan Röhrig

aus
Bonn

2007

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. K.-U. Benner

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Dr. Ch. Holberg

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. dent. J. Hajtó

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 13.12.2007

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Literaturübersicht	9
2.1	Form der Schneidezähne	9
2.2	Der obere seitliche Schneidezahn	10
2.2.1	Vestibuläre Fläche	15
2.2.2	Palatinale Fläche	15
2.2.3	Approximale Fläche	19
2.2.4	Schneidekante	20
2.2.5	Schmelz-Zement-Grenze	20
2.2.6	Strukturmerkmale	21
2.3	Zahnform unter verschiedenen Aspekten	22
2.3.1	Psychische und physische Konstitution	22
2.3.2	Gesichtsform und Zahnform	23
2.3.3	Kieferkammverlauf und Zahnform	25
2.4	Odontometrie	26
2.4.1	Terminologie der Zahndimensionen	27
2.4.2	Referenzpunkte und Definition der Messstrecke	27
2.4.2.1	Mesiodistaler und orovestibulärer Kronendurchmesser	27
2.4.2.2	Kronenhöhe	29
2.4.2.3	Messungen in Zusammenhang mit der Schmelz-Zement-Grenze	30
2.4.2.4	Mesiodistaler und orovestibulärer zervikaler Wurzeldurchmesser	31
2.4.2.5	Composite measurements	31
2.5	Messverfahren für dentale Oberflächen	32
2.5.1	Eindimensionale Messverfahren	33

2.5.2	Zweidimensionale Messverfahren	34
2.5.3	Dreidimensionale Messverfahren	35
2.5.3.1	Mechanische Messverfahren	35
2.5.3.1.1	Profilmessverfahren	35
2.5.3.1.2	Koordinatenmessverfahren	36
2.5.3.2	Optische Messverfahren	36
2.5.3.2.1	Triangulationsverfahren	36
2.5.3.2.1.1	Punkt- und Liniensensoren	36
2.5.3.2.1.2	Flächensensoren	38
2.5.3.2.2	Parallelverfahren	40
2.5.3.2.3	Reflex Metrograph	43
2.5.4	Destruktive Messverfahren	44
3	Material und Methode	45
3.1	Zahnmaterial	45
3.2	Duplieren der Zähne	46
3.3	Gewinnung der Datensätze	47
3.3.1	Das Scansystem	47
3.3.2	Einstellen und Scannen der Zähne	48
3.3.3	Scannersoftware	48
3.4	Bearbeiten der Datensätze	49
3.4.1	Flächenrückführungsprogramm Geomagic	49
3.4.2	Vorbereiten der Zahncans	49
3.4.3	Gleichsinniges Ausrichten aller Zähne im dreidimensionalen Raum	52
3.5	Gemessene Dimensionen	55
3.6	Zahnvermessung	63
3.7	Strukturmerkmale der Krone	65
3.8	Statistische Auswertung	67

4	Ergebnisse	68
4.1	Odontometrie	68
4.1.1	Dimensionen der Zahnkrone	68
4.1.2	Dimensionen der Wurzel im zervikalen Bereich	77
4.1.3	Verhältnis der Kronendimensionen zu den Wurzeldimensionen	79
4.1.4	Interobserver und intraobserver error	82
4.2	Strukturmerkmale der Krone	86
5	Diskussion	91
5.1	Material und Methode	91
5.1.1	Zahnmaterial	91
5.1.2	Der Laserscanner	92
5.1.3	Scan- und Match-Software	93
5.1.4	Software Geomagic	94
5.1.5	Messfehler metrischer Dimensionen	94
5.1.5.1	Fehlerhafte Grundausrichtung	95
5.1.5.2	Interobserver und intraobserver error	97
5.1.5.3	Messfehler durch den Laserscanner und die Software Geomagic	98
5.2	Ergebnisse	98
5.2.1	Metrische Diameter	98
5.2.2	Strukturmerkmale	100
5.2.2.1	Foramen caecum	101
5.2.2.2	Ausprägung der Schneidekante	102
5.2.2.3	Palatinale Randleistenstruktur	103
5.2.2.4	Palatinaler Überhang	105

5.2.2.5	Marginosegmentale und mesio-labiale Grube	105
5.2.2.6	Mesiale proximale Grube	107
5.3	Frontzahnform	108
5.4	Abhängigkeit und Einfluss der Kronendimension auf die zervikale Wurzelmorphologie	111
5.5	Bedeutung der Wurzelmorphologie für die Implantologie	112
6	Zusammenfassung	114
7	Literaturverzeichnis	116
8	Abbildungsverzeichnis	125
9	Lebenslauf	127
10	Danksagungen	128

1 Einleitung

Funktion und Ästhetik sind wesentliche Aspekte in der Zahnmedizin und werden zu einem großen Teil durch die Morphologie und metrischen Dimensionen der Zähne bestimmt.

Zähne sind aufgrund ihrer chemischen Struktur, noch vor Knochen, das alterungsbeständigste Gewebe des menschlichen Körpers, wodurch sie zu unverzichtbaren Untersuchungsobjekten für Anthropologen, Archäologen und forensische Experten werden.

Schon der griechische Philosoph Aristoteles beschäftigte sich im vierten Jahrhundert v. Chr. bei seinen Studien zur Naturgeschichte mit der vergleichenden Anatomie der Zähne. Auch Leonardo da Vinci widmete sich bei seinen anatomischen Studien den Zähnen und ihren Erscheinungsformen. Das erste umfassende Werk der frühen Geschichte der Zahnanatomie war das *Libellus de Dentibus* (1563), verfasst von dem italienischen Anatom Bartolomeo Eustachi [19]. Im Jahr 1870 veröffentlicht der Salzburger Zahnarzt E. Mühlreiter [63] sein Buch „Anatomie des menschliche Gebisses“, das als Grundlage aller modernen Abhandlungen über die Anatomie von Zähnen dient. Seitdem ist die Morphologie der Zähne immer wieder und detaillierter beschrieben worden, und es konnten weitere Strukturmerkmale entdeckt werden [10, 12, 26, 83].

Die Vermessung der Zähne und die intensive Beschäftigung mit deren metrischen Dimensionen und Proportionen hat sich zu einem eigenen Zweig der Zahnanatomie entwickelt. Dieser Fachbereich wird in der Literatur mit dem Begriff Odontometrie beschrieben. Erste Vermessungen von Zahngrößen begannen im der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Odontometrische Daten dienen ver-

schiedenen Fachbereichen, wie der Anthropologie, der Rechtsmedizin und den unterschiedlichen Gebieten der Zahn-Mund- und Kieferheilkunde.

Technische Fortschritte machen es möglich, Zahnoberflächen präzise durch Laserscanner zu erfassen und die entstandenen virtuellen Modelle über moderne Software auszuwerten. Dadurch erhofft man sich sehr genaue und gut reproduzierbare Untersuchungen der Zahnmorphologie und der metrischen Dimensionen der Zähne durchführen zu können. Zudem sind die virtuell erstellten Daten für andere Untersucher einfach und jederzeit verfügbar und für weitergehende Fragestellungen auch nach längerer Zeit geeignet. Außerdem können Probleme in der Lagerung beseitigt werden, da das klassische Gipsmodell nicht mehr benötigt wird.

Ziel der Arbeit ist es die Anatomie des lateralen oberen Schneidezahnes bezüglich seiner Morphologie und seinen metrischen Dimensionen zu untersuchen. Dies wird mittels eines virtuellen, dreidimensionalen Modells, das durch ein Flächenrückführungsprogramm bearbeitet wird, durchgeführt.

Es erfolgt zunächst ein Überblick über die bestehende Literatur zur Morphologie und Odontometrie des lateralen oberen Schneidezahnes und die Möglichkeiten zur Oberflächenvermessung von Zähnen. Nach Darstellung der Ergebnisse, werden Vor- und Nachteile der Methode erörtert, verschiedene Aspekte dieser Arbeit diskutiert und in Zusammenhang mit der Literatur besprochen. Abschließend soll ein Ausblick über den praktischen Nutzen der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse gegeben werden.

2 Literaturübersicht

Es existiert eine Vielzahl an Untersuchungsverfahren zur Morphologie der Zähne. Prinzipiell ist es möglich diese Methoden in metrische und non-metrische Methoden zu unterteilen.

2.1 Form der Schneidezähne

Non-metrische Untersuchungen der Morphologie der Frontzähne beschreiben größenunabhängig die Struktur bzw. einzelne Merkmale der Zahnoberfläche und besitzen somit deskriptiven Charakter.

Die Schneidezähne sind einfache einwurzelige Zähne mit meißel- oder schaufelförmiger Krone. Als gemeinsames Merkmal besitzen sie eine Schneidekante, die bei Jugendlichen meist durch zwei Einsenkungen unterteilt ist. Mit der Zeit entsteht in der Gebrauchsperiode durch Abrasion und Attrition eine glatte Kaukante mit mehr oder weniger stark ausgeprägten Schliffacetten. Der obere mittlere Schneidezahn ist der größte, gefolgt von seinem lateralen Nachbarn. Die Inzisivi im Unterkiefer sind deutlich kleiner, wobei hier der laterale etwas größer ist als der mesiale.

Die Frontzähne besitzen drei charakteristische Merkmale [63]:

- Das Bogen- oder Krümmungsmerkmal, teilweise auch Massenmerkmal genannt, besagt, dass ein Zahn von inzisal betrachtet, einen an der mesialen Approximalfläche größeren Krümmungsradius aufweist als an der distalen. Die Zähne erscheinen mesial somit massiger.

- Das Wurzelmerkmal wird als konstantestes aller gemeinsamen Zahnmerkmale angesehen. Bei der Betrachtung von vestibulär erkennt man, dass die Wurzelachse von der Kronenachse nach distal abweicht. Zusätzlich verstärkt sich dieser Eindruck noch durch die häufig auftretende Krümmung an der Wurzelspitze.
- Das Winkelmerkmal bei der Frontzahnkrone besagt, dass der Winkel zwischen mesialer Approximalfläche und der Schneidekante spitzer ist als distal.

Ein weiteres Merkmal, das sich auf die Frontzähne anwenden lässt, ist der so genannte Profilwinkel. Die vestibuläre Fläche der Frontzahnkrone steht senkrecht, d.h. orthognath im Kiefer. Die Wurzel dagegen ist etwas nach hinten geneigt und nimmt somit eine prognathe Stellung ein. Der Winkel zwischen vestibulärer Kronenflächen und der Längsachse der Wurzel bildet den Profilwinkel nach Lenhossek [64, 38]. Beim ersten oberen Schneidezahn beträgt er nach Mühlreiter und De Jonge-Cohen [63, 39] etwa 16° bis 20° . Im Unterkiefer ist er bei den Frontzähnen viel kleiner oder aufgrund der orthognathen Stellung der Wurzel gänzlich aufgehoben.

2.2 Der obere seitliche Schneidezahn

Der laterale obere Schneidezahn gleicht in der Modellierung im Allgemeinen seinem mesialen Nachbarn. Hinsichtlich der Dimensionen ist er jedoch deutlich kleiner und variiert wesentlich häufiger in seiner morphologischen Ausprägung. Somit ist er, wenn man von dem dritten Molaren absieht, der Zahn mit den häufigsten Formvarianten. Auch sind bei diesem Zahn die häufigsten Nichtanlagen zu beobachten. Schumacher spricht in diesem Zusammenhang von einer

regressiven Tendenz [83, 84]. Nach Mühlreiter konvergieren die mesiale und distale Fläche stärker als beim mittleren Schneidezahn, ab halber Kronenhöhe nach inzisal. Folglich erfahren die Übergänge der Inzisalkante in die approximale Fläche eine Abrundung, wodurch sich eine Abnahme des Winkelmerkmals zeigt. Abweichend von dieser Grundform gibt es zahlreiche Abwandlungen, die sich nach Mühlreiter [63, 64] besonders in vier Hauptvarianten zeigen :

1. Die Form der Krone des lateralen Inzisivus ähnelt jener des mittleren Schneidezahnes, wobei die Dimensionen insgesamt etwas kleiner ausfallen.
2. Die Form gleicht der eines Eckzahnes. (Abb. 1: C)
3. Die Form zeigt eine seitliche Verbiegung in der Art, dass die untere Hälfte der Krone etwas schief zum mittleren Schneidezahn hingezogen erscheint (Abb. 1: A und B). An der mesialen Kontaktfläche befindet sich eine deutliche Einbuchtung, welche sich über den Randwulst nach palatinal fortsetzt. Der Randwulst erscheint somit geknickt. Die distale Approximalfläche verläuft dagegen stark gekrümmt nach inzisal. Die Kronenform kommt bei 30% der von Zuckerkandel [107] untersuchten Fälle vor.
4. Der sogenannte Zapfenzahn ist im Umfang von Krone und Wurzel sehr reduziert und stellt ein rundliches, spitz zulaufendes und formloses Rudiment dar (Abb. 1: D).

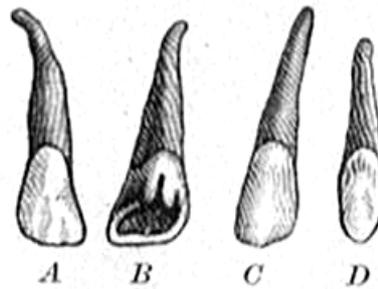


Abb. 1: Hauptvarianten des seitlichen oberen Schneidezahnes nach Mühlreiter

Nach der Vorstellung von Carlson gibt es grundsätzlich vier makroskopische Bausteine, die am Aufbau aller Zahnkronen beteiligt sind [15]. Hierzu gehören der Lobus, der Randleistenkomplex, das Cingulum-Derivat und die überzähligen Kronenstrukturen. Jede Zahnkrone stellt eine Kombination aus diesen Einzelmerkmalen dar, die in der Anzahl variieren, jedoch immer mindestens einen Lobus aufweisen. Im folgenden werden die morphologischen Bausteine nach der Definition von Carlson aufgeführt.

Terminologie zu morphologischen Strukturen nach Carlson:

Lobus (Höcker):

Ein konstantes morphologisches Merkmal, vestibulär, zentral oder oral angeordnet. Die Höckergröße kann variieren.

Criste:

Es handelt sich um eine Strukturkomponente, die zum Aufbau eines Lobus beiträgt. Ein Lobus besteht immer aus drei Segmenten; der zentral angeordneten essentiellen Criste und zwei approximal angeordneten akzessorischen Cristen. Eine Criste kann unterschiedlich groß sein.

Intersegmentalfurche:

Eine Furche, die zwischen zwei Cristen angeordnet ist. Die Tiefe der Furchen zeigt Modifikationen.

Höckerabhang:

Der vestibuläre oder orale Teil eines Lobus. Ein Lobus besitzt immer zwei Abhänge.

Inzisal-, Okklusalkante:

Kante, an der zwei Abhänge eines Lobus aufeinandertreffen. Eine Okklusalkante kommt bei Prämolaren und Molaren vor, während Schneide- und Eckzähne eine Inzisalkante besitzen.

Intersegmentale Einziehung:

Teil der Intersegmentalfurche, der die Schneidekante kreuzt.

Randtuberkel:

Inzisale Teil eines Segments, das mit einer klar erkennbaren, freistehenden Spitze ausgestattet ist.

Kamm, Leiste:

Der länglich, erhöhte Teil einer Criste. Ihre Erscheinungsformen zeigen Modifikationen zwischen kaum sichtbar bis deutlich ausgeprägt.

Randleistenkomplex:

Eine mesial oder distal angeordnete, inkonstante morphologische Erscheinungsform. Der Randleistenkomplex kann in seiner Größe variieren.

Randleiste:

Der inzisale Teil eines Randleistenkomplexes mit einer freistehenden, deutlich ausgebildeten Kante. Eine orale Randleiste der Frontzähne dehnt sich vom inzisalen Teil bis zum zervikalen Teil einer Krone aus. Das Volumen der Randleiste kann unterschiedlich ausgeprägt sein.

Cingulum-Derivat:

Ein inkonstantes morphologisches Erscheinungsmerkmal, vestibulär oder oral angeordnet. Die Derivate haben ihren Ursprung am basalen Cingulum. Ihre Größe kann variieren.

Basales Cingulum:

Eine rudimentäre Erscheinungsform, die zervikal und weiter vestibulär oder oral als der vestibuläre oder orale Lobus angeordnet ist. Das basale Cingulum kann verschieden groß sein.

Tuberkulumausläufer:

Ein Cingulum-Derivat, das oral auf einigen bestimmten Oberkieferfrontzähnen erscheint. Die Tuberkulumausläufer können in ihrer Größe variieren.

Margino-segmentale Furche:

Eine Grube zwischen einem Segment und einer Randleiste oder einem Randleistenkomplex.

2.2.1 Vestibuläre Fläche

Der faziale Abhang des einzigen Lobus gestaltet diese Fläche. Dieser besteht aus einer mittleren essentiellen und zwei akzessorischen Cristen, die ungefähr gleich groß sind. Die zwei intersegmentalen Furchen, welche die flachen und runden Cristen von einander trennen, beginnen inzisal und verlaufen sich zunehmend im zervikalen Bereich. Die Furchen sind gerade und parallel zueinander angeordnet. Da die margino-segmentalen Furchen meistens fehlen oder nur schwach ausgeprägt sind, bilden der Randleistenkomplex und die akzessorischen Cristen eine morphologische Einheit. Auf der fazialen Fläche gibt es kein Cingulum-Derivat und Cingulumfurchen sind sehr selten [15].

Allgemein kann gesagt werden, dass die Lippenfläche im Vergleich zum oberen mittleren Schneidezahn eine glattere Oberflächenstruktur aufweist und die Querwölbung deutlicher ausgeprägt ist [63].

2.2.2 Palatinale Fläche

Die palatinale Oberfläche erhält ihre Struktur durch die essentielle und die zwei akzessorischen Christen des Lobus, die zwei Randleisten und das basale Cingulum (Abb. 2). Die Cristen sind annähernd gleich groß und mit kaum sichtbaren Wülsten versehen, die bisweilen nur im inzisalen Bereich deutlich ausgebildet sind. Die zwei intersegmentalen Furchen sind nur oberflächlich und niemals fissurenartig. Sie verlaufen gerade und parallel von inzisal zum Cingulum basale. Die margino-segmentalen Furchen sind oft deutlich ausgeprägt und teilweise fissurenartig. Die Randleisten variieren in ihrer Größe, sind im allgemeinen aber gut ausgebildet. In diesem Fall spricht man von einer „schaufelförmigen“ Krone [15, 26]. Diese Formvariante, die erstmals von Hrdlicka 1920 beschrieben wurde, wird im Englischen als „shoveling“ bezeichnet [33].

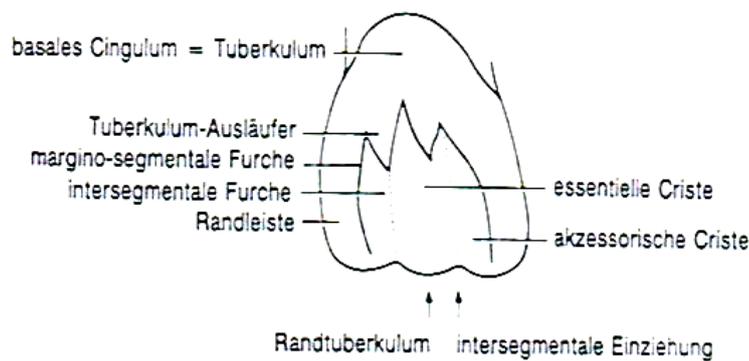
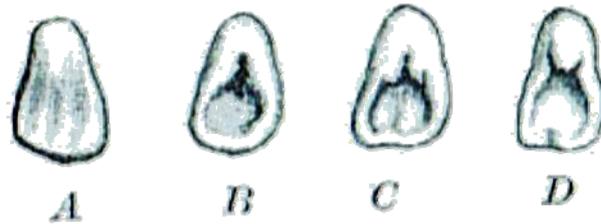


Abb. 2: Palatinale Strukturen der oberen Frontzähne

Auch Mühlreiter beschreibt beim seitlichen oberen Schneidezahn deutlich entwickelte Randleisten, die meist eine stark ausgehöhlte Fläche ohne deutliche Modellierung zwischen sich einschließen. Entweder gehen die Randleisten ohne Unterbrechung in das Tuberkulum über, oder sie werden durch eine Spalte voneinander getrennt (Abb. 3, B). Die Entwicklung zweier Sprossen, die aus dem Tuberkulum entspringen (Abb. 3, C), oder ein kräftig entwickeltes Tuberkulum, das durch zwei Spalten von den Randleisten getrennt ist (Abb. 3, D), findet man selten. Auch kann die palatinale Fläche flach und ohne Aushöhlung sein (Abb. 3, A), bei der die Längsleisten und Längsfurchen nur schwach angedeutet sind [63].

Betrachtet man die Kontur der palatinalen Fläche von approximal, so befindet sich der prominenteste Punkt zervikal. Der Grad der Prominenz ist meist groß, kann jedoch auch deutlich variieren. Die Krümmung der Umrissform verläuft aus dieser Perspektive in Längsrichtung konvex-konkav-konvex. Inzisal des Cingulum basale bildet sich bei einigen Zähnen eine deutliche Konkavität, die mit der Konvexität auf der Fazialfläche harmonisiert. Somit erscheint die Krone gekrümmt.

In mesio-distaler Richtung ist der zervikale Bereich konvex, mit der größten Prominenz im distalen Bereich [15].



*Abb. 3: Ausprägung des Tuberkulums und der Randleisten
nach Mühlreiter*

Ein Foramen caecum, ein blind endendes Grübchen, kann im Bereich der Krone bei allen Zähnen des bleibenden Gebisses vorkommen. Die häufigste Lokalisation dieses Merkmals ist die palatinale Fläche des seitlichen oberen Schneidezahnes, an der Stelle, an der die Randleisten das Tuberkulum treffen. Das Foramen caecum stülpt sich in das Dentin und ist mit einer dünnen Schmelzschicht ausgekleidet. An Querschnitten (Abb. 4) konnte gezeigt werden, dass es meist nach kurzem Verlauf endet, sich teilweise aber zu einem Kanal entwickelt, der weiter in die Tiefe des Dentins vordringt. Dort kann er sein Volumen vergrößern, sodass ein Hohlraum entsteht. Das Foramen caecum ist unter klinischen Gesichtspunkten von besonderer Relevanz, da dies eine Kariesprädeliktionsstelle darstellt. Die Häufigkeit eines Foramen caecums des oberen seitlichen Schneidezahnes wird mit 3 % angegeben [38, 63].



Abb. 4: Das Foramen caecum

Mühlreiter beschreibt als eine Besonderheit des oberen seitlichen Schneidezahnes die Entwicklung einer zentralen Leiste zu einem akzessorischen Höcker auf der palatinalen Fläche. Dieser Höcker wird an der distalen Fläche durch eine tiefe, bis in die Wurzel reichende palatogingivale Furche vom restlichen Zahn abgetrennt (Abb. 5). Es entsteht der Eindruck, es sei zu einer Verschmelzung mit einem zusätzlichen Zapfenzahn gekommen. Selten findet man die Furchung auf der mesialen Fläche oder sogar auf beiden [15]. In einer Studie an über 3000 Frontzähnen konnten bei 5,6 % der lateralen Schneidezähne eine palatogingivale Furche festgestellt werden [44, 47], wobei hellhäutige Menschen stärker betroffen sind als dunkelhäutige [103].

Carlson bezeichnet diese Struktur als Kronen-Wurzel-Furche. Diese kommt, seinen Beobachtungen zufolge, jedoch vermehrt mesial vor und verläuft anschließend, nachdem sie sich über die proximale Fläche hinweggesetzt hat, auf der Wurzel Richtung Apex [15].

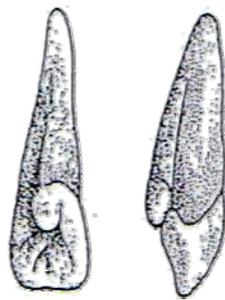
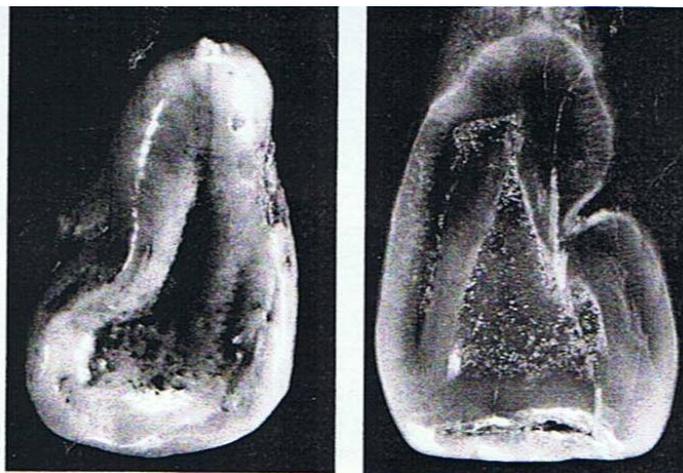


Abb. 5: Palatogingivale Furche

2.2.3 Approximale Fläche

Die Approximalfläche besitzt mesial und distal eine annähernd dreieckige Form, deren Spitze die Schneidekante und deren Basis eine nach apikal konkave Schmelz-Zement-Grenze bildet. Die Approximalflächen sind sowohl in horizontaler als auch vertikaler Richtung konvex gewölbt und haben ihren prominentesten Punkt, der auch den Approximalkontakt bildet, im Bereich des mittleren und inzisalen Drittels [48].

Im Allgemeinen besitzt diese Fläche keine oberflächengestaltende Merkmale und ist homogen gekrümmt. Gelegentlich tritt aber auf der mesialen Fläche eine gruben-, bis fissurenartige Struktur (Abb.6) auf, die sich von der Mitte der mesialen Randleiste bis zum medio-zervikalen Bereich ausdehnt [15]. Diese Einziehung kann sich manchmal „dicht an der Schmelz-Zement-Grenze in die umgebende Struktur einfügen und sich bis zur Mitte der mesialen Fazialfläche erstrecken“ [15]. Gelegentlich durchkreuzt diese Einziehung die Schmelz-Zement-Grenze und setzt sich dann in apikaler oder fazialer Richtung auf dem Wurzelkomplex fort .



*Abb.6: Grubenartige (links) bzw. fissurenartige (rechts)
konkave Struktur im Bereich der Randleiste*

2.2.4 Schneidekante

Die Schneidekante liegt in Bezug zur inziso-apikalen Zahnachse leicht fazial. Eine Abweichung nach palatinal oder weit nach fazial ist auch möglich. Zwei bisweilen fissurenartige intersegmentale Einziehungen trennen drei Randtuberkel voneinander ab. Das jeweils mesial gelegene Randtuberkel ist meist etwas größer als das distale, besonders beim seitlichen oberen Schneidezahn kann aber ebenso das mittlere Tuberkulum am größten sein. Ist eine margino-segmentale Einziehungen vorhanden, so finden sich auf der Schneidekante vier Randtuberkel. Kommen zwei margino-segmentale Einziehungen vor, so erhöht sich die Zahl der Randtuberkel auf fünf. Die an die margino-segmentale Einziehung angrenzenden Randtuberkel gehören dann morphologisch gesehen zum Randleistenkomplex [15]. Betrachtet man die Inzisalkante von der Fazialfläche, so neigt sich diese von mesial nach distal in zervikaler Richtung. Der distale Übergang in die Approximalfläche ist abgerundeter als der mesiale, wodurch sich das Winkelmerkmal stärker ausprägt. Aus der inzisalen Perspektive, liegt die Inzisalkante ungefähr parallel zu mesio-distalen Kronenachse.

2.2.5 Schmelz-Zement-Grenze

Die Schmelz-Zement-Grenze trennt die morphologische Einheit der Krone von der Wurzel ab. Sie wird auch als Zahnhals bezeichnet und definiert die Grenze der anatomischen Krone. Ihr Verlauf ist vestibulär und palatinal konvex, mesial und distal konvex-konkav-konvex, wobei die Beschreibung der Krümmung vom Wurzelkomplex aus gesehen erfolgt [15]. Die Schmelz-Zement-Grenze kann dabei auf jeder Fläche einen symmetrischen oder asymmetrischen Verlauf haben.

Zumeist treffen sich der Kronenschmelz und der Wurzelzement genau an der Schmelz-Zement-Grenze. Es kommt aber auch vor, dass der Zement den Schmelz überlappt. In seltenen Fällen treffen sich Zement und Schmelz nicht und das darunter liegende Dentin liegt frei [83, 84].

2.2.6 Strukturmerkmale

Strukturmerkmale sind nichtmetrische anatomische Ausprägungen auf der Freiformoberfläche eines Zahnes. Sie werden als nichtmetrisch bezeichnet, da sie aufgrund ihrer komplexen dreidimensionalen Morphologie, nicht wie z.B. die Zahnlänge odontometrisch vermessen werden können. Besonderes Interesse zeigen die Anthropologen und Archäologen, da Zähne das mit Abstand alterungsbeständigste Gewebe des Körpers sind. Indem sie Zahnformen klassifizieren, ist es ihnen möglich Informationen über Herkunft, Verhältnisse und biologische Veränderungen einzelner Menschen und ganzer Völker zu gewinnen. Für das gesamte Gebiss wurden über 100 verschiedene Merkmalsgruppen beschrieben, von denen ca. 40 standardisiert wurden, wobei das Hauptaugenmerk auf den Molaren liegt. Da eine Vermessung nicht möglich ist, erfolgt die Einteilung durch eine Orientierung anhand von Musterformen aus Gips [26]. Das Arizona State University Dental Anthropology System umfasst 35 nichtmetrische Merkmale [85]. Für die Frontzähne (Schneide- und Eckzähne) sind acht Kronenmerkmale beschrieben. Davon wurden oben bereits die Kronen-Wurzel-Furche, das shoveling und die verschiedenen Ausprägungen des lateralen oberen Schneidezahnes nach Mühlreiter genannt. Die übrigen Varianten sind das Tubekulum dentale, die Flügelstellung (kein Strukturmerkmal im klassischen Sinne, sondern ein Stellungsmerkmal), die mesiale Eckzahnleiste, der distale akzessorische Eckzahngrad und das double-shoveling. Jüngst wurden weitere Merkmale beschrieben. Zu nennen sind eine ausgeprägte inzisale Leiste mit einer nach palatinal hängenden Mittelspitze (S.

105, Abb. 65) und eine mesio-labiale Grube (S.106, Abb. 67) an dem oberen seitlichen Schneidezahn [26]. Weiterhin eine marginosegmentale Grube (S. 106, Abb. 66) und eine marginosegmentale Furche (S.102, Abb. 64), die am mittleren und lateralen oberen Inzisivus beobachtet werden können.

2.3 Zahnform unter verschiedenen Aspekten

2.3.1 Psychische und physischen Konstitution

White und Flagg [99] beschreiben erstmals einen Zusammenhang zwischen den individuellen Gegebenheiten eines Patienten und dessen Zahnform. Ihren Beobachtungen zufolge, gleicht die Form der Zähne dem Temperament eines Individuums. Gemessen an der psychischen Grundveranlagung, ordnen White und Flagg eine Person dem rein cholerischen, melancholischen oder sanguinistischen Typ zu und folgern daraus die entsprechende Zahnform (Abb. 7).

Es gilt jedoch als erwiesen, dass eine solche Klassifizierung subjektiv ist und dies eine Zuordnung zu einem bestimmten Temperament unmöglich macht. Ferner sind bei den von White und Flagg skizzierten Zahnformen nur geringfügige Unterschiede zu erkennen.

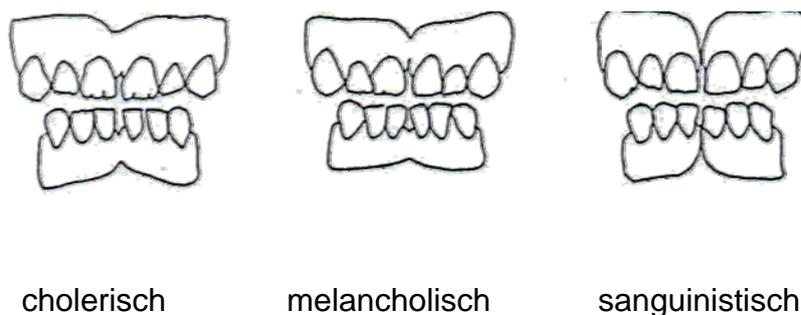


Abb.7: Zahnform nach White und Flagg

Hörauf sieht eine gesetzmäßige Verbindung zwischen der Form der Frontzähne und dem physischen Konstitutionstyp eines Menschen [31, 32]. Dabei bedient er sich der Typeneinteilung nach Kretschmer [49]:

- a) Der leptosome Typ ist groß gewachsen, leichtgewichtig, muskelschwach und im Erscheinungsbild schmal. Das Gesicht sei schmal mit einer verkürzten Eiform. Längliche, rechteckige oder leicht verjüngte Zähne sollen ihm zueigen sein.
- b) Der muskuläre Athletiker besitzt quadratische, wuchtige Zähne.
- c) Pykniker werden als rundwüchsig mit kurzem breitem Hals, runden Schädel und eher kurzen Armen und Beinen beschrieben. Zähne mit mesialen und distalen Rundungen oder mit dreieckiger Form treffen in diesen Fällen zu.

In mehreren statistischen Untersuchungen konnte eine gesetzmäßige Beziehung zwischen der Zahnform und dem Konstitutionstyp nicht bestätigt werden [25, 28, 29, 93].

2.3.2 Gesichtsform und Zahnform

1914 teilt Williams [101] die Schneidezähne in drei Grundformen ein (Abb. 8):

- a) Klasse I ist charakterisiert durch parallele oder nahezu parallele Linien, ausgehend von der halben Länge der Approximalflächen zur Inzisalkante hin.
- b) „In Klasse II konvergieren Linien so deutlich, dass sie sich meistens an einem Punkt nahe des Wurzelendes treffen würden. Diese konvergierenden Linien sind nahezu gerade. Aber gewöhnlich gibt es eine leichte Konvexität der distalen Approximalfläche“ [89].

- c) „Klasse III, die ich als die schönste Form menschlicher Zähne betrachte, ist charakterisiert durch eine zarte doppelgekrümmte Linie an der distalen Approximalfläche und manchmal, jedoch weniger häufig, an der mesialen Fläche. Alle diese Flächen und Winkel der Zähne dieser Klasse sind runder und anmutiger als in einer der beiden anderen Klassen“ [101].

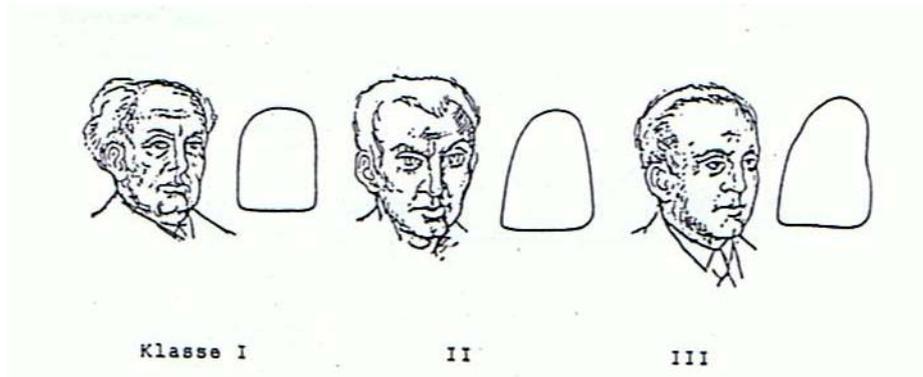
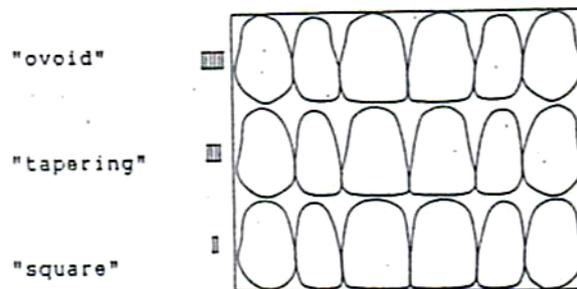


Abb.8: Zahnform nach Williams

Nach dem Gesetz der Linienopposition entwickelt Williams aus der umgekehrten Gesichtsform jeweils die entsprechende Zahnform :

- a) Das quadratische Breitgesicht mit spitz zulaufendem Kieferbogen:
Rechteckzahn mit genügend Platz
- b) Für das Dreiecksgesicht mit spitz zulaufendem Kieferbogen:
Engstehende Dreieckszähne
- c) Ovale Gesicht mit ausgeglichenen ovalen Zahnbögen:
Ovale Zähne

Man nennt diese Formen quadratisch (square), dreieckig (tapering) und oval (ovoid) (Abb. 9).



*Abb. 9: Ovale, dreieckige und quadratische Zahnformen
nach Williams*

Diese von William 1914 entwickelten Grundformen dienen noch heute als Anhaltspunkt bei der Herstellung von Prothesenzähnen [101]. Somit kann der Zahnarzt anhand eines Kataloges die individuelle Zahngarnitur passend für den Patienten auswählen.

Auch wenn dieses Verfahren im zahnärztlichen Alltag Anwendung findet, so konnte in den meisten statistischen Auswertungen kein Zusammenhang zwischen der Zahnform und der Gesichtsform gesehen werden [25, 31].

2.3.3 Kieferkammverlauf und Zahnform

Modrach [61] übernimmt von Williams die drei bekannten Grundformen und ordnet sie dem Kammverlauf des zahnlosen Kiefers zu (Abb. 10).

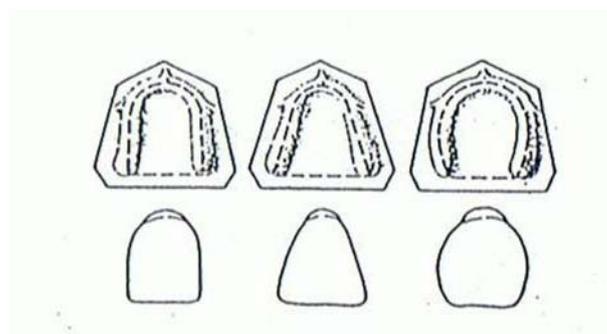


Abb. 10: Zahnform und Kieferkammverlauf nach Modrach

Untersuchungen konnten auch hier die Gültigkeit der Theorie nicht untermauern [28, 29]. Umgekehrt ist es in der Kieferorthopädie nicht üblich den Zahnbogen nach der Zahnform auszubilden. Vielmehr muss dort eine Symmetrie und Harmonie unter Beachtung der Frontzahnbreite und des Platzangebotes der Kieferbasen angestrebt werden.

2.4 Odontometrie

Die Odontometrie hat sich als eigenes Fachgebiet aus der Zahnanatomie entwickelt und beschäftigt sich ausschließlich mit den metrischen Dimensionen der Zähne. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ist es Mühlreiter, der als erster genaue anatomische Studien an Zähnen unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten durchführt. Indem er die Zähne nicht nur deskriptiv analysiert, sondern auch vermisst, kann er als der Gründer der Odontometrie angesehen werden. Viele Wissenschaftler sind dem Vorbild Mühlreiters gefolgt und haben sich mit den Dimensionen und Proportionen der Zähne auseinandergesetzt [36, 39, 43, 45, 46, 55, 64, 67, 76, 107].

Ein Vergleich der Ergebnisse einzelner Autoren ist dabei kritisch zu betrachten, da den Untersuchungen unterschiedliches Probandengut und ungleiche Messmethoden zugrunde liegen. Weiterhin fehlen oft wichtige Angaben über die Anzahl und den Zustand der Zähne. Auch das Geschlecht, das Alter und die Nationalität der Individuen, von denen die Zähne stammen ist nur bedingt nachzuziehen.

Die Odontometrie liefert Informationen, die für viele Fachrichtungen von Interesse sind. Zu nennen sind die Kieferorthopädie, Archäologie, Anthropologie, Forensik und die verschiedenen Fachbereiche der Mund-, Kiefer- und Zahnheilkunde.

2.4.1 Terminologie der Zahndimensionen

In Bezug auf eine eindeutige Terminologie herrscht besonders im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch Unstimmigkeit. Den bukkolingualen Durchmesser bezeichnet Miyabara [60] als “thickness“, Nelson [65] als “diameter“, Semer-Olsen [87], Schamschula [79], Barnes [4] als “breath” und van Reenen [70] als “length”. Die mesiodistale Messung dagegen bezeichnet Miyabara [60] und Seipel [86] als “width”, Selmer-Olsen [87] und Oliver [66] als “breath”, Hrdlicka [33], Hunter & Priest [35], van Reenen [70] und Schamschula [79] als “length”.

Im deutschsprachigen Raum ist die Terminologie eindeutig. Der bukkolinguale Durchmesser wird als “Dicke” bezeichnet, der mesiodistale als “Breite” und die inzisoapikale Ausdehnung beschreibt die „Länge“ eines Zahnes. Es hat sich in der aktuellen internationalen Literatur durchgesetzt, nur noch von bukkolingualen, mesiodistalen und inzisoapikalen Strecken zu sprechen [45].

2.4.2 Referenzpunkte und Definition der Messtrecke

Sollen Zähne vermessen werden, so ist es zunächst wichtig, die Referenzpunkte bzw. die zu vermessende Strecke und das technische Vorgehen eindeutig zu definieren. Dies soll reproduzierbare Ergebnisse gewährleisten. Die folgenden Angaben beziehen sich auf die klassische Messung mit Schieblehre.

2.4.2.1 Mesiodistaler und orovestibulärer Kronendurchmesser

Nach Mühlreiter wird der größte mesiodistale Kronendurchmesser als Distanz zwischen den Kontaktpunkten gemessen, ausgehend von der bukkalen Zahnoberfläche. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die Strecke zwischen den Kontaktpunkten nicht immer dem größten mesiodistalen Durchmesser ent-

spricht. Selmer-Olsen [87] hielt sich an die Empfehlungen Mühlreiters, mit der Ausnahme, diese Strecke nicht zwangsläufig von der bukkalen Fläche abzugreifen.

Nelson [65] gilt als der erste Wissenschaftler, der für Front- und Seitenzähne unterschiedliche Messtechniken vorschlug. Als mesiodistaler Durchmesser bei Schneidezähnen und Eckzähnen, soll demnach der größte Wert entlang der Schneidekante angenommen werden. Bei Prämolaren und Molaren empfiehlt er hierzu die Strecke zwischen den Kontaktpunkten, gemessen parallel zur medianen mesiodistalen Kronenachse. Den labiolingualen Diameter erhielt man dann im rechten Winkel zur mesiodistalen und senkrecht zur vertikalen medianen Kronenachse.

Als eine weitere Definition für einen mesiodistalen Kronendurchmesser, gibt Lavelle [51] die minimale Distanz zwischen den Approximalkontakten an, die parallel zur okklusalen/ inzisalen Fläche gemessen wird.

Die von Moorrees [62] vorgeschlagene Technik zur Bestimmung des mesiodistalen und orovestibulären Kronendiameter findet heute am meisten Verwendung. Der mesiodistale Diameter ist dabei der größte Abstand zwischen den Approximalflächen, der parallel zu den okklusalen/ inzisalen und vestibulären Zahnoberflächen gemessen wird. Der vestibuloorale Diameter wird definiert als größte Strecke zwischen vestibulärer und oraler Zahnoberfläche, die sich in einer senkrechten Ebene zur mesiodistalen Dimension befindet [45, 69].

In eindeutiger Abweichung zu den bisher beschriebenen Methoden, zeigt sich die Vorgehensweise von Schamschula et al. [79]. Sie schlugen vor, zunächst den orovestibulären Diameter zu bestimmen, wobei die Messarme der Schieblehre parallel zur Zahnachse geführt werden. Erst anschließend soll der mesiodistale Wert gemessen werden, im rechten Winkel zur orovestibulären Messung.

2.4.2.2 Kronenhöhe

Abhängig von dem Vorhandensein einer Gingiva, die den zervikalen Anteil eines Zahnes bedeckt, unterscheidet man eine klinische (sichtbare) Kronenhöhe und eine anatomische Kronenhöhe.

Die anatomische Kronenhöhe (Abb. 12) ist die Strecke zwischen dem am weitesten inzisal gelegenen Punkt und dem tiefsten Punkt auf der Schmelz-Zement-Grenze [9, 15]. Die klinische Kronenhöhe (Abb. 11) ist die Strecke zwischen dem am weitesten inzisal gelegenen Punkt und dem tiefsten Punkt des zervikalen Gingivaverlaufes [9, 15]. Die Messung erfolgt jeweils parallel zur Kronenachse.



Abb. 11: Klinische Kronenhöhe

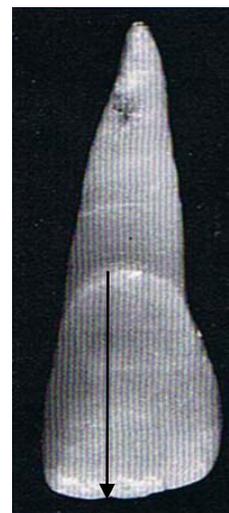


Abb. 12: anatomische
Kronenhöhe

Carlson unterscheidet zusätzlich zwischen der vestibulären und der palatinalen anatomischen Kronenhöhe (Abb. 13), da die Schmelz-Zement-Grenze auf diesen beiden Flächen meist auf unterschiedlicher Höhe verläuft. Er nennt das Verhältnis dieser beiden Strecken die „Relative Höhe“ [15].

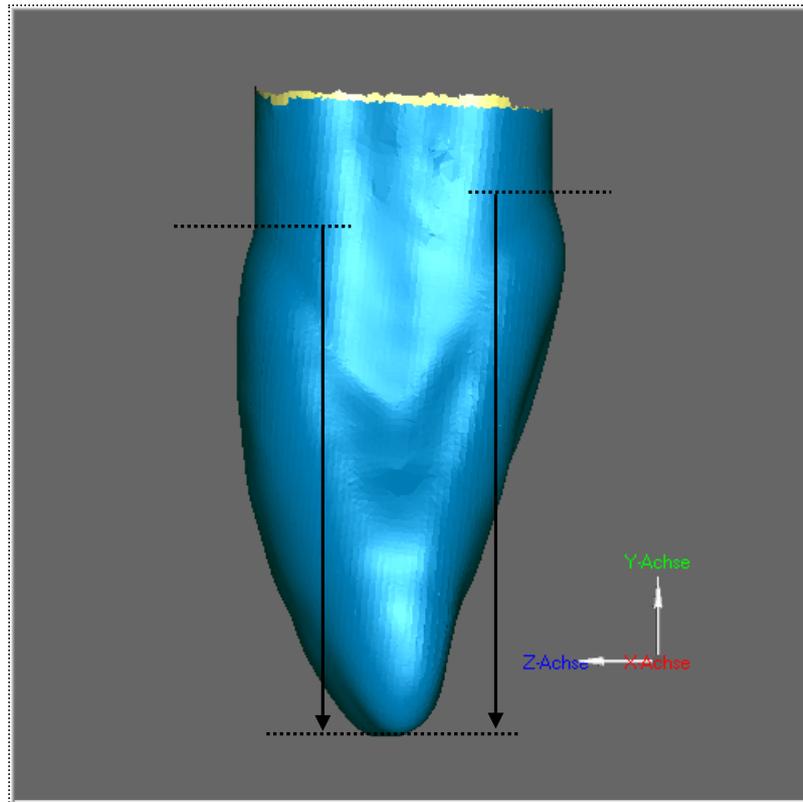


Abb. 13: Die vestibuläre Kronenhöhe ist geringer als die palatinale

2.4.2.3 Messungen in Zusammenhang mit der Schmelz-Zement-Grenze

Die Schmelz-Zement-Grenze stellt eine Linie dar, die bei allen Zähnen nicht geradlinig, sondern girlandenförmig verläuft. Sie zieht oral und vestibulär am weitesten nach apikal. Der Verlauf ist bei jedem Zahntyp unterschiedlich, jedoch lässt sich feststellen, dass die Höhendifferenz zwischen approximaler und oraler bzw. vestibuläre Fläche kleiner wird, je weiter distal sich ein Zahn im Zahnbogen befindet.

Carlson definiert in Bezug auf den Verlauf der Schmelzlinie den „Konturanteil“. Dieser beschreibt die Ausdehnung der Krümmung der Schmelz-Zement-Grenze auf den approximalen Flächen in Bezug zu der größten zervikoinzisalen

Ausdehnung der Krone. Tendiert die Krümmung der Schmelzlinie in inzisale Richtung, so ist der Konturanteil positiv. Er kann aber auch null oder negativ sein, wie dies auf der distalen Fläche derjenigen Zähne oft der Fall ist, die sich weiter hinten im Zahnbogen befinden. Innerhalb eines jeden Zahnes ist gewöhnlich der Konturanteil mesial größer als distal. Somit zieht die Schmelz-Zement-Grenze mesial weiter nach inzisal als distal. Beim seitlichen oberen Schneidezahn beträgt der Konturanteil im Durchschnitt mesial $\frac{1}{3}$ und distal $\frac{1}{4}$ [15].

2.4.2.4 Mesiodistaler und orovestibulärer zervikaler Wurzeldurchmessers

Diese Messungen beschreiben die Durchmesser der Wurzel im Bereich des Zahnhalses. Im Gegensatz zu den bisher erwähnten Messungen, stellen diese Diameter eine selten untersuchte Größe dar. Eine Definition der Messung konnte in der Literatur nicht gefunden werden.

2.4.2.5 Composite measurements

In der Literatur finden sich weitere Messungen, die als sog. “composite measurements” bezeichnet werden. Man erhält diese, durch Einsetzen gemessener Werte anstelle einer Variablen in eine mathematische Gleichung. Man erhofft sich mit den so gewonnenen Ergebnissen ein große Menge an Zahnmaterial von geographisch getrennten Gruppen untersuchen und vergleichen zu können [45].

Einige Wissenschaftler empfehlen die Berechnung von Kronenflächen, indem sie beispielsweise zur Ermittlung des Querschnittes (senkrecht zur Kronenachse), den mesiodistalen Diameter mit dem orovestibulären Diameter multiplizieren. Dabei stößt diese Methode auf Kritik, da die Berechnung nur sinnvoll ist, wenn die Schnittfläche eine Geometrie aufweist, bei der die

Außenseiten einen rechten Winkel zueinander bilden. Diesem Vorwurf widerspricht Jacobson [36], indem er behauptet die Kronenfläche passe exakt in das errechnete Rechteck, wenn man annehmen würde, dass ein Zahn elastisch wäre. Außerdem sei dies eine effektive Methode zum Vergleich von Zähnen, bei vielen wissenschaftlichen Fragestellungen [36, 62].

Shaw [88] und Robinson [73] definieren das sog. "Crown modul" als folgende Gleichung:

$$y = (a+b):2$$

$$a = MD; b = BL; y = \text{Crown modul}$$

Als eine Möglichkeit die Kronenform sehr grob wiederzugeben, gibt Tobias [95] den "crown shape index" an:

$$100 BL / MD$$

Weitere "composite measurements", die von unterschiedlicher Seite vorgeschlagen wurden, sollen hier keine weitere Erwähnung finden, da diese meist eine sehr spezifische Fragestellung bedienen, die in dieser Arbeit nicht von Interesse ist.

2.5 Messverfahren für dentale Oberflächen

In allen Fachbereichen, die sich mit der Odontometrie beschäftigen, hat man ein Interesse daran, Zähne möglichst genau, aber auch zeitsparend und somit effi-

zient zu vermessen. Mit unterschiedlichen Ansätzen wurden immer neue Methoden entwickelt um diesem Ziel gerecht zu werden. Die Verfahren reichen von der Ermittlung des Zahndurchmessers bis hin zur Messung von Strecken und Winkeln, die durch morphologisch interessante Punkte auf der Zahnkrone gebildet werden. Odontometrische Analysen können in ein-, zwei- und dreidimensionale Verfahren eingeteilt werden.

2.5.1 Eindimensionale Messverfahren

Ein großer Teil der Arbeiten über die Anatomie der Zähne beschäftigt sich mit reinen Größenvermessungen.

Die klassische Vermessung der Zähne erfolgt mit Hilfe von Stechzirkel, Lineal und Schieblehre. Während das Lineal selbst zu ungenau ist, hat sich die Kombination von Stechzirkel und Lineal bewährt. Die Strecke wird mit dem Stechzirkel abgegriffen und anschließend auf das Lineal übertragen und abgelesen. Als Mittel der Wahl hat sich jedoch die Vorgehensweise mit der Schieblehre etabliert. Diese ist einfach in der Handhabung und liefert schnelle und genaue Ergebnisse [11, 22, 35, 37, 45, 72,77, 80, 102].

In der Kieferorthopädie wird zur Vermessung der Zahnbreiten unter anderem eine skalierte transparente Kunststoffplatte verwendet. Zu beachten ist hierbei, dass je nach Betrachtungswinkel, Parallaxefehler auftreten können, die abhängig sind vom Abstand des Messobjektes und der Plattenstärke. Bei technischen Geräten, die Messinformationen über eine Nadel anzeigen, hilft ein am Boden angebrachter Spiegel, Ablesefehler zu vermeiden. Das Spiegelbild der Nadel und die Nadel selbst müssen erst in Deckung gebracht werden, bevor ein korrektes Ablesen möglich ist. Entsprechend dieser Technik, entwickelte Schmuth [81] zur Vermeidung von Parallaxenfehlern eine Messplatte, welche

auf beiden Seiten eingravierte Gitternetzlinien besitzt, die bei der Vermessung ebenfalls erst zur Deckung gebracht werden müssen.

2.5.2 Zweidimensionale Messverfahren

Bei der Vermessung von Zahnmodellen vermutete man ein hohes Potential an Fehlern, bedingt durch die Schwierigkeit, Referenzpunkte an Freiformen festzulegen. Somit lag die Überlegung nahe, das entsprechende Objekt in ein zweidimensionales Medium zu überführen und erst dann zu vermessen [102]. Yen erstellte Photokopien von Zahnmodellen, die er am Computer bearbeitete [105]. Champagne, Schirmer und Wiltshire [16, 80, 102] untersuchten dieses Verfahren und kamen zu dem Ergebnis, dass anhand von digitalisierten Photokopien keine genauen Längenmessungen durchgeführt werden können. Alternativ wurden auch Messungen an Photographien und Röntgenaufnahmen vorgenommen, wobei auch hier der Verlust der dritten Dimension einen Anstieg der Messfehler zeigte.

In der Kieferorthopädie werden Mikroskope zur metrischen Analyse von Kiefermodellen angewandt. Am bekanntesten ist das von Van der Linden verwendete Messmikroskop Optokom [52]. Es handelt sich hierbei um ein Monookular mit einer zehnfachen Vergrößerung und einem Tiefenschärfebereich von 5 mm. Da die Verschiebung des Modells auf dem Tisch lediglich in x-, y-Richtung erfolgt, können Daten nur in zwei Dimensionen erfasst werden. Dies hat zu Folge, dass alle Messpunkte bei Betrachtung durch das Monookular scheinbar in einer Ebene liegen und sich somit zwangsläufig Fehler ergeben. Eine Erfassung der dritten Dimension wäre nur mit einem erweiterten apparativen Aufwand möglich. Das System ist preiswert und einfach in der Handhabung, ermüdet den Anwender jedoch schnell.

2.5.3 Dreidimensionale Messverfahren

Zahnoberflächen sind Objekte, die sich durch eine komplexe dreidimensionale Struktur auszeichnen. Damit Analysemethoden dieser Komplexität gerecht werden, müssen sie über das ein- oder zweidimensionale Niveau hinausgehen. Solche dreidimensionalen Methoden sind im Folgenden beschrieben.

2.5.3.1 Mechanische Messverfahren

Bei den mechanischen Messverfahren unterscheidet man einerseits das Profilmessverfahren und andererseits das Koordinatenmessverfahren, die beide unter die Gruppe der Punktsensoren fallen.

2.5.3.1.1 Profilmessverfahren

Eine Tastnadel wird bei dem Profilmessverfahren unter ständigem Kontakt über die Oberfläche geführt oder umgekehrt das Objekt zur Nadel verfahren. Die resultierenden Höhenauslenkungen werden registriert und ergeben ein Profilschnitt von dem Objekt. Durch zusammenfügen der einzelnen parallelen Messungen können dreidimensionale Oberflächen rekonstruiert werden. Die Genauigkeit dieses Verfahrens wird mit ca. 1 μm angegeben (z.B. Perthometer, Perthen-Mahr, Marburg) und ermöglicht somit eine Vermessung von Oberflächen mit sehr geringen Höhendifferenzen. Von Bedeutung ist die Form des Tastkopfes, die bei kugelförmiger Gestalt und zunehmendem Durchmesser negativen Einfluss auf die Messergebnisse hat. Besonders an steilen Flanken entstehen Fehler, da sich die Lage des Kontaktpunktes ändert [30]. Durch ein aufwendiges nachträgliches Verfahren, bei dem die lokale Steigung ermittelt wird, ist eine Korrektur möglich. Alternativ dazu kommen Taster mit feinen Spitzen zum Einsatz, die jedoch einen erhöhten Auflagedruck zur Folge haben

und somit das Objekt schädigen können [68]. Eine Vermessung von weichen Objekten ist deshalb nicht möglich. Allgemein stellt sich als Nachteil dar, dass der Höhenmessbereich gering ist und Oberflächen mit Spalten und Unterschnitten nicht erfasst werden.

2.5.3.1.2 Koordinatenmessverfahren

Bei dem Koordinatenmessverfahren wird jeder Punkt mit einer Tastnadel einzeln angefahren und die Position gespeichert. Dies bietet den Vorteil, dass bei einem gleichzeitig hohen Messbereich auch bedingt Bereiche mit Unterschnitten vermessen werden können. Bezüglich der Gestalt und des Durchmessers der Messspitze bestehen die gleichen Probleme wie beim Profilmessverfahren. Von Nachteil ist die im Vergleich zum Profilmessverfahren erheblich längere Messzeit. Die Genauigkeiten werden mit $3\ \mu\text{m}$ angegeben [100].

2.5.3.2 Optische Messverfahren

Optische Messsysteme sind berührungslose Verfahren, die man in Triangulationsverfahren und Parallelverfahren einteilen kann.

2.5.3.2.1 Triangulationsverfahren

2.5.3.2.1.1 Punkt- und Liniensensoren

Bei dem Triangulationsverfahren (Abb. 14) wird Licht punktförmig auf das zu vermessende Objekt projiziert und von einem lichtempfindlichen Sensor registriert. Dabei befinden sich die Lichtquelle, das Objekt und der Sensor in einem bestimmten Winkel zueinander, dem sog. Triangulationswinkel. Durch

die Dreiecksanordnung resultiert ein Höhenunterschied auf dem Objekt in einem seitlichen Versatz des Lichtpunktes auf dem Sensor. Wird das System kalibriert, lässt sich daraus das Höhenprofil zurückrechnen. Ähnlich wie bei dem mechanischem Profilmessverfahren wird entweder das Objekt oder die optische Einheit in x-, y-Richtung verfahren um die gesamte Oberfläche zu vermessen. Um die Geschwindigkeit zu steigern ist es alternativ möglich den Lichtpunkt in eine Linie umzuwandeln. Dies geschieht beispielsweise mit Hilfe einer Zylinderlinse oder einem Schwingspiegel. Zur Gewinnung des Höhenprofils genügt es nun, unter Einsparung der zweiten Raumachse, linear zu verfahren. Dabei werden mehrere Punkte auf einmal registriert.

In der Zahnmedizin wurden Punktsensoren für die Vermessung von Kiefermodellen und die Erfassung von Präparationen für den CAD/CAM-Prozess beschrieben [71, 104, 106]. Ebenfalls zur Vermessung von Kiefermodellen verwendet Kuroda [50] einen Liniensensor. Es werden Genauigkeiten von ca. 50 μm angegeben.

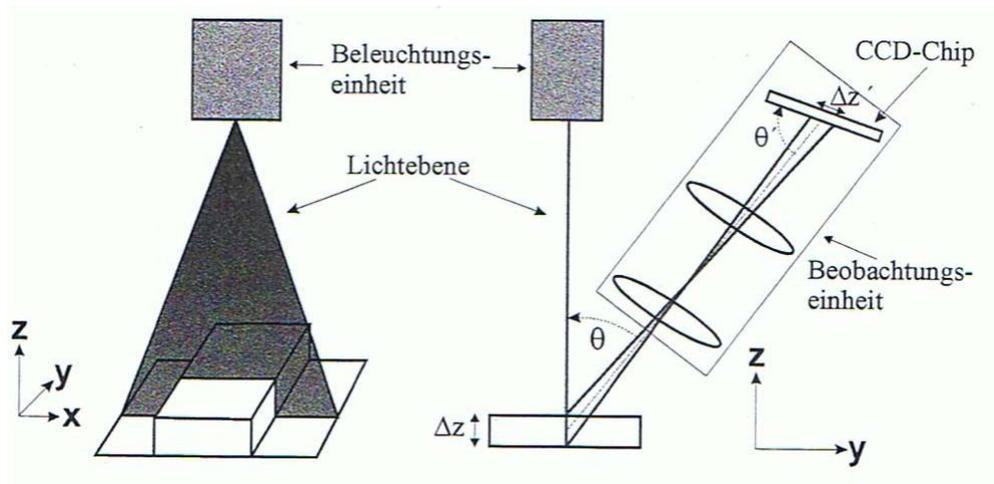


Abb. 14: Prinzip eines Liniensensors. θ : Triangulationswinkel. θ' : Neigung des Sensors zur optischen Achse des Beobachtungseinheit.

2.5.3.2.1.2 Flächensensoren

Neben den Punkt- und Liniensensoren gibt es auch Flächensensoren, die ebenfalls auf dem Prinzip der Triangulation basieren. Vorteil ist hier eine kurze Messzeit, so dass auch bedingt bewegte Objekte aufgenommen werden können. Als Beispiel sei hier die intraorale Aufnahme von Zahnpräparationen genannt.

Die Bezeichnung Flächensensor ist hierbei nur als Überbegriff zu verstehen, da verschiedene Systeme existieren, denen ein unterschiedliches physikalisches Prinzip zugrunde liegt. Zu nennen sind dabei das Moire-Verfahren, Phasenshift-Verfahren und die Stereophotogrammetrie.

Werden zwei nicht deckungsgleiche Gitter überlagert, so entstehen sich periodisch wiederholende Moirestreifen (Abb. 15). Je nach Lage der hellen und dunklen Streifen zueinander existieren Grauwerte in verschiedenen Helligkeitsabstufungen. Diesen Effekt macht man sich bei der Oberflächenanalyse zu nutze. Ein Gitter wird unter einem bestimmten Winkel beleuchtet und wirft somit einen Schatten in Form eines zweiten Gitters auf das Objekt. Abhängig von der Oberflächenstruktur und der Höhenunterschiede des Objekts, weist der Schatten eine vom Originalgitter unterschiedliche Beschaffenheit auf. Bei senkrechter Betrachtung zu dem originalen Gitter, entstehen durch die Überlagerung mit dem Schattengitter Moirestreifen, die Rückschlüsse auf die Höhenwerte geben. Kanazawa [40] verwendeten das Moire-Verfahren bei der dreidimensionalen Untersuchung des okklusalen Reliefs von Molaren.

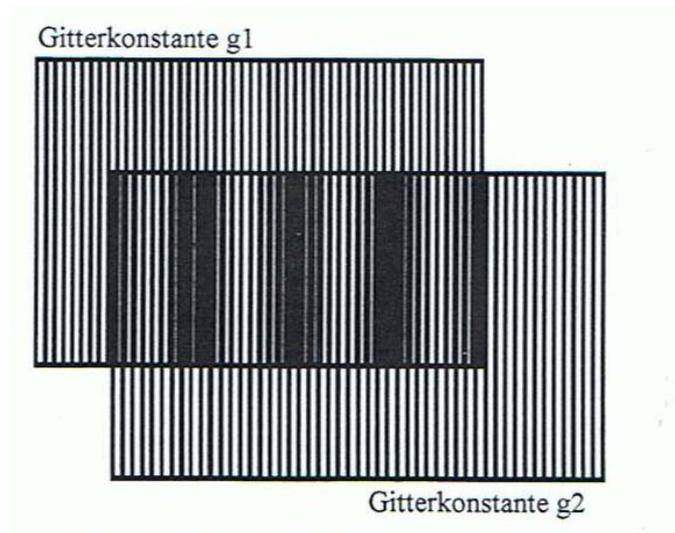


Abb. 15: Entstehung von Moire-Streifen bei der Überlagerung zweier Gitter mit unterschiedlichen Gitterkonstanten.

Das erste Cerec-System (Siemens, Bensheim) nützt das Phasenshift-Verfahren bei der intraoralen Erfassung von Präparationen. Dabei ist das Phasenshift-Verfahren an das Moire-Verfahren angelehnt, wobei Unterschiede in der Aufnahmetechnik bestehen. Das auf die Oberfläche projizierte Streifenmuster wird von einer CCD-Kamera innerhalb von 20 ms viermal um 90° gedreht aufgenommen. Die Genauigkeiten werden mit $25\ \mu\text{m}$ angegeben. Das System ist darauf ausgerichtet, dass anschließend mit einer CAD-Software der Zahnersatz entworfen und mittels einer Fräseinheit aus einem homogenen Keramikblock herausgearbeitet wird. Dieses Verfahren hat mittlerweile Praxisreife erlangt und kann die klassische Vorgehensweise von der Abformung bis zur fertigen Restauration ersetzen.

Bei der Stereophotogrammetrie kann in einem geeichten System durch die Aufnahme von zwei Bildern aus unterschiedlicher Richtung die räumliche Lage von Objektpunkten rekonstruiert werden. Während aus einem Bild nur die Richtung zu einem Objektpunkt bestimmt werden kann, ist es möglich dreidimensionale Koordinaten zu ermitteln, wenn die Abbildungsstrahlen von mindestens

zwei Bildern zum Schnitt gebracht werden. Das Prinzip ist dem menschlichen binokularen Sehen ähnlich. Das Gehirn ermittelt aus zwei leicht verschobenen Bildern, die im linken und rechten Auge entstehen, räumliche Informationen [56]. Savara [78] und Berkowitz [7] nutzten dieses Verfahren zur Oberflächenvermessung von Zähnen und Kiefermodellen.

2.5.3.2.2 Parallelverfahren

Zu den Parallelverfahren zählen das Fokussucheverfahren und die Holographie. Bei dem Fokussuch-Verfahren wird ein Lichtpunkt durch ein Objektiv auf das Objekt projiziert und wieder durch das gleiche Objektiv auf einer Bildebene abgebildet. Durch einen Verschiebetisch ist es möglich den Lichtpunkt scharf einzustellen. Dies wird entweder mit Leuchtdioden oder mit einer CCD-Kamera kontrolliert. Anhand der Positioniereinheit kann anschließend die x -, y -, z -Raumkoordinate abgelesen werden. Der Nachteil dieses Systems ist, dass nur Oberflächen mit einem geringen Höhenprofil vermessen werden können, da es bei der Untersuchung von tiefer liegenden Bereichen sonst zur Kollision mit der Optik kommt [57]. Die Messgenauigkeiten werden mit ca. $3,5 \mu\text{m}$ angegeben [17, 53].

Ein ähnliches Verfahren, das zu den Fokussucheverfahren gezählt werden kann, ist die Stereomikroskopie. Hense [27] verwendet ein solches dreidimensionales Messmikroskop zur Nachkontrolle von kieferorthopädisch behandelten Patienten. In beiden Okkularen ist jeweils ein schwarzer Punkt eingearbeitet, die durch eine Höhenverstellung des Modells zur Einstellung der Schärfe genutzt werden können, indem sie zur Deckung gebracht werden. Die Höhe und die horizontale Position können an einem inkrementalen Weggeber abgelesen werden. Dieses Stereomikroskop besitzt eine 20-fache Vergrößerung mit einer theoretischen Genauigkeit von $0,01 \text{ mm}$. Im Vergleich mit dem zweidimen-

sionalen Messmikroskop Optocom ist die Genauigkeit wesentlich höher und das Arbeiten für den Untersucher wesentlich weniger anstrengend.

Die Holographie ist eine weitere Technik, mit der man speziell in der Kieferorthopädie versuchte die Modellvermessung zu erleichtern. Ryden et al. [75] stellt 1982 ein Verfahren mit einem Transmissionshologramm (Abb. 16) vor, bei dem er Zahnmodelle elektronisch punktgenau vermisst. Unter einem Hologramm versteht man ein Abbildungsverfahren durch Konservierung von Interferenzmustern auf einer Fotoplatte. Die Interferenzmuster entstehen durch Überlagerung von Wellen aus einer Beleuchtungsquelle, die sich nach unterschiedlichen Laufwegen treffen. Voraussetzung dafür ist, dass die Wellen eine gleiche Phasenbeziehung zueinander haben, also kohärent sind. Diese Bedingung erfüllt Laserlicht am besten. Bei der Transmissionsholographie wird der Laserstrahl zunächst geteilt und anschließend soweit aufgeweitet, dass er die Fläche des Objekts erfasst. Während der eine Strahl das Objekt beleuchtet und als Streulicht reflektiert wird, trifft der Referenzstrahl die Fotoplatte unverändert. Dazwischengeschaltete Spiegel koordinieren die Laufwege der Strahlen und ermöglichen damit die Überlagerung der Wellen und die Entstehung des Hologramms. Das Filmmaterial muss ebenso wie bei der Fotografie entwickelt werden. Man benötigt allerdings ein spezielles Filmmaterial, das eine 50 mal höhere Auflösung hat als ein üblicher 100 ASA Film. Um Hologramme sichtbar zu machen, muss das Filmmaterial in einem Winkel von 45° beleuchtet werden. Dabei entsteht ein virtuelles dreidimensionales Bild, das abhängig von der Art der Entwicklungsprozesses grün oder rot erscheint. Dieses Bild kann nun mit der Schieblehre oder einem Stechzirkel vermessen werden. Vom Vorteil zeigt sich, dass auch enge und schmale Bereiche zugänglich sind, die einem die starre Körperlichkeit des Originals verwehrt. Der von Ryden angegebene Messfehler beträgt 0,1 mm.

Werden Messungen vorgenommen, die in einer Tiefe von ca. 10 mm liegen, so erhöhen sich die Fehler auf bis zu 0,7 mm.

Romeo [74] verwendete ein Glasfaserkabel, das durch eine Leuchtdiode gespeist, einen Leuchtpunkt auf das Objekt wirft. Gekoppelt mit einer Mikropositioniereinheit in den x-,y-, und z-Raumachsen, sind Messungen mit einer Genauigkeit von 0,01 mm möglich, wobei auch hier ein Anstieg der Messfehler in der Tiefe zu beobachten ist.

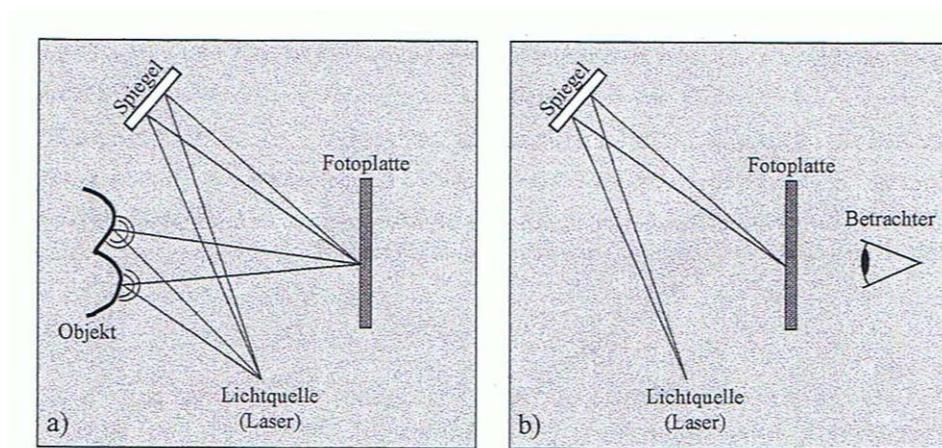


Abb. 16: Prinzip der Transmissionsholographie

Ein anderes Verfahren zur Erzeugung eines Hologramms verwendet Keating bei seiner Vermessung von Kiefermodellen. Bei dieser Reflexionsholographie (Abb. 17) befindet sich die Lichtquelle und das Objekt auf jeweils der anderen Seite einer halbdurchlässigen Fotoplatte. Der aufgeweitete Lichtstrahl (Laser) tritt durch die Fotoplatte hindurch und beleuchtet das Objekt, von dem aus die reflektierten Strahlen wieder mit dem einkommenden Strahl Interferenzen auf dem Film erzeugen. Um das Hologramm wieder sichtbar zu machen, muss aus der Richtung des Laserlichtes mit einer Halogenlampe eine Beleuchtung stattfinden. Vorteil dieses Reflexionshologrammes ist ein im Vergleich zur Transmissionsholographie lichtstärkeres Bild.

Untersuchungen zu den Messunterschieden zwischen Gipsmodellen und den entsprechenden Reflexionshologrammen zeigten, dass sich eine ausreichend klinische Genauigkeit erzielen lässt [42].

Alle holographische Systeme sind anfällig gegenüber Erschütterung und ein Verwinden der dünnen Filmschicht.

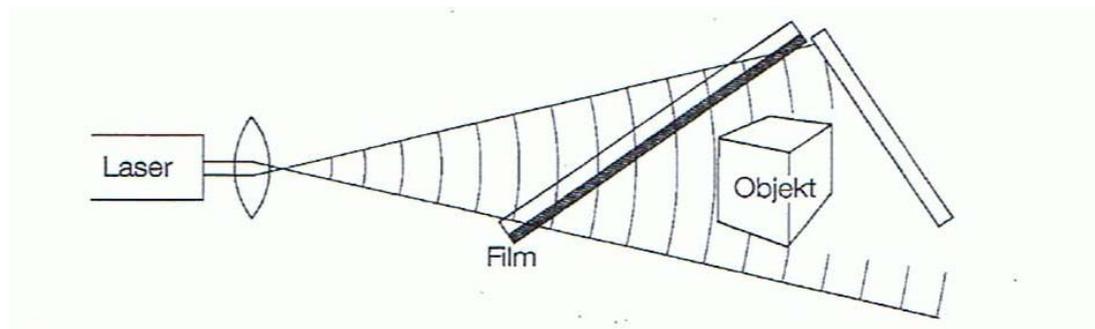


Abb. 17: Prinzip der Reflexionsholographie

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Mikroskope und holographische Systeme einige Vorteile gegenüber der vorangegangenen Methoden zeigen, jedoch ihre Praktikabilität im klinischen kieferorthopädischen Alltag nicht unter Beweis stellen konnten. Auch auf anderen Gebieten der Odontometrie haben sich diese Systeme nicht etabliert.

2.5.3.2.3 Reflex Metrograph

Takata [85, 91] stellte den Reflex Metrographen ebenfalls als Methode zur dreidimensionalen Untersuchung von Kiefermodellen vor. Das Modell wird vor einem halbreflektierenden Spiegel positioniert, hinter dem ein identisches Bild des Modells entsteht. Die Messung erfolgt durch die Ausrichtung eines Lichtspots auf die zu vermessenden Punkte des imaginären Modells hinter dem

Spiegel. Die Lichtquelle ist auf einem skalierten dreidimensionalen Schienensystem positioniert, welches das Ablesen der Raumkoordinaten ermöglicht. Genauigkeiten werden bei diesem System mit 0,1 mm angegeben. Auch hier treten größere Messfehler in der Tiefe auf.

2.5.4 Destruktive Messverfahren

Bei diesem Verfahren wird das Objekt in Scheiben geschnitten und die Schnittflächen vermessen. Werden die Daten an einen Rechner weitergegeben, kann ein virtuelles 3D-Modell generiert werden.

Mit dem destruktiven Verfahren ist es möglich, besonders komplizierte Freiformen zu untersuchen. So können auch Unterschnitte, Löcher, Spalten und Hohlräume vermessen werden. Baumann [6] gelang mit dieser Methode, die Analyse des Wurzelkanalsystems von Zähnen. Als Nachteil erweist sich, dass das zu untersuchende Objekt zerstört werden muss.

Bruckner [14] stellt ein ähnliches Verfahren vor. Die Zahnreihen von Probanden werden abgeformt und mit Gips (irreversibel starres Material) ausgegossen, wobei Abformmaterial und Gips eine unterschiedliche Farbe aufweisen mussten. Modell und Abformung werden nicht voneinander getrennt, sondern als Ganzes in Scheiben geschnitten. Die Schnittflächen werden mit einer Kamera abfotografiert und die gewonnenen Abbildungen mit Hilfe einer speziellen Software am Computer zum ursprünglichen dreidimensionalen Objekt zusammengesetzt. Die Genauigkeit wird mit 30 μm angegeben und ist abhängig von der Scheibendicke, der Detektiereinheit und der Software.

3. Material und Methode

Gegenstand der Untersuchung sind 60 rechte und 60 linke humane obere seitliche Schneidezähne, die aus einer Sammlung des anatomischen Instituts in Amsterdam (Museum Vrolik, Faculty of Medicine, Academic Medical Center, Amsterdam) ausgewählt wurden. Von diesen Zähnen wurden Duplikate aus Gips erstellt, die dann zur morphologischen Datengewinnung mittels eines 3D-Scanners zur Verfügung standen. Mit einer 3D-Software wurden anhand dieser Daten virtuelle Modelle generiert und diese anschließend metrisch und morphologisch untersucht.

3.1 Zahnmaterial

Gewonnen wurden die Zähne von Leichen, die gegen Ende des 19. Jahrhunderts in den Niederlanden exhumiert wurden. Das Zahnmaterial wurde unarchiviert eingelagert, so dass nur bedingt Aussagen über die Individuen getroffen werden können von denen diese Zähne stammen. Es fehlen somit Angaben über das genaue Alter, die Größe, das Gewicht und das Geschlecht. Es ist allerdings hervorzuheben, dass die Zähne ein hohes Maß an Unversehrtheit aufweisen, welches weltweit nur selten zu finden ist und dieses Zahnmaterial für präzise anatomische Studien prädestiniert.

Da nicht alle Zähne der Sammlung über die gleiche strukturelle Qualität verfügen, wurde bei der genaueren Auswahl explizit auf folgende Kriterien geachtet:

- keine oder nur geringe Abrasion
- keine oder nur geringe Attrition
- keine Sprünge oder Strukturdefekte
- keine Malformationen

Der obere seitliche Schneidezahn gilt als der Zahn mit den meisten Formvarianten aller Zähne, abgesehen vom Weisheitszahn. Gewisse Formvarianten, wie die von Mühlreiter beschriebenen vier Hauptvarianten sind häufiger anzutreffen und können deshalb nicht als Malformationen bezeichnet werden. Zapfenzähne wurden dennoch aussortiert, da sie eine zu starke Abweichung von der „klassischen Form“ aufweisen.

3.2 Duplieren der Zähne

Von den Zähnen wurden zunächst mit einem additionsvernetzendem Zweikomponenten-Silikon der Firma Bego (Wirosil ®) Negativformen erstellt, die anschließend mit Superhartgips der Firma Klasse 4 Dental (Zahnkranzhartgips, Rocky Mountain® Typ 4, EN ISO 8673) ausgegossen wurden. Um bei der Herstellung Blasen zu vermeiden, erfolgte das Anrühren des Gipses mit Hilfe eines Vakuumanrührgerätes für 40 Sekunden und das anschließende Einbringen in die Silikonform mittels eines zahntechnischen Rüttlers. Als Positionierungshilfe, zur optimalen Ausrichtung im 3D-Scanner, wurden in den noch weichen Gips ca. 1,5 cm lange zahntechnische Pins gesteckt.

3.3 Gewinnung der Datensätze

3.3.1 Das Scansystem

Das Scansystem besteht aus einem Laser-Scanner Modell es 1 der Firma etkon AG, Gräfelfing mit der entsprechenden Software etcon-visual 2001 in der Version 2.070, die auf einem Computer (Pentium III, 933MHz) mit dem Betriebssystem SuSe Linux 8.0 installiert ist. Der Scanner besitzt 10 bewegliche Achsen zum Erfassen von dentalen Zahnpräparationen, arbeitet mittels eines Lichtschnittverfahrens und ist mit einem Laser der Klasse 1M ausgestattet. Zur Datengewinnung wurden die werksseitigen Standardeinstellungen zur Erfassung von Kronenpräparationen übernommen. Im Folgenden sind die Herstellerangaben wiedergegeben:

Die Scandauer für einen Einzelstumpf beträgt 25-45 sec. (Smartscan), wobei dieser von acht Seiten je 45° Winkelunterschied erfasst wird. Dabei werden 28.500 Punkte pro Sekunde mit einer Gesamtpunktzahl von 150 000 – 600 000 pro Zahnstumpf generiert. Die max. Stumpfhöhe darf 22.3 mm betragen. Die Messtoleranz wird mit 10 µm angegeben (Freimaßtoleranz DIN 7168-f-R).



Abb. 18: Laser-Scanner der Firma etkon AG. Töpfe mit jeweils einem Zahn bestückt.

3.3.2 Einstellen und Scannen der Zähne

Der Scanner besitzt kleine Töpfe mit Knetmasse, in denen die duplierten Zahnkronen mit Hilfe des Metallpins positioniert werden konnten (Abb. 19). Die Bukkalfläche musste mit der Markierung auf dem Topf übereinstimmen, bei einem gleichzeitigen Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zum Topfrand von 5 mm. Die auf die Kronenoberfläche projizierte Laserlinie konnte auf dem Bildschirm betrachtet werden und ermöglichte somit eine Überprüfung der korrekten Positionierung des Zahnes, noch vor dem Scannvorgang.



Abb. 19: Topf mit positioniertem Zahn

3.3.3 Scannersoftware

Nach der eigentlichen Datengewinnung durch das Scannprogramm Scan 3D 1.6-1s © [24] wurden die acht Einzelscans zu einem dreidimensionalen Gesamtmodell zusammengesetzt. Eine exakte Kenntnis der Rotations- und Translationsparameter der Einzelansichten zueinander war nicht erforderlich, da ein Matching-Programm *Match 3D 2.4* © [23] diese Aufgabe übernahm. Dabei wurden die Aufnahmen durch einen speziellen Algorithmus derart überlagert,

das die Superposition optimal war. Eine aufwendige und teure hochpräzise Steuereinheit war somit nicht erforderlich.

Die Zähne wurden zunächst im *.i3d-Format abgespeichert und anschließend durch das Matching-Programm in ein ASCII-File (*.txt)-Format konvertiert.

3.4 Bearbeiten der Datensätze

3.4.1 Flächenrückführungsprogramm Geomagic

Das Softwareprogramm Geomagic Studio 5.0 wurde zur Generierung eines identischen virtuellen dreidimensionalen Modells entwickelt. Dieser Vorgang erfolgt anhand von Punktdaten eines physikalischen Objekts. Das System ist darauf ausgelegt Scandaten zu verarbeiten.

Mit diesem Flächenrückführungsprogramm war es möglich, die Zahnmodelle im virtuellen Raum zu bewegen und mit Hilfe diverser „Tools“ morphologisch und metrisch zu analysieren.

3.4.2 Vorbereiten der Zahnscaans

Beim Scannen wurde der zur Positionierung nötige Topf und die Knetmasse miterfasst. Alle für die folgenden Untersuchung unnötigen Bereiche, galt es zunächst vom Zahn zu entfernen. Dazu wurde mit dem „Lasso Tool“ bzw. mit dem „Paintbrush Tool“ die entsprechende Region markiert und dann gelöscht (Abb. 20).

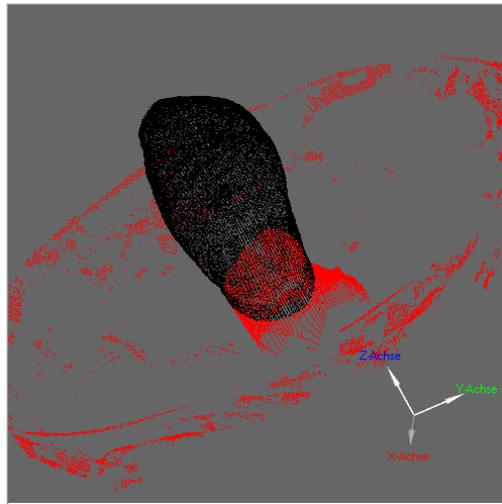


Abb. 20: Zu entfernende Bereiche sind rot markiert
(Punktoberfläche vor der endgültigen Achsenzuweisung)

Die jetzt vorliegenden Zähne bestehen aus einer Punktwolke, die bearbeitet werden muss, bevor dann ein Modell mit einer geschlossenen Oberfläche generiert werden kann. Dies geschieht mit folgenden Funktionen:

„Select Outliers“

Die „Select Outliers“-Funktion eliminiert umliegende Punkte, die außerhalb des Hauptkörpers der Punktwolke auftreten. „Outliers“ werden häufig durch den Scannvorgang eingefügt und produzieren Fehler, wenn das Punktmodell in ein Flächenmodell überführt wird. Über die „Sensitivity“ wird das Ausmaß eingestellt, mit welcher das Programm diverse Punkte als „Outliers“ erkennt. Dabei ist eine Einstellung von 0-100 möglich. Ist der Wert hoch eingestellt, werden Punkte entfernt, die nahe an der Punktwolke liegen. Es wurde hier ein Wert von 50 festgelegt.

„Reduce Noise“

Während des Scannens können weitere Fehler auftreten, die sich als Rauschen

bemerkbar machen. Mit der „Reduce Noise“- Funktion wird das Rauschen einer Punktwolke unterdrückt. Unter Anwendung statistischer Methoden wird die richtige Lage der Punkte berechnet. Das Programm ermöglicht auszuwählen, ob es sich um ein geometrisch konstruiertes Objekt oder um eine Freiformoberfläche handelt. Entsprechend werden Kanten und Ecken stärker hervorgehoben oder es wird die Erzeugung einer gekrümmten Oberfläche unterstützt. Es wurde hier die Einstellung der Freiformoberfläche gewählt.

Das jetzt optimierte Punktmodell wurde mit der „Wrap“-Funktion in ein flächiges Modell überführt. Dazu werden drei benachbarte Punkte jeweils zu einer Fläche zusammengefasst, die in ihrer Gesamtheit eine polygonale „wasserdichte“ Oberfläche bilden.

3.4.3 Gleichsinniges Ausrichten aller Zähne im dreidimensionalen Raum

Um den Zahn in ein dreidimensionales Koordinatensystem einordnen zu können, wurde dieser in der vestibulären und gleichzeitig in der mesialen (approximalen) Ansicht auf dem Bildschirm ausgerichtet. Anschließend erfolgte die Zuordnung der Raumachsen in der vestibulären Ansicht (Abb. 21). Die Bildschirmshorizontale entspricht der y-Achse und die Bildschirmvertikale die der x-Achse. Die z-Achse steht senkrecht auf den beiden anderen Achsen.

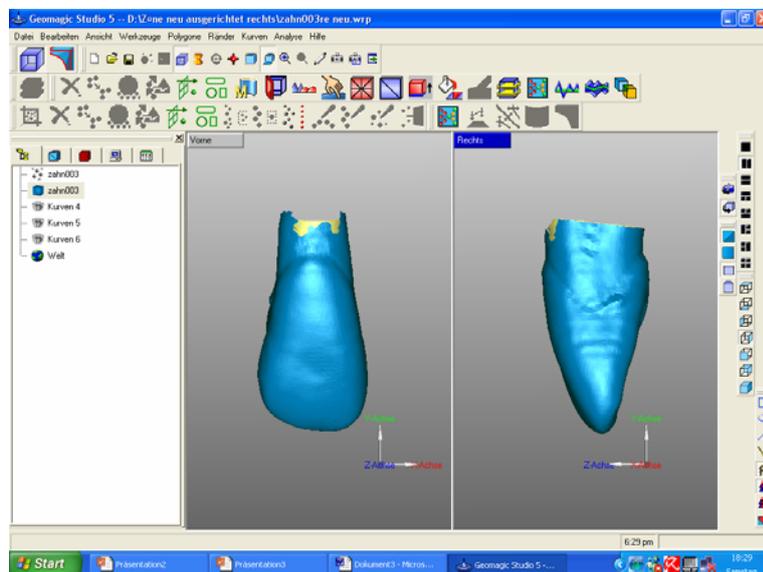


Abb.21: Ausrichtung des Zahnes in der vestibulären und (approximalen) mesialen Ansicht

Ausrichtung des Messobjektes in der mesialen (approximalen) Ansicht:

- 1.) Inzisalkante weist in Richtung des unteren Bildschirmrandes
- 2.) Die mesiale Fläche soll in der größtmöglichen Ausdehnung sichtbar sein
- 3.) Angrenzende Flächen sollen nach Möglichkeit nicht einzusehen sein
- 4.) Kronenachse parallel zur Bildschirmshorizontale

Die Kronenachse wurde in der mesialen (approximalen) Ansicht wie folgt konstruiert:

Die Schmelz-Zement-Grenze schneidet die vestibuläre und palatinale Wurzeloberfläche scheinbar in zwei Punkten. Die Gerade durch den Mittelpunkt der Strecke zwischen diesen beiden Punkten und den Inzispunkt ergibt die Kronenachse.

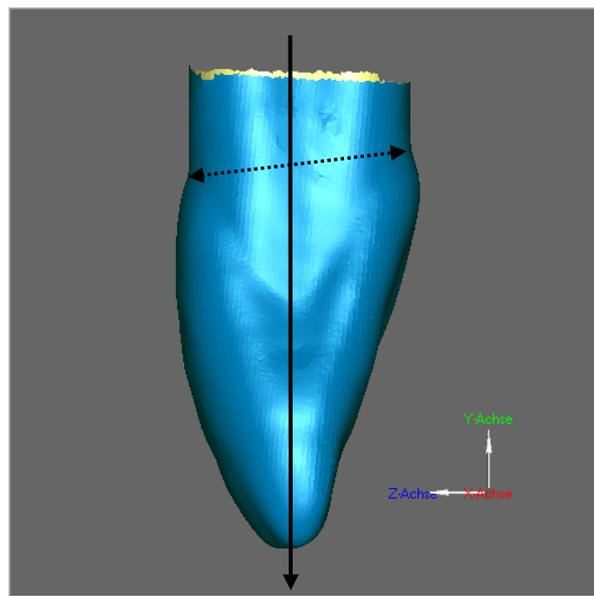


Abb. 22: Konstruierte Kronenachse aus der mesialen Approximalansicht

Ausrichtung des Messobjektes in der vestibulären Ansicht.

- 1.) Inzisalkante weist Richtung unteren Bildschirmrand
- 2.) Die Vestibulärfläche soll in ihrer maximalen Ausdehnung sichtbar sein
- 3.) Angrenzende Flächen sollen nach Möglichkeit nicht einzusehen sein
- 4.) Kronenachse parallel zu Bildschirmsenkrechten

Die Kronenachse für die vestibuläre Ansicht konnte nicht konstruiert werden. Die Festlegung der Kronenachse erfolgte nach den Erfahrungen eines Zahnarztes.

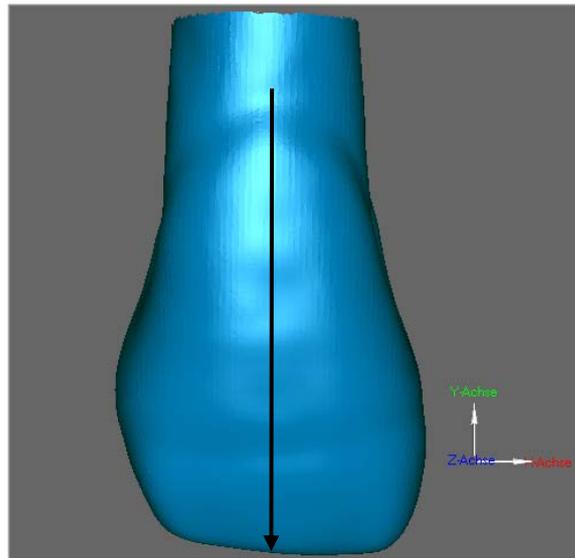


Abb.23: Kronenachse aus der vestibulären Ansicht

Nach dem Ausrichten weisen die Zähne folgende Orientierung auf:

- 1.) y-Achse entspricht der inziso-apikalen Ausdehnung
- 2.) x-Achse entspricht der mesio-distalen Ausdehnung
- 3.) z-Achse entspricht der oro-vestibulären Ausdehnung

3.5 Gemessene Dimensionen

Absolute Breite aus der orthoradialen vestibulären Ansicht (W abs.)

Kürzeste Strecke zwischen den beiden Geraden, die parallel zur Kronenachse und durch den mesialsten bzw. distalsten Punkt der Zahnkrone verläuft (Abb. 24).

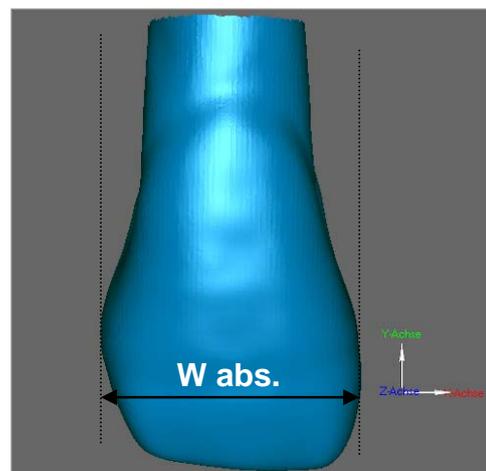


Abb.24: Breite der Zahnkrone

Absolute Länge aus der vestibulären Ansicht (L abs. vest.)

Kürzeste Strecke zwischen den beiden Geraden, die im rechten Winkel zur Kronenachse und den tiefsten Punkt der Schmelz-Zement-Grenze bzw. den am weitesten inzisal gelegenen Punkt der Krone verlaufen (Abb. 25).

Absolute Länge aus der palatinalen Ansicht (L abs. pal.)

Kürzeste Strecke zwischen den beiden Geraden, die im rechten Winkel zur Kronenachse und den tiefsten Punkt der Schmelz-Zement-Grenze bzw. den am weitesten inzisal gelegenen Punkt der Krone verlaufen (Abb. 26).

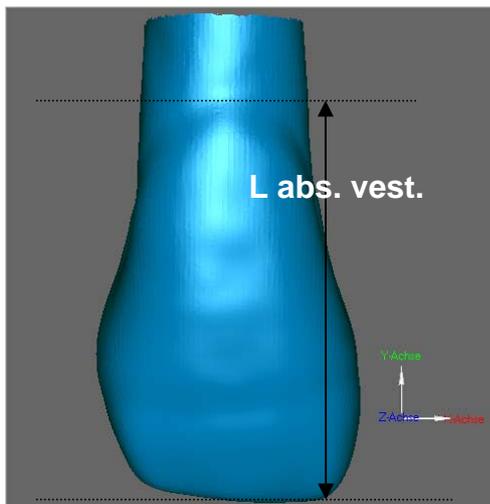


Abb. 25: Vestibuläre Kronenhöhe

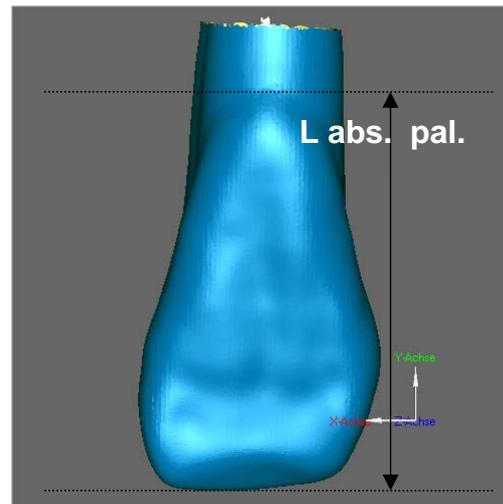


Abb. 26: Palatinale Kronenhöhe

Absoluter orovestibulärer Kronendurchmesser (T abs.)

(mesial-approximale Ansicht)

Kürzeste Strecke zwischen den beiden Geraden, die parallel zur Kronenachse und durch den vestibulärsten und palatinalsten Punkt der Zahnkrone verlaufen (Abb. 27).

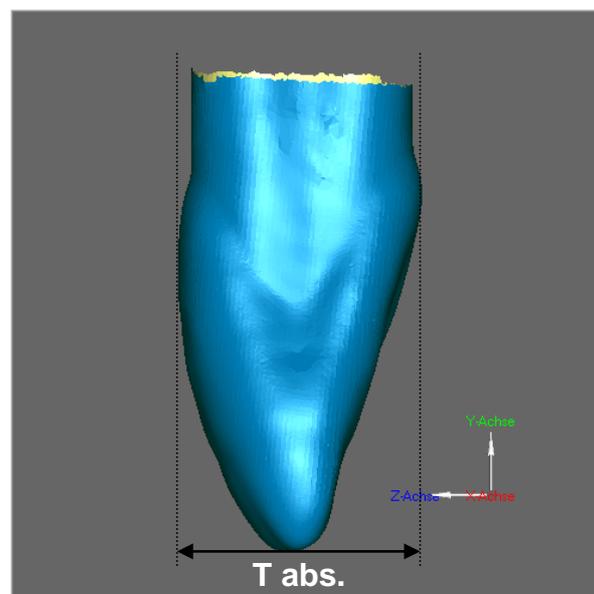


Abb. 27: Orovestibulärer Kronendurchmesser

Mesiale Prominenz (P mes.)

Grad der mesialen Prominenz, gemessen als kürzeste Strecke zwischen den Geraden a und m (Abb. 28).

Distale Prominenz (P dist.)

Grad der distalen Prominenz, gemessen als kürzeste Strecke zwischen den Geraden s und d (Abb. 28).

Die Geraden d und m verlaufen parallel zur Kronenachse und durch den jeweils prominentesten Punkt auf der distalen und mesialen Oberfläche (Abb. 28).

Die Geraden s und a verlaufen parallel zur Kronenachse und durch den scheinbaren Schnittpunkt der Schmelz-Zement-Grenze mit der Wurzeloberfläche, bei Betrachtung aus der vestibulären Ansicht (Abb. 28).

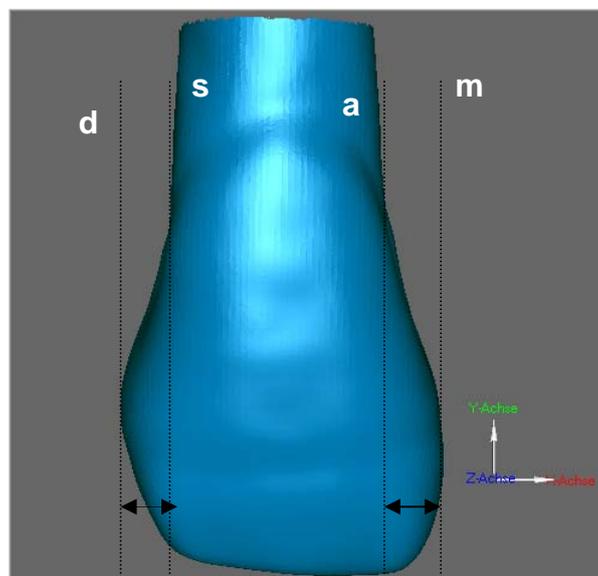


Abb. 28: Mesiale und distale Prominenz

Vestibuläre Prominenz (P vest.) (mesial-approximale Ansicht)

Kürzeste Strecke zwischen den Geraden u und v (Abb. 29).

Palatinale Prominenz (P pal.) (mesial-approximale Ansicht)

Kürzeste Strecke zwischen den Geraden g und p (Abb. 29).

Die Geraden v und p verlaufen parallel zu Kronenachse und durch den jeweils prominentesten Punkt auf der vestibulären und palatinalen Oberfläche (Abb. 29).

Die Geraden u und g verlaufen parallel zur Kronenachse und durch den scheinbaren Schnittpunkt der Schmelz-Zement-Grenze mit der Wurzeloberfläche, bei Betrachtung aus der mesialen (approximalen) Ansicht (Abb. 29).

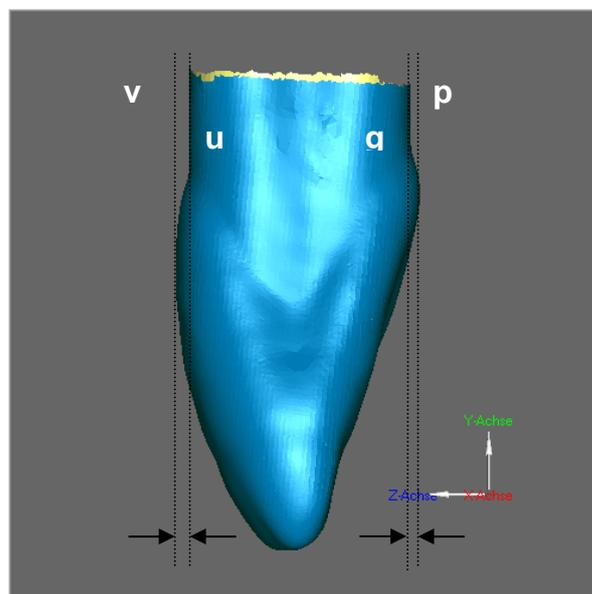


Abb. 29.: Vestibuläre und palatinale Prominenz

Höhe der Kontur der Schmelz-Zement-Grenze mesial (K mes.)

Die Höhe der Ausdehnung der Krümmung der Schmelz-Zement-Grenze auf der mesialen Approximalfläche.

Höhe der Kontur der Schmelz-Zement-Grenze distal (K dist.)

Die Höhe der Ausdehnung der Krümmung der Schmelz-Zement-Grenze auf der distalen Approximalfläche.

Konturanteil

Die Ausdehnung der Krümmung der Schmelz-Zement-Grenze auf der mesialen und distalen Fläche in Bezug zu der größten zerviko-inzisalen Ausdehnung der Krone (Abb. 30). Der Anteil ist positiv, wenn die Kontur in inzisaler Richtung verläuft.

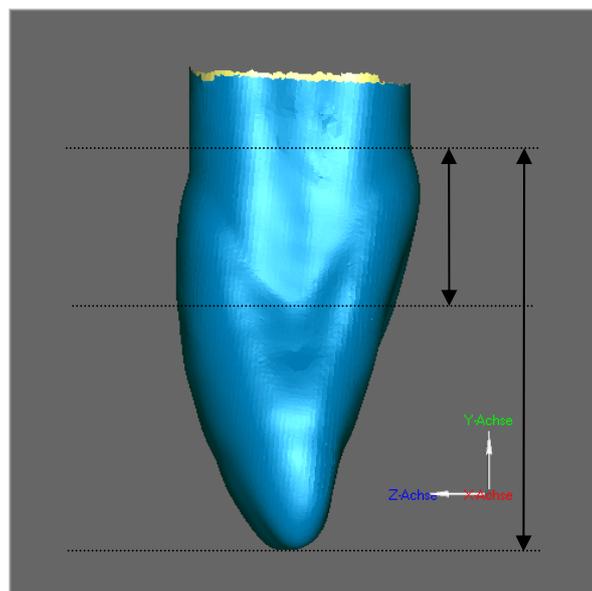
Konturanteil mesial (KA mes.) (mesial-approximale Ansicht)**Konturanteil distal (KA dist.) (distal-approximale Ansicht)**

Abb. 30: Höhe der Ausdehnung der Krümmung der Schmelz-Zement-Grenze mesial (kurzer Pfeil); Konturanteil mesial ca. 0,4

Orovestibulärer Wurzel Durchmesser (T root) (mesial-approximale Ansicht)

Orovestibuläre Wurzel Durchmesser ca. 2-3 mm apikal des tiefsten Punktes der Schmelz-Zement-Grenze. Die Messung erfolgte senkrecht zur Kronenachse (Abb. 31).

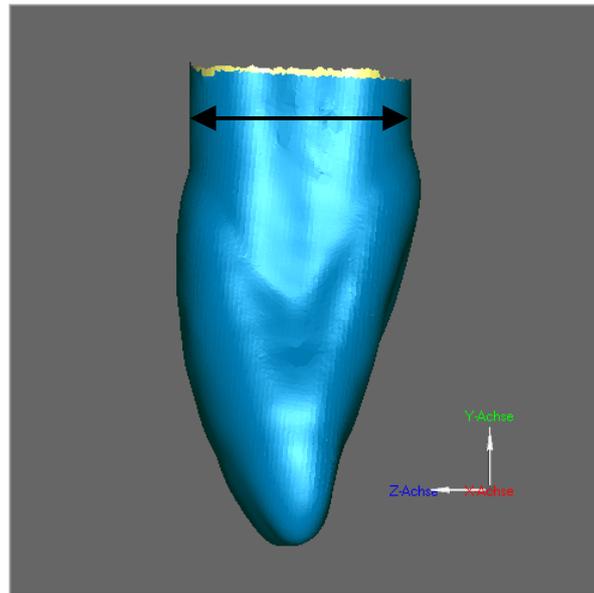


Abb. 31: Orovestibulärer Wurzel Durchmesser ca. 2-3 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze

Mesiodistaler Wurzeldurchmesser (W root) (vestibuläre Ansicht)

Mesiodistaler Wurzeldurchmesser ca. 2-3 mm apikal des tiefsten Punktes der Schmelz-Zement-Grenze. Die Messung erfolgte senkrecht zur Kronenachse (Abb. 32).

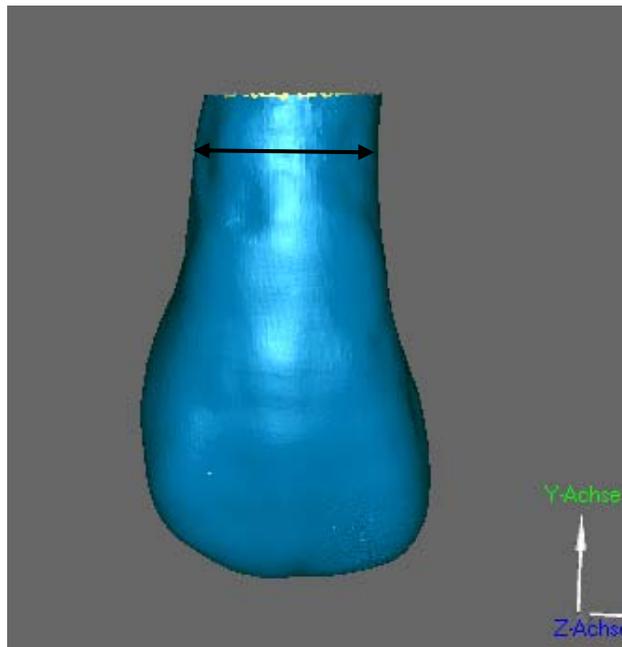


Abb. 32: Mesiodistaler Wurzeldurchmesser

Kronenbreite im zervikalen (W1), mittleren (W2) und inzisalen (W3) Kronendrittel

Alle drei Messungen erfolgen senkrecht zur Kronenachse (Abb. 33)

- W1 ist die Messung der Kronenbreite im Bereich des Zahnhalses, am Übergang der Schmelz-Zement-Grenze zur approximalen Fläche
- W2 ist die größte mesiodistale Strecke im mittleren Kronendrittel
- W3 ist die Messung der Kronenbreite am Übergang der approximalen Außenkontur in die Schneidekante

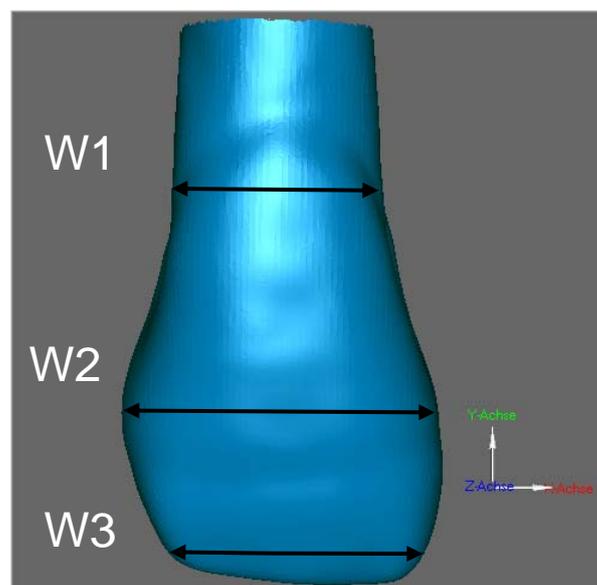


Abb. 33: Mesiodistaler Kronendurchmesser W1, W2 und W3

3.6 Zahnvermessung

Mit dem „Measure Tool“ kann der Zahn dreidimensional vermessen werden. Nach dem Anklicken von zwei Punkten auf der Oberfläche, ermittelt das Programm die Länge der dazwischenliegenden Strecke. Ebenfalls kann die Länge der Strecke nach Projektion auf die drei Raumebenen ermittelt werden (Abb. 34).

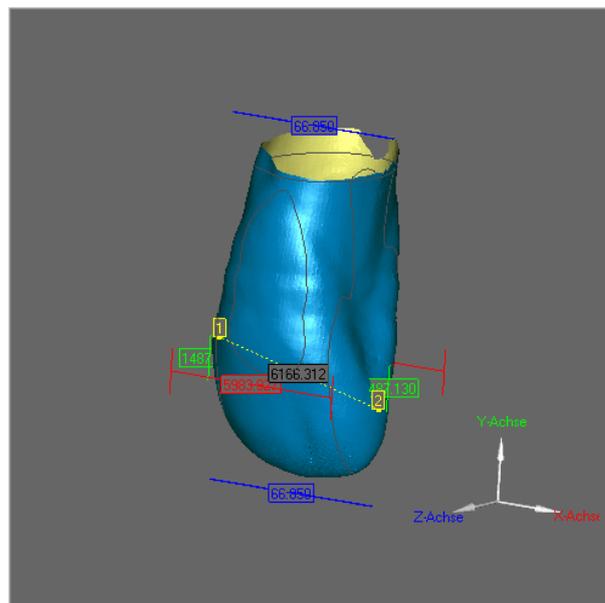


Abb.34: Streckenmessung nach Markierung von zwei Punkten

Sowohl zur Vermessung der mesialen, distalen, vestibulären und palatinalen Prominenz, als auch des orovestibulären und des mesiodistalen Wurzeldurchmessers wurden Hilfslinien auf dem Zahn markiert (Abb. 35).

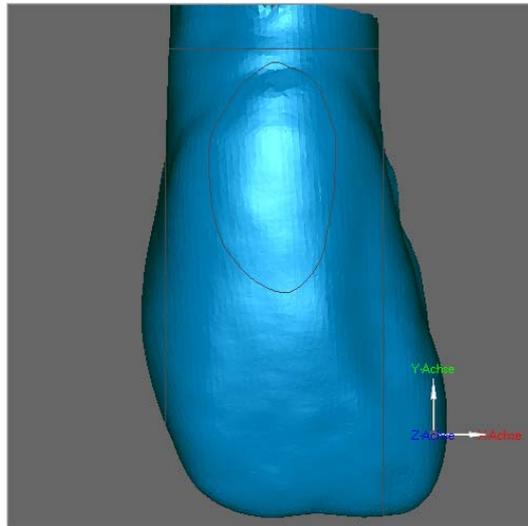


Abb. 35: Zahn mit Hilfslinien

Um die Messung für den Wurzeldurchmesser zu vereinfachen, konnte der Zahn ausgeblendet werden (Abb.36).

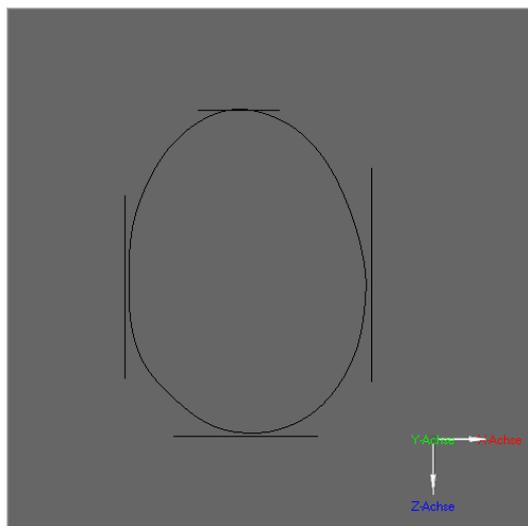


Abb. 36: Hilfslinien, Zahn ausgeblendet

Um die Reproduzierbarkeit (engl. precision) der Ergebnisse beurteilen zu können, wurde der interobserver error und intraobserver error anhand des Korrelationskoeffizienten nach Pearson untersucht. Dazu untersuchten drei erfahrene Zahnärzte die Kronenbreite und die Kronenlänge von 30 Zahnkronen. Die Messungen wurden nach einer Woche wiederholt

3.7 Strukturmerkmale der Krone

Nach der Erarbeitung der metrischen Dimensionen erfolgte eine non-metrische, rein deskriptive Analyse der Zahnkronen der lateralen Schneidezähne. Bereits bekannte Strukturmerkmale wurden auf ihre relative Häufigkeit hin untersucht. Zudem wurde versucht weitere relevante, noch nicht beschriebene Merkmale zu detektieren.

Konnte ein Merkmal an einem bestimmten Zahn erkannt werden, so erfolgte noch eine Unterteilung, ob diese Struktur in starker oder nur leichter Ausprägung vorlag. Folgende bekannte Strukturmerkmale wurden beurteilt:

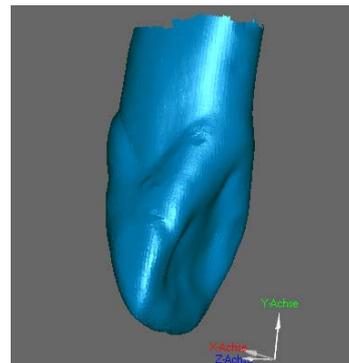
- Foramen caecum
- palatinaler Überhang (S. 105, Abb. 65)
- mesio-labiale Grube (S. 106, Abb. 67)
- marginosegmentale Furche (S. 102, Abb. 64)
- marginosegmentale Grube (S. 106, Abb. 66)

Das hier neu benannte Merkmal der palatinale Randleistenstruktur, ist eine fissuren- bzw. grubenartige Struktur im Bereich der mesialen und/oder distalen Palatinalfläche, die sich in Richtung der Wurzel ausdehnen kann und bislang als

Kronen-Wurzel-Furche [15] oder palatogingivale Furche nach Mühlreiter [83] bezeichnet wird. Diese neue Namensgebung erfolgte, da allen Varianten dieses Merkmals eine Beteiligung der palatinalen Randleiste gemeinsam ist. Für dieses Merkmal zeigte sich die oben genannte Unterteilung als nicht aussagekräftig, da die Ausdehnung des Merkmals hier entscheidend ist. Daher wurde folgende Gradeinteilung gewählt (Abb. 37):

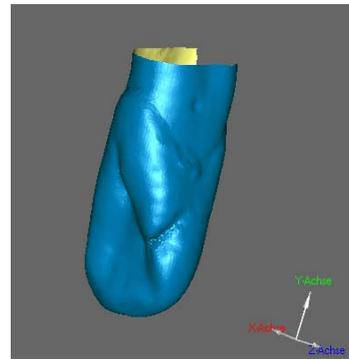
Grad I

Fissur ist zum größten Teil auf die palatinalen Randleiste beschränkt



Grad II

Fissur reicht bis in die angrenzende proximale Fläche



Grad III

Fissur überschreitet die Schmelz-Zement-Grenze und reicht bis in die Wurzel hinein

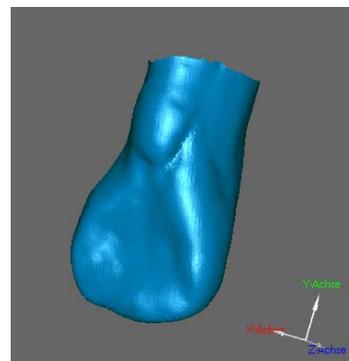


Abb. 37: Gradeinteilung der palatinalen Randleistenstruktur

3.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS (Version 15.0, SPSS Inc.).

Zunächst wurden die Messergebnisse für die Dimensionen der Krone und des zervikalen Wurzelbereichs mittels Histogrammen dargestellt. Die einzelnen Messgrößen wurden anschließend auf ihre Normalverteilung hin überprüft. Bei diesem nichtparametrischen Test kam der Kolmogorov-Smirnov-Test zum Einsatz, der dazu dient eine Verteilungshypothese zu testen, wobei die Verteilungsfunktion der beobachteten und der theoretischen Häufigkeit miteinander verglichen wurde. Die Forderung bei diesem Anpassungstest, Klassengröße von mehr als 5 und eine Fallzahl von $n > 5$, konnte dabei erfüllt werden.

Mit den Messergebnissen für die Kronenbreite und Wurzelbreite, als auch für die Kronendicke und die Wurzeldicke wurde eine bivariate Untersuchung durchgeführt. In diesem Fall kamen Regressionsrechnungen und Korrelationsrechnungen zum Einsatz.

Alle Messwerte in Abbildungen und Tabellen sind in μm angegeben.

4 Ergebnisse

4.1 Odontometrie

4.1.1 Dimensionen der Zahnkrone

Die Messung der Kronenbreite (W abs.), der Kronenlänge (L abs. vest.), der mesialen Prominenz (P mes.) und der distalen Prominenz (P dist.) erfolgte aus der vestibulären Perspektive. Die in den Histogrammen eingezeichnete Verteilungskurve lässt eine Normalverteilung vermuten, die mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest bestätigt werden kann. Die größten Werte ergeben sich für die Kronenlänge (L abs. vest.) mit einem Mittelwert von 9417 μm . Die Standardabweichung weist dabei einen Wert von 909 μm auf. Die Werte für die Kronenbreite sind mit einem Mittelwert von 6288 μm deutlich geringer. Die Werte für die mesiale Prominenz fallen im Mittel etwas höher aus, als die Werte für die distale Prominenz (Abb. 38-41).

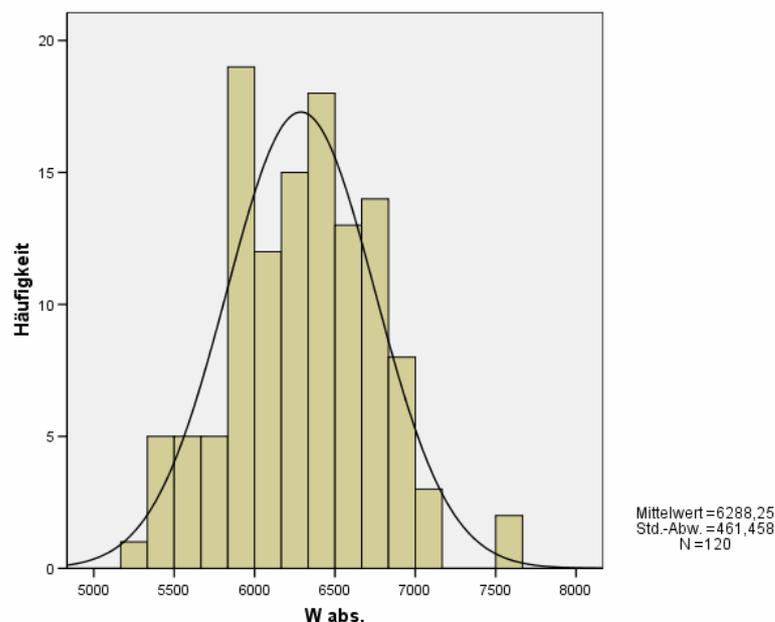


Abb. 38: Histogramm der Messwerte W abs. mit Normalverteilungskurve

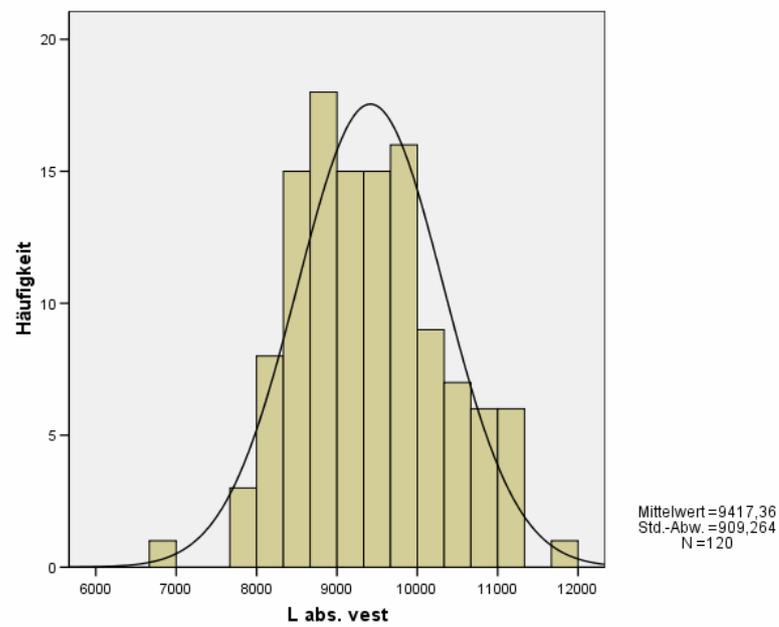


Abb. 39: Histogramm der Messwerte *L abs. vest*. mit Normalverteilungskurve

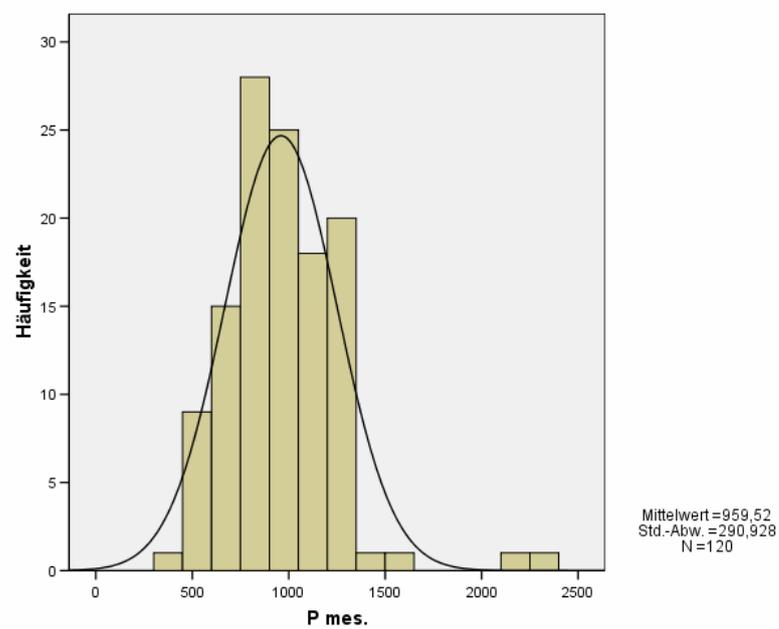


Abb. 40: Histogramm der Messwerte *P mes.* mit Normalverteilungskurve

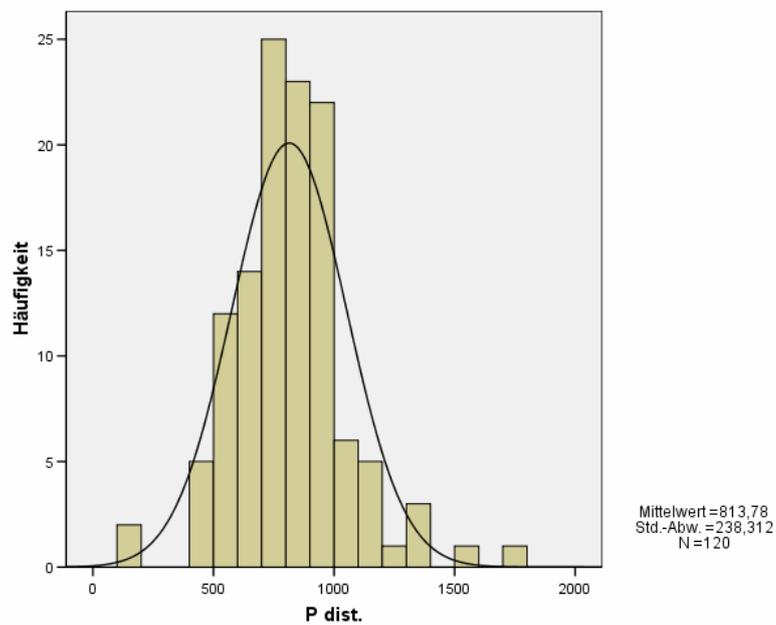


Abb. 41: Histogramm der Messwerte P dist. mit Normalverteilungskurve

Die palatinale Kronenlänge (L abs. pal.) wurde aus der palatinalen Perspektive gemessen. Es zeigte sich ein Mittelwert von 9599 μm , bei einer Standardabweichung von 833 μm (Abb. 42).

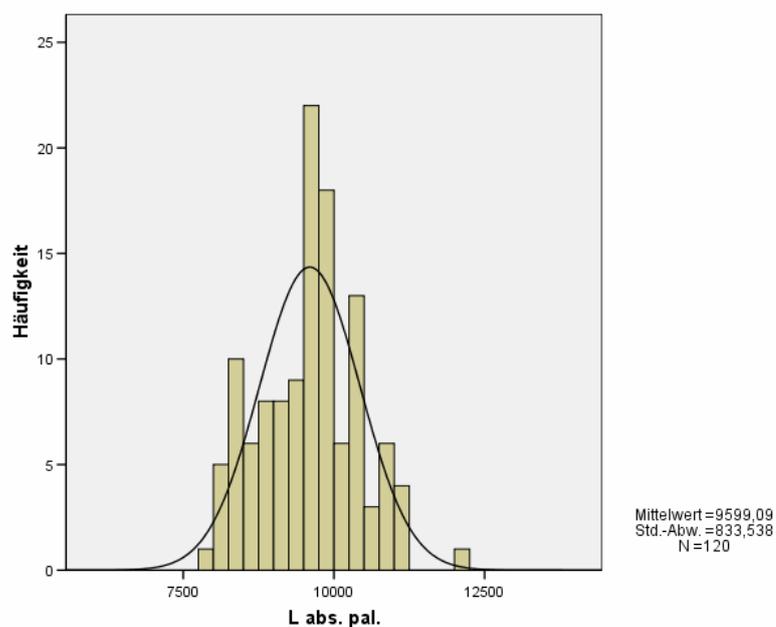


Abb. 42: Histogramm der Messwerte L abs. pal. mit Normalverteilungskurve

Die Kronendicke (T abs.), die vestibuläre Prominenz (P vest.), die palatinale Prominenz (P pal.) und die mesiale Kontur (K mes.) der Schmelz-Zement-Grenze wurden aus der mesialen approximalen Ansicht gemessen. Der Mittelwert für die Kronendicke beträgt 6072 μm , bei einer Standardabweichung von 425 μm . Aus den Ergebnissen ergibt sich, dass die vestibuläre Prominenz mit 331 μm einen niedrigeren Mittelwert aufweist als die palatinale Prominenz mit 279 μm . Die Höhe des mesialen Verlaufs der Schmelz-Zement-Grenze weist einen Mittelwert von 2949 μm und eine Standardabweichung von 556 μm auf. Der mesiale Konturanteil beträgt im Mittel 0,31 (Abb. 43-47).

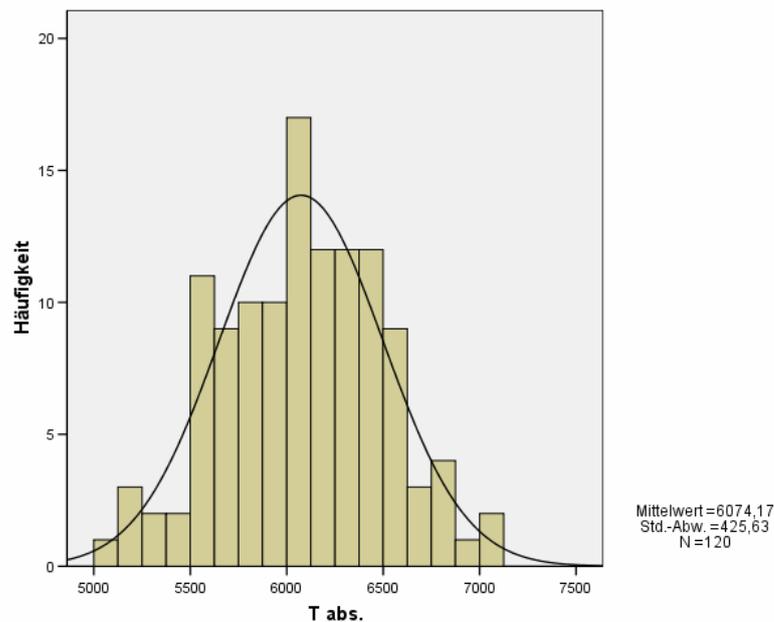


Abb. 43: Histogramm der Messwerte T abs.. mit Normalverteilungskurve

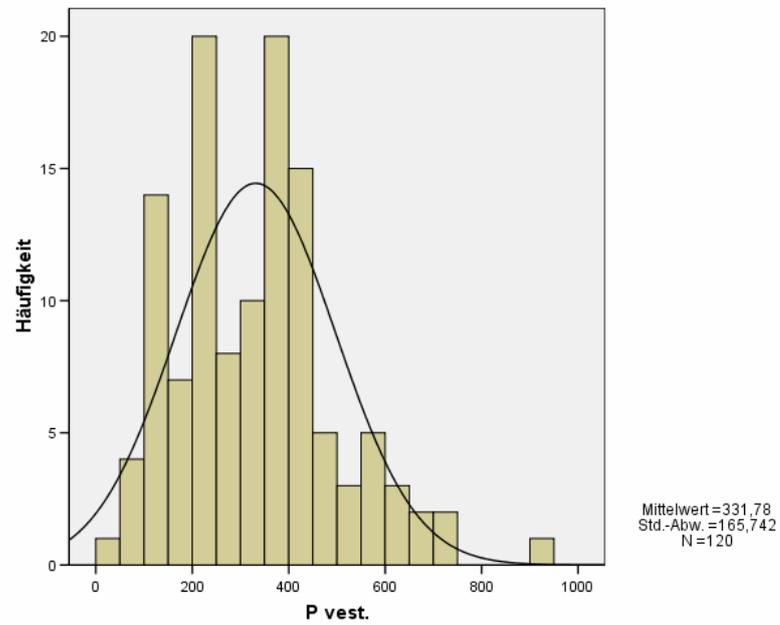


Abb. 44: Histogramm der Messwerte P vest. mit Normalverteilungskurve

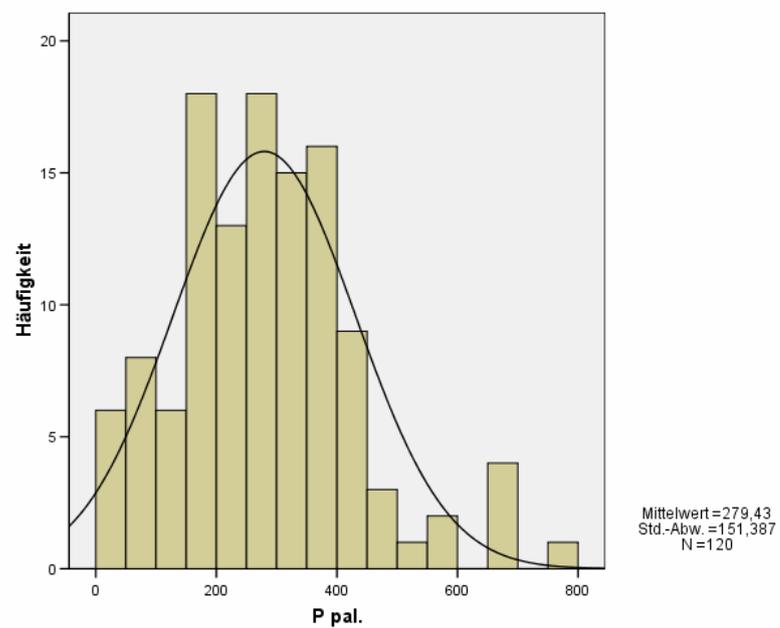


Abb. 45: Histogramm der Messwerte P pal. mit Normalverteilungskurve

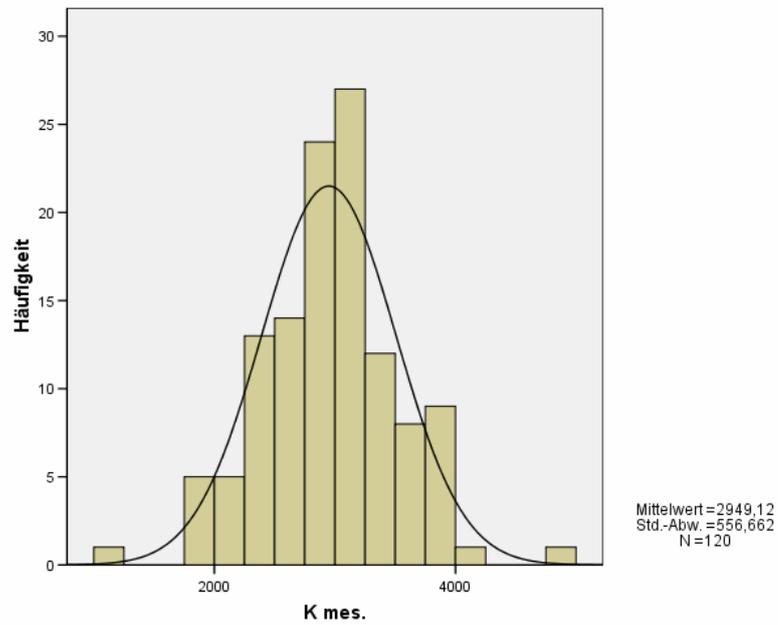


Abb. 46: Histogramm der Messwerte K mes. mit Normalverteilungskurve

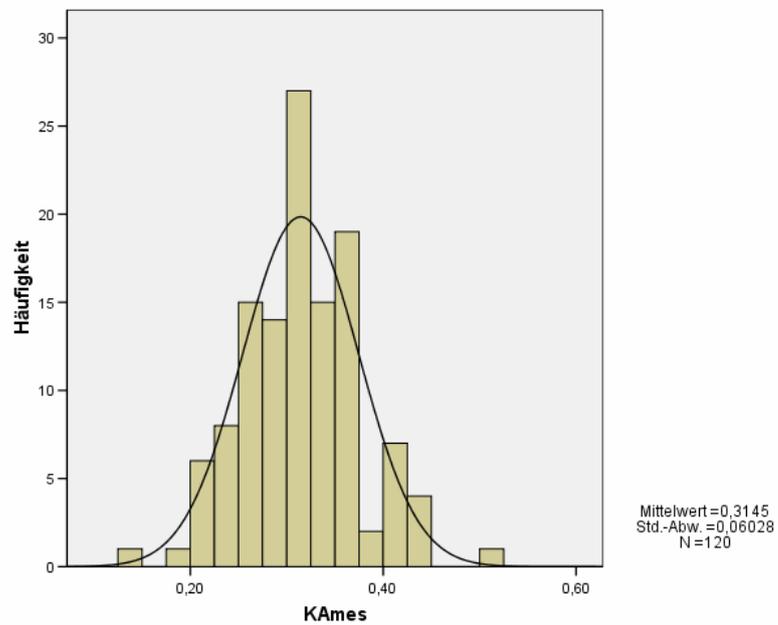


Abb. 47: Histogramm der Messwerte KA mes. mit Normalverteilungskurve

Die Höhe der Krümmung der distalen Schmelz-Zement-Grenze (K dist.) wurde aus der distalen approximalen Ansicht gemessen. Es zeigte sich ein Mittelwert von 2546 μm und eine Streuung von 533 μm für die Kontur. Der distale Konturanteil beträgt im Mittel 0,27 (Abb. 48 und 49).

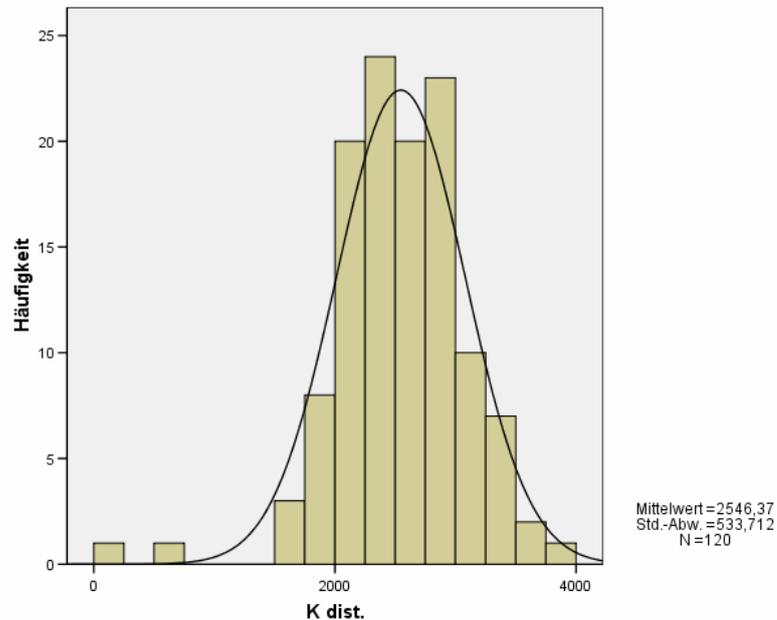


Abb. 48: Histogramm der Messwerte K dist. mit Normalverteilungskurve

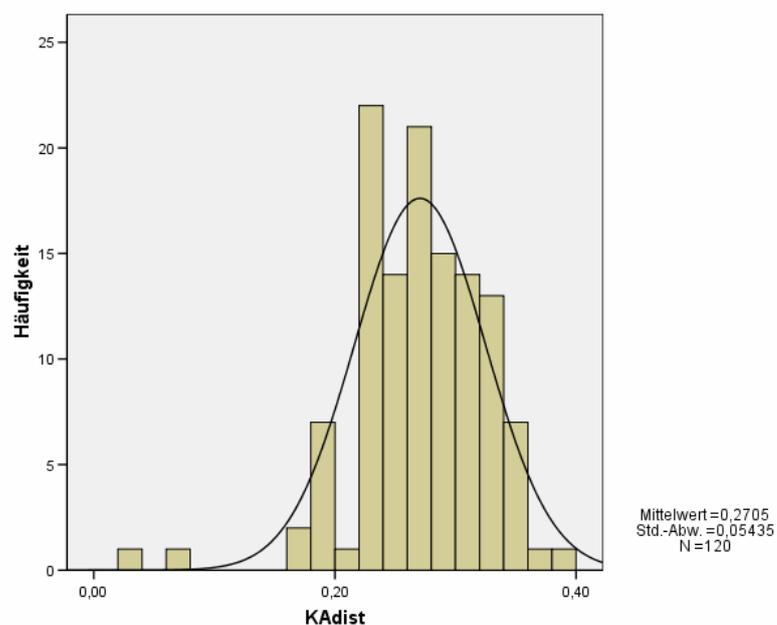


Abb. 49: Histogramm der Messwerte KA dist. mit Normalverteilungskurve

Bei allen Diametern der Zahnkrone konnte mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests eine Normalverteilung festgestellt werden (Tabelle 1).

Tab.1: Test auf Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		W abs.	P mes.	P dist.	L abs. pal.	L abs. vest.	T abs.
N		120	120	120	120	120	120
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	6288,25	959,53	813,78	9599,09	9417,36	6074,18
	Standardabweichung	461,458	290,928	238,312	833,538	909,264	425,630
Extremste Differenzen	Absolut	,041	,072	,098	,073	,083	,044
	Positiv	,041	,072	,098	,054	,083	,044
	Negativ	-,041	-,040	-,067	-,073	-,049	-,041
Kolmogorov-Smirnov-Z		,451	,793	1,079	,802	,909	,485
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,987	,555	,195	,541	,380	,973

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		P pal.	P vest.	K mes.	K dist.	KA mes.	KA dist.
N		120	120	120	120	120	120
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	279,43	331,78	2949,13	2546,37	,3145	,2705
	Standardabweichung	151,387	165,742	556,662	533,712	,06028	,05435
Extremste Differenzen	Absolut	,078	,085	,067	,088	,073	,081
	Positiv	,078	,085	,048	,043	,073	,037
	Negativ	-,045	-,043	-,067	-,088	-,062	-,081
Kolmogorov-Smirnov-Z		,859	,935	,737	,960	,795	,892
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,451	,346	,649	,315	,552	,404

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Die Kronenbreite im zervikalen (W1), mittleren (W2) und inzisalen (W3) Kronenbereich:

Für die Messungen der Kronenbreite in mittleren Kronenbereich ergaben sich die größten Mittelwerte mit 6079 μm . Der zervikale mesiodistale Diameter ist mit einem Mittelwert von 4461 μm kleiner als der inzisale mit 5360 μm (Tabelle 2; Abb. 50).

Tab.2: Statistische Auswertung der Kronenbreiten W1, W2 und W3.

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
W 1	120	692	5658	4461,45	534,142
W 2	120	1122	7423	6079,81	647,576
W 3	120	608	6667	5360,13	896,405
Gültige Werte (Listenweise)	120				

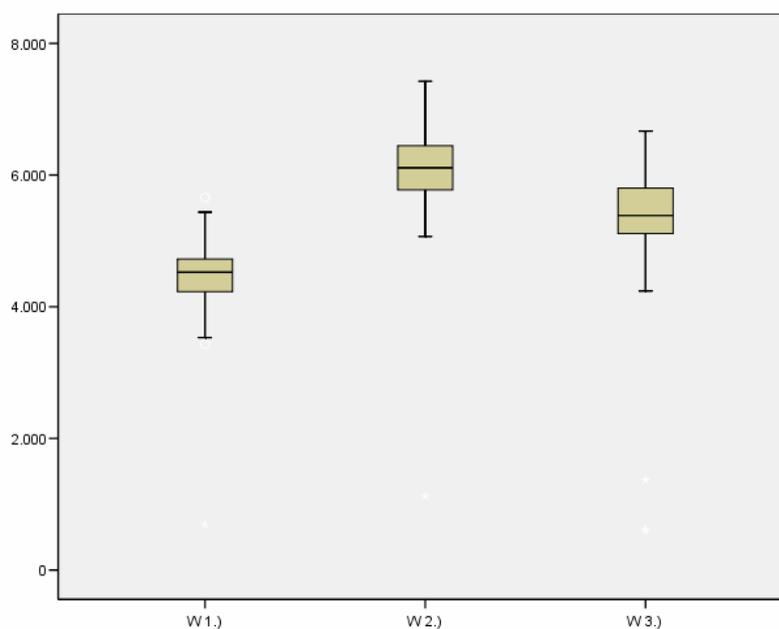


Abb. 50: Vergleich der Messwerte W1, W2 und W3

4.1.2 Dimensionen der Wurzel im zervikalen Bereich

Der Mittelwert für die Breite der Wurzel in mesio-distaler Richtung (W root) beträgt 4244 μm . Die Streuung, die durch die Standardabweichung wiedergegeben wird beträgt 350 μm (Abb. 51).

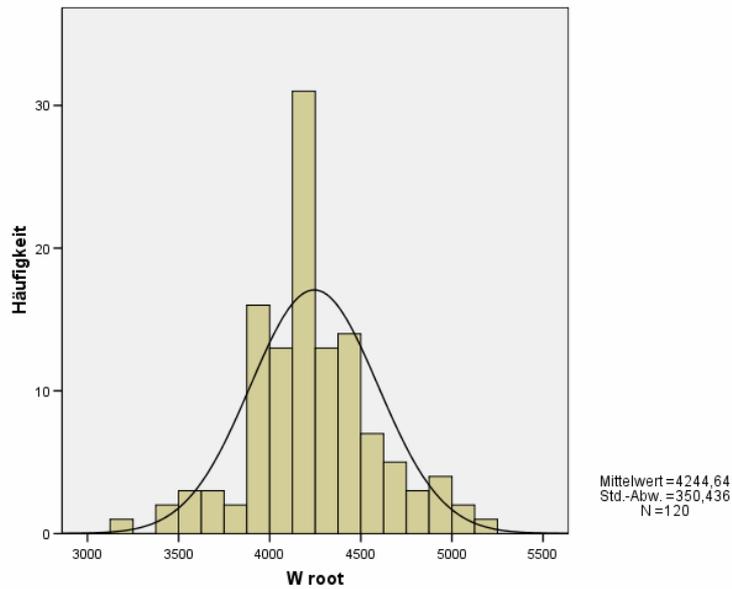


Abb. 51: Histogramm der Messwerte W root mit Normalverteilungskurve

In oro-vestibulärer Richtung besitzt die Wurzel im Mittel eine Dicke von 5482 μm , bei einer Standardabweichung von 456 μm (Abb. 52).

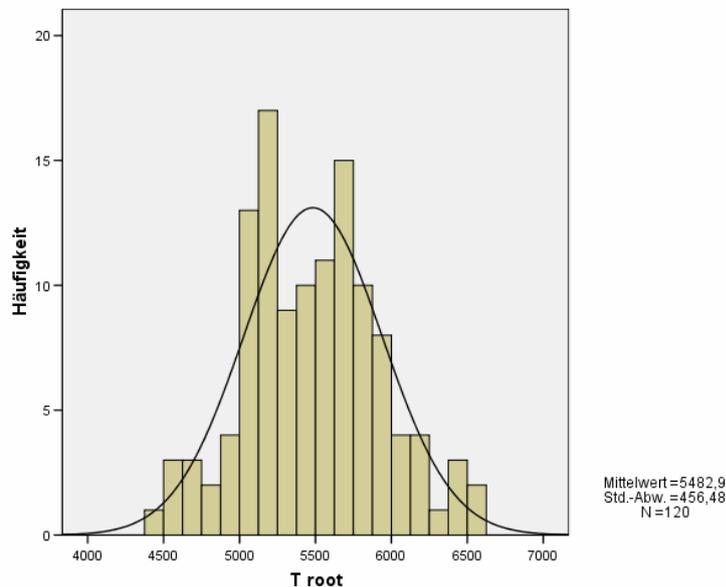


Abb. 52: Histogramm der Messwerte T root mit Normalverteilungskurve

Eine Normalverteilung der Werte für die Wurzelbreite (W root) und die Wurzeldicke (T root) konnte bestätigt werden (Tabelle 3).

Tab. 3: Test auf Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		W root	T root
N		120	120
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	4244,64	5482,90
	Standardabweichung	350,436	456,480
Extremste Differenzen	Absolut	,096	,064
	Positiv	,088	,064
	Negativ	-,096	-,059
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,054	,705
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,216	,702

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

4.1.3 Verhältnis der Kronendimensionen zu den Wurzeldimensionen

Die Regressionsrechnung ermöglicht bei einer bivarianten Untersuchung eine zusammenfassend beschreibende Charakterisierung des Zusammenhangs. Anhand der Abbildung 53 wird der Zusammenhang zwischen T root und T abs. deutlich sichtbar. Die Hypothese, die Steigung und der Ordinatenabschnitt in der Grundgesamtheit sei Null, kann aufgrund des Stichprobenniveaus verworfen werden. Es wurde dazu die unter T angegebene t-Verteilung angewendet (Tabelle 4).

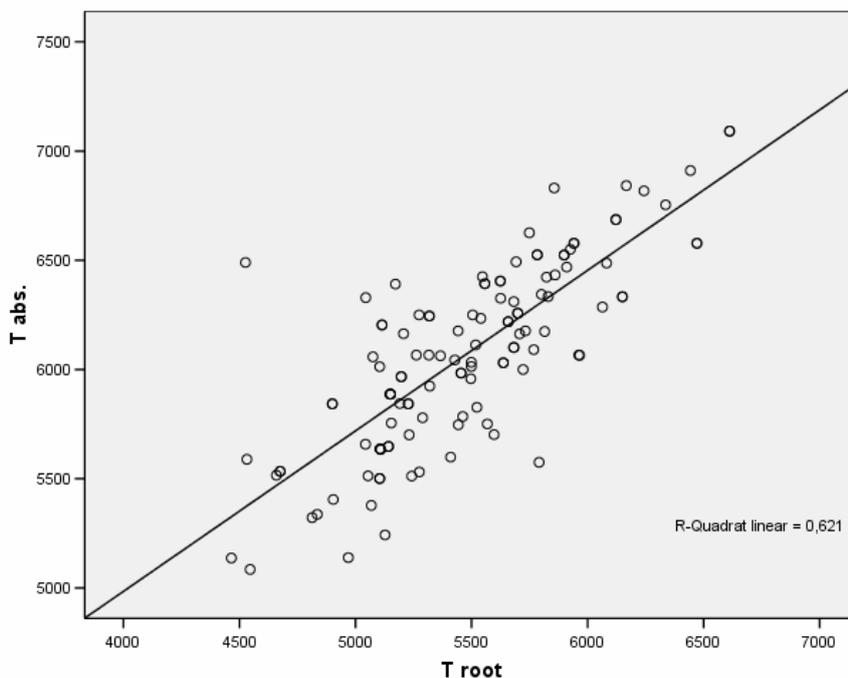


Abb. 53: Streudiagramm mit eingezeichneter Regressfunktion.

Tab. 4: Datenblatt Regression

		Koeffizienten ^a				Signifikanz
		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	
Modell		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	2045,273	290,705		7,036	,000
	T root	,735	,053	,788	13,907	,000

a. Abhängige Variable: T abs.

Die Stärke des Zusammenhangs der bivarianten Untersuchung zwischen T root und T abs. wurde mit der Korrelationsrechnung nach Bravis und Pearson bemessen. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,788. Bei einem hier gewählten Signifikanzniveau von 1% bedeutet diese Überschreitungswahrscheinlichkeit, dass die Hypothese der Unabhängigkeit zwischen beiden Variablen verworfen werden muss (Tabelle 5 und 6).

Tab. 5: Datenblatt Korrelation

Modellzusammenfassung				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,788 ^a	,621	,618	263,118

a. Einflußvariablen : (Konstante), T root

Tab. 6: Test auf Unabhängigkeit zwischen T root und T abs

Korrelationen			
		T root	T abs.
T root	Korrelation nach Pearson	1	,788**
	Signifikanz (2-seitig)		,000
	N	120	120
T abs.	Korrelation nach Pearson	,788**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	
	N	120	120

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

In Abbildung 54 wird der Zusammenhang zwischen W root und W abs. graphisch dargestellt. Die Hypothese, der Ordinatenabschnitt und die Steigung in der Grundgesamtheit sei Null, kann aufgrund des Stichprobenniveaus verworfen werden (Tabelle 7).

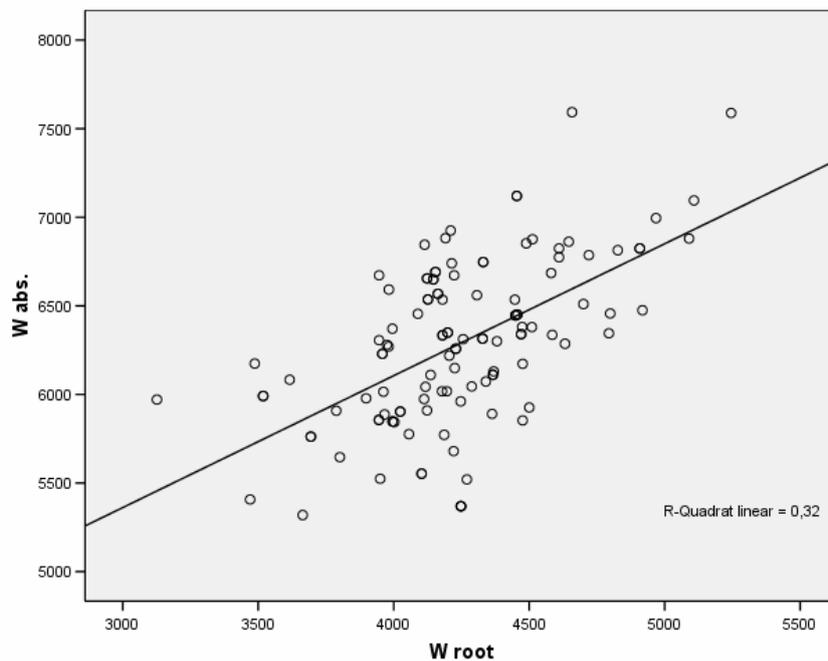


Abb. 54: Streudiagramm mit eingezeichneter Regressfunktion.

Tab. 7: Datenblatt Regression

		Koeffizienten ^a				
		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		
Modell		B	Standardfehler	Beta	T	
1	(Konstante)	3128,154	425,847		7,346	,000
	W root	,744	,100	,565	7,446	,000

a. Abhängige Variable: W abs.

Die Korrelationsrechnung nach Bravis und Pearson ergibt für W root und W abs. einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,565$. Die Hypothese der Unabhängigkeit zwischen W root und W abs. muss bei dem gewählten Signifikanzniveau von 1% verworfen werden (Tabelle 8 und 9).

Tab. 8: Datenblatt Korrelation

Modellzusammenfassung				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,565 ^a	,320	,314	290,274

a. Einflußvariablen : (Konstante), W abs.

Tab. 9: Test auf Unabhängigkeit zwischen W root und W abs.

Korrelationen			
		W root	W abs.
W root	Korrelation nach Pearson	1	,565**
	Signifikanz (2-seitig)		,000
	N	120	120
W abs.	Korrelation nach Pearson	,565**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	
	N	120	120

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

4.1.4 Interobserver und intraobserver error

Bei der Überprüfung des interobserver error, durch Vermessung der Kronenlänge an 30 Zähnen, zeigte sich, dass die Messergebnisse zwischen den drei Untersuchern um max. 150 µm voneinander abwichen (Abb. 55). An neun Zähnen ergaben sich Differenzen zwischen 100-150 µm. 14 Zähne wurden mit einer maximalen Differenz vermessen, die zwischen 50-100 µm lag. Bei den restlichen 7 Zähnen waren die Abweichungen geringer als 50 µm.

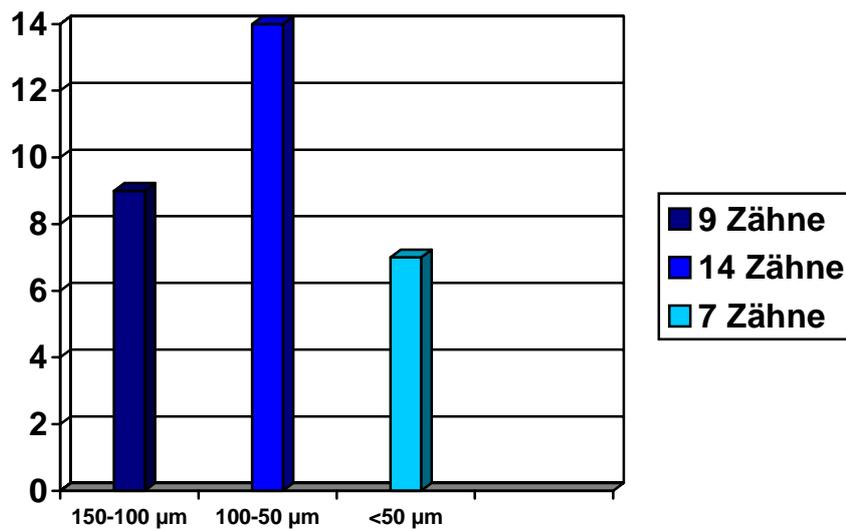


Abb. 55: Maximale Messdifferenz bei drei Untersuchern bezüglich der Kronenhöhe

Bei der Überprüfung des interobserver error anhand des Diameters der Kronenbreite (Abb. 56) zeigten sich bei drei Zähnen Abweichungen die größer als 100 µm, aber kleiner als 150 µm waren. An 15 Zähnen wurden Strecken ermittelt, deren Messdifferenz zwischen 50 µm und 100 µm lag. Bei 12 Zähnen waren die Abweichungen geringer als 50 µm.

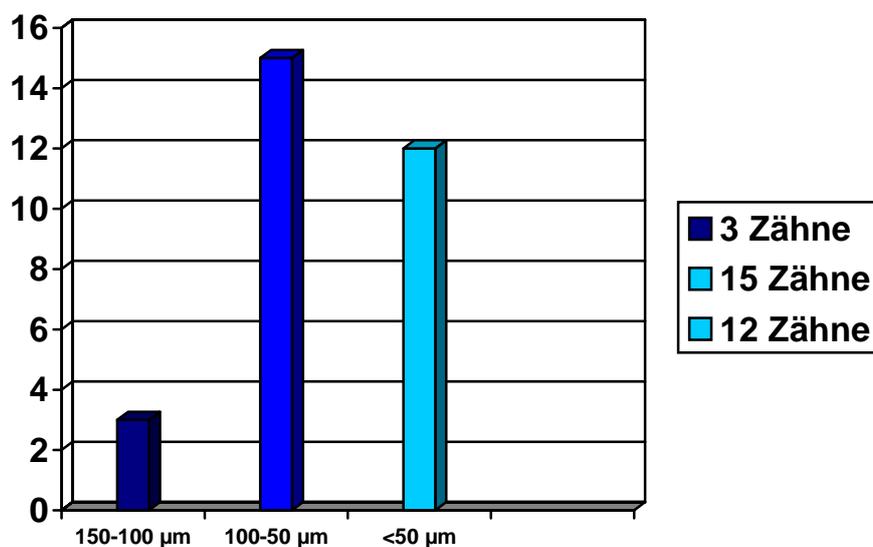


Abb. 56: Maximale Messdifferenz bei drei Untersuchern bezüglich der Kronenbreite

Bei der wiederholten Messung der Kronenlänge nach einer Woche lagen die Abweichung bei allen drei Untersuchern zu 82% im Bereich von 50-100 μm . 18% der Messungen zeigten Abweichungen von unter 50 μm (Abb. 57).

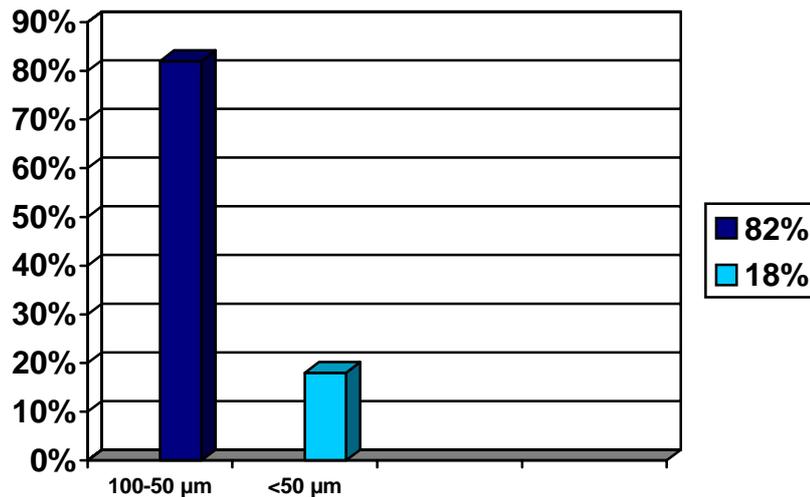


Abb. 57: Maximale Abweichung bei wiederholter Messung der Kronenhöhe aller drei Untersucher

Bei der wiederholten Messung der Kronenbreite nach einer Woche lagen die Abweichung bei allen drei Untersuchern zu 76% im Bereich von 50-100 μm . 24% der Messungen zeigten Abweichungen von unter 50 μm (Abb. 58).

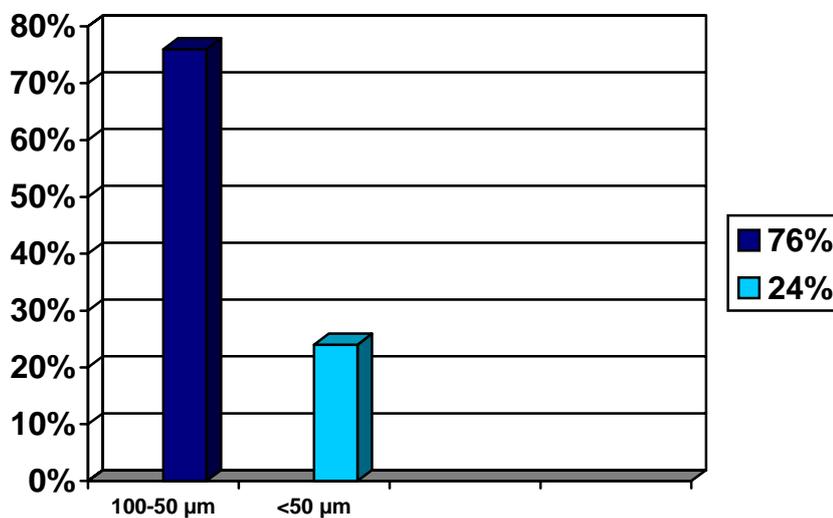


Abb. 58: Maximale Abweichung bei wiederholter Messung der Kronenbreite aller drei Untersucher

Anhand der Tabelle 10 kann mittels des Korrelationskoeffizienten r nach Pearson zusätzlich der interobserver und der intraobserver error für die Messung der Kronenbreite beurteilt werden. Es zeigte sich bei der wiederholten Vermessung der Kronenbreite durch denselben Untersucher anhand von 30 zufällig ausgewählten Zähnen eine große Übereinstimmung der Messwerte ($0,989 > r > 0,944$). Die Messungen zwischen den Untersuchern (A,B,C) zeigten ebenfalls eine große Übereinstimmung ($0,994 > r > 0,936$). Tabelle 11 zeigt die Korrelationskoeffizienten nach Pearson für den intra- und interobserver error in Bezug auf die Messung der Kronenlänge. Der interobserver error übertrifft den intraobserver error geringfügig.

Tab. 10: Korrelation nach Pearson für intraobserver und interobserver error der Kronenbreite

		Korrelationen					
		W abs. A 1.	W abs. A 2.	W abs. B 1.	W abs. B 2.	W abs. C 1.	W abs. C 2.
W abs. A 1.	Korrelation nach Pearson	1	,989**	,950**	,943**	,983**	,978**
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000	,000
	N	30	30	30	30	30	30
W abs. A 2.	Korrelation nach Pearson	,989**	1	,952**	,943**	,994**	,992**
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000	,000	,000	,000
	N	30	30	30	30	30	30
W abs. B 1.	Korrelation nach Pearson	,950**	,952**	1	,994**	,949**	,949**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000		,000	,000	,000
	N	30	30	30	30	30	30
W abs. B 2.	Korrelation nach Pearson	,943**	,943**	,994**	1	,937**	,936**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000		,000	,000
	N	30	30	30	30	30	30
W abs. C 1.	Korrelation nach Pearson	,983**	,994**	,949**	,937**	1	,994**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000		,000
	N	30	30	30	30	30	30
W abs. C 2.	Korrelation nach Pearson	,978**	,992**	,949**	,936**	,994**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	30	30	30	30	30	30

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tab. 11: Korrelation nach Pearson für den intraobserval und interobserval error der Kronenlänge

		Korrelationen					
		L abs. A 1.	L abs. A 2.	L abs. B 1.	L abs. B 2.	L abs. C 1.	W abs. C 2.
L abs. A 1.	Korrelation nach Pearson	1	,990**	,986**	,979**	,985**	,580*
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000	,023
	N	30	30	30	30	30	30
L abs. A 2.	Korrelation nach Pearson	,990**	1	,979**	,976**	,976**	,602*
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000	,000	,000	,018
	N	30	30	30	30	30	30
L abs. B 1.	Korrelation nach Pearson	,986**	,979**	1	,993**	,976**	,579*
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000		,000	,000	,024
	N	30	30	30	30	30	30
L abs. B 2.	Korrelation nach Pearson	,979**	,976**	,993**	1	,977**	,589*
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000		,000	,021
	N	30	30	30	30	30	30
L abs. C 1.	Korrelation nach Pearson	,985**	,976**	,976**	,977**	1	,563*
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000		,029
	N	30	30	30	30	30	30
Wabs. C 2.	Korrelation nach Pearson	,580*	,602*	,579*	,589*	,563*	1
	Signifikanz (2-seitig)	,023	,018	,024	,021	,029	
	N	30	30	30	30	30	30

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

4.2 Strukturmerkmale der Krone

Die Auswertung der einzelnen Strukturmerkmale (Abb. 59) zeigt, dass ein stark ausgeprägtes Foramen caecum mit 35% häufig anzutreffen war. Zu 11,7% lag es in leichter Ausprägung vor und bei über der Hälfte der Zähne konnte es nicht nachgewiesen werden. Auch zeigte sich durchaus häufig ein deutlicher palatinaler Überhang bei 34% der Zähne. Leicht ausgeprägt war der Überhang bei 15,8% und nicht vorhanden bei ebenfalls mehr als der Hälfte der Fälle. Eine mesio-labiale Grube kam nur in 5% der hier untersuchten Zähne vor. 3,3% der

Zähne wiesen dieses Merkmal in nur leichter Ausprägung auf und bei 91,7% der Fälle trat es nicht in Erscheinung.

Das Merkmal „marginosegmentale Furche“ konnte in 15% der Fälle stark ausgeprägt festgestellt werden. 9,2% der Zähne erhielten die Bewertung „leicht ausgeprägt“ und 75,8% das Urteil „nicht vorhanden“ (Abb. 59).

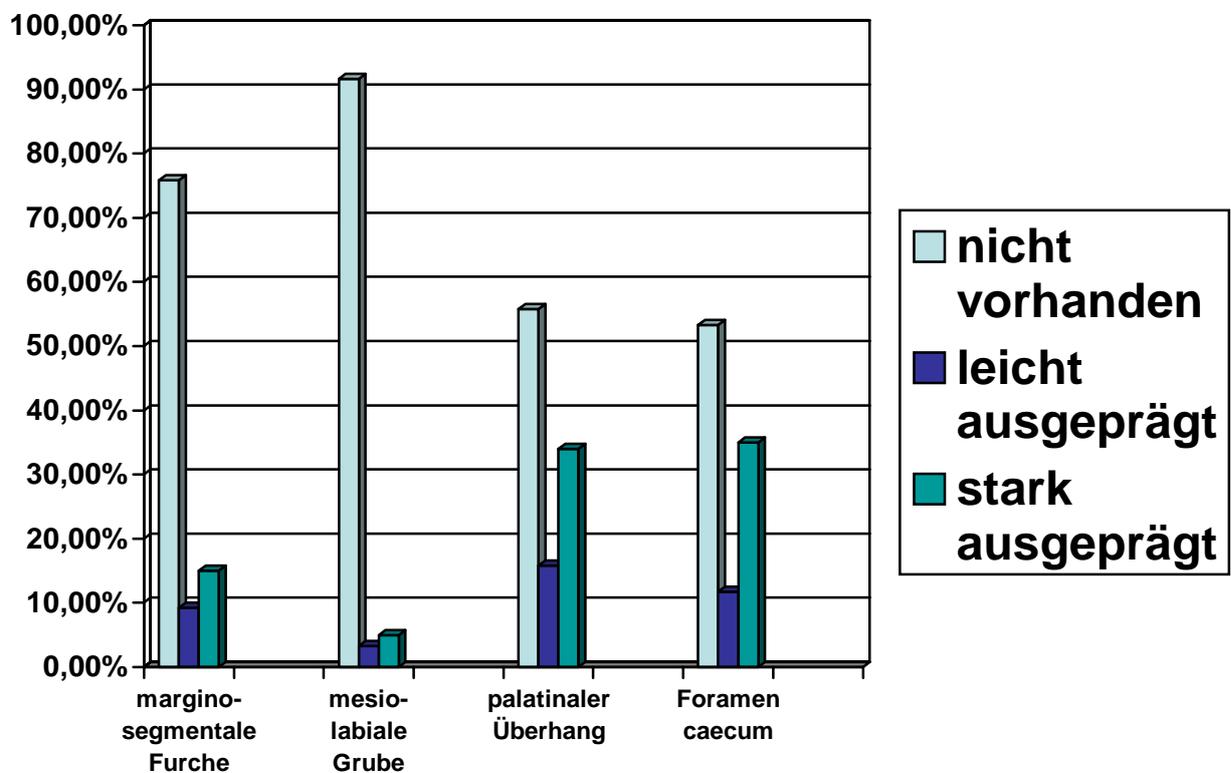


Abb. 59: Strukturmerkmale nach visueller Bewertung

Eine stark ausgeprägte marginosegmentale Grube kam mesial bei 17,5% und distal bei 14,2% der untersuchten Zähne vor. Dagegen war dieses Merkmal in leichter Ausprägung distal häufiger (10%), als mesial (5,8%) anzutreffen (Abb. 60).

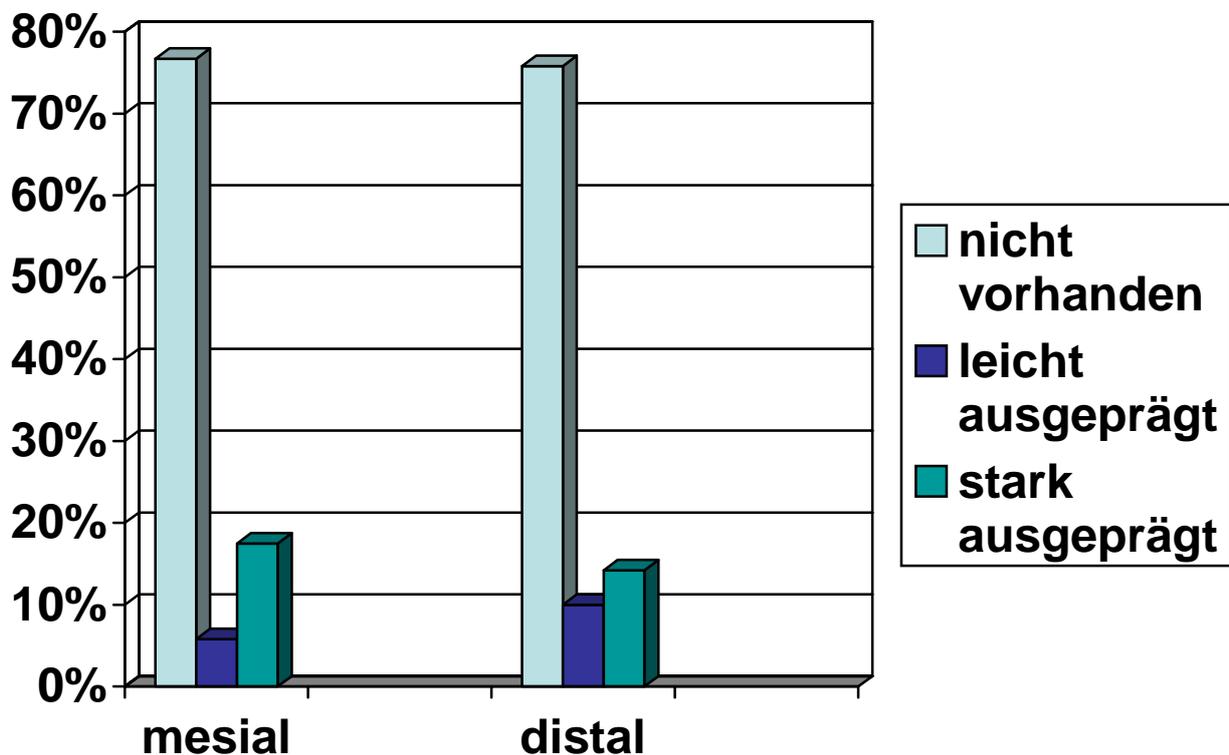


Abb. 60: Mesiale und distale Ausprägung der marginosegmentalen Grube

Eine grubenartige bis fissurenartige Struktur, die auf der Randleiste der palatinalen Fläche vorkommt und sich bisweilen bis in die Wurzel fortsetzt wurde neu als palatinale Randleistenstruktur bezeichnet (Kap. 3.7). Diese war bei den hier untersuchten Zähnen maximal einseitig (mesial oder distal) anzutreffen. Bezüglich aller Ausprägungen dieses Merkmals war eine eindeutige mesiale Gewichtung zu erkennen. Eine Fissur, die größtenteils auf die palatinale Randleiste beschränkt war (Grad I), zeigte sich ausschließlich mesial in 15%.

Eine Fissur mit Beteiligung der approximalen Fläche (Grad II) und eine Fissur, die bis in die Wurzel reicht (Grad III), zeigte sich jeweils mesial zu 3,3%. Distal zeigte sich das Merkmal jeweils in der Ausprägung gemäß Grad II und III gleich häufig mit 2,5% (Abb. 61).

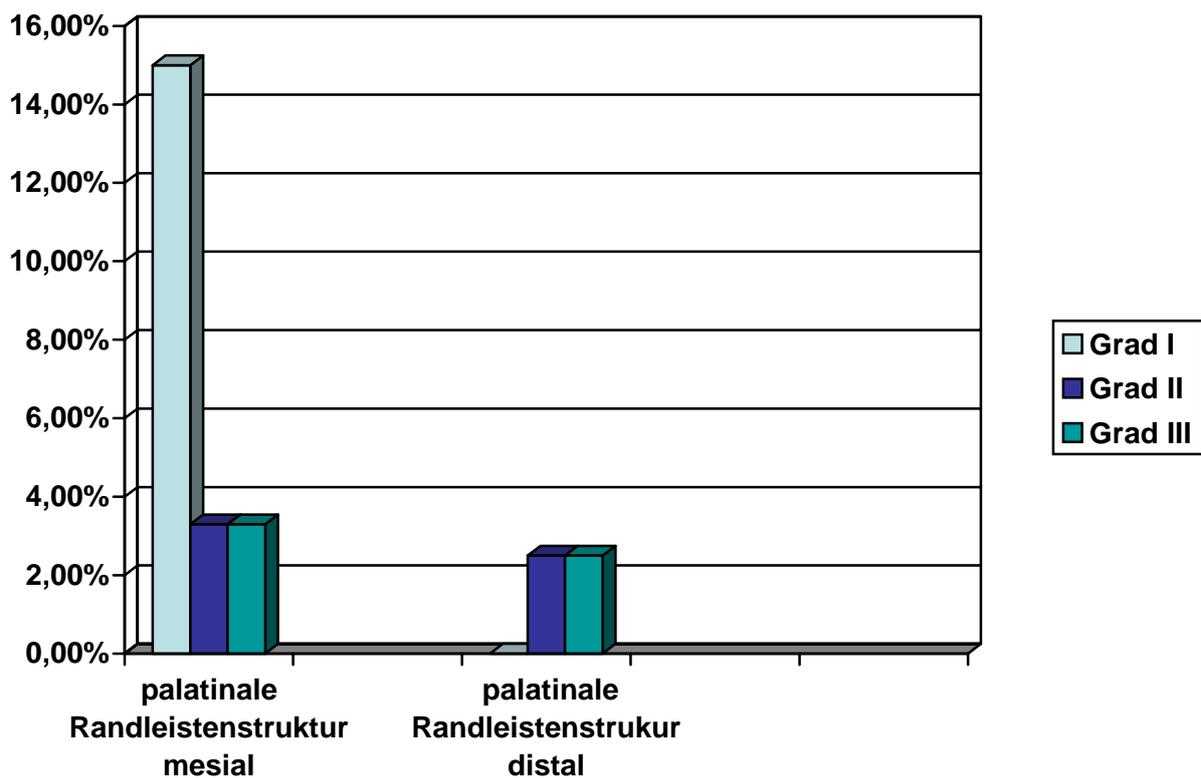


Abb. 61: Palatinale Randleistenstruktur im Bereich der mesialen und distalen Randleiste

Bei 13,3% der Zähne zeigte sich eine mesiale proximale Grube. 3,3% der Zähne wiesen dieses Merkmal nur in leichter Ausprägung auf (Abb. 62).

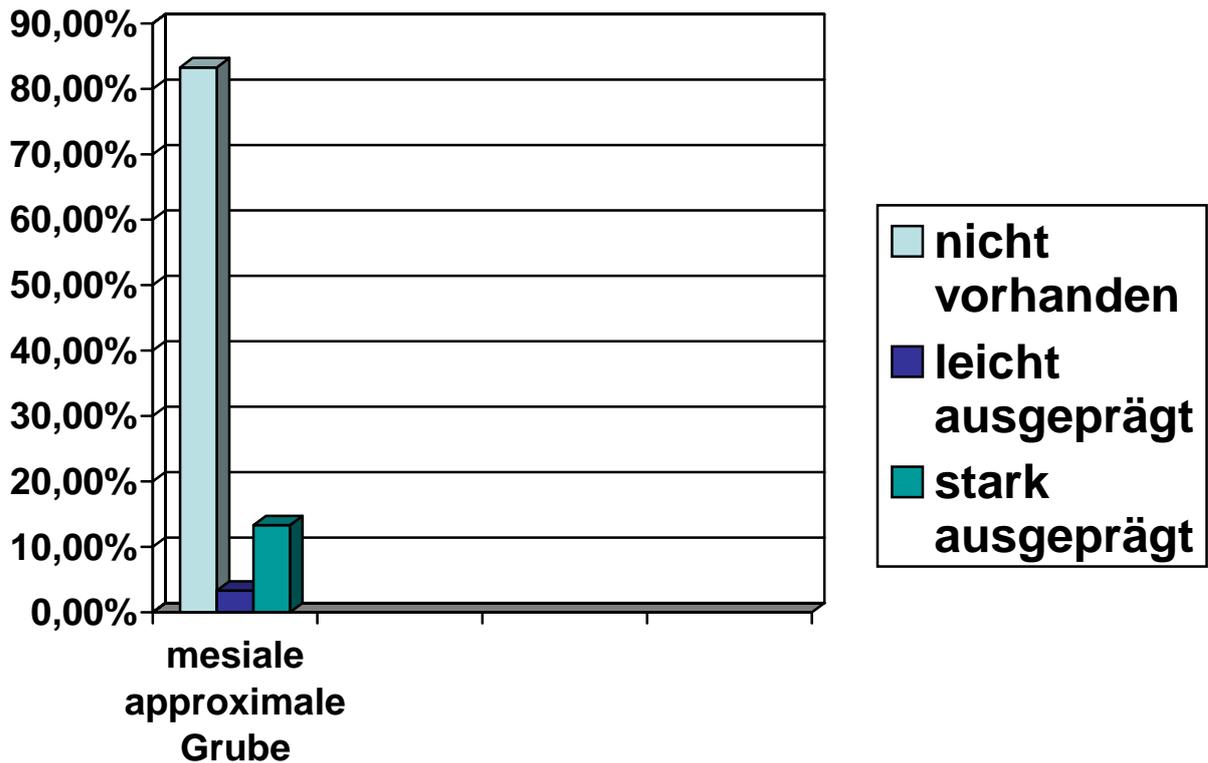


Abb. 62: Häufigkeit der mesialen approximalen Grube

5 Diskussion

5.1 Material und Methode

5.1.1 Zahnmaterial

Bei anatomischen Studien an Einzelzähnen besteht grundsätzlich das Problem, Material in zu finden, das eine große Fallzahl und gleichzeitig einen hohen Grad an Unversehrtheit aufweist. Die Zahnstruktur ist häufig durch Attrition, Abrasion und Karies verändert oder sogar zerstört. Ebenso können Zähne mit Strukturanomalien nicht verwendet werden. Um anatomische Studien an unversehrten Zähnen durchzuführen, wird aus diesen Gründen meist auf naturgesunde Gebisse von jungen Patienten zurückgegriffen. Dazu werden klassischerweise die Zahnreihen mit einem elastischen Material abgeformt und mit Gips dupliert. Mit diesem Verfahren ist es möglich Modelle zu gewinnen, die alle Details der Zähne exakt und dimensionsgetreu wiedergeben. Als Nachteil erweist sich, dass der zervikale Bereich meist durch die Gingiva maskiert ist, weiterhin kann die proximale Fläche bei lückenlosen Zahnreihen nicht eingesehen werden.

Bei Studien an vermeintlich intakten Einzelzähnen werden gewisse Defekte, die durch eine Abnutzung in der Gebrauchsperiode entstanden sind, in Kauf genommen. In besonderem Maße ist dabei die Inzisalkante betroffen, aber auch an den Glattflächen können anatomische Details verloren gehen. Bei der Auswahl der Zähne wird deshalb eine Oberfläche gefordert, die zumindest keine Dentinexposition aufweist. Da aber gerade inzisal die Schmelzdicke mehr als einen Millimeter betragen kann, ist diese Forderung für präzise Studien oftmals nicht ausreichend [84].

Das Material dieser Untersuchung wurde von einer anatomischen Sammlung aus Amsterdam (Museum Vrolik, Faculty of Medicine, Academic Medical Center, Amsterdam) zu Verfügung gestellt. Es konnte versichert werden, dass die Zähne von Personen stammen, die im Alter von ca. 20 bis 30 Jahren verstorben sind. Eine Exhumierung hat gegen Ende des 19. Jahrhunderts stattgefunden. Durch das geringe Alter der Individuen waren die Zähne nur einen geringen Zeitraum den abnützenden Einflüssen der Mundhöhlen ausgesetzt. Das hier verwendete Material besitzt somit einen außergewöhnlich hohen Grad an Unversehrtheit, der weltweit selten zu finden ist. Die Sortierung und Aufbewahrung erfolgte jedoch nicht für jedes Individuum getrennt, sondern lediglich gepoolt nach Zahngruppen. Ein Symmetrievergleich eines Zahnes mit seiner Entsprechung im Nachbarquadranten war deshalb nicht möglich. Außerdem fehlen die Angaben bezüglich Gewicht, genaues Alter und Geschlecht der Individuen, von denen die Zähne stammen.

Die Zähne wurden mit einer zahntechnischen Dubliermasse (Bego, Wiroxil®) abgeformt und die Negativformen mit einem Zahnkranzgips (Rocky Mountain® Typ 4, EN ISO 8673) ausgegossen. Dieses auch in der Zahntechnik angewandte Verfahren ermöglicht es, eine Kopie des Originals mit sehr hoher Genauigkeit herzustellen. Unterschiede in der Dimension im Vergleich zum Originalobjekt bewegen sich im Bereich von 50 µm und können von den Hersteller des Gipses und des Abformmaterials garantiert werden.

5.1.2 Der Laserscanner

Mit dem Prototyp des Laserscanners „es 1“ der Firma etkon (Gräfelfing) wurden pro Zahn bis zu einer Millionen Datenpunkte erfasst. Die vom Hersteller angegebene Messtoleranz von 10 µm war für die Vermessung und die anatomische Studie der Einzelzähne ausreichend. Bei der Darstellung der Datensätze mit der Geomagic-Software zeigten sich bei der Beibehaltung der Grundein-

stellung mit Winkelschritten von 45° durchgehend gute Scanergebnisse. Die Handhabung bedurfte jedoch gewisser Übung, da eine falsche Positionierung der Einzelzähne, zu nicht verwertbaren Ergebnissen führte. Als großen Vorteil stellten sich die Zahnpins heraus, die apikal aus der Zahnkrone ragen. Sie gewährleisteten eine exakte räumliche Einstellung in den mit Knetmasse beschickten Töpfen des Scanners, besonders in der gewünschten Höhe. Keine Probleme gab es mit der Oberflächenbeschaffenheit der Gipskronen. Durch die matte Struktur traten keine Reflexionen auf, die bei der Verwendung von Laserlicht unbedingt vermieden werden müssen. Erste Versuche, bei denen als Material ein eingefärbtes Epoxydharz diente, mussten abgebrochen werden, da aufgrund der Reflexionen eine Erfassung mit dem Scanner nicht möglich war. Vorteil der Epoxydharz-Kronen wäre gewesen, dass diese robuster gegen mechanische Beschädigungen sind. Inwiefern eine Nachbearbeitung der Oberfläche mit einem Sandstrahler oder durch Beschichtung mit einem dünnen Pulver Reflexionen verhindert bliebe zu überprüfen.

Nach einer anfänglichen Übungsphase konnte der gesamte Sannvorgang relativ zügig gestaltet werden. Bei idealen Bedingungen wurden für das Positionieren, das eigentliche Scannen und die Abspeicherung der Daten ca. 4 Minute pro Zahn benötigt.

5.1.3 Scan- und Match-Software

Der Scanvorgang erfolgte mit dem Programm etkon-visual 2001 in der Version 2070, basierend auf dem Betriebssystem SuSe Linux 8.0. Die Bedienung und Menüführung waren intuitiv verständlich und das Programm beim Scannen grundsätzlich stabil.

Die Überlagerung der Einzelscans zu einem dreidimensionalen Gesamtmodell erfolgte mit dem Matching-Programm Match 3D 2.4 © [23], ebenfalls basierend

auf dem Betriebssystem SuSe Linux 8.0. Mit der Stabilität des Systems gab es keine Probleme.

5.1.4 Software Geomagic

Die Software Geomagic ist ein Flächenrückführungsprogramm, welches ermöglicht aus Daten eines physikalischen Objektes ein virtuelles dreidimensionales CAD-Modell zu generieren. Die Datengewinnung erfolgt dabei zumeist mit einem Scanner. In der Industrie wird dieses Verfahren auf allen Gebieten angewendet, bei denen Objekte mittel CAD-Technologie optimiert werden sollen, ein entsprechendes virtuelles Modell aber noch nicht zur Verfügung steht. Aufgrund der Komplexität des Programms war jedoch eine lange Einarbeitungszeit nötig. Weiterhin bedurften die Steuerung und die Bewegung des virtuellen Modells auf dem Bildschirm, mittels kombinierten Einsatzes von Maus und Tastatur, einige Übung.

5.1.5 Messfehler metrischer Dimensionen

In der Anthropometrie werden, abhängig von den gemessenen Körperteilen, Messtoleranzen zwischen 1 und 10 mm akzeptiert. Bei der metrischen Auswertung sehr kleiner anatomischer Details, beispielsweise der Nasenwurzeltiefe oder der Zähne, ist eine Genauigkeit von 0,1 mm erforderlich [54]. Auch in der Kieferorthopädie wäre es wünschenswert, wenn die Ergebnisse in diesem Bereich lägen, doch müssen hier geringfügig größere Abweichungen toleriert werden, da ganze Kiefermodelle vermessen werden, bei denen die Messpunkte durch Nachbarzähne oder Weichteilstrukturen verdeckt bleiben.

5.1.5.1 Fehlerhafte Grundausrichtung

Das „Measure tool“ der Geomagic Software zeigte sich zur Zahnvermessung gut geeignet. Nach dem Markieren von zwei Punkten auf dem Zahn, wird die Länge der resultierenden Strecke angegeben. Gleichzeitig werden die Längen der Strecken ermittelt, die sich als Projektion auf die drei Raumachsen ergeben. Soll beispielsweise die Kronenlänge bestimmt werden, so gilt als allgemeine Definition, die Länge der Strecke parallel zur Kronenachse, zwischen dem inzisalsten Punkt und dem am weitesten apikal gelegenen Punkt auf der Schmelz-Zement-Grenze. Werden mit dem „Measure Tool“ die entsprechenden Punkte markiert, so ist lediglich die Projektion auf die y-Achse von Interesse (Abb. 63). Da die Kronenachse parallel zur y-Achse steht, wird die Messung laut Definition erfüllt. Es wird somit erkennbar, dass die Zuordnung der x-, y- und z-Achse zum jeweiligen Zahn für alle Messungen von grundlegender Bedeutung ist.

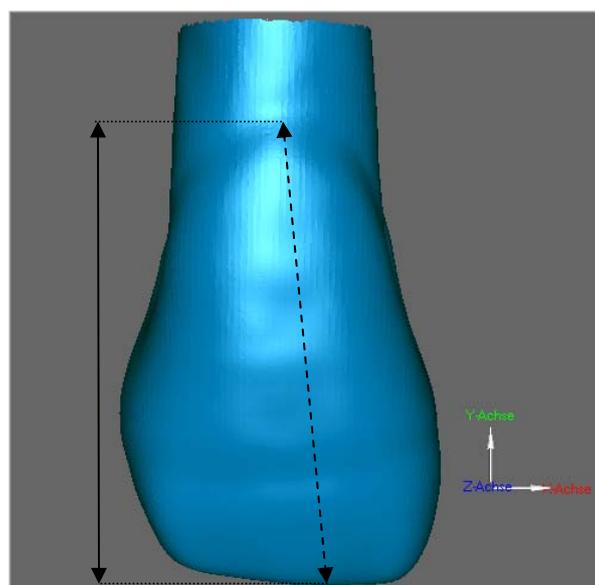


Abb. 63: Vereinfachte Darstellung der Projektion der Kronenhöhe

Die Zuordnung der Raumachsen erfolgte, nachdem der Zahn auf dem Bildschirm im virtuellen dreidimensionalen Raum ausgerichtet wurde. Für die Ausrichtung wiederum, zeigte es sich ausreichend den Zahn aus der vestibulären und gleichzeitig aus der mesio-approximalen Ansicht zu betrachten. In der jeweiligen Ansicht soll die Kronenachse parallel zur Bildschirmsenkrechten stehen, die der y-Achse entspricht. Bei der mesio-approximalen Ansicht konnte die Kronenachse nach kieferorthopädischen kephalometrischen Richtlinien konstruiert werden. Die Bestimmung der Kronenachse in der vestibulären Ansicht war ausschließlich nach Erfahrungswerten möglich, da keine eindeutige Punkte erkennbar sind, die eine Konstruktion der Achse erlauben. Weiterhin sollte darauf geachtet werden, dass die jeweilige Zahnoberfläche in ihrer maximalen Ausdehnung sichtbar ist und möglichst keine angrenzenden Flächen eingesehen werden können. Dies ist besonders zur exakten Bestimmung der mesio-distalen und oro-vestibulären Diameter wichtig. Nachdem der Zahn richtig positioniert wurde, erfolgte die endgültige Zuordnung der x-, y- und z-Achse. Für die Vermessung konnten die Zähne jederzeit in der identischen Position wieder aufgerufen werden und aus sechs zueinander senkrecht stehenden Ansichten betrachtet werden. Eine freie Bewegung im dreidimensionalen Raum war über die Steuerung mit der Maus zusätzlich möglich.

Wird der Zahn wiederholt oder durch unterschiedliche Untersucher im Raum orientiert, so sind unterschiedliche Ausgänge zu beobachten. Die Gründe dafür liegen in der Freiform des Zahnes, die, im Gegensatz zu einem geometrisch konstruierten Gebilde, nur wenige Strukturen besitzt, welche eine absolut zweifelsfreie Ausrichtung erlauben. Inwiefern eine unterschiedlich Ausrichtung, Auswirkungen auf die gemessenen Diameter hat, sollte mit dem folgenden Verfahren überprüft werden.

Dazu wurde die Möglichkeit genutzt, Einzelansichten mit der Software um exakt 5° , 10° und 15° entlang der y-Achse zu drehen. 50 Zähne wurden um jeweils diesen Betrag nach mesial und distal gedreht und anschließend die Kronenbreite (Wabs.) erneut vermessen. Unabhängig von der Drehrichtung, kam es dabei erst ab einer Rotation von 15° zu einer Änderung der Breitenmessung von max. $150\ \mu\text{m}$. Betrachtet man nun den Zahn nach einer vollzogenen 15° -Drehung erneut, so zeigen sich die geforderten Bedingungen zur Grundausrichtung nicht mehr erfüllt. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass durch die Grundausrichtung keine Folgefehler entstehen, die zu Messfehlern führen.

5.1.5.2 Interobserver und intraobserver error

Ein grundlegendes Problem ist die Auffindung von definierten Punkten an Freiformoberflächen. Deshalb können selbst wiederholte einfache Messungen desselben Beobachters oder einfache Messung, die von verschiedenen Personen an gleichen Objekten ausgeführt werden, erheblich differieren [18]. Dabei spielen einerseits die Schwierigkeit der richtigen Identifizierung von Messpunkten und andererseits personeneigene Voraussetzungen [82, 97, 59] eine Rolle. In der klinischen Anwendung z.B. in der Kieferorthopädie, haben derartige Fehler nur geringe Auswirkungen, da die Abweichungen in dieser Größenordnung für die Praxis irrelevant sind. Für wissenschaftliche anatomische Fragestellungen müssen jedoch reproduzierbare Messergebnisse gefordert werden [18]. Um die Reproduzierbarkeit (engl. precision) der manuellen Auswertung beurteilen zu können, wurde der interobserver error und intraobserver error anhand des Korrelationskoeffizienten nach Pearson untersucht. Aufgrund der durchweg hohen r-Werte konnte eine hohe Wiederholungsgenauigkeit bewiesen werden. Aus den metrisch gewonnenen Abweichungen bei den wiederholten Messungen zum interobserver und

intraobserver error (Kap. 4.1.4) kann gefolgert werden, dass dieses hier beschriebene Verfahren zur wissenschaftlichen Vermessung von Zähnen geeignet ist, wenn Messtoleranzen akzeptiert werden, die unterhalb von 150 μm liegen.

5.1.5.3 Messfehler durch den Laserscanner und die Software Geomagic

Bezüglich der Messgenauigkeit des Laserscanners, kann vom Hersteller eine Messtoleranz von 10 μm garantiert werden. Die Genauigkeit der Vermessung von dreidimensionalen Objekten auf dem Bildschirm mit der Geomagic Software wurde anhand eines genormten Prüfkörpers überprüft. Es zeigte sich bei wiederholten linearen Messungen eine Abweichung von $\pm 0.05\text{mm}$. Folglich können derart geringe systematische Fehler, die durch den Scanner und die Software bedingt sind, bei der Interpretation der Ergebnisse vernachlässigt werden.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Metrische Diameter

Anhand vieler vorhergegangener metrischer Untersuchungen, konnte gezeigt werden, dass unterschiedliche Zahngrößen bei verschiedenen menschlichen Rassen vorhanden sind. Während die europide Rasse zur Mikrodontie neigt, zeigen Negride größere Kronendimensionen [13, 94, 54]. Zur den besonders makrodonten Völkern zählen die australischen Bewohner, Timoresen und Papuas [5]. Die kleinsten Diameter können bei Altägyptern, Birmanen und Feuerländern nachgewiesen werden [44, 90]. Bewohner der asiatischen Region zeigen geringfügig größere Werte als die europide Rasse. Die Zahngrößen der weißen nordamerikanischen Bevölkerung entsprechen denen der europäischen

Region. Die beiden letztgenannten Bevölkerungsgruppen werden als gemeinsame ethnische Gruppe verstanden und als Kaukasier bezeichnet.

In der Literatur finden sich zahlreiche Angaben über den mesiodistalen und den orovestibulären Diameter der Zahnkrone des oberen lateralen Schneidezahnes bei unterschiedlichen ethnischen Gruppen. Weniger häufig sind Werte über die Kronenhöhe zu finden. Untersuchungen zum orovestibulären und mesiodistalen Wurzeldurchmesser und zur Kontur der Schmelz-Zement-Grenze wurden von anderen Autoren nur vereinzelt durchgeführt. Zu weiteren in dieser Arbeit neu definierten Diametern konnten keine Angaben gefunden werden (mesiale, distale, palatinale und vestibuläre Prominenz). In dem Buch „Kraus Dental Anatomy and Occlusion“ wird zwar die ausgeprägte Varianz der distalen Prominenz am seitlichen oberen Schneidezahn („prominence of the distal lobe“) beschrieben, eine metrische Angabe findet sich dazu jedoch nicht [48].

Durchschnittliche Messungen zu Zahnbreiten des oberen seitlichen Schneidezahnes bei Kaukasiern bewegen sich von 5,8 bis 6,9 mm. Für die Kronendicke werden durchschnittliche Werte von 5,6 bis 6,6 mm angegeben [2, 20, 45, 51, 62, 92, 96, 98]. Mühlreiter gibt bei der Untersuchung, seines aus der Salzburger Bevölkerung stammenden Zahnmaterials, für die Kronenbreite Minimal- und Maximalwerte zwischen 5,0 und 8,0 mm an. Die Dicke der Krone betrage zwischen 5,0 und 8,8 mm [64]. Die in dieser Arbeit ermittelten Werte für den durchschnittlichen mesiodistalen (6,3 mm) und orovestibulären (6,1 mm) Durchmesser befinden sich im Vergleich zu anderen entsprechenden Untersuchungen im mittleren Bereich.

Die vestibuläre Kronenhöhe ist allgemein ein selten gemessener Diameter. Die von wenigen Autoren ermittelten durchschnittlichen Werte betragen zwischen 9,4 und 9,9 Millimeter [9, 98]. Im Vergleich dazu, liegt die durchschnittliche

vestibuläre Kronenhöhe, der hier untersuchten Zähne (9,41 mm) im unteren Bereich. Angaben zur palatinalen Kronenhöhe konnten nicht gefunden werden. Somit können in dieser Arbeit erstmals Werte zur palatinalen Kronenhöhe veröffentlicht werden. Diese betragen im Durchschnitt 9,59 mm und übertreffen damit die vestibuläre Kronenhöhe.

Der von Wheeler [98] ermittelte Wert für die mesiale Kontur (3,0 mm) korreliert mit den Ergebnissen dieser Untersuchung. Dagegen ist der in dieser Arbeit ermittelte durchschnittliche Wert für die distalen Kontur ist um 0,5 mm größer, als der von Wheeler angegebene Wert (2,0 mm). Somit zeigt die Schmelz-Zement-Grenze auch bei dem hier vorliegendem Zahnmaterial einen mesial weiter nach inzisal ausgedehnten Verlauf als distal. Carlson [15] beschreibt, dass der Konturanteil bei dem mittleren und dem seitlichen Schneidezahn mesial $\frac{1}{3}$ und distal $\frac{1}{4}$ beträgt. Bei den hier untersuchten Zähnen fällt der Konturanteil jeweils geringfügig kleiner aus (Kap. 4.1.1, S. 71 und 74).

Ein Vergleich der Messwerte unterschiedlicher Autoren muss allgemein kritisch betrachtet werden, da meistens wichtige Angaben über den Zustand der Zähne und die Messmethode fehlen. Weiterhin erfolgte bei den meisten Untersuchungen keine Erörterung der möglichen Messfehler (intra-, interobserval error).

5.2.2 Strukturmerkmale

Mit der Geomagic Software konnten die Zähne sehr gut auf das Vorhandensein von anatomischen Strukturmerkmalen untersucht werden. Die Zähne wurden dazu einzeln mit der Zoom-Funktion um bis zu 1000% vergrößert und die entsprechende Struktur auf dem Bildschirm durch rotieren des Zahnes um die drei Raumachsen optimal dargestellt. Die Entscheidung, bezüglich der Ausprägung eines Merkmals, ist vom subjektiven Empfinden des Betrachters abhängig.

Statt einer reinen „Ja“/„Nein“ Entscheidung, wurde deshalb eine Unterteilung in „stark ausgeprägt“, „leicht ausgeprägt“ und „nicht vorhanden“ gewählt.

5.2.2.1 Foramen caecum

Das Foramen caecum ist das bekannteste und häufigste anatomische Merkmal des oberen lateralen Schneidezahnes. Nach Mühlreiter kommt es dadurch zustande, dass sich die beiden Randleisten gegen das Tuberkulum hin immer weiter annähern und schließlich berühren. Der eingeschlossene Kanal, der mit Schmelz ausgekleidet ist, setzt sich in der Tiefe des Tuberkulums fort und kann dort sein Lumen noch erweitern. Mühlreiter gibt die Häufigkeit mit 3% an.

Carlson [15] beschreibt das Vorkommen eines Foramen caecum vornehmlich bei jenen Zähnen, bei denen das Tuberkulum fast vollständig die volle Kronenhöhe erreicht. Es befindet sich dann zwischen den beiden Randleisten, dem Tuberkulum und dem einzigen Lobus des lateralen oberen Schneidezahnes. Er spricht diesen Zähnen ein „tonnenförmiges“ Aussehen zu.

Schumachers [83] kommentiert dieses blind endende Grübchen nicht weiter, sondern bezeichnet lediglich eine Struktur, die sich oberhalb des Tuberkulums befindet und von hier in die Tiefe zieht.

35% der hier untersuchten Zähne zeigten ein stark ausgeprägtes Foramen caecum und 11,7% der Zähne zeigten dieses Merkmal in einer leichten Ausprägung. Die Ausbildung des Foramen caecums in der Tiefe konnte mit diesem hier angewendeten Verfahren nicht untersucht werden, da eine Erfassung von tiefen Spalten und Löchern mit dem Scanner nicht möglich war. Die von Carlson [15] aufgestellte Behauptung, dass ein Foramen caecum besonders bei Zähnen mit einer tonnenförmigen Morphologie auftritt, konnte nicht bestätigt werden.

5.2.2.2 Ausprägung der Schneidekante

Die in dieser Arbeit untersuchten lateralen Schneidezähne, zeigten meist eine homogene Schneidekante ohne Randtuberkel. Dies widerspricht den allgemeinen Beschreibungen, denen zufolge meist drei bis fünf Randtuberkel zu erwarten sind. Es kann somit vermutet werden, dass die Randtuberkel ein nicht stabiles morphologisches Merkmal darstellen. Es ist jedoch wahrscheinlicher, dass in der bereits stattgefundenen Gebrauchsperiode die Randtuberkel durch Abrasion reduziert wurden. Durch Attrition zu erwartende Schliffacetten fehlen dabei. Dies lässt sich wiederum durch die allgemein leicht apikale Position des seitlichen Schneidezahnes erklären, wobei dieser ein bis zwei Millimeter unterhalb des Inzisalkantenverlaufes vom mittlerem Inzisivus und Caninus liegt und somit zumindest bei Exkursionsbewegungen keinen Kontakt zur Gegenbeziehung hat.

Eine weitere häufig beschriebene Struktur der Schneidekante, ist eine Einkerbung durch die marginosegmentale Furche (Abb. 64) [26]. Den Beobachtungen Hajtós zufolge, kreuzt diese die Inzisalkante meist mesial oder mittig. Distal sei eine solche Einkerbung seltener oder schwächer [26]. In der vorliegenden Arbeit wiesen 15% der Zähne diese Einziehung deutlich auf, bei weiteren 9,2% war diese nur leicht ausgeprägt. Das Merkmal zeigte sich vornehmlich mittig oder im mesialen Drittel.

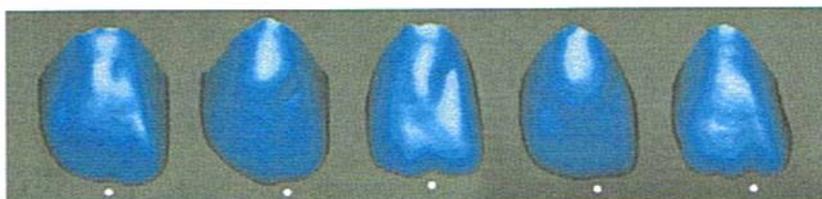


Abb. 64: marginosegmentale Furche

Es kann davon ausgegangen werden, dass die marginosegmentale Einziehung eine ausgeprägte Fissur zwischen einem Randtuberkelpaar darstellt, die noch zurückbleibt, während die übrigen Randtuberkel durch Abrasion in der Gebrauchsperiode reduziert wurden.

5.2.2.3 Palatinale Randleistenstruktur

Vielfach wurde eine grubenartig bis fissurenartige Struktur beschrieben, die ihren Ursprung an der mesialen oder distalen Randleiste hat und sich über die Schmelz-Zement-Grenze bis in die Wurzel fortsetzen kann. Bei dieser Struktur herrscht aber weder über die Lokalisation, noch über die genaue anatomische Ausprägung Einigkeit. Mühlreiter beschreibt eine tiefe Furche, die vornehmlich distal auf der palatinalen Fläche auftritt und eine ausgeprägte Sprosse des Tuberkulums vom restlichen Zahn abtrennt. Diese Furche setzt sich dabei bis in die Wurzel fort. Während Mühlreiter dieser Struktur keinen Namen gibt, wird sie in der Literatur als die von Mühlreiter beschriebene „palatogingivale Furche“ bezeichnet [58, 84]. Eine Kronen-Wurzel-Furche beschreibt Carlson: „Diese Furche beginnt im mesio-zervikalen Bereich der Palatinalfläche, geht über den mesio-palatinalen Teil des basalen Cingulums weiter hinaus, durchquert die Schmelz-Zement-Grenze und setzt sich bis oder fast bis zum Apex fort. Diese Struktur kann bisweilen fissurenartig sein. Selten wird sie zentro-palatinal oder disto-palatinal beobachtet und die Furchen sind dann nicht deutlich ausgeprägt“[15]. Vergleicht man die Beschreibung von Mühlreiter mit der von Carlson, zeigt sich, dass beide die gleiche anatomische Struktur beschreiben. Im Gegensatz zu Carlson, sieht Mühlreiter aber ein gehäuftes Vorkommen auf der distalen Seite des Zahnes. Als eine von der Kronen-Wurzel-Furche unabhängige Entität, beschreibt Carlson zusätzlich eine weitere grubenartige bis fissurenartige Struktur an der mesialen Randleiste. Von der Mitte der Randleiste dehnt sich diese Konkavität bis zum medio-zervikalen Bereich auf der Appro-

ximalfläche aus. Eine Fortsetzung auf die Fazialfläche oder auf den Wurzelkomplex in apikaler Richtung sei möglich. Man bekommt den Eindruck, Carlson beschreibt zweimal das gleiche Strukturmerkmal, nur in unterschiedlich deutlicher Ausprägung und mit variabler Wurzelbeteiligung. Abrams erkennt ebenfalls an seitlichen oberen Schneidezähnen eine konkave Struktur („lingual marginal groove“), die eine der beiden Randleisten kreuzt und sich in den Wurzelbereich fortsetzen kann [48].

Aufgrund der unklaren Beschreibung dieses Merkmals in der Literatur, bezüglich seiner Ausprägung und Lokalisation, wurde versucht anhand des vorliegenden Zahnmaterials eine neue Einteilung zu finden. Die Unterteilung, die sich für die anderen Merkmale als ausreichend erwies, zeigte sich hierfür nicht geeignet, da besonders die Ausdehnung dieses Merkmals in apikaler Richtung entscheidend ist. Eine Beurteilung lediglich in leicht und stark ausgeprägt war somit ungenügend. Da allen Varianten dieses Merkmals eine Beteiligung der palatinalen Randleiste gemeinsam ist, wurde es als palatinale Randleistenstruktur bezeichnet. Eine Einteilung in drei Grade schien sinnvoll (Kap. 3.7)

Die palatinale Randleistenstruktur zeigt bei den vorliegenden lateralen Schneidezähnen allgemein ein gehäuftes Auftreten auf der mesialen Seite. Dort ist eine Ausprägung in Form einer Fissur, die auf den Bereich der Randleiste begrenzt bleibt (Grad I), mit 15% häufig anzutreffen. Eine deutliche Fissur mit Beteiligung der Approximalfläche (Grad II) und eine Fissur welche die Schmelz-Zement-Grenze überschreitet und sich auf die Wurzel fortsetzt (Grad III), ist mesial jeweils gleichhäufig mit 3,3% anzutreffen. Distal zeigte sich die palatinale Randleistenstruktur mit Ausprägung Grad II und Grad III ebenfalls gleichhäufig, allerdings nur zu 2,5%. Das vermehrte Auftreten des Merkmals auf der mesialen Seite des Zahnes kann bestätigt werden [15], zumal die Struktur in der Ausprägung Grad I distal hier nicht anzutreffen war.

5.2.2.4 Palatinaler Überhang

Hajtó erkennt bei seinen intensiven morphologischen Studien weitere bisher noch nicht beschriebene Merkmale des oberen seitlichen Schneidezahnes [26]. So haben diese in seinen Augen, zusätzlich zu den palatinalen Randleisten, eine „inzisale Leiste“ entlang der Schneidekante, die einen Wulst nach palatinal bildet (Abb. 65). Besonders die Mitte dieser inzisalen Leiste ist häufig verdickt und erscheint wie eine nach palatinal überhängende Mittelspitze.

Auf der palatinalen Seite der Schneidekante ist bei 34% der hier untersuchten Zähne der palatinaler Überhang deutlich und dieser bei weiteren 15,8% im Ansatz ausgeprägt. Damit kann das von Hajtó beschriebene Merkmal eines palatinalen Überhangs bestätigt werden. Jedoch wurde für eine positive Entscheidung (stark/leicht ausgeprägt) nicht das Vorhandensein einer ausgeprägten Mittelspitze gefordert. Ein Überhang der gesamten „inzisalen Leiste“ oder eines Teilstücks wurden bereits als positiv bewertet.

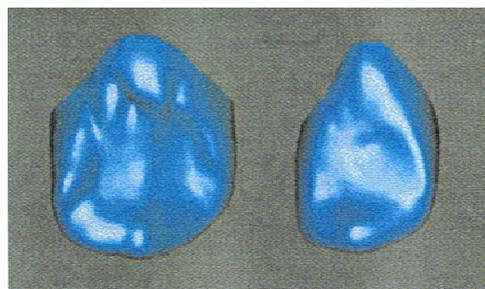


Abb. 65: Palatinaler Überhang bei gleichzeitig ausgeprägter Mittelspitze

5.2.2.5 Marginosegmentale und mesio-labiale Grube

Weiter beobachtet Hajtó eine „marginosegmentale Grube“ (Abb. 66) am Übergang der Randleisten in die inzisale Leiste. „Diese schräg nach außen verlaufende Rinne ist distal stärker ausgeprägt und liegt weiter zervikal als mesial, wo die Leisten häufiger als distal übergangslos in die inzisale Leiste übergehen

und mit ihr verschmelzen. Man findet auch Formen mit völlig verschmolzenen Leisten. [26]“



Abb. 66: Unterschiedliche Ausprägung der marginosegmentalen Grube

Eine „mesio-labiale Grube“ (Abb. 67) ist nach Hajtó sehr häufig auf der labialen Fläche des lateralen oberen Schneidezahnes zu finden. Diese ist seinen Beobachtungen zufolge eine Einbuchtung zwischen mittlerem und zervikalem Kronendrittel, mesial an der Vestibularfläche. Sie reicht von einer „kaum wahrnehmbaren Senke bis zu einer klar abgegrenzten Fossa“ und entsteht „zwischen den Hauptarmen einer sich aufzweigenden mesialen Randleiste, wobei der distale Arm deutlich S-förmig verläuft“ [26].



Abb. 67: Mesio-labiale Grube

Eine mesio-labiale Grube konnte bei 8% der hier untersuchten Zähnen festgestellt werden. Damit kann das sehr häufige auftreten dieses Strukturmerkmals nicht bestätigt werden.

Die marginosegmentale Grube kommt mesial insgesamt in 24,2% und distal in insgesamt 23,3% der untersuchten Zähne vor. Somit könnte dem Ergebnis von Hajtó knapp entsprochen werden.

5.2.2.6 Mesiale proximale Grube

Durch die sehr guten Darstellungsmöglichkeiten mit der Geomagic Software, konnte ein neue anatomische Struktur erkannt werden. Im Zentrum der mesialen Approximalfläche ist in 13,3% der Fälle eine deutliche Grube, in 3,3% der Fälle eine seichte Grube zu sehen. Diese ist nach vestibulär und palatinal von den zusammenlaufenden Randleisten begrenzt. Nach zervikal setzt sich die Grube deutlich von der Schmelz-Zement-Grenze ab. Eine fissurenförmige Ausprägung oder eine kanalartige Fortsetzung in der Tiefe zeigte sich nicht. Es bleibt zu diskutieren, ob diese Struktur nicht eine weitere Variante der palatinalen Randleistenstruktur darstellt. Dieser ist jedoch eine Furche oder Fissur gemeinsam, die anders als bei dieser neuen Struktur, immer eine Beteiligung der Randleiste zeigt. Da in der Literatur eine solches morphologisches Merkmal bisher nicht beschrieben wurde und somit noch keine Namensgebung stattgefunden hat, wird dieses morphologische Merkmal in dieser Arbeit als „mesiale proximale Grube“ (Abb. 68) bezeichnet.

Ebenso wie das Foramen caecum stellt die „mesiale proximale Grube“ ein Retentionsstelle für Zahnbeläge dar und ist somit eine Kariesprädeliktionsstelle. Dies würde eine Erklärung liefern, warum es bei Patienten mit einer guten Mundhygiene, verstärkt in diesem Bereich - und auf den ersten Blick scheinbar grundlos - zu einer Kariesentstehung kommt.

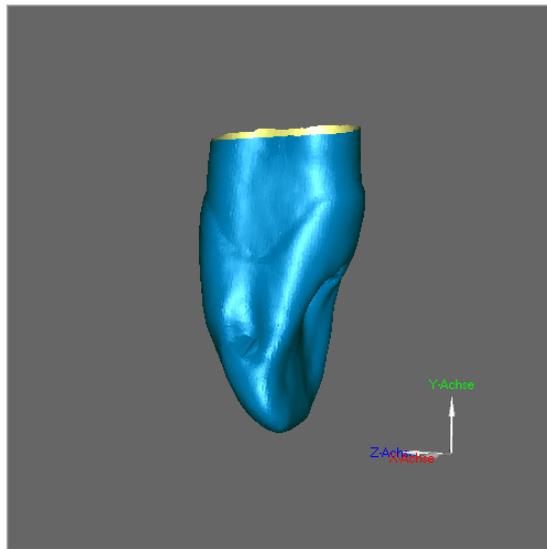


Abb. 68: Mesiale approximale Grube

5.3 Frontzahnform

Spricht man von der Form der Frontzähne im klassischen Sinne, so ist damit die Umrissform aus der vestibulären Ansicht gemeint. Eine intensive und systematische Beschäftigung fand und findet auch heute noch in Zusammenhang mit der Totalprothetik statt.

Es scheint ein Grundbedürfnis des Menschen zu sein, in Naturerscheinungen Korrelationen und Schemata zu finden. So wurde schon früh von verschiedenen Autoren versucht bei Zähnen bestimmte wiederkehrende Formen zu erkennen. Die bekannteste Einteilung wurde 1914 von Williams veröffentlicht, der anhand seiner intensiven Beobachtungen drei geometrische Grundformen für den mittleren oberen Schneidezahn postulierte. Diese sind auch heute noch als Quadrat (square), Dreieck (tapering) und Oval (ovoid) bekannt. Williams sieht in diesen Kategorien nicht nur einen Vorschlag zur möglichen Einteilung der Zähne, sondern vielmehr drei Idealformen der Natur, denen gegenüber alle Varianten Fehlbildungen darstellen.

Da diese drei Grundformen plausibel und leicht verständlich sind, finden sie in der Zahnheilkunde allgemein Anwendung. Auch international bekannte Zahntechniker wie M. Yamamoto oder S. Kataoka [41], die sich auf die Herstellung hochwertiger keramischer Restaurationen spezialisiert haben, orientieren sich an diesen drei Grundformen. Ebenso findet diese Systematik bei den Anthropologen Anwendung. Auch wenn dem oberen mittleren Schneidezahn das Hauptinteresse gilt, so stimmen Williams, Yamamoto und Kataoka in ihren Aussagen überein, dass eine Übertragung der Formen auf die lateralen Frontzähne möglich ist.

Letztendlich bleibt dennoch zu klären, inwiefern natürliche Zähne diesem Schema entsprechen. Speziell hierzu finden sich in der Literatur nur wenige Angaben, die zudem keinen schlüssigen Beweis für eine Zustimmung oder Ablehnung dieser Theorie bieten. In der Tat wurden vielfach Untersuchungen durchgeführt, die zum Ziel hatten, die Zahnform mit der Gesichtsform oder anderen physiognomischen Merkmalen des Menschen zu vergleichen, doch kann nicht nachvollzogen werden, nach welchen Kriterien ein Zahn der entsprechenden Grundform zugeordnet wird. Interessant scheint auf den ersten Blick die Überprüfung der Relevanz von Williams Klassifikation durch Gürtler und Mitarbeiter [25]. Diese bestimmten zunächst an 700 Studenten die Zahnform des mittleren oberen Schneidezahnes. Dabei griffen sie mit einem Stechzirkel zwei auf unterschiedlicher Höhe befindlich mesio-distale Kronendiameter ab und bestimmten anhand der Differenz der beiden Strecken die Zahnform. Bei Übereinstimmung der Strecke a mit der Strecke b (Abb. 69) sollte eine quadratische Grundform vorliegen. Ist eine der Strecken kürzer als die andere, so liege eine dreieckige oder ovale Grundform vor. Der Versuchsaufbau ist insofern unschlüssig, da keine Angaben gemacht werden, wie stark die Differenz sein muss, um die Zahnkrone der entsprechenden Form zuzuordnen.

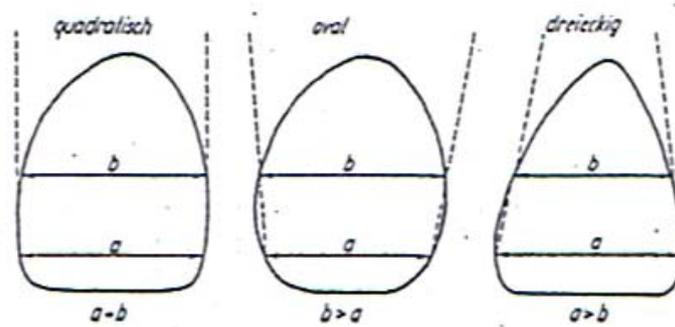


Abb. 69: Methode nach Görtler zur Bestimmung der Kronenform

Angelehnt an die Untersuchung von Görtler et al. wurden in dieser Arbeit aus der vestibulären Grundansicht drei Durchmesser auf unterschiedlicher Höhe bestimmt (W1, W2, W3). Es zeigte sich jedoch, dass auch diese drei ermittelten Strecken eine zweifelsfreie Zuordnung des lateralen Schneidezahnes zu einer der drei Grundform nach Williams nicht ermöglichen.

Die Ergebnisse der Werte W1, W2 und W3 sind im besonderen zur Ermittlung des Mesiodistal-Index geeignet. Dieser von Le Huche [34] eingeführte Index ist als die Differenz zwischen dem größten Durchmesser der Zahnkrone und des Zahnhalses in mesio-distaler Richtung definiert. Damit ist es möglich vor der Präparation von Zähnen, den mesio-distalen Substanzabtrag zu ermitteln, um damit die mögliche Verletzung der Pulpa abschätzen zu können.

5.4 Abhängigkeit und Einfluss der Kronendimension auf die zervikale Wurzelmorphologie

Ein vollständig ausgebildeter Zahn scheint aus devitalem Gewebe zu bestehen, das kein Wachstum mehr aufweist und keinem Umbau unterliegt. Dies trifft für den Zahnschmelz zu, der nach Abschluss der Apposition der Schmelzmatrix durch die Ameloblasten zunächst die Kronenform festlegt. Sobald die Zahnkrone beim Zahndurchbruch durch die Gingiva in die Mundhöhle tritt, ist sie den abnützenden und zerstörenden Einflüssen durch Abrasion, Attrition und Karies ausgesetzt. Dadurch, dass keine vitalen Zellen zur Schmelzbildung mehr vorhanden sind, besteht kein körpereigener Reparaturmechanismus. Anders verhält es sich mit dem Wurzelzement, der die Wurzeloberfläche bildet und den Zahn über die Sharpey'schen Fasern in dem Knochen verankert. Durch die zeitlebens ortständigen Zementoblasten, liegt ein „vitaless“ Gewebe vor, das zur Regeneration fähig ist. So ist unter günstigen Umständen eine Heilung von Wurzelfrakturen möglich. Auch ist die Wurzelform nicht konstant, sondern kann sich verdicken oder verlängern [84]. Bei der physiologischen Mesial- und Vertikaldrift der Zähne kommt es an der Zahnwurzel zur Anlagerung neuen Hartgewebes, sowie zur Resorption. Dies scheint der gleiche Effekt zu sein, wenn Zähne kieferorthopädisch bewegt werden. Dabei wird gleichzeitig im Bereich der Druckzone Knochen durch Osteoklasten abgebaut und in der Zugzone durch Osteoblasten neu gebildet. Manchmal auftretende Überschussbildungen in Form von Hyperzementosen zeigen ebenso sehr eindeutig die weiterhin bestehende Aktivität des Zements [83].

Es kann angenommen werden, dass der alveoläre Knochen und der Zement durch die Kräfte, die auf die Zahnkrone wirken funktionell umgeformt werden. Dies bedeutet, dass die Wurzelform sich den mechanischen Einflüssen anpasst. Die in dieser Arbeit untersuchten oberen seitlichen Schneidezähne weisen keine oder nur geringfügig Schliiffacetten auf, wodurch Parafunktionen größtenteils

ausgeschlossen werden können. Die auf sie einwirkenden Kräfte haben sich entsprechend in einem physiologischen Bereich bewegt. Vor diesem Hintergrund konnte anhand der statistischen Auswertung gezeigt werden, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Kronendicke und dem orovestibulären Wurzelquerschnitt und der Kronenbreite und dem mesiodistalen Wurzelquerschnitt in der zervikalen Region vorliegt.

5.5 Bedeutung der Wurzelmorphologie für die Implantologie

In der Zahnmedizin hat sich die Implantologie zu einem Standardverfahren entwickelt, um Voraussetzungen zur zahnprothetischen Versorgung zahnloser Kieferbereiche zu schaffen. Ein modernes Implantat besitzt als Grundform eine zylindrische oder konische Geometrie und besteht überwiegend aus Titan und seinen Legierungen [8]. Um den Knochen für die Aufnahme eines Implantates vorzubereiten, wird mit rotationssymmetrischen rotierenden Instrumenten eine Kavität geschaffen, in die anschließend ein passgenaues Implantat inseriert wird. Während im Seitenzahnbereich die Funktion im Vordergrund steht, muss in der sichtbaren Frontzahnregion auch auf die Ästhetik geachtet werden. Dabei ist es besonders wichtig, dass der Knochen und das Weichgewebe (Gingiva) in ihrer ursprünglichen Form erhalten bleiben, bzw. wieder regeneriert werden. Das Implantat und die Zahnkrone sollen dabei die Aufgabe übernehmen die Gewebe zu stützen oder für diese eine Leitstruktur darstellen. Es wäre somit wünschenswert, im Frontzahnbereich ein Implantat zu inserieren, das der Wurzelform des zu ersetzenden Zahnes entspricht. Abweichend von den streng runden Querschnitten, die auf dem Markt erhältlichen Implantate, haben Frontzähne im zervikalen Bereich einen ovalen bis triangulären Querschnitt. Bislang fehlen die Möglichkeiten, ein Implantatbett in einer wurzelanalogen Form aufzubereiten. Es ist jedoch denkbar, dass sich in der Zukunft piezoelektrische Geräte durchsetzen, die in Bezug auf den Querschnitt eine

asymmetrische Aufbereitung des Implantatlagers ermöglichen. Mit den in dieser Arbeit gelieferten Daten, wäre es möglich Implantate mit der Anatomie des seitlichen oberen Schneidezahnes im zervikalen Bereich nachzubilden.

Muss ein Frontzahn entfernt werden, bietet es sich an, diesen sofort mittels eines Implantates zu ersetzen (Sofortimplantation). Die Vorteile liegen in dem frühzeitigen Erhalt der umgebenden Gewebestrukturen und in der Kompensation von defizitären Strukturen auf dem Niveau von Knochen- und Weichgewebe [3, 8]. Meist ergibt sich jedoch durch die Verwendung von rotationssymmetrischen Implantaten, aufgrund der Inkongruenz zwischen dem Querschnitt der Alveole und dem Implantat, ein Spalt. Dieser muss abhängig von seiner Größe mit autologem, xenogenen oder alloplastischen Material augmentiert werden, um eine Osseointegration des Implantates auch in diesem Bereich zu gewährleisten. Anhand der Regressionsgeraden kann bereits vor der Extraktion, durch die Kenntnis von Kronenbreite (Wabs.) und Kronendicke (T abs.) der mesiodistale (W root) und der orovestibuläre (T root) Wurzeldurchmesser im zervikalen Bereich abgeschätzt werden.

6 Zusammenfassung

Der obere laterale Schneidezahn ist, abgesehen von den Weisheitszähnen, der formenreichste Zahn des menschlichen Gebisses. Ziel der Arbeit war es 120 obere laterale Inzisivi, sowohl metrisch als auch rein deskriptiv zu analysieren. Die Zähne stammen von Leichenfunden, die gegen Ende des 19. Jahrhunderts in den Niederlanden exhumiert wurden und weisen einen bemerkenswert hohen Grad an Unversehrtheit auf.

Die lateralen Schneidezähne wurden anhand ihrer dreidimensionalen virtuellen Darstellungen mit einer CAD/CAM Software (Flächenrückführungsprogramm Geomagic Studio 5.0) untersucht. Die Datengewinnung erfolgte dabei mit einem Laserscanverfahren (es 1, Fa. Etcon), welches auch zur Erfassung von Zahnpräparationen verwendet wird. Um die Reproduzierbarkeit der metrischen Auswertung durch die untersuchenden Personen beurteilen zu können, wurde der interobserver error und intraobserver error analysiert. Es zeigte sich eine hohe Wiederholungsgenauigkeit. Aufgrund der präzisen Datengewinnung und Datenverarbeitung und der hohen Reliabilität der manuell gewonnenen Messwerte, konnten die Zähne metrisch genau vermessen und die Form, bis hin zu kleinsten morphologischen Ausprägungen, analysiert werden. Daraus kann gefolgert werden, dass dieses hier beschriebene Verfahren zur wissenschaftlichen Vermessung von Zähnen geeignet ist, wenn Messtoleranzen akzeptiert werden, die unterhalb von 150 μm liegen.

Die Werte allgemein bekannter Diameter wie z.B. der Kronenhöhe, -breite und -länge wurden mit anderen Autoren verglichen. Dabei zeigte sich anhand der Messergebnisse, dass die Zahndimensionen bei einer Gegenüberstellung mit vergleichbaren kaukasischen Bevölkerungsgruppen (europäisches/nordamerikanisches Zahnmaterial) im unteren bis mittleren Bereich liegen.

Weiterhin konnten noch nicht beschriebene Strecken, wie z.B. die „mesiale Prominenz“, definiert und vermessen werden.

Nach der Erarbeitung der metrischen Dimensionen erfolgte eine non-metrische, rein deskriptive Analyse der Zahnkronen der lateralen Schneidezähne. Bekannte Strukturmerkmale wurden auf ihre relative Häufigkeit hin untersucht und das Vorkommen verschiedener Varianten diskutiert. Besonders bei einer fisurentypischen Struktur im Bereich der palatinalen Randleiste, die in der Literatur unterschiedlich bezeichnet wird, zeigten sich Widersprüche bezüglich Ausprägung und Lokalisation. Deshalb wurde für dieses Merkmal eine Einteilung seiner Varianten in drei Grade vorgeschlagen und das Zahnmaterial diesbezüglich untersucht.

Zudem wurde versucht weitere relevante, noch nicht beschriebene Merkmale zu detektieren. Es konnte eine deutlich erkennbare Grube auf der mesialen Approximalfläche erkannt werden, die sich als unabhängig von den anderen Merkmalen präsentierte. Diese Struktur wurde als „mesiale proximale Grube“ bezeichnet und kam bei 13,3% der Zähne vor. Es ist anzunehmen, dass es sich dabei um eine Kariesprädeliktionsstelle handelt.

7 Literaturverzeichnis

1. Abdelmalek M., Michael C.C.: Sexual dimorphism in the mesiodistal width of the permanent maxillary anterior teeth in relationship to their artificial replacements. *Egypt. Dent. J.* 30, 107-118 (1984)
2. Axelson G., Kirveskari P.: Crown size of permanent teeth in Icelanders. *Acta Odontologica Scandinavica* 41, 181-6 (1983)
3. Balshi T. J., Hernandez R. E., Pryszyk M. C., Ranger B.: A comparative study of one implant versus two replacing a single molar. *J. Oral Maxillofacial Implants* 11, 372 (1996)
4. Barnes D. S.: Tooth morphology and other aspects of the Teso Dentition. *American Journal of Physical Anthropology* 30, 183-94 (1969)
5. Barrett M. J., Brown T.: Dental observations on Australian aborigines: mesiodistal crown diameters of permanent teeth. *Aust. Dent. J.* 8, 150-156 (1963)
6. Baumann M. A.: Die räumliche Darstellung des Endodonts. *Hanser Verlag, München* (1995)
7. Berkowitz S.: Stereophotogrammetric analysis of casts of normal and abnormal palates. *Am. J. Orthod.* 60, 1-18 (1971)
8. Bernd K., Wilfried W.: Implantologie. *Urban und Fischer Verlag, München, Jena* (2004)
9. Bjorndal A. M., Henderson W. G., Skidmore A. E., Kellner F. H.: Anatomic measurements of human teeth extracted from males between the age of 17 and 21 years. *Oral. Surg.* 38, 191 (1974)
10. Black G. V.: Descriptive anatomy of the human teeth. 4. Auflage, S. S. *White Dental Manufacturing Co., Philadelphia* (1902)
11. Bock, J., Piecha H.: Der Meßfehler bei klinischen Messungen am Zahn und am Gebißmodell. *Oral-Anatomie II, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock*, 24-26 (1980)
12. Bolk J, Piecha, H.: Der Meßfehler bei klinischen Messungen am Zahn und am Gebißmodell. *Oral-Anatomie II, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock* S.24-26 (1980)

13. Bolk L., Black, G.V.: Anatomy of the human teeth. 4. Auflage, S.S. *White-dental Manufacturing Co., Philadelphia (1902)*
14. Bruckner: *Poliklinik für zahnärztliche Prothetik. LMU München, persönliche Mitteilungen (1997)*
15. Carlson O.: Morphologie der Zähne. *Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln (1987)*
16. Champagne M.: Reliability of measurement from photocopies of study models. *J. Clin. Orthod.* 26, 648-650 (1992)
17. Christensen R., Bangert V.: Apparatus for automatet, non-contact measurement of surface changes. *J. Dent. Res.* 69, 126 Abstr 140, *Vortragsmanuskript (1990)*
18. Eismann D., Bergmann. S.: Zur Präzisierung odontometrischer Messungen *Zahn- Mund- Kieferheilkunde* 76, 26-28 (1988)
19. Eustachi Bartolomeo: *Libellus de dentibus. Urban und Schwarzenberg, Wien (1951)*
20. Garn S. M., Lewis A. B., Kerewsky R. S.: Sexual dimorphism in the buccolingual tooth diameter. *J. of Dent. Res.* 45, 1819 (1966)
21. Garn S. M., Lewis A. B., Walenga A. J.: Maximum confidence values for human mesiodistal crown dimensions of human teeth. *Arch. oral. Biol.* 13.841 (1968)
22. Gerlach H. G.: Dentale Strukturen und ihre metrischen Beziehungen bei anatomisch vollkommener Okklusion. *Fortschr. Kieferorthop.* 41, 1-17 (1980)
23. Gloger W.: Matching- Programm: Match 3D 2.4 (2001a)
24. Gloger W.: Scannersoftware: Scan 3D 1.6.ls (2001b)
25. Gürtler E., Takac L., Sestak J.: Ein Beitrag zur Zahnauswahl und Zahnaufstellung der künstlichen Frontzähne bei der totalen Prothese vom Gesichtspunkt morphologischer Verhältnisse im Orofazialsystem. *Dtsch. Stomatol.* 19, 8-17 (1969)
26. Hajtó J.: Anteriores, Natürlich schöne Frontzähne. *tw-media Verlag (2006)*

27. Hense W.: Nachuntersuchung kieferorthopädisch behandelter Patienten mit dem Modellmessgerät Modellmat und dem Computerprogramm „Modell“. *Med. Diss., Bonn (1984)*
28. Hermann H. W.: Zur Formauswahl oberer Frontzähne. *Dtsch. Zahnärzteblatt 24, 14-17 (1970)*
29. Hermann H. W.: Die Ästhetik der Frontzähne. *Dental-Labor 13, 1265-1270 (1975)*
30. Hewlett E. R., Orro M. E., Clark G. T.: Accuracy testing of three dimensional digitizing systems. *Dent. Mater. 8, 49-53 (1992)*
31. Hörauf K.: Form und Stellung der Frontzähne in ihre Beziehung zu Körperbautypen. 2. Auflage, *Carl-Hanser Verlag, München (1958 a)*
32. Hörauf K.: Frontzahnform und Konstitutionstypen. *Dtsch. zahnärztliche Zeitschrift 13, 512-523 (1958 b)*
33. Hrdlička: Practical Anthropometry. *Philadelphia: Wistar*
34. Huche R. le: Füllungen, Inlays-Onlays und Kronen als Funktion der Form des Zahnes. *Berlin Quintessens (1971)*
35. Hunter W. S., Priest W. R.: Errors and discrepancies in measurements. *Journal of Dental Research 39. 405-414 (1960)*
36. Jacobson A.: The Dentition of the South African Negro. *Anniston (Alabama): Higginsbotham. (1982)*
37. Jonas J., Ritter S.: Die Auswertung des Zahnmaterials für die Befunderhebung. *Fortschr. Kieferorthopädie 38. 272-283 (1977)*
38. Jonge-Cohen Th. E. de: Anatomie des menschlichen Gebisses. *Arthur Felix, Leipzig (1928)*
39. Jonge-Cohen Th. E. de: Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der mesio-distalen Dimensionen der Zähne des menschlichen Gebisses. *Österreichische Zeitschrift für Stomatologie 16 (1)*
40. Kanazawa E., Sakikawa M., Ozaki T.: Three-dimensional measurements of the occlusal surface of upper molars in dutch population. *J. Dent. Res. 63, 1298-1301 (1984)*

41. Kataoka S., Yamamoto M.: Grundlagen der Ästhetik. Konturierungstechniken für Metallkeramik-Zahnersatz. *Quintessenz Verlag, Berlin (1991)*
42. Keating P. J., Parker R. A., Keane D.: The holographic storage of study models. *Br. J. Orthod.* 11, 119 (1984)
43. Keene H. J.: Mesio-distal crown diameters of permanent teeth in male American Negos. *Am Journal Orthodontics* 76, 95-99 (1979)
44. Keil A.: Grundzüge der Odontologie. 2. Auflage, *Gebrüder Bornträger, Berlin (1966)*
45. Kieser J. A.: Human adult odontometrics. *University Press, Cambridge (1990)*
46. Klein G.: Zur Vererbung von Schneidezahngrößen und Schneidezahnformen. *Med. Diss. Erfurt (1982)*
47. Kogo S. L.: The prevalence, location and conformation of palatoradicular groves in maxillary incisors. *J. Periodontol.* 57, 231-234 (1986)
48. Kraus B. S., Jordan R.E., Abrams L. (eds.): Dental Anatomy and Occlusion. ed. 2. *St. Louis: Mosby-Year Book (1973)*
49. Kretschmer E.: Körperbau und Charakter. *Thieme-Verlag, Berlin (1921)*
50. Kuroda T., Motohashi N., Tominaga R., Iwata K.: Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 110, 365-369 (1996)
51. Lavelle C. L. B. : Maxillary and mandibular tooth size in different racial groups and in different occlusal categories. *Am. J. Orthodont.* 61, 29 (1972)
52. Linden F. P. G. M. van , Boersma H., Zelders T., Peters K. A., Raaben J. H.: Three-dimensional analysis of dental casts by means of Optocom. *J. Dent. Res.* 51, 1100 (1972)
53. Long R. de, Peterson R., Douglas W. H. : A laser profiling system for measuring wear of dental materials. *J. Dent. Res.* 68, 907 Abstr. 328 (1989a)
54. Martin R.: Anthropometrie. *Lehmann München (1922)*

55. Mauke M., Miethke, R.R.: Die Größe des anterioren Bolton-Index und die Häufigkeit von Bolton-Diskrepanzen im Frontzahnsegment bei unbehandelten kieferorthopädischen Patienten. *Fortschr. Kieferorthop.* 44, 59-65 (1983)
56. Mehl A.: 3D-Datenerfassung und CAD/CAM-Technologie in der restaurativen Zahnmedizin - Entwicklung, Einsatz und Perspektiven eines neuen Verfahrens. *Med. Habilitationsschrift (1998), Universität München*
57. Mehl A., Gloger W., Kunzelmann K.-H., Hickel R.: Entwicklung eines neuen optischen Oberflächenmessgerätes zur präzisen dreidimensionalen Zahnvermessung. *Dtsch Zahnärztliche Zeitschrift* 51 (1996)
58. Meiereder R.: Form der Frontzähne, Eine Literaturübersicht. *Diss. Kieferorthopädie, Universität München (1992)*
59. Meredith L, Quimby, DDS, MS; Katherine W. L. Vig, BDS, MS, FDS, DOrth. The accuracy and reliability of measurement made on computer-based digital models. *Angle Orthodontist*, Vol 74, No 3 (2004)
60. Miyabara Y.: An anthropological study of the masticatory system in Japanese. I. Teeth. *Dental Cosmos* 58, 739-49 (1977)
61. Modrach A. (1858): Zitiert nach Hermann [28]
62. Moorrees C. F. A., Thomsen S. O., Jensen E., Yen P. K. J.: Mesiodistal crown diameters of the deciduous and permanent teeth in individuals. *J. Dental Research* 36, 39 (1957)
63. Mühlreiter E.: Anatomie des menschlichen Gebisses. 3. Auflage, *Arthur Felix Verlag, Leipzig (1912)*
64. Mühlreiter E.: Über die Maximal- und Minimalgrößen der Zähne. *Deutsche Vierteljahresschrift für Zahnheilkunde* 14 (2), (1874)
65. Nelson C. T.: The teeth of the Indians of Pecos Pueblo. *Am. Journal of Physical Anthropology* 23, 261-93 (1938)
66. Oliver G.: *Pratique Anthropologique. Paris: Feres (1960)*

67. Parreidt J.: Die Breite der oberen zentralen Schneidezähne beim männlichen und weiblichen Geschlecht. *Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde* 2(5), (1884)
68. Pelka M., Krämer N., Kunzelmann K.-H.: Messfehler bei der 3D-Erfassung von Oberflächen durch mechanische Profilometrie. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 50, 725-728 (1995).
69. Potter R. H. Y.: Univariant versus multivariate differences in tooth size according to sex. *Journal of Dental Research* 51, 716-22 (1972)
70. Reenen J. F. van: The use of the concept of the tooth material as an indicator of tooth size in a group of Kalahari Bushmen. *South African Journal of Science* 57, 347-528 (1961).
71. Rekow E. D., Speidel T. M., Pong T. C.: Data acquisition devices for a CAD/CAM System for automated production of dental restorations. *J. Dent. Res.* 69, 314 Abstr. 1644 (1990)
72. Richardson Adams, McCartney: zit. Nach Gelach, H.G.: An analysis of tooth measuring method on dental casts. *Transaction of European Orthodontic Society* S. 285 (1963)
73. Robinson J.T.: The Dentition of Australopithecina. *Memoires of the Transvaal Museum* 9, 1-179 (1956)
74. Romeo A.: Holograms in Orthodontics: A universal system for the production, development, and illumination of holograms for the storage and analysis of dental casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Othopedics* 108 (4), (1995)
75. Ryden H., Bjelhagen H., Martensson B.: Tooth position measurements on dental casts using holographic images. *Am. J. Orthod.* 81(4), 310-313 (1982)
76. Sanin C., Savara B. S.: An analysis of permanent mesiodistal crown size. *Am. J. Orthodont.* 59, 488 (1971)
77. Santoro M., DDS, MA; Scott Galkin, DMD.: Comparison of measurement made on digital and plaster models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* (6/ 2003)

78. Savara B.S.: Applications of photogrammetry for quantitative study of tooth and face morphology. *Am. J. Phys. Anthropol.* 23, 427-434 (1965)
79. Schamschula R. G., Barnes D. E., Adkins B. L.: Caries aetiology in Papuan New Guinea. *Australian Dental Journal* 17, 188-195 (1972)
80. Schirmer UR., Wiltshire WA.: Manual and computer-aided space analysis: a comparative study. *Am. J. Orthod Dentofacial Orthop.* 112, 676-680 (1997)
81. Schmuth G. P. F.: Kieferorthopädie. Grundzüge und Probleme. 2. Auflage Thieme, Stuttgart-New York (1983)
82. Schönecker A.: Die Abhängigkeit der Messergebnisse von Kronendiametern von individuellen persönlichen Parametern des Messenden. *Dipl.-Arbeit, Erfurt (1983)*
83. Schumacher G-H.: Anatomie und Biochemie der Zähne. *Fischer Verlag, Stuttgart (1990)*
84. Schumacher G-H.: Odontographie. *Hüthig Verlag, Heidelberg (1995)*
85. Scott GR, Turner II CG: The anthropology of modern human teeth. *University Press, Cambridge (1997)*
86. Seipel C.: Variation in tooth position: A metric study of variation and adaptation in the deciduous and permanent dentitions. *Swedish Dental Journal* 39, 1-176 (1946)
87. Selmer-Olsen R.: An odontological study of the Norwegian Lapps. *Skift Norske Videnska-Akademi* 3, 1-167 (1949)
88. Shaw J. C. M.: The Teeth, the Bony Palate and the Mandible in Bantu Races of South Africa. *London: J. Bale and Sons (1931)*
89. Stein M. R.: Williams's classification of anterior tooth forms. *Jour. A. D. A.* 23, 1512-1518 (1936)
90. Suntardjo R. I.: Rasse und Gebiß. *Med. Diss. Hamburg (1979)*
91. Takada K., Lowe A. A., De Cou R.: Operational performance of the Reflex Metrograph and its applicability to the three-dimensional analysis of dental casts. *Am. J. Orthod.* 83 (3), 195-199 (1983)

92. Takehisa S.: An anthropological and morphological comparative study of American White and Japanese teeth. *Shikagakuho*. 57, 1-41
93. Tanzer G: Über realistische Formen künstlicher Frontzähne. *Dtsch. Stomatol.* 8, 342-358. (1958)
94. Terra M. de: Beiträge zur Odontographie von Menschenrassen. Berlinische Verlagsanstalt, Berlin. *Dental Clinics of North America* 45 (1), 143-54 (1905)
95. Tobias P. V.: Olduvai Gorge II: The Cranium and Maxillary Dentition of Australopithecus (Zinjanthropus) boisei. *Cambrige University Press* (1967)
96. Townsend G. C., Brown T.: Heritabilities of permanent tooth size. *American Journal of Physical Anthropolgy* 49, 497-502 (1978b)
97. Utermohle C. J. and Zegura, S.L.: Intra- and interobserver error in craniometriy: a cautionary table. *American Journal of Pysical Antropology*, 57, 303-310 (1982)
98. Wheeler R. C. (ed): Wheeler's Atlas of Tooth Form. ed 5. *Philadelphia: Saunders* (1984)
99. White J.L., Flagg E.M.: Temperament in relation to the teeth. *Dental Cosmos* 26, 113-119 (1884)
100. Wichmann M., Borchers L., Limmroth E.: Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere mit Hilfe einer 3D-Koordinatenmeßmaschine. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 45, 499-502 (1990)
101. Williams J. L.: Die Klassifizierung der Zähne nach dem Temperament - eine irrtümliche Anschauung. *Verlag J. E. Frey, Berlin-Friedenau* (1913)
102. Wiltshire W. A., Schirmer U. R.: Manual and computer-aided space analysis: A comparative study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 112, 677-680 (1997)
103. Withers J.A., Brunsvold, M.A., Killoy, W.J., Rabe, A.: The relationship of palato-gingival grooves to localised peridontal disease. *J. Periodontol.* 52, 41-44 (1981)

-
104. Yamamoto K., Hayashi S., Nishikawa H., Nakamura S., Mikami T.: Measurement of dental cast profile and three-dimensional tooth movement during orthodontic treatment. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering* 38, 360-365 (1991)
 105. Yen C-H.: Computer-aided space analysis. *J. Clin. Orthod.* 25, 236-238 (1991)
 106. Zilberman O.: Evaluation of the validity of tooth size and Arch width measurement using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Angel orthodontist, Vol 73, No. 3 (2003)*
 107. Zuckerkandel E.: Makroskopische Anatomie der Zähne. *Handbuch der Zahnheilkunde, hrsg. v. J. Scheff. Bd. 1, A. Hölder, Wien 1891*

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:

Mühlreiter E.: Anatomie des menschlichen Gebisses. 3. Auflage, Arthur Felix Verlag, Leipzig (1912)

Abb. 2:

Carlson O.: Morphologie der Zähne. Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln (1987)

Abb. 3 bis 5:

Mühlreiter E.: Anatomie des menschlichen Gebisses . 3. Auflage, Arthur Felix Verlag, Leipzig (1912)

Abb. 6:

Carlson O.: Morphologie der Zähne. Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln (1987)

Abb. 7:

White J.L., Flagg E.M.: Temperament in relation to the teeth. *Dental Cosmos* 26, 113-119 (1884)

Abb. 8 und 9:

Williams J. L.: Die Klassifizierung der Zähne nach dem Temperament - eine irrtümliche Anschauung. Verlag J. E. Frey, Berlin-Friedenau (1913)

Abb. 10:

Modrach A. (1858) aus Hermann H. W.: Zur Formauswahl oberer Frontzähne. *Dtsch. Zahnärzteblatt* 24, 14-17 (1970)

Abb. 11 und 12:

Kraus B. S., Jordan R.E., Abrams L. (eds.): *Dental Anatomy and Occlusion. ed. 2. St. Louis: Mosby-Year Book (1973)*

Abb. 13:

Bildschirmdarstellung des Computerprogrammes Geomagic Studio 5.0

Abb. 14 bis 17:

Mehl A.: 3D-Datenerfassung und CAD/CAM-Technologie in der restaurativen Zahnmedizin - Entwicklung, Einsatz und Perspektiven eines neuen Verfahrens. *Med. Habilitationsschrift (1998), Universität München*

Abb. 18 und 19:
Eigenes Bildmaterial

Abb. 20 bis 37:
Bildschirmdarstellung des Computerprogrammes Geomagic Studio 5.0

Abb. 38 bis 54:
Bildschirmdarstellung des Computerprogrammes SPSS 14.0

Abb. 55 bis 62:
Bildschirmdarstellung des Computerprogrammes Microsoft Power Point

Abb. 63:
Bildschirmdarstellung des Computerprogrammes Geomagic Studio 5.0

64 bis 67:
Hajtó J.: Anteriores, Natürlich schöne Frontzähne. *tw-media Verlag (2006)*

Abb. 68:
Bildschirmdarstellung des Computerprogrammes Geomagic Studio 5.0

Abb. 69:
Gürtler et al. aus Meiereder R.: Form der Frontzähne, Eine Literaturübersicht.
Diss. Kieferorthopädie, Universität München (1992)

9 Lebenslauf

Name: Jan Röhrig
Geburtsdatum: 31.07.76
Geburtsort: Bonn
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch

Beruf:

Seit Januar 2004 Tätigkeit als Zahnarzt

Studium:

Februar 2003 - Juli 2003 Staatsexamen im Fach Zahnmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München

Oktober 1997 - Februar 2003 Studium der Zahnmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München

Schulbildung:

1996 Abitur

1992-1996 Nymphenburger-Gymnasium in München

1987-1992 Louise-Schröder-Gymnasium in München

1983-1987 Grundschule in München Untermenzing

10 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Klaus-Ulrich Benner für die freundliche Bereitstellung dieses interessanten Themas, für seine immer vorhandene Hilfsbereitschaft und tatkräftige Unterstützung, die diese Arbeit ermöglicht haben.

In gleicher Weise möchte ich mich bei meinem Kollegen Herrn Florian Probst für die gute Zusammenarbeit und die immer sehr gute Atmosphäre bei der Bearbeitung dieses Themas bedanken.

Dank an Herrn Dr. Jan Hajtó, der diese Arbeit mitbetreut hat.

Besonders herzlicher Dank gilt Frau Amelie Bauer, für die notwendigen Korrekturarbeiten und die tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Abschließend möchte ich meiner Familie aufrichtig danken, da sie mir dieses Studium erst ermöglicht hat und mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand.