

Aus dem Institut für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin
des CharitéCentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Begrenzung der Retrusion oberer Schneidezähne
bei Jugendlichen mit einer *Angle*-Klasse II

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Anna Ewa Warnack
aus Białystok, Polen

Gutachter: 1. Prof. Dr. R.-R. Miethke

2. Prof. Dr. Dr. R. A. W. Fuhrmann

3. Prof. Dr. med. dent. U. Hirschfelder

Datum der Promotion: 14.06.2009

Meinem Ehemann gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Begrenzung der Retrusion oberer Schneidezähne.....	1
1.2	Anatomisch-topographische Grundlagen des vorderen Teils des Gaumens	3
1.3	Statisch-funktionelle Zusammenhänge zwischen Gebiss und Gesichtsschädel mit besonderer Berücksichtigung des vorderen Teils des Gaumens	4
1.4	Methoden zur Untersuchung des palatinalen Knochenangebotes.....	5
1.5	Erkenntnisse und Methoden zur Untersuchung der sagittalen Gaumenkurve	6
1.6	Erkenntnisse und Methoden zur Untersuchung der Gaumenhöhe	7
2	FRAGESTELLUNG	10
3	MATERIAL UND METHODE	11
3.1	Material.....	11
3.2	Untersuchungsmethode.....	12
3.2.1.	Herstellung der sagittalen Schnitte	12
3.2.2.	Erstellen der Schnittbilder.....	13
3.2.3.	Erstellung der Zahnkontur.....	13
3.2.4.	Einfügen der Zahnkontur in die Strichzeichnungen der sagittalen Schnitte der Oberkiefermodelle	16
3.2.5.	Die Messgrößen.....	18
3.2.6.	Messfehler	22
3.3	Statistische Auswertung.....	25
4	ERGEBNISSE	26
4.1	Statistik der Einzelwerte	26
4.2	Korrelationen.....	27
4.2.1.	Tabellarische Übersicht.....	27
4.2.2.	Grafische Darstellungen.....	28
5	DISKUSSION.....	45
5.1	Diskussion der Methode	45
5.1.1.	Materialauswahl.....	45
5.1.2.	Einscannen der Modelle.....	45
5.1.3.	Auswahl des oberen mittleren Schneidezahnmodells.....	46

5.1.4. Einfügen der Zahnkontur in die Strichzeichnungen der sagittalen Schnitte der Oberkiefermodelle	47
5.1.5. Auswahl der Messgrößen.....	48
5.2 Diskussion der Ergebnisse	49
5.2.1. Erfassung des palatinalen Knochenangebotes hinter der Schneidezahnwurzel	49
5.2.2. Gaumenhöhe.....	54
5.3 Aussichten und Zukunftsperspektiven.....	57
6 ZUSAMMENFASSUNGEN.....	58
6.1 Zusammenfassung	58
6.2 Summary	60
7 LITERATURVERZEICHNIS.....	62
8 ANHANG	71
8.1 Lebenslauf.....	71
8.2 Danksagung.....	72
8.3 Erklärung.....	73

1 EINLEITUNG

1.1 Begrenzung der Retrusion oberer Schneidezähne

Die biologischen Grundlagen der kieferorthopädischen Zahnbewegung wurden bereits vielfach untersucht (zum Beispiel *Farrar* 1876, *Standstedt* 1904, *Oppenheim* 1911, *Schwarz* 1932, *Baumrind* 1969, *DeAngelis* 1970, *Grimm* 1972). Dabei stehen sich hauptsächlich die klassische „Druck-Zug“-Theorie und eine neuere bioelektrische Theorie gegenüber (*Proffit et al.* 2000).

Auf genetischen Studien und den Ergebnissen der Arbeiten von *Brodie* (1953) aufbauend beschrieb *Korkhaus* (1959) die sagittale Kurve des harten Gaumens einige Millimeter hinter dem Foramen incisivum bis zum Bereich der 1. Molaren als relativ konstante Struktur. Damit ist sie für die Beurteilung von Veränderungen geeignet, die eine Folge von natürlicher Entwicklung und kieferorthopädischer Behandlung sind. *Lebret* (1966) bestätigte die Ergebnisse von *Korkhaus* in einer longitudinalen Studie über das Wachstum des Gaumens.

Aus den Arbeiten von *Steiner* (1962) kann man entnehmen, dass der horizontale Teil des Gaumens sehr formstabil ist.

Edwards (1976) verglich Fernröntgenseitenbilder vor und nach Retrusion der oberen Schneidezähne bei Patienten, die im vorderen Teil ihres Gaumens Implantate trugen. Dabei zeigte sich, dass die Retrusion durch den vorhandenen Knochen eingeschränkt wird. Grundsätzlich ist die Breite des frontalen Alveolarfortsatzes im Oberkiefer von großer Bedeutung für die Behandlungsplanung, bestimmt sie doch, wie weit die Schneidezähne retrudiert werden können. Breite Alveolarfortsätze bieten dafür günstigere Voraussetzungen als schmale.

Als Folge weiträumiger Retrusionen der oberen Schneidezähne haben *Hoeve & Mulie* (1976) einen Verlust an marginaler Knochenkompakta und Penetrationen der Wurzeln durch die palatinale Kortikalis ebenso beobachtet wie Resorptionen an den Wurzeln der betroffenen Zähne. Über ähnliche Veränderungen berichteten *Wehrbein et al.* (1994).

Hickham (1978), *Hickham & Miethke* (1987), *Zimmer & Miethke* (1989), *Witt* (1991) und *Miethke* (1995) forderten, den palatinal vorhandenen spongiösen Knochen beim Retrudieren und Torquen der Oberkieferschneidezähne zu berücksichtigen.

In der Vergangenheit haben sich nur wenige Arbeiten dem palatinalen Knochenangebot gewidmet. Übliche Untersuchungsmethoden sind mit Nachteilen behaftet: Entweder erschwert die Projektion eines dreidimensionalen Objektes in eine Ebene die Interpretation des Bildes, oder starke Strahlenbelastung und hohe Kosten verbunden mit einem hohen technischen Aufwand machen einen standardisierten Einsatz fraglich. Zu den verwendeten Methoden gehören Laminagraphie (31), Fernröntgenseitenbildaufnahmetechnik (27, 28, 29, 39, 50, 79, 80), Sonographie (45, 46) und Computertomographie (19, 20).

Miethke (1995) demonstrierte den Raum hinter den oberen Schneidezähnen auf ausgewählten sagittalen Schnitten durch kieferorthopädische Modelle. Bei ähnlicher Neigung der Zähne kann der Verlauf der Gaumenanstiegskurve sowie die vermutete Ausdehnung des palatinalen Spongiosaknochens deutlich variieren. Es ist daher Ziel der vorliegenden Arbeit, die Variation der Gaumenhöhe, der sagittalen Gaumenanstiegskurve und des palatinalen Knochenangebotes bei einer Gruppe von Patienten mit Distalbiss zu untersuchen.

Ähnlich wie bei *Korkhaus* (1939), *Schulze* (1982) und *Miethke* (1995) zu sehen, stellen sagittale Schnitte kieferorthopädischer Modelle im Bereich eines oberen mittleren Schneidezahns Flächen dar, die die Kontur der klinischen Krone des Schneidezahnes, den Verlauf der sagittalen Gaumenkurve und den ventralen Teil des Alveolarfortsatzes zeigen. Im Hintergrund sind weitere Strukturen des Gaumens und die Seitenzähne zu erkennen.

Nachfolgend wird eine neuartige, rechnergestützte Methode vorgestellt, die nach dem Einscannen sagittaler Schnittflächen eine weitere Bearbeitung und eine Integration von Schneidezahnkonturen in die Darstellung ermöglicht. Damit sind alle Voraussetzungen erfüllt, um auf einem Bild die Inklination des betreffenden mittleren Schneidezahnes, den Anstieg der Gaumenkurve und die Gaumenhöhe metrisch zu erfassen. Aus diesen drei Parametern ergibt sich das palatinale Knochenangebot.

1.2 Anatomisch-topographische Grundlagen des vorderen Teils des Gaumens

Der Gaumenfortsatz (Processus palatinus) stellt eine horizontale Platte dar, die etwa um eine Molarenbreite kürzer ist als der Oberkieferkörper. Nach distal schließt sich die Lamina horizontalis des Gaumenbeins an. Beide sind über die Sutura palatina transversa miteinander verbunden und Bestandteile des harten Gaumens. Bei Jugendlichen findet man, zumindest nach Meinung einiger Anatomen, einen Zwischenkieferknochen (Os incisivum), der vom Gaumenfortsatz durch die Sutura incisiva getrennt ist.

Der harte Gaumen ist zugleich das Dach der Mund- und der Boden der Nasenhöhle. Auf beiden Seiten neben der Nasenscheidewand verläuft der Canalis incisivus durch den Gaumenfortsatz, um auf der oralen Seite des Gaumens unmittelbar hinter den oberen mittleren Schneidezähnen im Foramen incisivum zu münden.

Der Alveolarfortsatz (Processus alveolaris) erstreckt sich vom Oberkieferkörper aus nach kaudal. Er enthält die Zahnfächer (Alveoli dentales), in denen die Zahnwurzeln der Oberkieferzähne verankert sind. An der Außenfläche des Alveolarfortsatzes wölben sich die Zahnfächer nach vestibulär und bilden die Juga alveolaria.

Der Alveolarfortsatz wird außen und innen von kompakten Knochen umgeben. Okklusal vereinigen sich die vestibuläre und die palatinale Knochenkompakta zum Alveolarkamm. Die Knochenkompakta umschließt den spongiösen Knochen. Die Wurzelspitzen der Schneidezähne sind vom Nasenhöhlenboden in der Regel durch eine relativ dicke Spongiosaschicht getrennt. Über den Juga ist die alveoläre Knochenwand nur sehr dünn; Spongiosa ist hier praktisch nicht vorhanden. Im Sagittalschnitt erscheint der retroalveoläre Spongiosaraum im Frontzahnggebiet etwa dreieckig, und er geht nach hinten fließend in den harten Gaumen über. Steigt der Alveolarrand bei einem hohen Gaumen steil an, dann ist der retroalveoläre Spongiosaraum relativ klein (*Schumacher 1984*).

Humanpräparate (*Rateitschak et al. 1989, Lindhe & Karring 1999*) zeigen grundsätzlich palatinal eine breitere Spongiosa als vestibulär.

1.3 Statisch-funktionelle Zusammenhänge zwischen Gebiss und Gesichtsschädel mit besonderer Berücksichtigung des vorderen Teils des Gaumens

Funktionelle Einwirkungen auf die Architektur der Spongiosa im Oberkiefer haben *Görke* (1904) und *Barth* (1918) untersucht. *Merkel* (1913) schrieb, dass die zarten Knochen des Gesichtsskeletts schon durch die physiologischen Kaukräfte gefährdet würden, wenn nicht zusätzliche feste Stützen vorhanden wären. Der Zähne tragende Alveolarteil bildet an sich einen dicken Bogen, welcher außerdem durch den kräftigen harten Gaumen eine bedeutende Festigung erfährt.

Ein Basalbogen, der im Oberkiefer unter der Spina nasalis anterior und der Jochbogenwurzel verläuft und in den nur die Wurzelspitzen der Zähne hineinragen, stellt nach *Bluntschli* (1926) die eigentliche Tragekonstruktion der Kiefer dar. Sie nimmt den durch die Zähne übermittelten Kaudruck auf. Die Basalbögen fordern angeblich die Neigung der Zahnachsen. Den Alveolarfortsatz bezeichnete *Bluntschli* als einen Aufbau, der sekundär über der Grundkonstruktion angelegt ist. Nach *Korkhaus* (1939) fängt auch die „apikale Basis“ im Sinne *Lundströms* (1923), durch ihre große Widerstandskraft, den Druck der Wurzelspitzen ab.

Das Stützpfilersystem führt die eingeleiteten Belastungen in Richtung der Schädelkapsel. Das erfolgt bei den Frontzähnen über die Eckzahn Pfeiler und die Stirnfortsätze zum Stirnbein. Der knöcherne Gaumen ist als ein Gewölbe zu betrachten, das die linke und rechte Hälfte des oberen Basalbogens vereinigt und alle Pfeiler gegeneinander abstützt (*Korkhaus* 1939).

Die Zahnachsen verlaufen nach *Cieszyński* (1933) auf der Manteloberfläche eines Kegels, dessen Spitze sich in der Gegend der Glabella befindet. Hier konzentriert sich der Kaudruck, der auf die oberen Zähne einwirkt.

Die Erkenntnisse zur funktionellen Gestaltung der Knochen haben bis in die Gegenwart ihre Gültigkeit behalten (*Schumacher* 1984, *Rohen* 1994).

1.4 Methoden zur Untersuchung des palatinalen Knochenangebotes

Um die knöchernen Strukturen palatinal der oberen Schneidezähne zu erfassen, bedienten sich *Hoeve & Mulie* (1976) der Laminagraphie. Dabei wird nur eine dünne Fläche abgebildet, so dass verschiedene Strukturen nicht übereinander projiziert werden. Bei Anwendung einer relativ niedrigen KV Zahl von 45 wird eine Darstellung feiner Details, wie der palatinalen Kortikalis, möglich. Die Laminagraphie hat sich insgesamt jedoch nicht durchgesetzt.

Hickham (1978), *Hickham & Miethke* (1987), *Zimmer & Miethke* (1989) und *Miethke* (1995) empfahlen, den palatinalen spongiösen Knochen in Fernröntgenseitenaufnahmen zu beurteilen. Vor jeder Frontzahnretrusion größeren Ausmaßes rieten sie, die Schneidezähne zunächst zu intrudieren, da dadurch mehr spongiöser Knochen zur Verfügung steht. Die oben aufgezählten Autoren hielten es jedoch generell nicht für erforderlich, diesen Spongiosabereich metrisch zu erfassen. Auch nach *Witt* (1991) lässt sich mit Hilfe einer Fernröntgenseitenaufnahme die aufgrund der Knochenstruktur maximal mögliche Frontzahnretrusion abschätzen.

Kraft (1995) und *Hartwig* (2000) führten Messungen des palatinalen Knochenangebotes an prätherapeutischen Fernröntgenseitenaufnahmen von Jugendlichen und Erwachsenen durch. Die palatinale Alveolarfortsatzbreite wurde als kürzeste Strecke vom Mittelpunkt des Apex und von der palatinalen Wurzelfläche in halber Wurzellänge zum palatinalen Alveolarfortsatzrand gemessen.

In Folge seiner in-vitro Untersuchungen am Schweinekamm beschrieb *Löst* (1988) die Sonographie (48) als eine präzise und nichtinvasive Methode, die grundsätzlich zur Lagebestimmung des fazialen/oralen Alveolarknochenrandes geeignet ist. Allerdings lässt sich mit dieser Methode kein Parodontalspalt darstellen, der mehr als 2 mm von Limbus alveolaris entfernt ist. Damit fehlt die Hauptvoraussetzung, um die palatinale Knochenmasse zu messen; Ursache ist die starke Dämpfung des Ultraschalls im Knochen, einer inhomogenen Hartschubstanz (*Löst et al.* 1988).

Die von *Hounsfield* im Jahr 1973 entwickelte Computertomographie (30, 66) liefert nach *Fuhrmann* (1996) Schnittbilder, die eine quantitative Beurteilung der kortikospongiösen Knochenauflagerung über den palatinalen Zahnwurzeloberflächen ermöglichen. Diese Methode

ist allerdings mit einer relativ starken Strahlenbelastung und hohen Kosten verbunden. Daher ist sie als zahnärztliches Routinediagnostikum nicht geeignet (*Fuhrmann et al. 1993*).

1.5 Erkenntnisse und Methoden zur Untersuchung der sagittalen Gaumenkurve

Allgemein wird die sagittale Gaumenkurve entlang der Raphe palatina registriert.

Nach *Körbitz* (1909) ist die Raphe mit der Medianebene identisch, die die Grundlage für den Symmetrievergleich von Kiefermodellen ist (*van Loon 1916, Simon 1922, 1933, Korkhaus 1939, Schulze 1980, Rakosi & Jonas 1989*).

Van Loon (1916) konstruierte ein sehr aufwändiges (35) Tastinstrument als Ergänzung zum Symmetroskop, mit dessen Hilfe es möglich war, die Form der sagittalen Gaumenkurve vom Modell auf Papier zu übertragen.

Simon (1922) beschrieb eine relativ umständliche Methode zur Konstruktion der sagittalen Gaumenkurve. Mit dem Einführen des Gnathographen (*Simon 1933*) vereinfachte sich das Vorgehen (36).

Korkhaus (1930, 1939) entwickelte für den Symmetrographen einen Kurvenzeichner, der es ebenfalls ermöglichte die sagittale Gaumenkurve von der Oberfläche des Modells direkt auf Millimeterpapier zu übertragen.

Korkhaus (1939) verglich die graphischen Darstellungen sagittaler Gaumenkurven von EZ und ZZ und stellte eine erbliche Bedingtheit ihrer Verläufe fest. Nach ihm liegen die deutlichsten Abweichungen im Bereich des vorderen Alveolarfortsatzes. Sie sind wahrscheinlich sekundär durch Verschiebungen der oberen Frontzähne bedingt.

Brodie (1953) beurteilte die Form des Nasenhöhlenbodens in Fernröntgenseitenaufnahmen und behauptete, sie bliebe im Laufe des Wachstums generell konstant.

Korkhaus (1959) nutzte die sagittale Gaumenkurve für gnathometrische Untersuchungen, denn seiner Überzeugung nach ist ihr Verlauf einige Millimeter dorsal des Foramen incisivum bis zum Bereich der 1. Molaren relativ altersunabhängig. Dies wurde von *Lebret* (1966) aufgrund seiner Longitudinalstudien an Kiefermodellen bestätigt.

Steiner (1962) beschrieb die untere Fläche des Gaumens in ihrem horizontalen Teil als stabil in der Wachstumsperiode und während kieferorthopädischer Behandlungen.

Edwards (1976) verglich Fernröntgenseitenaufnahmen von Patienten vor und nach der Retrusion der oberen Frontzähne und konstatierte begrenzte Remodellierungen im marginalem Teil des Alveolarfortsatzes. Dass heißt, eine relativ stabile Region findet sich erst dort, wo die vertikale Gaumenkurve in die horizontale übergeht. Damit unterscheidet sich seine Ansicht von den Ansichten *Steiners* (1962) und *Beggs* (1965). Laut *Beggs* Theorie sind Zahnbewegungen weit über die palatinale Kortikalis hinaus auf der Grundlage einer Knochenremodellation möglich. Dies wurde von *Witt* (1991) angezweifelt.

Korkhaus (1939) meint, dass der Anstieg der sagittalen Gaumenkurve durch die Inklination der Schneidezähne bedingt ist. Nach *Schulze* (1982) wird er aber auch von der individuell stark variierenden Gaumenhöhe beeinflusst.

Ferrario et al. (1998, 2000) maßen die Neigung der sagittalen Gaumenkurve zwischen der Papilla incisiva und dem höchstem Punkt des Gaumens zur horizontalen Referenzlinie bei Jugendlichen und Erwachsenen mit normaler Okklusion, in dem sie an Kiefermodellen ausgewählte Punkte der sagittalen Gaumenkurve mit ihren dreidimensionalen Koordinaten einscannen und den Verlauf der Gaumenkurve als Polynom 4. Grades approximierten. Diese Methode beschrieben sie als schnell, einfach und preiswert.

1.6 Erkenntnisse und Methoden zur Untersuchung der Gaumenhöhe

Der Anthropologe *Kollmann* stellte 1892 die These auf, dass in Europa vor allem zwei verschiedene Gesichtsformen auftreten. Die von *Leptoprosopen* ist lang und schmal; ihr Gaumengewölbe ist lang, schmal und tief. Die Gesichtsform von *Chamaeprosopen* ist breit und niedrig; ihr Gaumen kurz, breit und seicht. *Linder-Aronson & Bäckström* (1960) fanden eine signifikante Korrelation zwischen dem Gesichts- und dem Gaumenindex.

Aufgrund der topographischen Nähe der Nasen- zur Mundhöhle wurde diskutiert, welchen Einfluss beide Strukturen auf die Entwicklung des Gaumens nehmen. Nach Ansicht von

Landsberger (1915) und *Neumann* (1926) sind Atembehinderungen Folgeerscheinungen einer Kieferdeformierung. Nach *Berger* (1928) stehen hoher Gaumen, Nasenenge und adenoide Vegetationen nicht in einem Kausalitätsverhältnis, sondern sie sind simultane Manifestationen einer bestimmten Konstitution. *Linder-Aronson & Bäckström* (1960) fanden keine statistisch gesicherte Beziehung zwischen Mundatmung aufgrund von Nasenobstruktion und hohem Gaumen; die wurde dagegen von *Bresolin et al.* (1983) gesehen.

Untersuchungen bei Zwillingen zeigten einen signifikanten Einfluss der Vererbung auf die Gaumenhöhe (*Riquelme & Green* 1970, *Townsend et al.* 1990, *Eguchi et al.* 2004). Insofern überrascht es nicht, dass *Laine & Hausen* (1985) sowie *Westling & Mohlin* (1996) eine Korrelation zwischen Gaumenhöhe und Körperhöhe feststellten.

Die Gaumenhöhe in der Gegend der Molaren nimmt von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter zu (*Browley & Sedwick* 1939, *Lebret* 1966, *Redmann et al.* 1966, *Knott & Johnson* 1970, *Howell* 1981, *Westling & Mohlin* 1996, *Ferrario et al.* 2000). Nach *Howell* (1981) und *Lebret* (1966) ist die Zunahme der Gaumenhöhe im Bereich der Prämolaren dagegen nur gering. Die Zunahme der Gaumenhöhe zwischen dem 5. und 18. Lebensjahr resultiert primär aus einer Verlängerung des Alveolarfortsatzes (*Lebret* 1966). Bei weiblichen Probanden nimmt die Gaumenhöhe nach *Knott & Johnson* (1970) zwischen dem 5. bis 12. Lebensjahr jährlich um durchschnittlich 0,3 mm und zwischen dem 12. und 15. Lebensjahr um weniger als 0,2 mm zu; nach dem 15. Lebensjahr bleibt sie konstant. Bei Erwachsenen verringert sich die Gaumenhöhe mit zunehmendem Alter wieder leicht, was Folge einer Migration der Zähne sein kann (*Buschang et al.* 1994).

Zwischen weiblichen und männlichen Probanden gibt es keine signifikanten Unterschiede der Gaumenhöhe (*Browley & Sedwick* 1939, *Laine & Hausen* 1985, *Townsend et al.* 1990, *Westling & Mohlin* 1996, *Ferrario et al.* 1998).

Insbesondere bei Patienten mit einer *Angle*-Klasse II, 1 erscheint der Gaumen oft sehr hoch; allerdings sind einschlägige Untersuchungen selten und im Ergebnis widersprüchlich. So fand *Staab* (1961) keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Gaumenhöhe bei Jugendlichen mit einer *Angle*-Klasse II, 1, einer *Angle*-Klasse II, 2 und einer *Angle*-Klasse I. Nach *Williams* (1964) ist der Mittelwert für die Gaumenhöhe bei Patienten mit einer *Angle*-Klasse II, 1 etwas kleiner als bei Patienten mit einer *Angle*-Klasse I. *Reulen* (1968) berichtete

von einem signifikanten Unterschied der Gaumenhöhe zwischen Eugnathen und Patienten mit einer *Angle*-Klasse II, 1 im Alter vom 14. bis 18. Lebensjahr; danach ist dieser Unterschied nicht mehr zu finden. Nach *Schulze* (1982) ist bei der *Angle*-Klasse II, 1 eine kontinuierliche Variabilität zwischen flachen und hohen Gaumengewölben zu beobachten. Nach *Galves & Methenitou* (1989) haben Patienten mit einer *Angle*-Klasse II, subjektiv beurteilt, überwiegend hohe Gaumengewölbe. Nach *Buschang et al.* (1994) haben Probanden mit einer *Angle*-Klasse II, 1 eine höhere Gaumenhöhe als Probanden mit einer *Angle*-Klasse II, 2.

Die Gaumenhöhe wurde direkt an Patienten (7, 26, 58), an Fernröntgenseitenaufnahmen (8, 59), an Kiefermodellen (10, 15, 26, 40, 43, 60, 71, 74, 77, 78), an Aufzeichnungen der Gaumenkurve (17, 18, 26, 32, 42) und an Abformungen des Gaumens (33) gemessen.

Abweichungen zwischen den Ergebnissen verschiedener Studien sind nicht nur durch unterschiedliche Methoden, sondern auch durch die Verwendung unterschiedlicher Messpunkte zu erklären. Bezugsgeraden für die Messung der Gaumenhöhe sind die Verbindungslinien zwischen den Fissuren (43), den Höckern (15, 78) und den Gingivalsäumen (7, 15, 17, 18, 32, 33, 40, 42, 58, 60, 71, 74, 77) bestimmter synergetischer Seitenzähne. Das sind die Zähne 3+3 (40), 4+4 (26, 32, 40, 42), 5+5 (15, 32, 40), 6+6 (7, 8, 10, 15, 17, 18, 26, 32, 33, 40, 42, 43, 58, 59, 60, 71, 74, 77, 78) und V+V (32, 33, 42). Auch von der Okklusionsebene aus wurde die Gaumenhöhe gemessen (8, 59). Eine Bezugsgerade am Gingivalsaum eliminiert ungünstige Effekte, die sich aus Zahnkippen ergeben können. Bezugspunkt am Gaumen war der höchste Punkt (17, 18, 33, 74) oder ein Punkt unter einer der oben genannten Bezugsgeraden (7, 10, 15, 17, 18, 26, 32, 40, 42, 43, 58, 60, 71, 77, 78). Generell erfolgen Messungen in der Raphe-Medianebene senkrecht zur der Okklusionsebene (7, 8, 10, 15, 18, 32, 40, 42, 43, 59, 60, 71, 77, 78).

Die Ergebnisse wurden direkt vom Millimeterpapier abgelesen (26) oder mit Hilfe von Instrumenten gemessen. Zu diesen gehören der dreidimensionale Zirkel nach Korkhaus (26, 43), digitale Tastzirkel (10), Palatometer (7, 58, 60) und Eigenkonstruktionen (33, 71). Die anschließende Bearbeitung der Daten erfolgte teilweise im Computer (17, 18).

Direkte Messungen sind oft zeitaufwändig, während indirekte mit Hilfe von EDV zu einer erheblichen Zeitersparnis führen können (15, 17, 18, 74).

2 FRAGESTELLUNG

Das Ziel dieser Arbeit ist, das palatinale Knochenangebot hinter den Schneidezähnen bei einer Gruppe von Jugendlichen mit Distalbiss zu untersuchen. Dieses Knochenangebot ist wichtig für die Retrusion der Schneidezähne.

Grundlage der Bestimmung waren eingescannte sagittale Schnitte kieferorthopädischer Modelle in der Mitte beider mittlerer Schneidezähne. In diese Schnittbilder wurde die Kontur eines idealen Schneidezahnes projiziert. Auf jedem Bild wurde die Inklination des Schneidezahnes, der Anstieg der sagittalen Gaumenkurve und die Gaumenhöhe gemessen, da sie gemeinsam das palatinale Knochenangebot beeinflussen. Zusätzlich wurde das Knochenangebot dorsal der Schneidezahnwurzeln gemessen.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Wie reichlich ist das Knochenangebot hinter den Wurzeln der Schneidezähne, und was bedeutet dies für deren mögliche Retrusion?
- In wie weit ist das Knochenangebot dorsal der Schneidezähne von deren Inklination abhängig?
- In wie weit ist dieses Knochenangebot vom Anstieg der sagittalen Gaumenkurve abhängig?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Anstieg der sagittalen Gaumenkurve und der Inklination eines Schneidezahnes?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Anstieg der sagittalen Gaumenkurve und der Gaumenhöhe?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen der Schneidezahninklination und der Gaumenhöhe?
- Welche Konsequenzen ergeben sich aus diesen Korrelationen?

3 MATERIAL UND METHODE

3.1 Material

Diese Untersuchung basiert auf Modellen zweier in Berlin niedergelassener Kieferorthopäden sowie des Instituts für Kieferorthopädie, Orthodontie, und Kinderzahnmedizin des CharitéCentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.

Für diese Untersuchung wurden 35 fortlaufende Modellpaare ausgewählt, die folgende Kriterien erfüllen mussten:

- keine bisherige kieferorthopädische Behandlung,
- vollständige 2. Dentition mit Ausnahme der 3. Molaren, teilweise auch der 2. Molaren (Ausnahme: zwei Modellpaare im Wechselgebiss, davon eines mit einzelnen Milchmolaren),
- Distalbiss $\geq \frac{1}{2}$ Pb,
- keine Unter-/Überzahl von Zähnen,
- keine retinierten Zähne,
- detaillierte Wiedergabe aller morphologischen Einzelheiten und
- keine Beschädigungen.

8 Modelle wiesen eine *Angle*-Klasse II, 1, 18 eine *Angle*-Klasse II, 2 und 9 eine *Angle*-Klasse II ohne Abteilung auf. 19 Modelle entstammten von weiblichen, 16 von männlichen Probanden; alle waren Kaukasier. Das Durchschnittsalter der Patienten bei Abformung betrug 13,9 Jahre (Minimalwert – 10,4 Jahre; Maximalwert – 17,3 Jahre).

3.2 Untersuchungsmethode

3.2.1. Herstellung der sagittalen Schnitte

Mit Hilfe von Alginatabformmasse)¹ wurden Duplikate der Oberkiefermodelle aus blauen Hartgips)² hergestellt. Diese wurden unter Berücksichtigung der Raphe-Medianebene, Kauebene und Tuberebene getrimmt.

Auf jedem Oberkiefermodell wurde mit einem Bleistift die Raphe-Medianebene eingezeichnet, deren vorderer Punkt in der Mitte zwischen dem 2. Gaumenfaltenpaar lag. Der hintere Punkt wurde am Übergang vom harten zum weichen Gaumen auf der Raphe als Mittenpunkt zwischen den paarigen Foveolae lokalisiert (*Rakosi & Jonas 1989*). Parallel zur Raphe-Medianebene wurden in der Mitte der beiden mittleren Schneidezähne je eine weitere Linie eingezeichnet (Abb. 1).

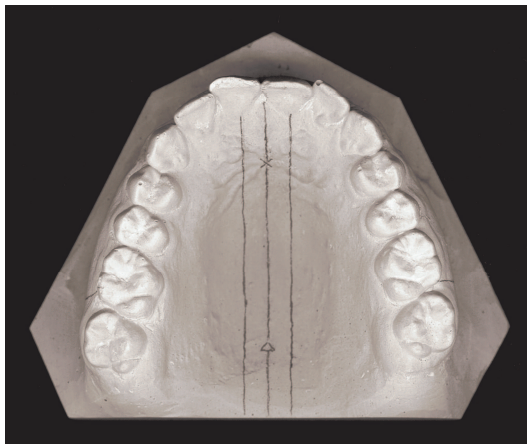


Abb. 1: Duplikat eines Oberkiefermodells mit angezeichneter Raphe-Medianebene und zwei parallel verlaufenden Linien durch die Mitte der beiden mittleren Schneidezähne.

Nach Durchsägen des Modells mit einer Handbügelsäge entlang der Raphe-Medianebene wurde der rechte und linke Teil des Modells mit einem Trimmer bis zu den oben beschriebenen seitlichen Linien abgeschliffen. Jedes Modell ergab somit zwei sagittale Schnitte.

¹ Tetrachrom; Kaniedenta Dentalmedizinische Erzeugnisse GmbH & Co.KG; Herford

² Röconit DIN EN 6873, Modellhartgips Typ III, natur; Röhrich-Gipse - ein Unternehmen von Dr. Böhme & Schöps Dental GmbH; Berlin

3.2.2. Erstellen der Schnittbilder

Die gesamte Schnittfläche wurde orange bemalt, um einen Farbkontrast zu den dahinter liegenden Strukturen zu schaffen. Mit einem Bleistift wurde ferner die Grenze zwischen Zahnkrone sowie labialer und palatinaler Gingiva markiert.

Alle Schnitte wurden mittels eines mit einem Computer)³ verbundenen Scanners)⁴ mit 600 dpi eingescannt (Abb. 2a). Die so gewonnenen Daten wurden anschließend mit Hilfe von Bildbearbeitungsprogrammen in Strichzeichnungen umgewandelt (Abb. 2b).

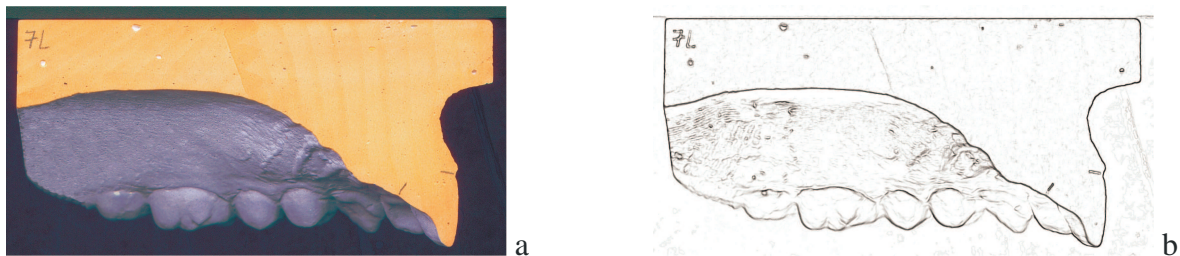


Abb. 2: a) Eingescannter sagittaler Schnitt eines Modells.
b) Strichzeichnung des gleichen Schnittes.

3.2.3. Erstellung der Zahnkontur

Aus der Zahnsammlung der Abteilung für Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin, CharitéCentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde wurden zufällig 10 menschliche obere mittlere Schneidezähne ausgewählt. Sie alle waren anatomisch regelrecht geformt und zeigten keine makroskopisch erkennbaren Attritionen, Abrasionen oder sonstigen Alterationen.

Sämtliche Zähne wurden bis zur Hälfte in ein Abformmaterial (s. Kapitel 3.2.1) eingesenkt und nach dessen Abbinden herausgenommen. Die so entstandenen Alginatnegative wurden eingescannt (Abb. 3a) und anschließend mit blauen Hartgips (s. Kapitel 3.2.1) ausgegossen. Jedes resultierende Modell entsprach einem sagittalen Schnitt durch die Mitte des jeweiligen

³ PC Fujitsu Siemens mit AMD Athlon 800 MHz Prozessor und 128MB RAM Speicher

⁴ AGFA Snapscan e50

Zahnes. Auf diesen Modellen wurde labial und lingual der Übergang von Zahnkrone zu -wurzel markiert. Anschließend wurden diese sagittalen Schnitte eingescannt (Abb. 3b).

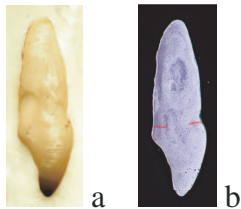


Abb. 3: a) Eingescannter Alginatabdruck eines oberen Schneidezahnes
b) Eingescannter sagittaler Schnitt des selben Zahnes

Alle Scans wurden wiederum in Strichzeichnungen umgewandelt. Gepaarte Strichzeichnungen wurden übereinandergelegt und die Markierungen des Überganges von Zahnkrone zu -wurzel auf die Strichzeichnung der Alginatabformung übertragen. Dies war erforderlich, da sich der Übergang Zahnkrone/-wurzel an der Alginatabformung nicht mit hinreichender Sicherheit feststellen ließ, wobei aber die Zahnkontur in der Strichzeichnung verfahrensbedingt besser wiedergegeben werden konnte.

Die gesamten Strichzeichnungen der Alginatabformungen wurden nach *Ash* (1984) gemessen (Abb. 4) und entsprechende Mittelwerte gewonnen. Zahn Nr. 5 (Abb. 4, Mitte) kommt in seinen Dimensionen diesen Mittelwerten am nächsten (siehe auch Tabelle 3, Kapitel 5.1.3).

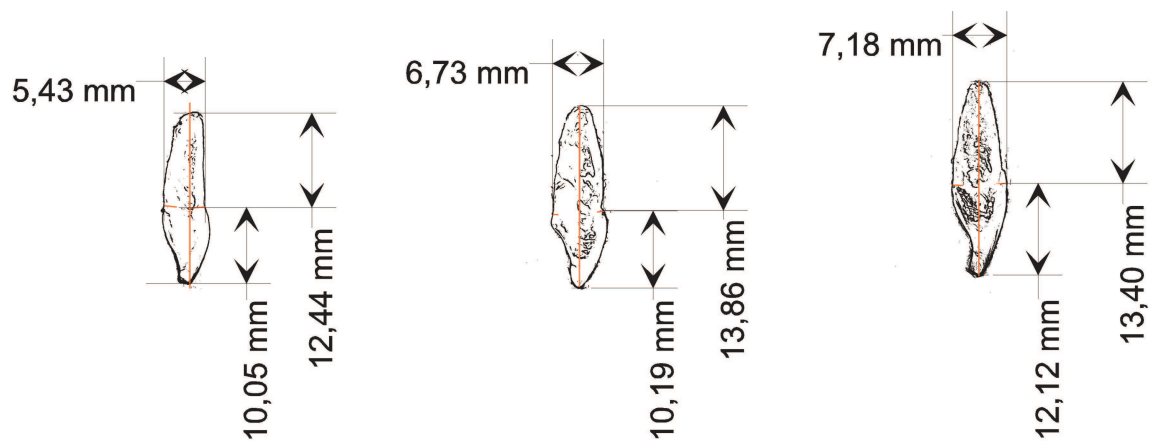


Abb. 4: Strichzeichnungen der Zähne (von links) Nr. 6, 5 und 9 mit den jeweiligen Messwerten nach *Ash* (1984). Das sind labiale Länge der Krone und der Wurzel sowie labiolinguale Breite am Zahnhals. Diese Abbildung belegt, wie variabel die Dimensionen von mittleren Schneidezähnen des Oberkiefers sein können.

Um zu testen, in wie weit die Kontur des Zahnes Nr. 5 einer mittleren Kontur entspricht, wurde auf jeder Strichzeichnung der Alginatabformung eine Linie zwischen der Wurzelspitze und der Mitte der Inzisalkante gezeichnet. Alle Strichzeichnungen wurden auf dieser Linie unter Berücksichtigung des Überganges von Zahnkrone zu -wurzel überlagert (Abb. 5). Auch hierbei wurde deutlich, dass Zahn Nr. 5 repräsentativ für einen durchschnittlichen mittleren Schneidezahn ist. Deshalb wurde er für alle weitere Messungen verwendet.



Abb. 5: Überlagerte Strichzeichnungen sämtlicher Alginatabformungen mit hervorgehobener Kontur des Zahnes Nr. 5.

3.2.4. Einfügen der Zahnkontur in die Strichzeichnungen der sagittalen Schnitte der Oberkiefermodelle

Die Strichzeichnung der Alginatabformung des Zahnes Nr. 5 wurde so mit jeder Strichzeichnung des sagittalen Schnittes des Oberkiefermodells überlagert, dass der labiale und der palatinale Übergang von klinischer Krone zu Gingiva an beiden Strichzeichnungen übereinstimmten. Auch die Längsachse des Schneidezahnes wurde hierbei berücksichtigt.

Da die Strichzeichnung der Alginatabformung des Zahnes Nr. 5 nur die anatomische Krone erkennen lässt, wurde der Abstand zwischen Schmelz-Zement-Grenze und der äußeren Kontur der marginalen Gingiva an Hand der Untersuchung von *Gargiulo et al. (1961)* bestimmt. Für spätere Messungen wurden palatinal der Abstand zwischen Schmelz-Zement-Grenze und dem Alveolarknochen (nach *Gargiulo et al. (1961)*) sowie zwei Referenzpunkte markiert, die auf der Hälfte beziehungsweise dem apikalen Drittel der Wurzellänge lagen (Abb. 6). Abbildung 7 gibt die Namen aller auf der Strichzeichnung des Zahnes Nr. 5 aufgetragenen Referenzpunkte wieder.

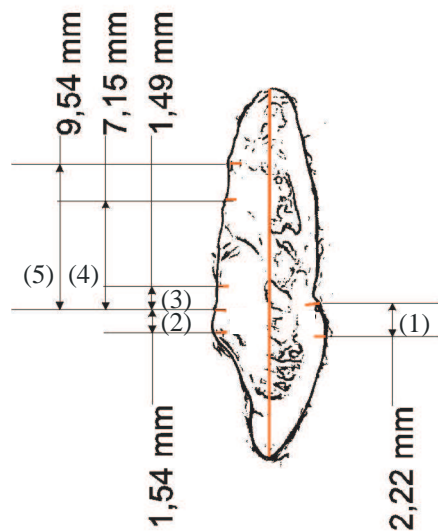


Abb. 6: Strichzeichnung des Zahnes Nr. 5 mit den Abständen zwischen Schmelz-Zement-Grenze und äußerer Kontur der marginalen Gingiva labial (1), palatinal (2), Alveolarknochen palatinal (3), 1/2 (4) und apikalen 1/3 (5) der palatinalen Zahnwurzellänge.

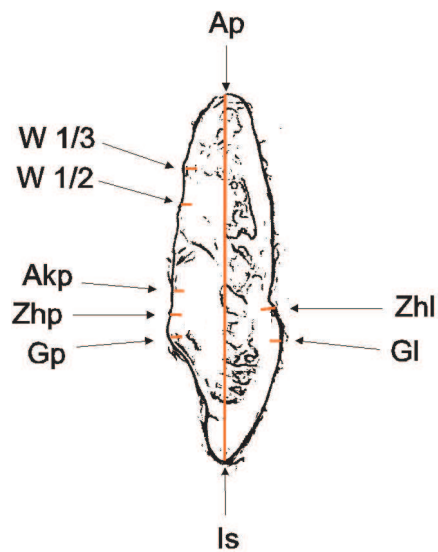


Abb. 7: Referenzpunkte an Strichzeichnung des Zahnes Nr. 5 und dazugehörige Definitionen: Ap - **A**pex; Is - Spitze der Schneidekante; Ap-Is - Längsachse des Zahnes; Gp, Gl - Grenze zwischen Zahnkrone sowie marginaler **G**ingiva **p**alatinal und **l**abial; Zhp, Zhl - **Z**ahnhals **p**alatinal und **l**abial; Akp - **A**lveolar**k**nochen**n**iveau **p**alatinal; W1/2, W1/3 - **1**/2 und **a**pikales **1**/3 der palatinalen **W**urzellänge.

Abbildung 8 zeigt Beispiele einiger Strichzeichnungen, die im Weiteren analysiert wurden.

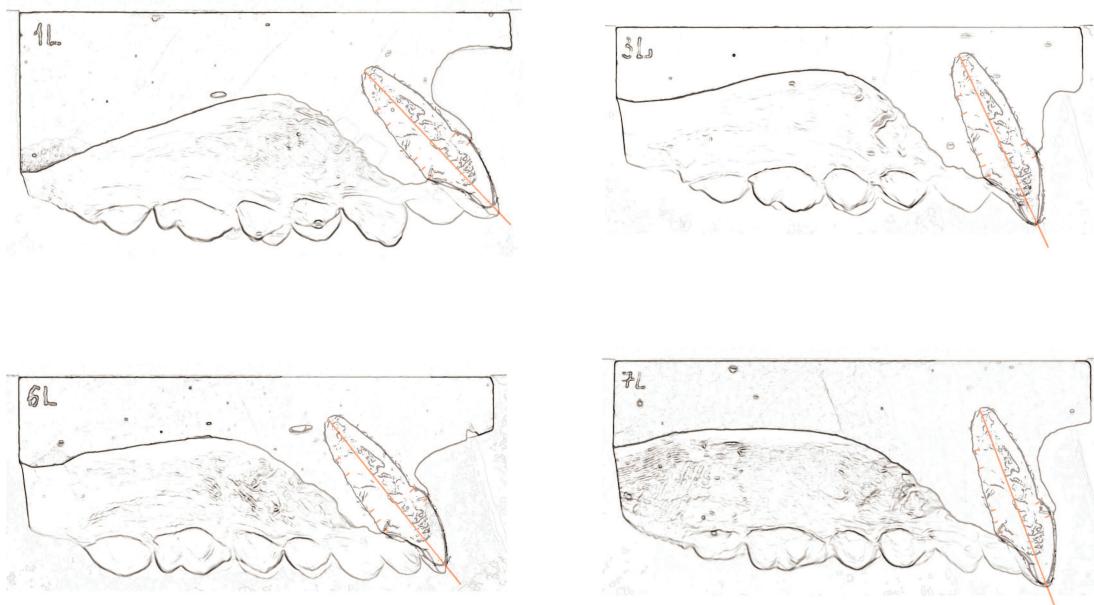


Abb. 8: Überlagerung ausgewählter Strichzeichnungen der sagittalen Schnitte der Oberkiefermodelle mit der Strichzeichnung des Zahnes Nr. 5.

3.2.5. Die Messgrößen

Um den Platz direkt hinter der Zahnwurzel bestimmen zu können, wurden ausgehend von Punkt Gp die Punkte Akp, W1/2, W1/3 und Ap kreisbogenförmig auf die sagittale Gaumenkurve projiziert und die Referenzpunkte Akp', W1/2', W1/3' und Ap' markiert. Die Strecke zwischen Akp' und Ap' kennzeichnet in der hier vorgelegten Arbeit den Anstieg der sagittalen Gaumenkurve (Abb. 9).

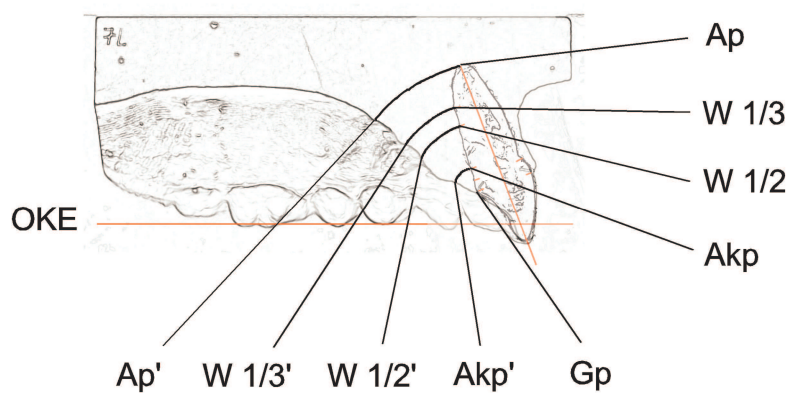


Abb. 9: Konstruktion der Referenzpunkte auf der sagittalen Gaumenkurve (siehe auch Legende Abbildung 7, Kapitel 3.2.4). OKE - **O**kkklusionsebene

Basierend auf den digitalisierten Koordinaten aller Punkte zwischen Akp' und Ap' (etwa 200 bis 270 Punkte) sowie zwischen Akp und W1/3 (265 Punkte) wurden Ausgleichsgeraden⁵ für die sagittale Gaumenkurve und der Zahnwurzel berechnet und mit den entsprechenden Strichzeichnungen überlagert (Abb. 10).

⁵ Die Summe der Quadrate der Abstände aller Punkte senkrecht zur der Ausgleichsgeraden ist minimiert. Somit ist sichergestellt, dass die Ausgleichsgerade möglichst nah zu allen Punkten auf der ursprünglichen Kurve liegt.

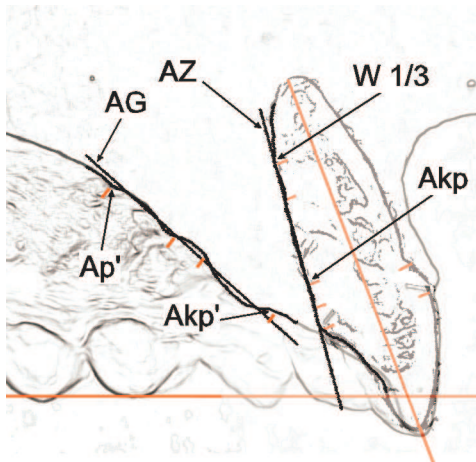


Abb. 10: Ausgleichsgeraden am Anstieg der sagittalen Gaumenkurve (AG) und an der Zahnwurzel (AZ).

Bei der Berechnung der Ausgleichsgeraden ermittelt das Rechenprogramm gleichzeitig die Werte für $\sphericalangle AG/OKE$ und $\sphericalangle AZ/1$. $\sphericalangle AZ/1$ beträgt $5,72^\circ$. Der Platz hinter der Zahnwurzel ist mit Hilfe des $\sphericalangle AZ/AG$ und des Abstandes $Akp \perp AG$ mathematisch vollständig beschrieben. Aus technischen Gründen wurde dieser Winkel nicht direkt gemessen, sondern nach folgender Formel berechnet: $\sphericalangle AZ/AG = \sphericalangle 1/OKE - \sphericalangle AG/OKE + \sphericalangle AZ/1$. Um einen Vergleich mit Ergebnissen der Arbeiten von Kraft (1995) und Hartwig (2000) durchführen zu können wurde zusätzlich der Abstand $Ap \perp AG$ gemessen (Abb. 11).

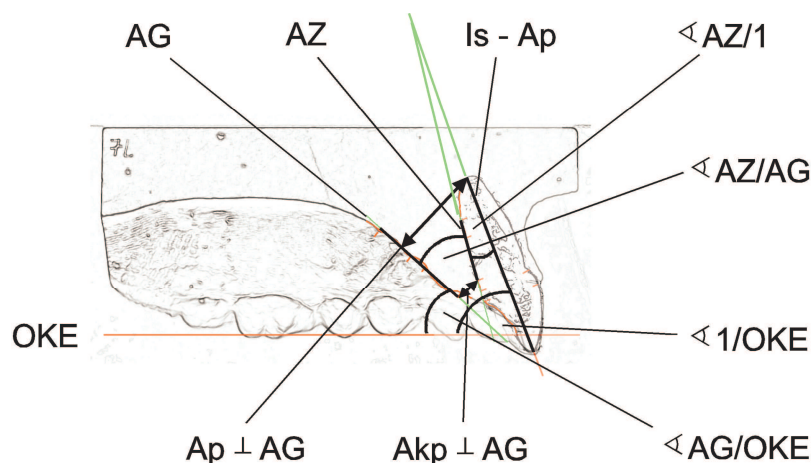


Abb. 11: Winkel und Abstände zur Bestimmung des Platzes hinter der Schneidezahnwurzel: $\sphericalangle 1/OKE$ – Winkel zwischen Ap-Is und OKE; $\sphericalangle AG/OKE$ – Winkel zwischen AG und OKE; $\sphericalangle AZ/1$ – Winkel zwischen AZ und Ap-Is; $\sphericalangle AZ/AG$ – Winkel zwischen AZ und AG; $Akp \perp AG$ – Abstand von Akp senkrecht auf AG; $Ap \perp AG$ – Abstand von Ap senkrecht auf AG.

Eine weitere Möglichkeit, den Platz hinter der Schneidezahnwurzel zu bestimmen, besteht darin, ausgewählte Abstände zwischen Zahnwurzel und Gaumenanstiegskurve zu messen; das erfolgte bei $Ap-Ap'$, $W1/3-W1/3'$ und $W1/2-W1/2'$. Die parallel zur Okklusionsebene konstruierten Abstände $Ap'-Z1$, $W1/3'-Z2$ und $W1/2'-Z3$ geben Information über dem Platz hinter der Zahnwurzel aus einer anderen Perspektive. Die Entfernung der Punkte $Z1$, $Z2$ und $Z3$ vom Zahnhals beschreiben die entlang des Zahnes gemessenen Abstände $Z1-Zhp$, $Z2-Zhp$ und $Z3-Zhp$ (Abb. 12).

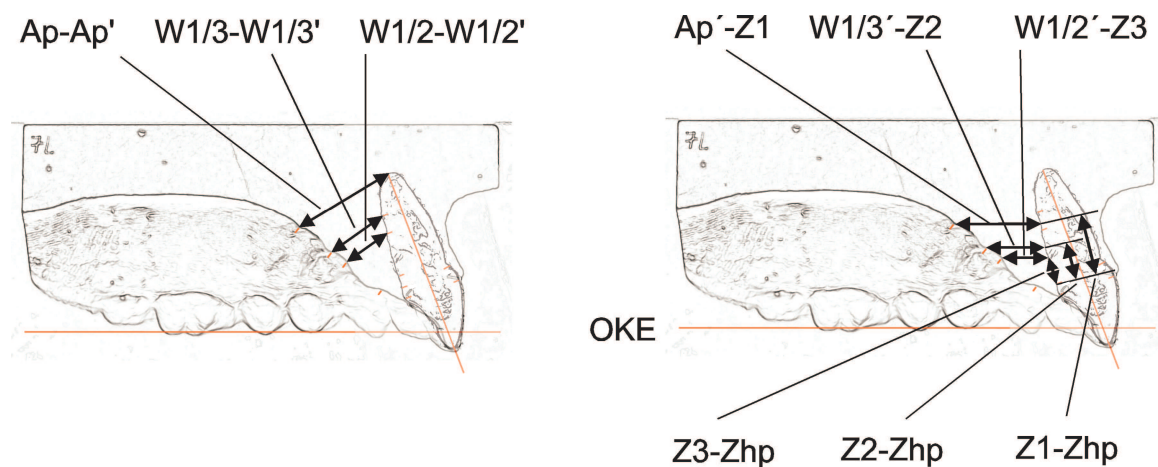


Abb. 12: Weitere, schräg (links) und parallel zur Okklusionsebene (rechts), gemessene Strecken zur Bestimmung des Platzes hinter der Schneidezahnwurzel (siehe auch Legende Abbildung 9, Kapitel 3.2.5.). $Z1$, $Z2$, $Z3$ – Schnittpunkte mit der Zahnkontur. $Z1-Zhp$, $Z2-Zhp$, $Z3-Zhp$ Abstände entlang des Zahnes gemessen.

Die Gaumenhöhe wurde ähnlich wie von *Lebret* (1966) an zwei Stellen gemessen. Um diese einfach und schnell zu bestimmen, wurde in hier vorgelegter Arbeit als Hilfsmittel ein Liniennetz konstruiert. Es wurde so mit jeder Strichzeichnung des sagittalen Schnittes des Oberkiefermodells überlagert, dass die senkrechte Linie b annähernd durch die Kontaktpunkte der Zähne $M1$ und $P2$ verlief (Abb. 13). Vorher wurden alle Modelle auf eine Protrusion der Seitenzähne bis auf 1 mm untersucht und bei Bedarf wurde eine Rekonstruktion durchgeführt. Punkt A , an dem *Lebret* die Gaumenhöhe maß, war ein Schnittpunkt der Raphe mit einer Geraden, welche die distalen Kontaktpunkte der 2. Milchmolaren verband. Er konnte für jeden Patienten individuell auf spätere Modelle übertragen werden. Um einen vergleichbaren Punkt zu verwenden, erfolgte die Messung entlang der Linie a , 3,95 mm distal der Linie b . Diese entsprechen der durchschnittlichen physiologischen Mesialwanderung des 1. Molaren. Punkt B lag bei *Lebret* 10 mm ventral vor Punkt A , was der Entfernung der Linie c zur Linie a entspricht.

Die horizontale Referenzlinie Gs verlief ähnlich wie bei *Lebret* auf der Höhe des Gingivalsaumes der lingualen Zahnflächen. Die Gaumenhöhe wurde entlang der Linie a und c, zwischen Linie Gs und der Kontur der sagittalen Gaumenkurve gemessen (Abb. 13).

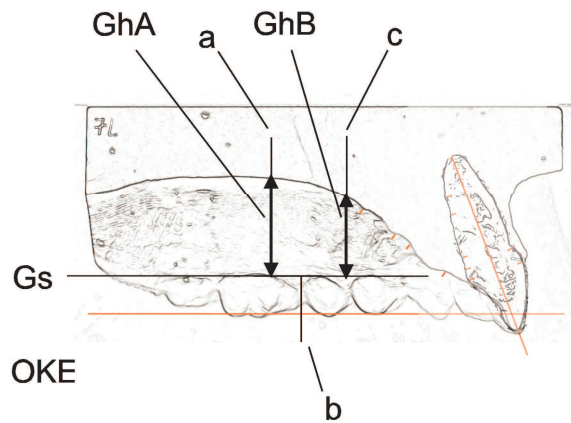


Abb. 13: Messung der Gaumenhöhe im Bereich der Molaren (GhA) und Prämolaren (GhB).

3.2.6. Messfehler

3.2.6.1. Vergrößerung

Um eventuelle Größenveränderungen durch das Scannen festzustellen, wurde der lange Rand der Basis von 10 verschiedenen sagittalen Schnitten mit einer Schiebelehre gemessen. Danach wurden diese Schnitte senkrecht und waagrecht auf der Scanfläche positioniert gescannt und die analogen Strecken im Scan gemessen. Ein Vergleich der Messergebnisse ergab eine Vergrößerung von 0,57 % für die eingescannten Strecken des senkrecht positionierten Schnittes und von 0,34 % für die eingescannten Strecken des waagrecht positionierten Schnittes.

Der maximale Fehler lag damit bei einer Strecke von 18 mm bei 0,1 mm also in der Größenordnung der 2,5-fachen Scanauflösung beziehungsweise der Messgenauigkeit einer Schiebelehre. Da sämtliche in der Arbeit gemessenen Strecken kleiner als 18 mm waren, kann der Messfehler aufgrund der Vergrößerung vernachlässigt werden.

3.2.6.2. Verzerrung

Von der Scanebene entfernte Objekte können verzerrt werden, das heißt, sie können auf einem Bild anders dargestellt werden, als es der Wirklichkeit entspricht (Abb. 14). Im Falle der Seitenzähne könnte dieser Effekt die Messung der Gaumenhöhe beeinflussen.

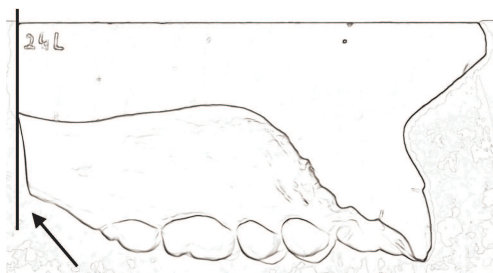


Abb. 14: Bei zunehmenden vertikalen Abstand von der Scanebene weicht der Modellrand auf dem Bild (s. Pfeil) zunehmend von seiner wirklichen Lage (s. schwarze vertikale Linie) ab, was auf die Verzerrung zurückzuführen ist.

Um das Ausmaß der Verzerrung zu untersuchen, wurde ein 25 mm hoher Stahlquader (vergleichbar mit der Höhe eines Modells) gescannt. Lag der Blockrand 42 mm rechts

beziehungsweise links von der Mitte der Scanfläche entfernt (s. Pfeil 1 Abb. 15 a und b), ergab sich ein Versatz des oberen Blockrandes (s. Pfeil 2 Abb. 15 a und b) von 3,8 mm. Je weiter sich der Blockrand der Mitte der Scanfläche annähert, um so kleiner wird der Versatz. Liegt der Rand des Blocks in der Mitte der Scanfläche, so ist keine Verzerrung festzustellen, das heißt, unterer und oberer Blockrand liegen auf dem Bild (s. Pfeil 1, 2 Abb. 15 c und d) wie in Wirklichkeit übereinander.

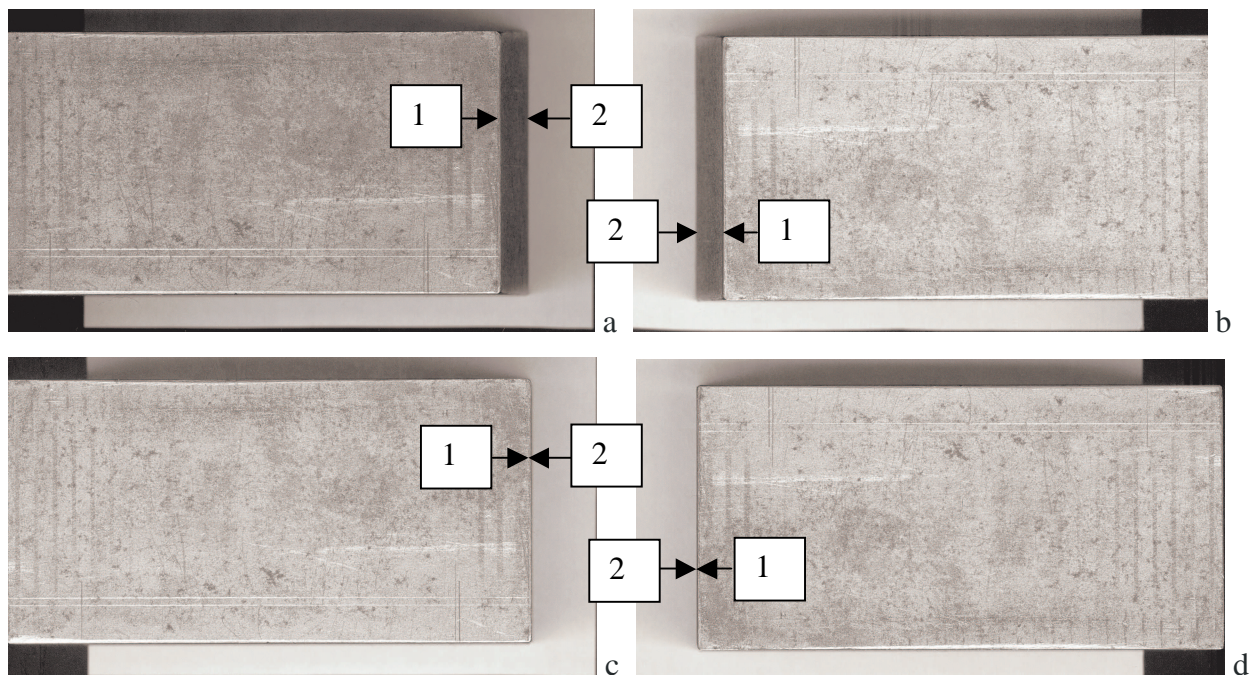


Abb. 15: a und b) Sichtbarer Versatz des oberen Blockrandes (2) zum unterem Blockrand (1) bei exzentrischer Lage des Blockes zur Mitte der Scanfläche.

c und d) Kein Versatz sichtbar, da die beobachteten Blockränder (1,2) in der Mitte der Scanfläche positioniert sind.

Mit Hilfe der oben beschriebenen Methode konnte nachgewiesen werden, dass in senkrechter Scanrichtung keine Verzerrung auftritt.

Aus der vorangehenden Beobachtung folgte, dass alle Modelle beim Einscannen waagrecht positioniert wurden und sich der Kontaktpunkt zwischen M1 und P2 über der Mitte der Scanfläche befand. Daher wurde seine Lage verzerrungsfrei wiedergegeben.

3.2.6.3. Zufällige Schwankungen in der Messkette

Um den Einfluss des Messfehlers aufgrund zufälliger Schwankungen in der Messkette auf das Messergebnis zu bestimmen, wurde ein sagittaler Schnitt 10 mal eingescannt und vermessen (Wiederholungsmessung).

Für folgende Parameter liegt die Standardabweichung der Wiederholungsmessung unterhalb der 2-fachen Scanauflösung beziehungsweise 0,085 mm: $A_{kp} \perp AG$, GhA, Z1-Zhp, Z2-Zhp, Z3-Zhp und Position des Liniennetzes in senkrechter Richtung.

Für folgende Parameter liegt die Standardabweichung der Wiederholungsmessung unterhalb der 5-fachen Scanauflösung beziehungsweise 0,21 mm: $A_p \perp AG$, GhB, $A_p - A_p'$, W1/2-W1/2', W1/3-W1/3', $A_p' - Z1$, W1/3'-Z2, W1/2'-Z3 und Position des Liniennetzes in waagerechter Richtung.

Für $\sphericalangle 1/OKE$ beträgt die Standardabweichung der Wiederholungsmessung $0,49^\circ$, für $\sphericalangle AG/OKE$ $0,15^\circ$ und für $\sphericalangle AZ / AG$ $0,61^\circ$.

Somit ist die Standardabweichung der Wiederholungsmessung deutlich kleiner als die Standardabweichung der eigentlichen Messwerte (Tabelle 1, Kapitel 4). Das heißt, der Messfehler aufgrund zufälliger Schwankungen in der Messkette ist vernachlässigbar klein.

3.3 Statistische Auswertung

Alle Daten wurden mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Lotus 1-2-3 statistisch ausgewertet.

Für die deskriptive Statistik wurden Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Minima und Maxima berechnet. Zusätzlich wurde der 95% Streubereich der Einzelwerte und das 95% Konfidenzintervall der Mittelwerte bestimmt (Zöfel 2002, Sachs 2004).

Ausgewählte Daten wurden auf Korrelation zueinander untersucht. Die Berechnung der Korrelationen erfolgte nach der Methode der linearen Regression. Die Steigung der Regressionsgeraden wurde mit dem t-Test überprüft, und es wurden die resultierenden p-Werte berechnet.

Als Signifikanzniveaus wurden festgelegt:

$p > 5\%$	nicht signifikant
$p \leq 5\%$	signifikant
$p \leq 1\%$	deutlich signifikant
$p \leq 0,1\%$	höchst signifikant

Bei signifikanten Korrelationen wurde der 95% Vorhersagebereich für die Einzelwerte bestimmt.

Die Mittelwerte und die Regressionsgeraden der linken und rechten Seite wurden mittels des t-Tests für gepaarte Daten beziehungsweise für Konstantenwert und Steigung auf signifikante Unterschiede geprüft.

4 ERGEBNISSE

4.1 Statistik der Einzelwerte

Tabelle 1 gibt die Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, 95% Streubereiche und 95% Konfidenzintervalle der Mittelwerte aller Parameter wieder.

Die Mittelwerte der linken und rechten Seite sind signifikant unterschiedlich für die Parameter $\sphericalangle 1/\text{OKE}$ und $\sphericalangle \text{AG}/\text{OKE}$. Die Differenz rechts minus links beträgt für $\sphericalangle 1/\text{OKE}$ $1,94^\circ$, $p=1,35\%$ und für $\sphericalangle \text{AG}/\text{OKE}=0,79^\circ$, $p=0,42\%$.

Tabelle 1: Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima, Minima, 95% Streubereiche und 95% Konfidenzintervalle der Mittelwerte aller Parameter links (L) und rechts (R).

Parameter	Mittelwert		Standardabweichung		Maximum		Minimum		95% Streubereich				95% Konfidenzintervall			
	L	R	L	R	L	R	L	R	Maximum		Minimum		Maximum		Minimum	
									L	R	L	R	L	R	L	R
$\sphericalangle 1/\text{OKE}$	64,43	66,37	9,40	8,68	81,07	81,08	42,81	46,26	82,85	83,38	46,01	49,37	67,66	69,36	61,20	63,39
$\sphericalangle \text{AG}/\text{OKE}$	45,66	46,45	5,02	5,24	54,99	56,32	36,26	36,77	55,51	56,72	35,82	36,18	47,39	48,25	43,94	44,65
$\sphericalangle \text{AZ}/\text{AG}$	24,49	25,65	7,97	7,55	39,36	40,79	4,30	6,55	40,12	40,44	8,86	10,86	27,23	28,24	21,75	23,06
Akp \perp AG	2,90	2,96	0,61	0,64	4,11	4,27	1,77	1,79	4,09	4,22	1,72	1,70	3,11	3,18	2,70	2,74
Ap \perp AG	10,37	10,66	1,66	1,55	13,01	13,44	6,68	6,89	13,63	13,70	7,12	7,62	10,94	11,19	9,80	10,13
Ap-Ap'	10,82	11,26	1,89	1,73	14,31	14,56	6,57	7,11	14,53	14,65	7,12	7,86	11,47	11,85	10,17	10,66
W1/3-W1/3'	6,18	6,45	1,30	1,17	8,15	8,70	3,37	4,27	8,73	8,75	3,62	4,16	6,62	6,86	5,73	6,05
W1/2-W1/2'	5,28	5,46	1,04	1,00	7,29	7,75	3,19	3,68	7,33	7,42	3,23	3,50	5,64	5,80	4,92	5,12
Ap'-Z1	8,92	9,28	1,44	1,34	11,56	11,90	5,55	6,24	11,74	11,91	6,09	6,66	9,41	9,74	8,42	8,82
W1/3'-Z2	6,22	6,43	1,02	0,93	8,32	8,49	4,34	4,95	8,22	8,27	4,22	4,60	6,57	6,75	5,87	6,11
W1/2'-Z3	5,25	5,36	0,97	0,87	7,42	7,43	3,42	3,55	7,16	7,06	3,34	3,66	5,58	5,66	4,91	5,06
Z1-Zhp	9,47	9,51	1,00	1,07	11,09	11,15	7,20	7,03	11,43	11,61	7,52	7,41	9,81	9,88	9,13	9,14
Z2-Zhp	5,69	5,73	0,92	0,99	7,40	7,28	3,26	3,45	7,49	7,68	3,90	3,78	6,01	6,07	5,38	5,39
Z3-Zhp	3,71	3,81	1,10	1,00	5,57	5,50	1,14	1,41	5,87	5,78	1,54	1,84	4,09	4,15	3,33	3,46
GhA	13,29	13,46	2,12	2,07	17,29	17,61	9,58	9,69	17,44	17,52	9,13	9,39	14,01	14,17	12,56	12,74
GhB	11,79	11,88	1,98	1,97	16,11	16,01	8,58	8,34	15,68	15,73	7,90	8,02	12,47	12,55	11,11	11,20

4.2 Korrelationen

4.2.1. Tabellarische Übersicht

Tabelle 2 enthält Paare von Parametern, deren Korrelation zueinander auf Signifikanz geprüft wurde.

Tabelle 2: Signifikanzniveaus (p) und Korrelationskoeffizienten (r) links (L) und rechts (R) verschiedener Parameterpaare.

Parameter		p[%]		r	
		L	R	L	R
◁ AG/OKE	◁ 1/OKE	0,11	0,20	0,53	0,50
◁ AZ/AG	◁ 1/OKE	0,00	0,00	0,85	0,80
◁ AZ/AG	◁ AG/OKE	>5	>5	-0,01	-0,11
Akp_LAG	◁ 1/OKE	>5	>5	-0,26	-0,29
Akp_LAG	◁ AG/OKE	2,36	>5	-0,38	-0,30
Ap_LAG	◁ 1/OKE	0,00	0,00	0,71	0,65
Ap_LAG	◁ AG/OKE	>5	>5	-0,14	-0,23
Ap-Ap'	◁ 1/OKE	0,00	0,00	0,79	0,71
W1/3-W1/3'	◁ 1/OKE	0,01	0,47	0,62	0,47
W1/2-W1/2'	◁ 1/OKE	>5	>5	0,27	0,25
Ap-Ap'	◁ AG/OKE	>5	>5	-0,05	-0,08
W1/3-W1/3'	◁ AG/OKE	>5	>5	-0,20	-0,25
W1/2-W1/2'	◁ AG/OKE	3,59	>5	-0,36	-0,28
Ap'-Z1	◁ 1/OKE	0,00	0,03	0,65	0,58
W1/3'-Z2	◁ 1/OKE	3,09	>5	0,37	0,21
W1/2'-Z3	◁ 1/OKE	>5	>5	-0,11	-0,11
Ap'-Z1	◁ AG/OKE	>5	>5	-0,24	-0,23
W1/3'-Z2	◁ AG/OKE	1,34	0,94	-0,41	-0,43
W1/2'-Z3	◁ AG/OKE	0,07	0,85	-0,54	-0,44
Z1-Zhp	◁ 1/OKE	>5	>5	0,08	0,19
Z2-Zhp	◁ 1/OKE	>5	2,15	0,30	0,39
Z3-Zhp	◁ 1/OKE	0,11	0,16	0,53	0,51
Z1-Zhp	◁ AG/OKE	0,00	0,00	0,83	0,75
Z2-Zhp	◁ AG/OKE	0,00	0,00	0,79	0,68
Z3-Zhp	◁ AG/OKE	0,00	0,02	0,69	0,60
◁ AG/OKE	GhA	0,12	0,04	0,53	0,56
◁ AG/OKE	GhB	0,01	0,01	0,62	0,60
◁ 1/OKE	GhA	>5	>5	0,10	0,10
◁ 1/OKE	GhB	>5	>5	0,14	0,05
GhB	GhA	0,00	0,00	0,82	0,80
◁ 1/OKE R	◁ 1/OKE L	0,00		0,88	
◁ AG/OKE R	◁ AG/OKE L	0,00		0,96	

4.2.2. Grafische Darstellungen

Da sich die Korrelationen der Parameterpaare der linken und der rechten Seite nicht signifikant voneinander unterscheiden, werden exemplarisch nur die Korrelationen der linken Seite grafisch dargestellt. Für signifikante Korrelationen wurde ferner der 95% Vorhersagebereich der Einzelwerte eingefügt, für nicht signifikante Korrelationen der 95% Streubereich.

Für die Parameter \sphericalangle 1/OKE und \sphericalangle AG/OKE wurden zusätzlich die Korrelationen zwischen der rechten und linken Seite wiedergegeben.

4.2.2.1 Bestimmung des Platzangebotes hinter der Schneidezahnwurzel

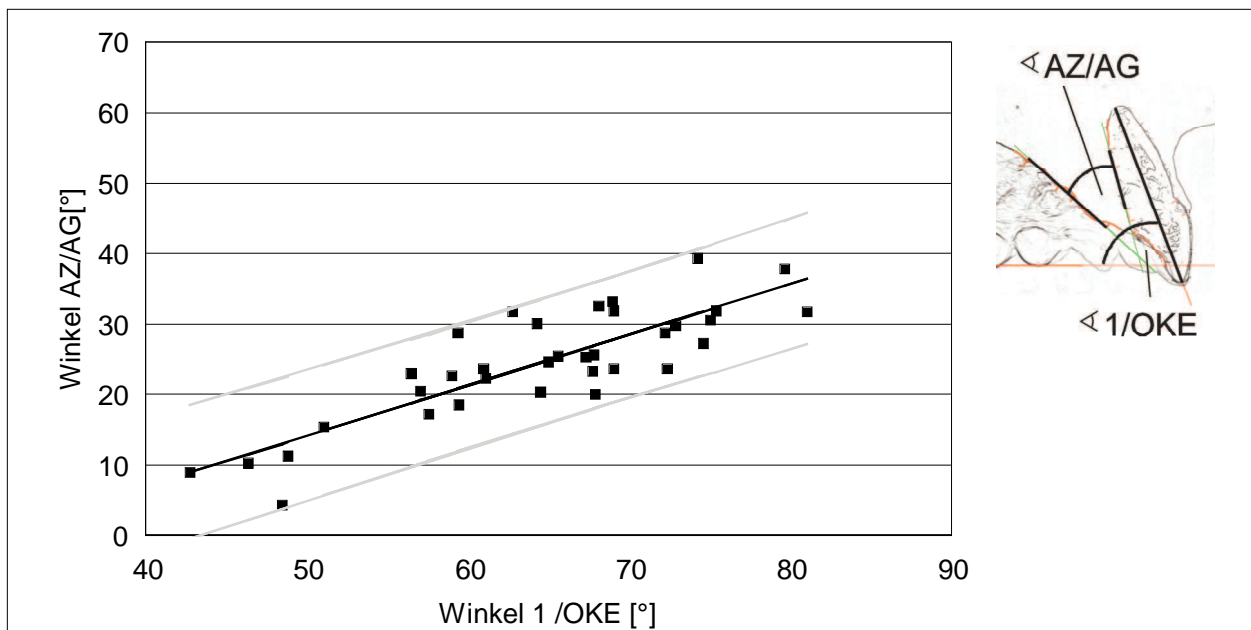


Abb. 16: Die Korrelation zwischen \sphericalangle 1/OKE und \sphericalangle AZ/AG ist höchst signifikant. Mit zunehmendem \sphericalangle 1/OKE nimmt \sphericalangle AZ/AG zu.

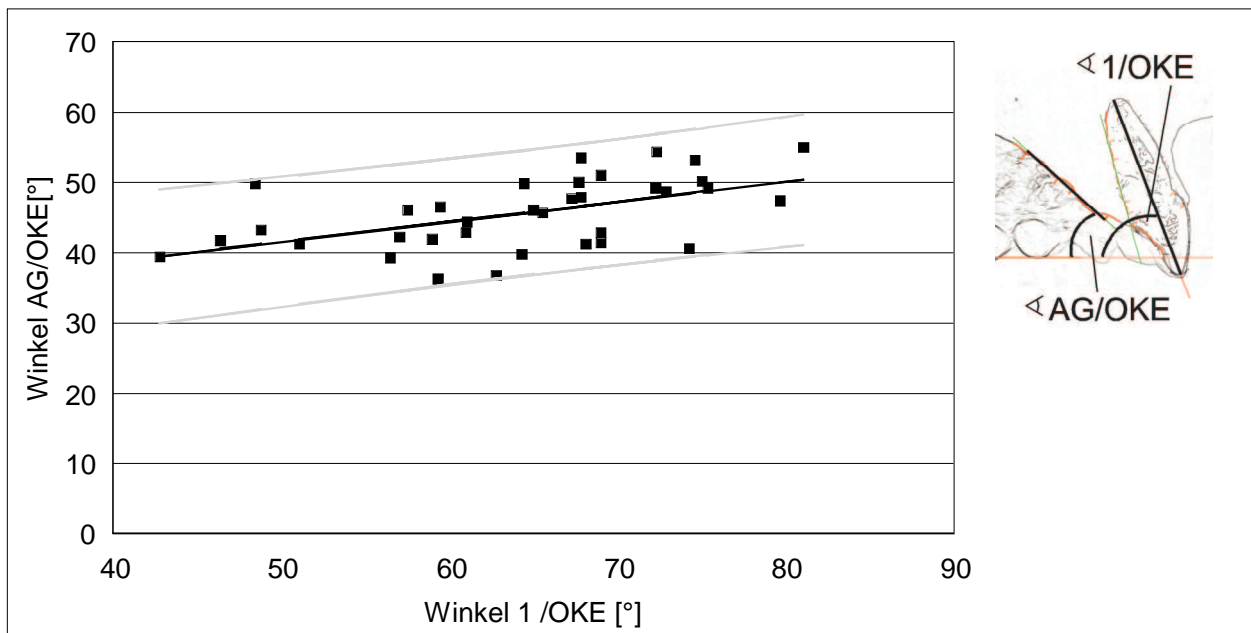


Abb. 17: Die Korrelation zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und $\sphericalangle AG/OKE$ ist deutlich signifikant. Mit zunehmendem $\sphericalangle 1/OKE$ nimmt $\sphericalangle AG/OKE$ zu.

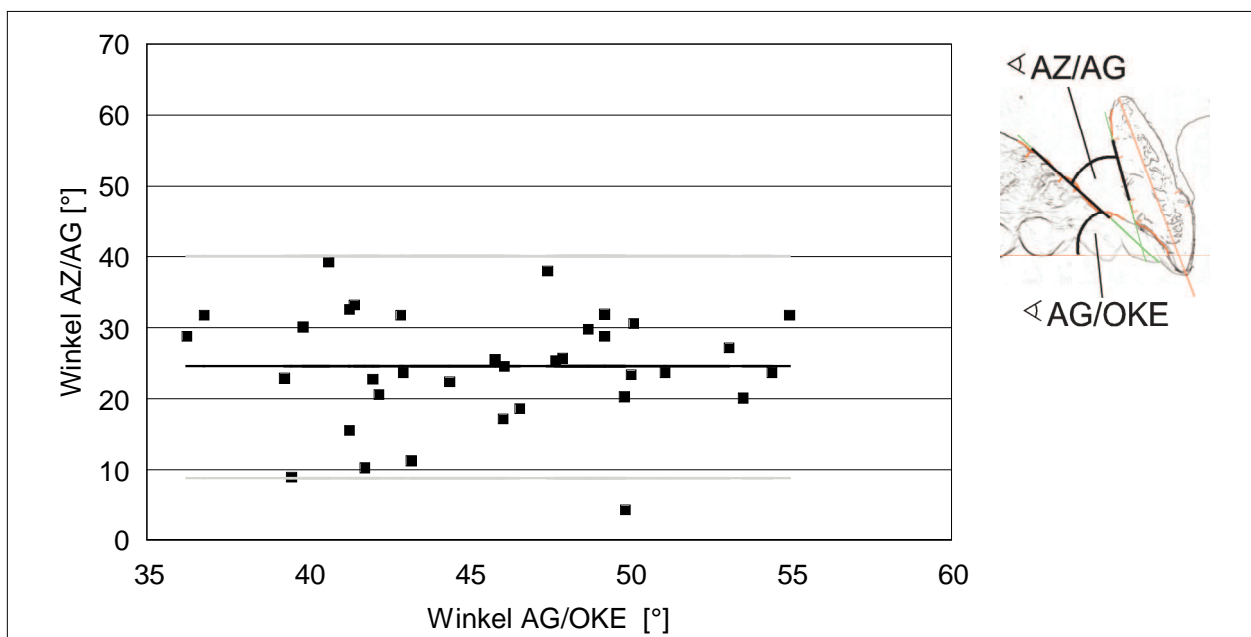


Abb. 18: Zwischen $\sphericalangle AG/OKE$ und $\sphericalangle AZ/AG$ konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

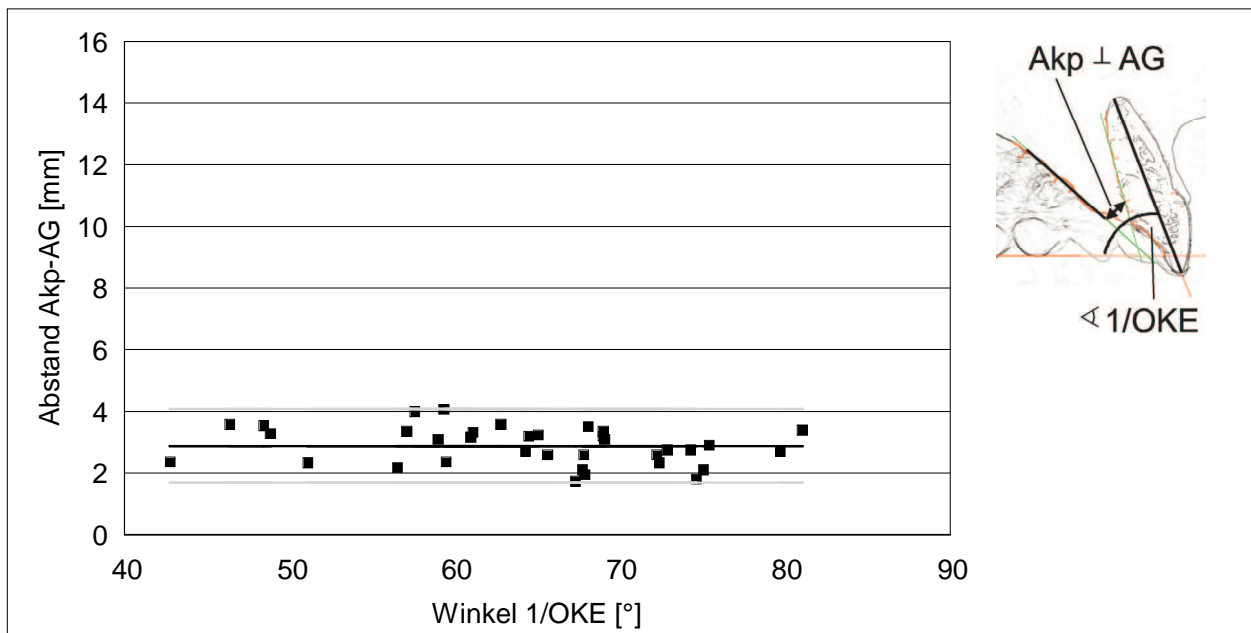


Abb. 19: Zwischen $\angle 1/OKE$ und dem Abstand Akp \perp AG konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

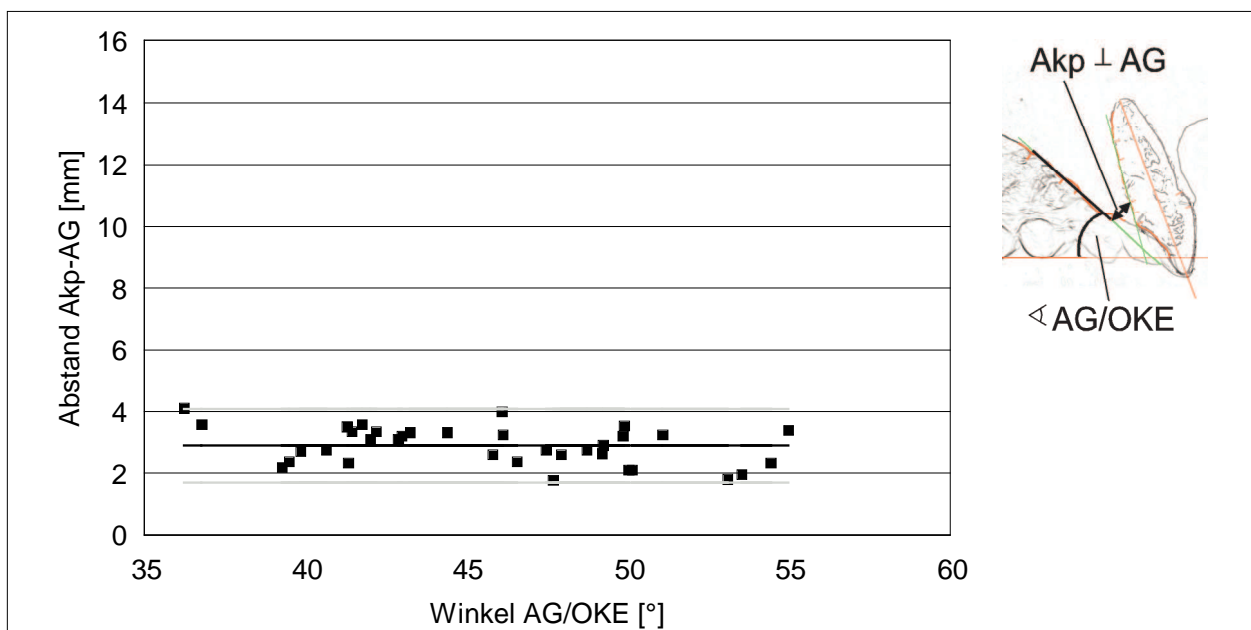


Abb. 20: Zwischen $\angle AG/OKE$ und dem Abstand Akp \perp AG konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

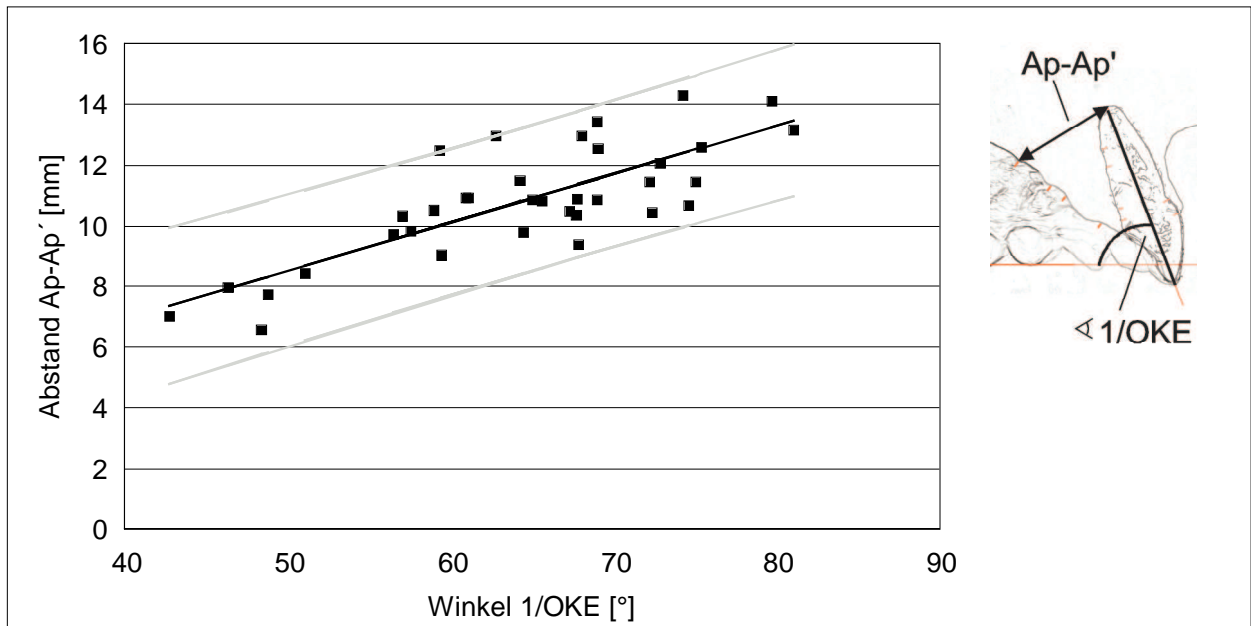


Abb. 21: Die Korrelation zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und dem Abstand Ap-Ap' ist höchst signifikant. Mit zunehmendem $\sphericalangle 1/OKE$ nimmt der Abstand Ap-Ap' zu.

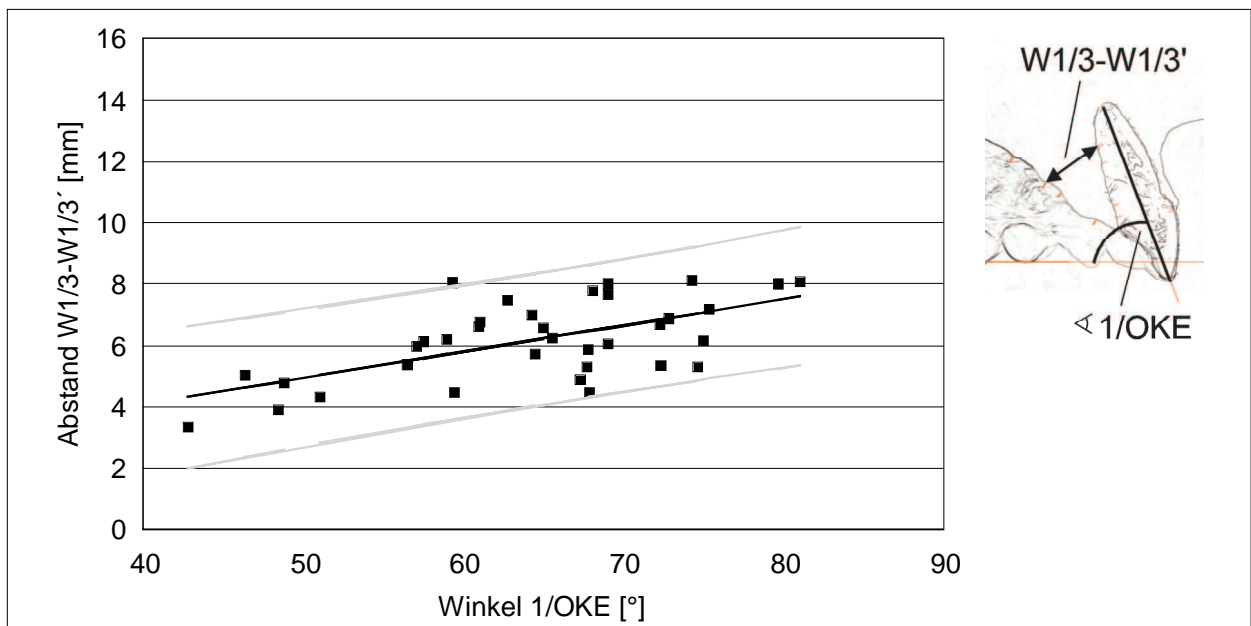


Abb. 22: Die Korrelation zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und dem Abstand W1/3-W1/3' ist deutlich signifikant. Mit zunehmendem $\sphericalangle 1/OKE$ nimmt der Abstand W1/3-W1/3' zu.

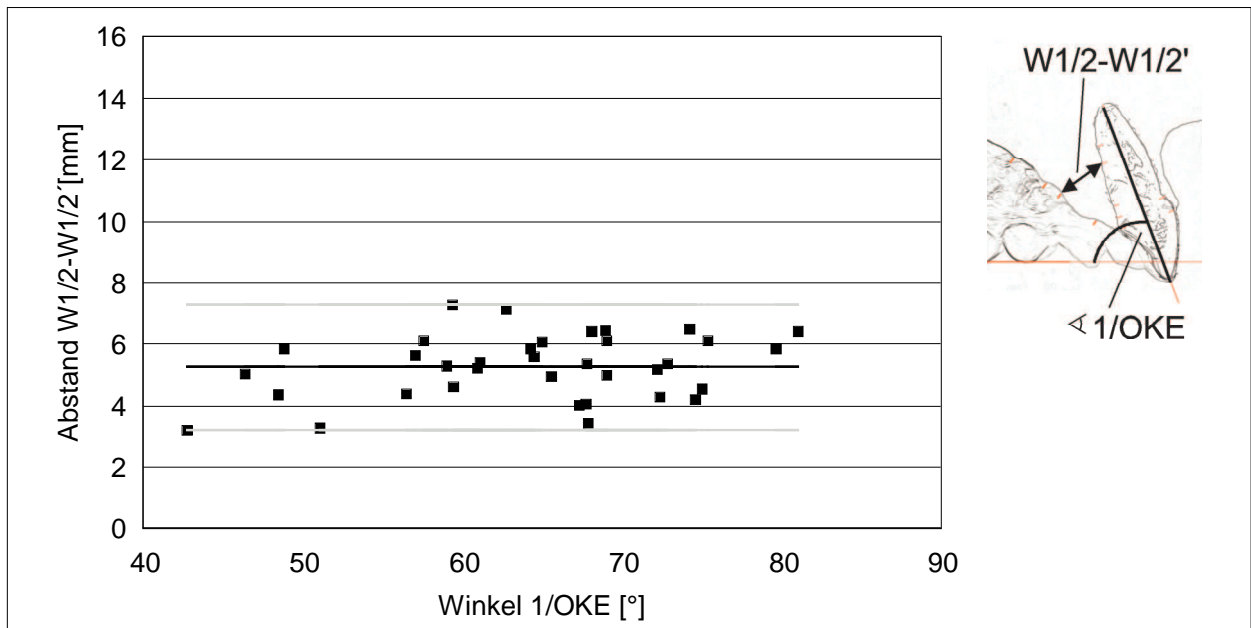


Abb. 23: Zwischen $\angle 1/OKE$ und dem Abstand W1/2-W1/2' konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

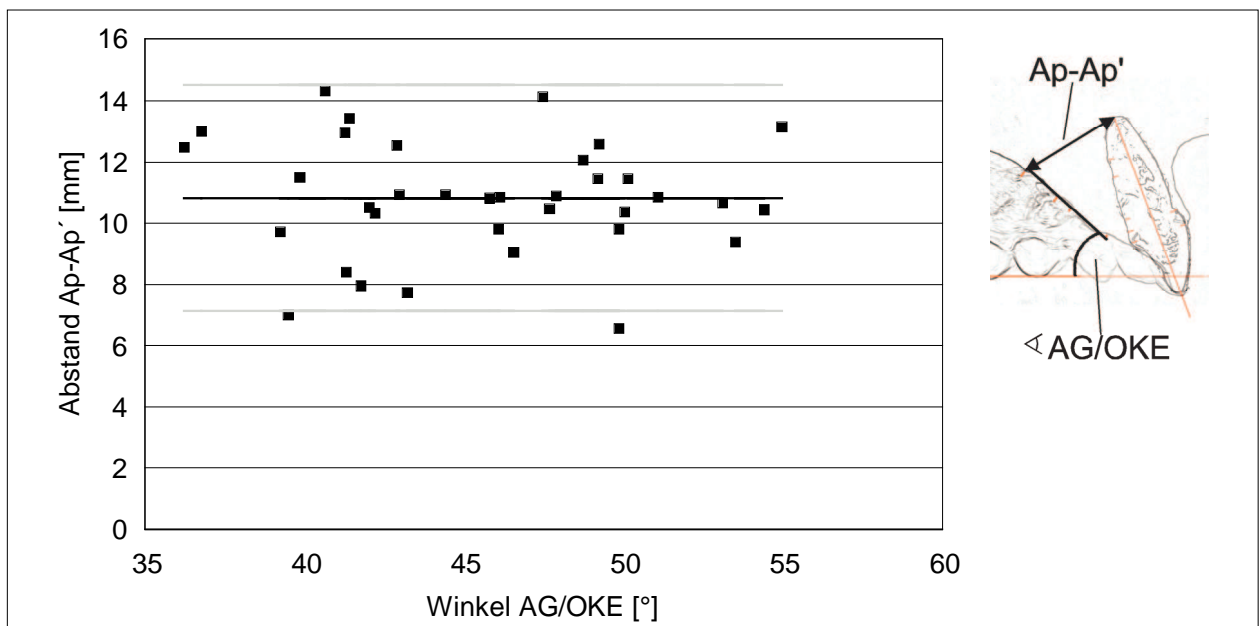


Abb. 24: Zwischen $\angle AG/OKE$ und dem Abstand Ap-Ap' konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

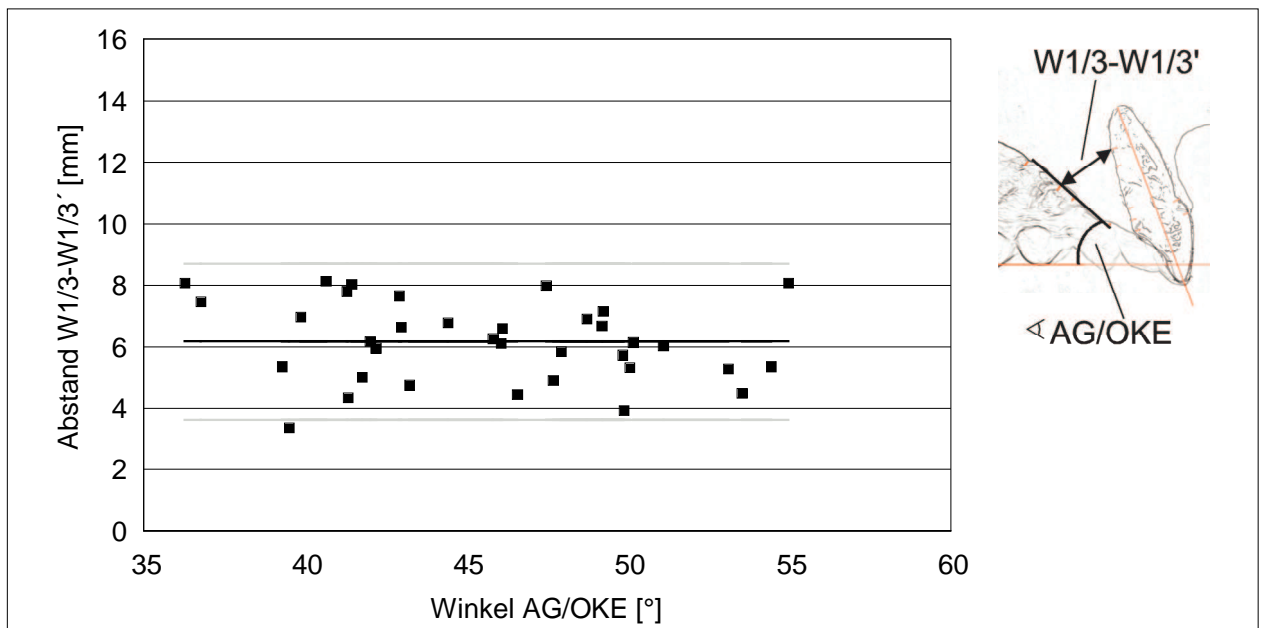


Abb. 25: Zwischen $\sphericalangle AG/OKE$ und dem Abstand W1/3-W1/3' konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

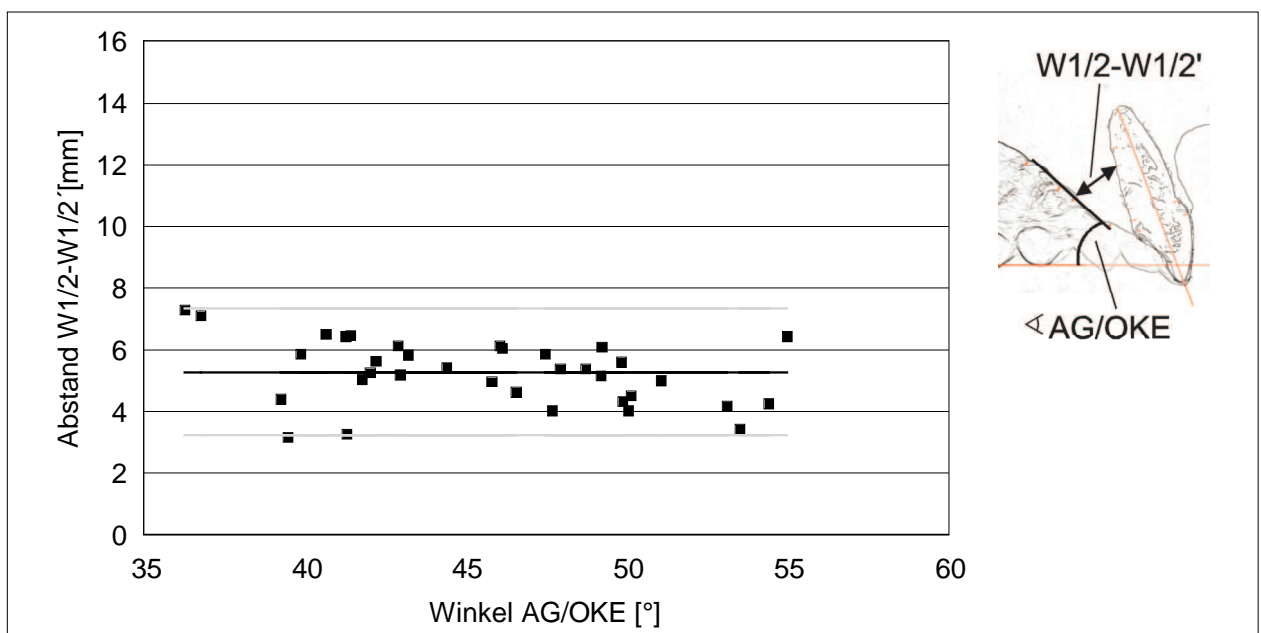


Abb. 26: Zwischen $\sphericalangle AG/OKE$ und dem Abstand W1/2-W1/2' konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

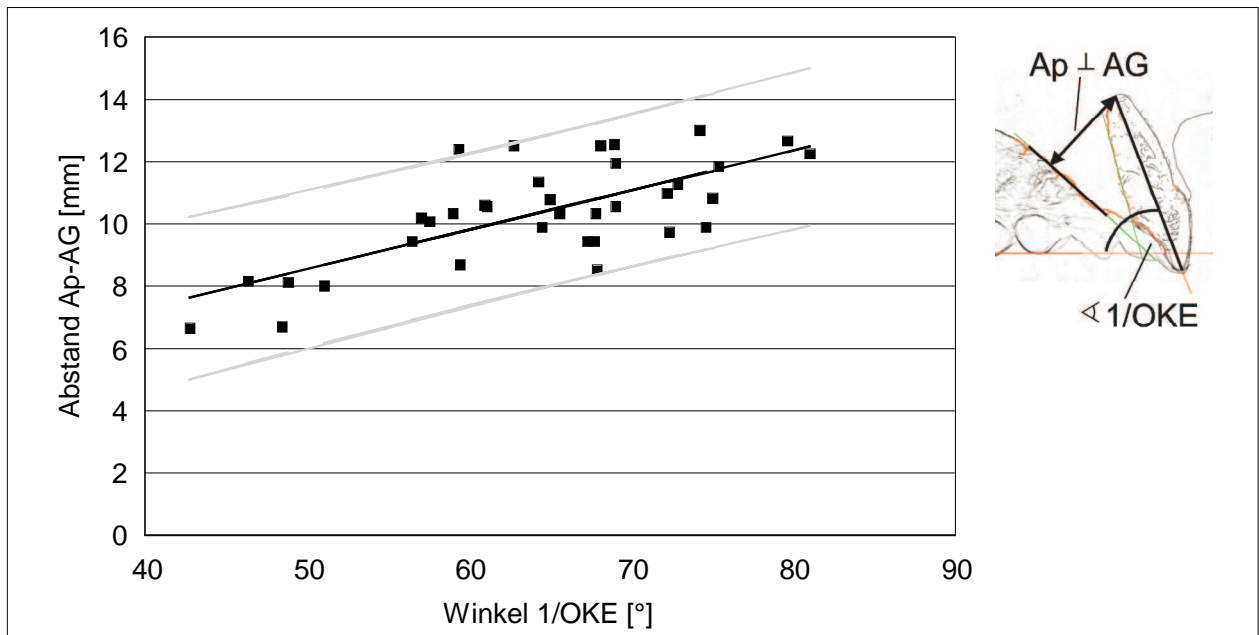


Abb. 27: Die Korrelation zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und dem Abstand $Ap \perp AG$ ist höchst signifikant. Mit zunehmendem $\sphericalangle 1/OKE$ nimmt der Abstand $Ap \perp AG$ zu.

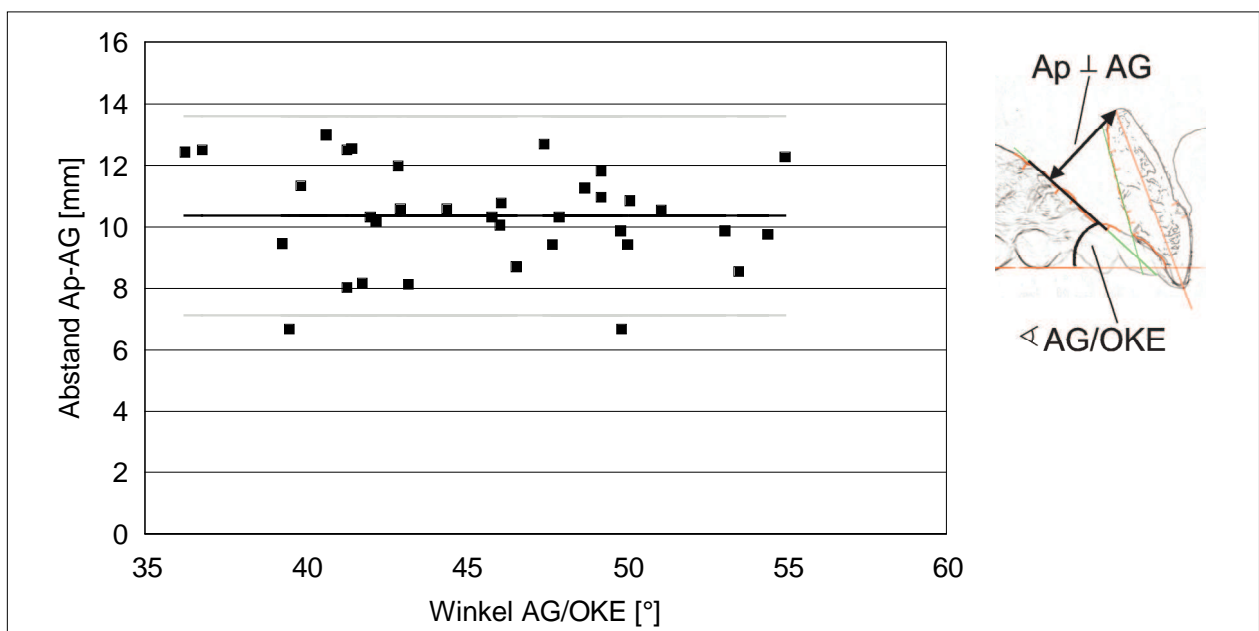


Abb. 28: Zwischen $\sphericalangle AG/OKE$ und dem Abstand $Ap \perp AG$ konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

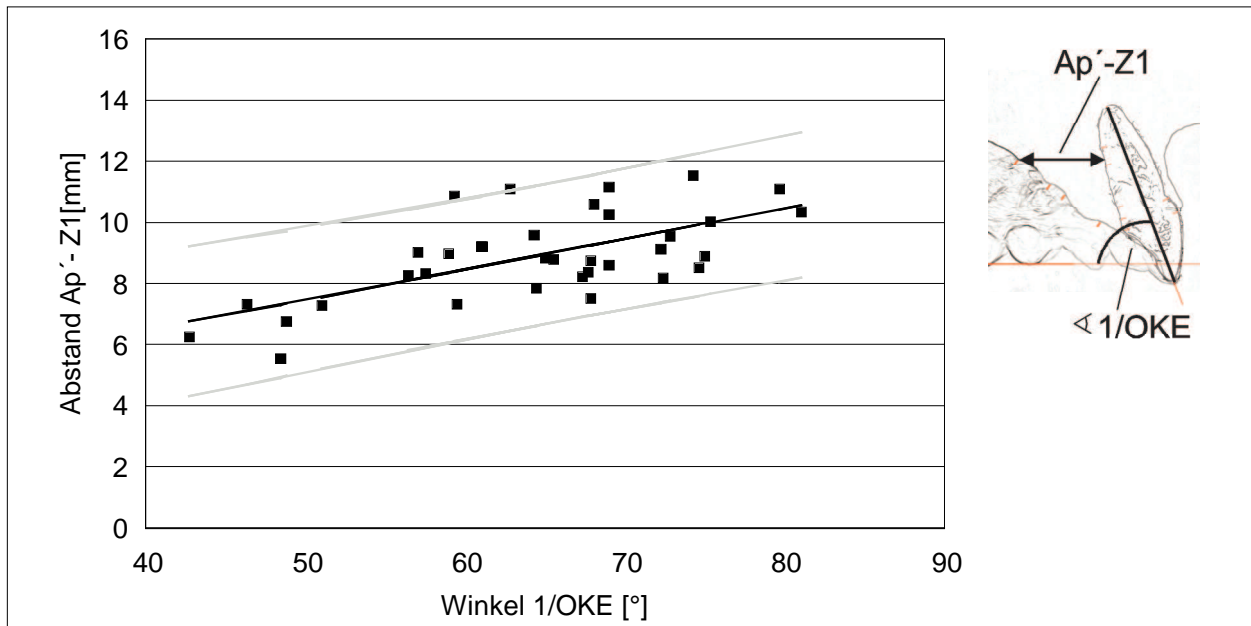


Abb. 29: Die Korrelation zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und dem Abstand Ap'-Z1 ist höchst signifikant. Mit zunehmendem $\sphericalangle 1/OKE$ nimmt der Abstand Ap'-Z1 zu.

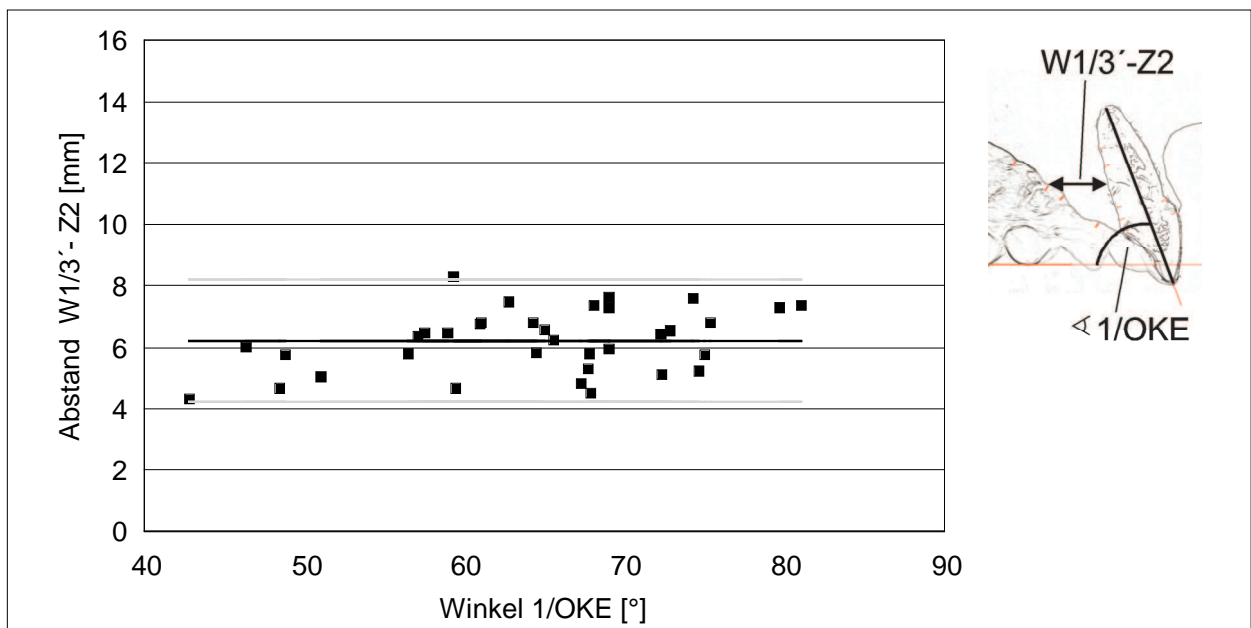


Abb. 30: Zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und dem Abstand W1/3'-Z2 konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

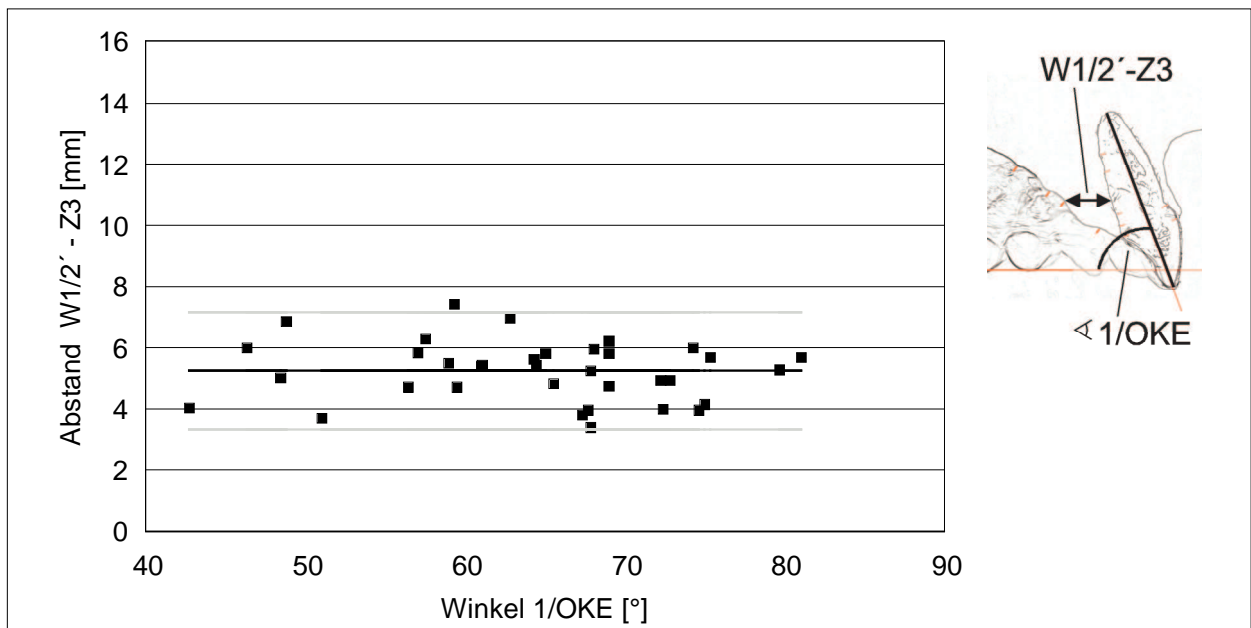


Abb. 31: Zwischen \sphericalangle 1/OKE und dem Abstand W1/2'-Z3 konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

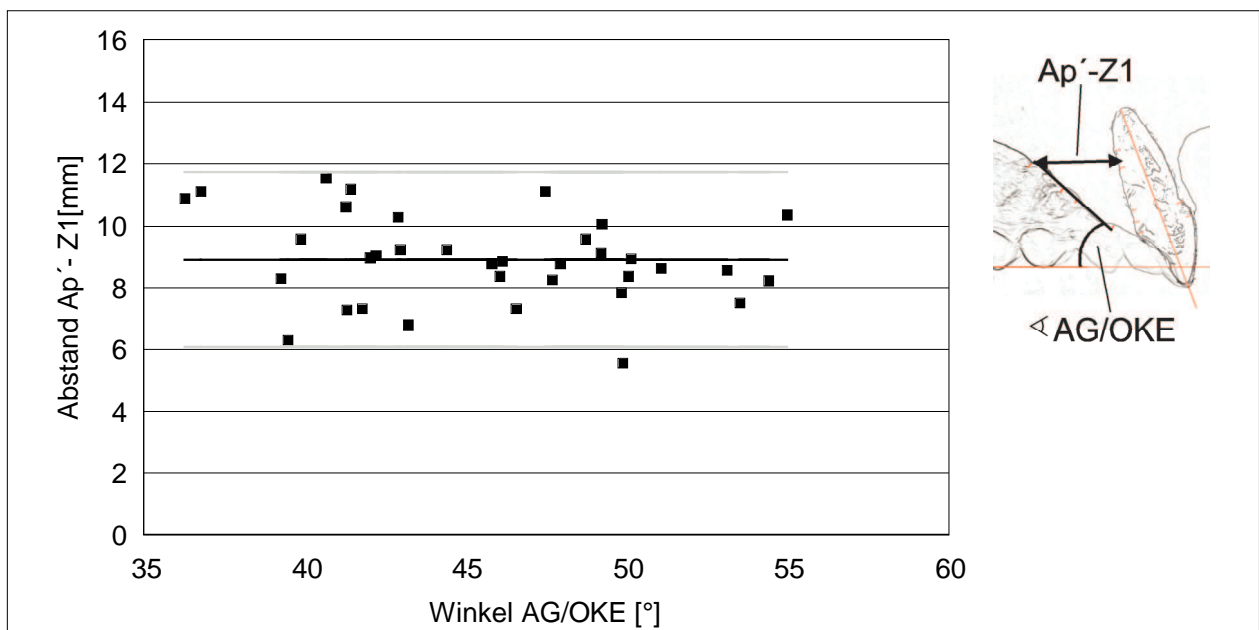


Abb. 32: Zwischen \sphericalangle AG/OKE und dem Abstand Ap'-Z1 konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

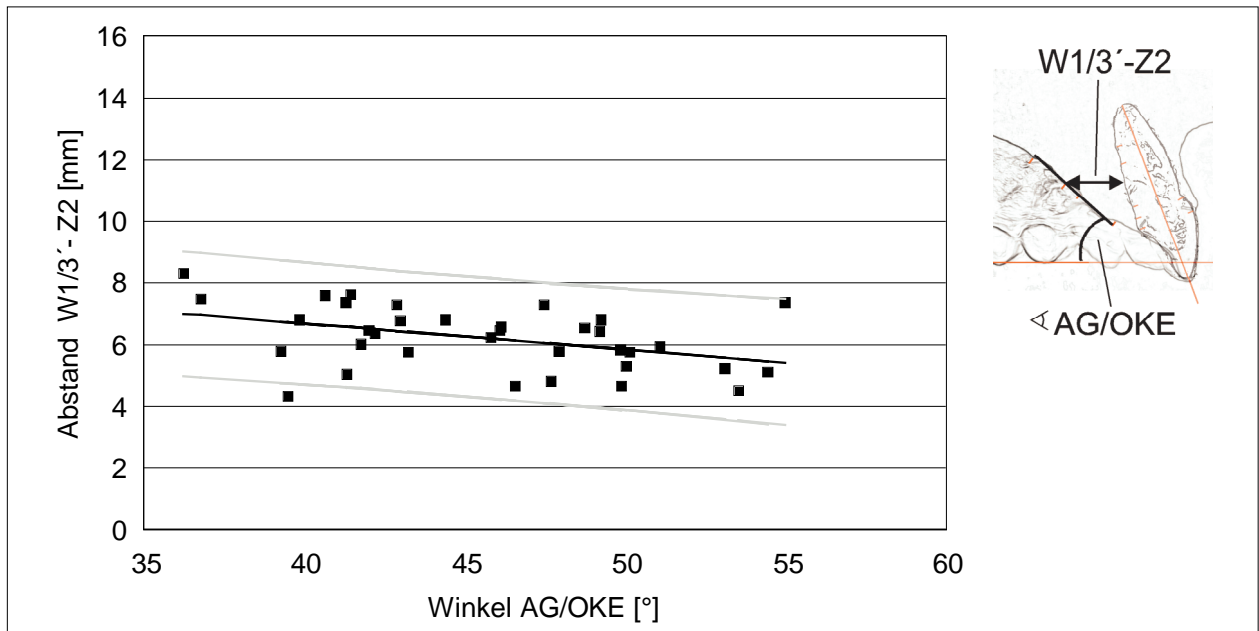


Abb. 33: Die Korrelation zwischen \sphericalangle AG/OKE und dem Abstand W1/3'-Z2 ist signifikant. Mit zunehmendem \sphericalangle AG/OKE nimmt der Abstand W1/3'-Z2 ab.

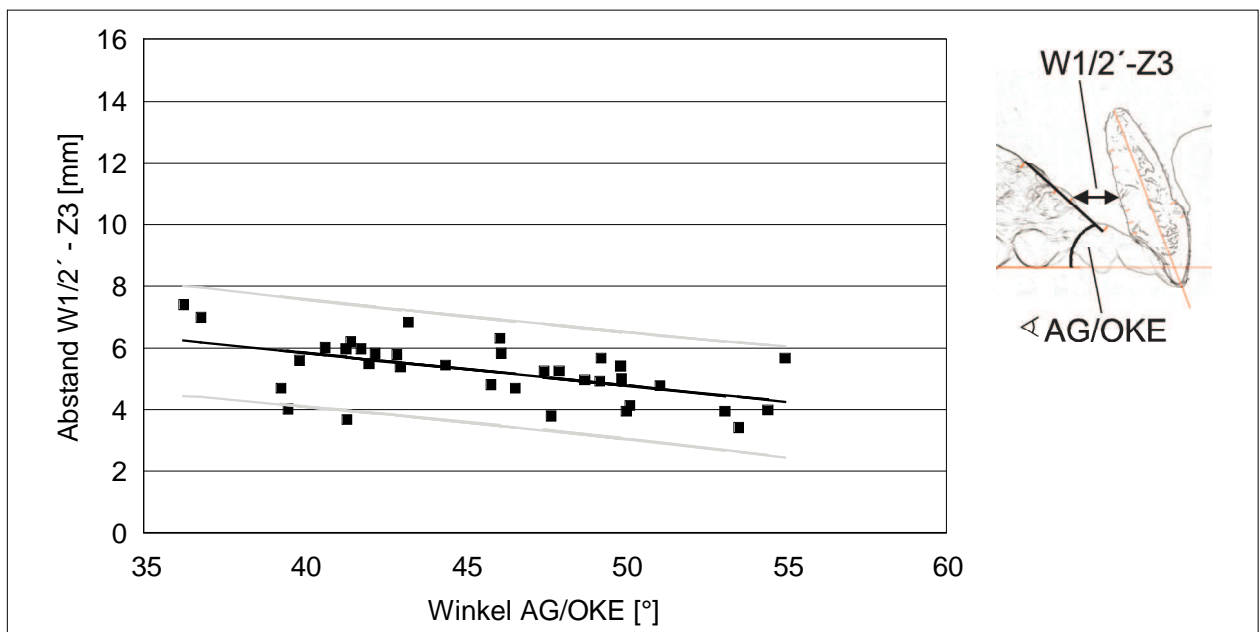


Abb. 34: Die Korrelation zwischen \sphericalangle AG/OKE und dem Abstand W1/2'-Z3 ist deutlich signifikant. Mit zunehmendem \sphericalangle AG/OKE nimmt der Abstand W1/2'-Z3 ab.

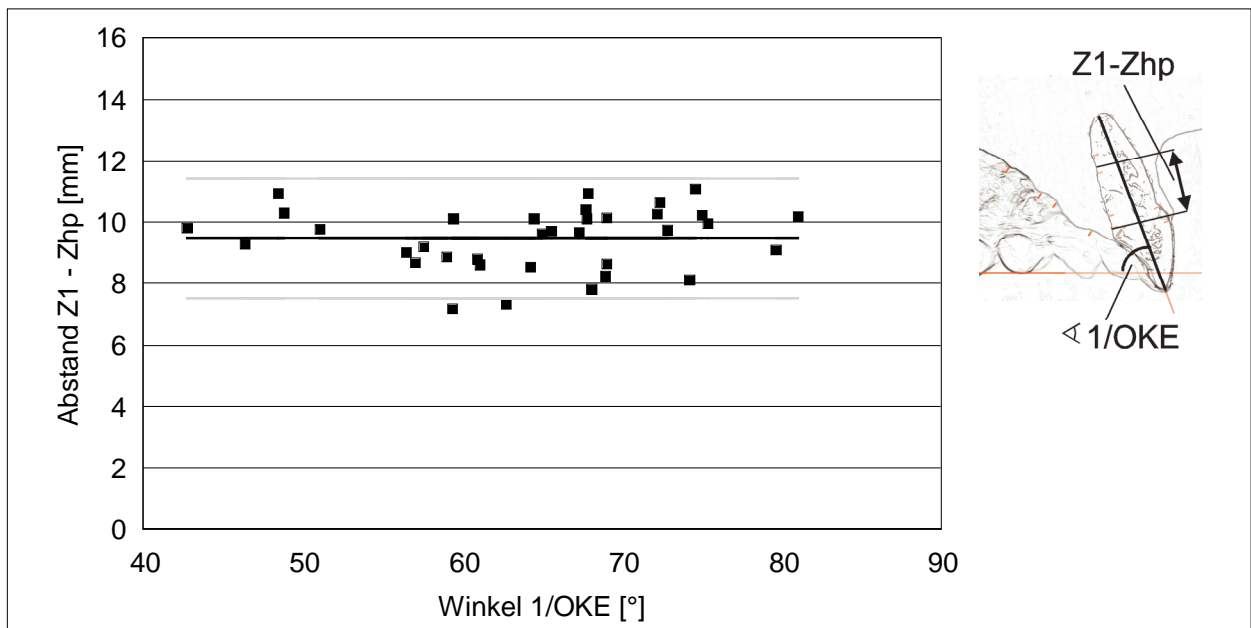


Abb. 35: Zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und dem Abstand Z1-Zhp konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

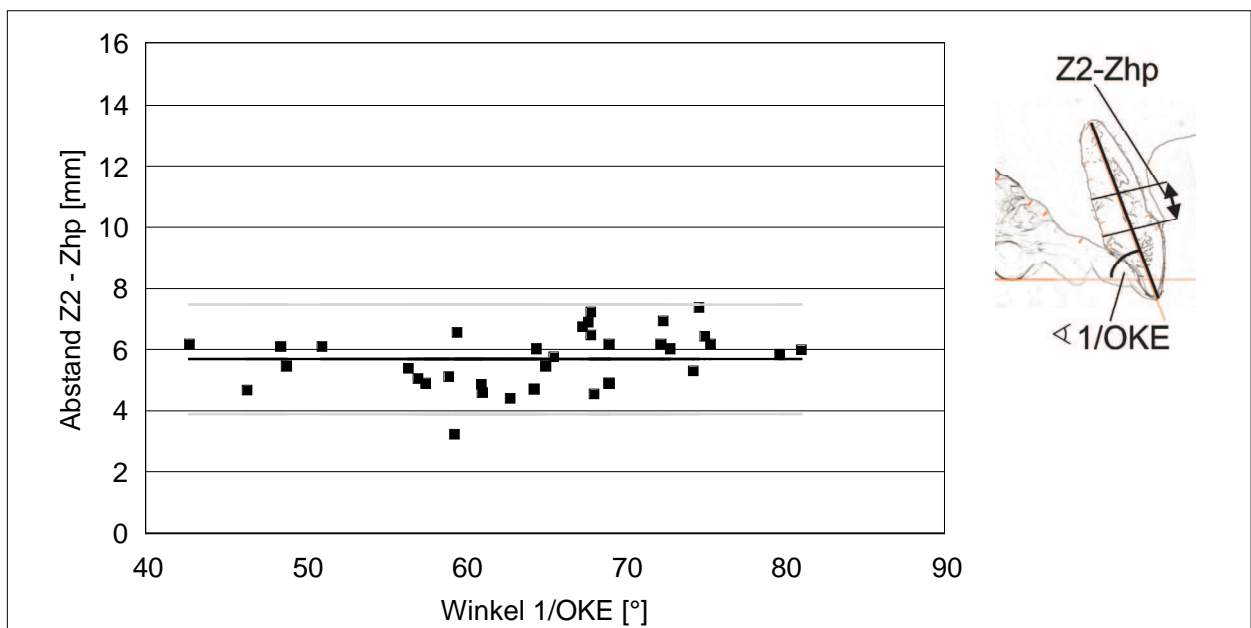


Abb. 36: Zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und dem Abstand Z2-Zhp konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

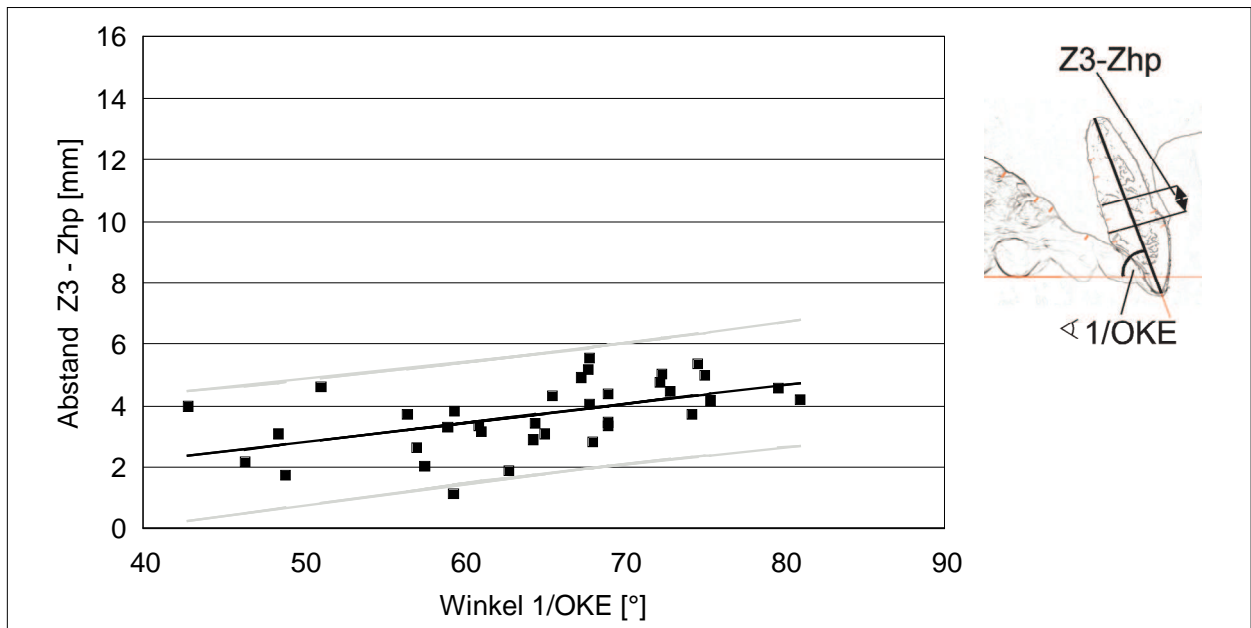


Abb. 37: Die Korrelation zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und dem Abstand Z3-Zhp ist deutlich signifikant. Mit zunehmendem $\sphericalangle 1/OKE$ nimmt der Abstand Z3-Zhp zu.

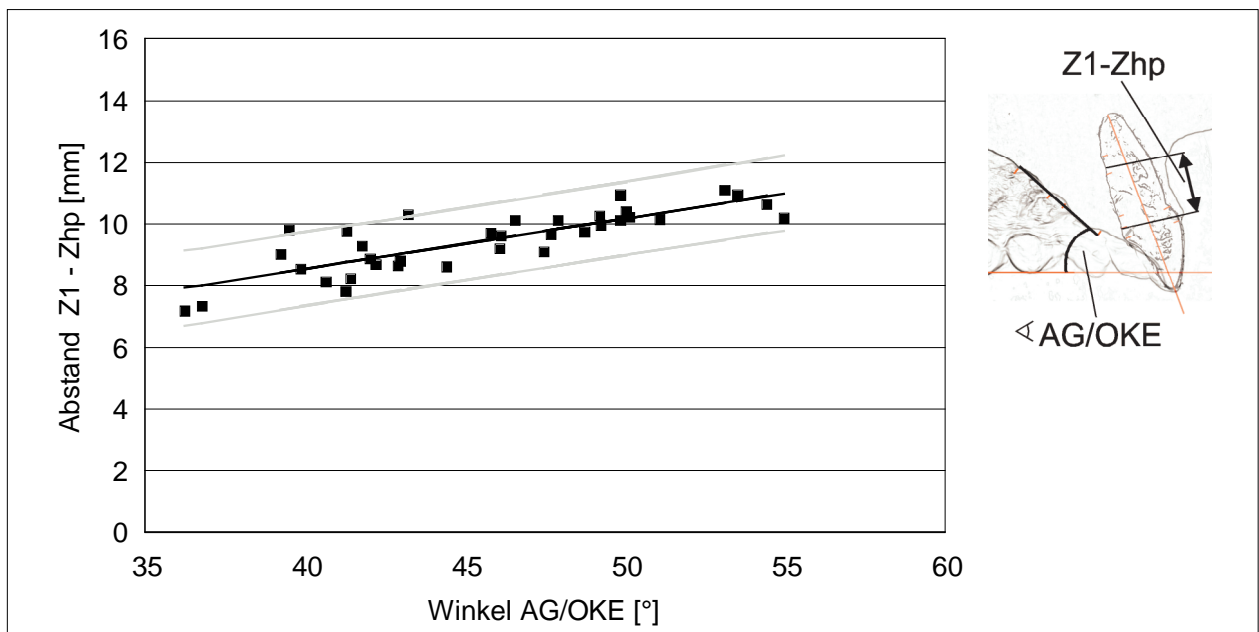


Abb. 38: Die Korrelation zwischen $\sphericalangle AG/OKE$ und dem Abstand Z1-Zhp ist höchst signifikant. Mit zunehmendem $\sphericalangle AG/OKE$ nimmt der Abstand Z1-Zhp zu.

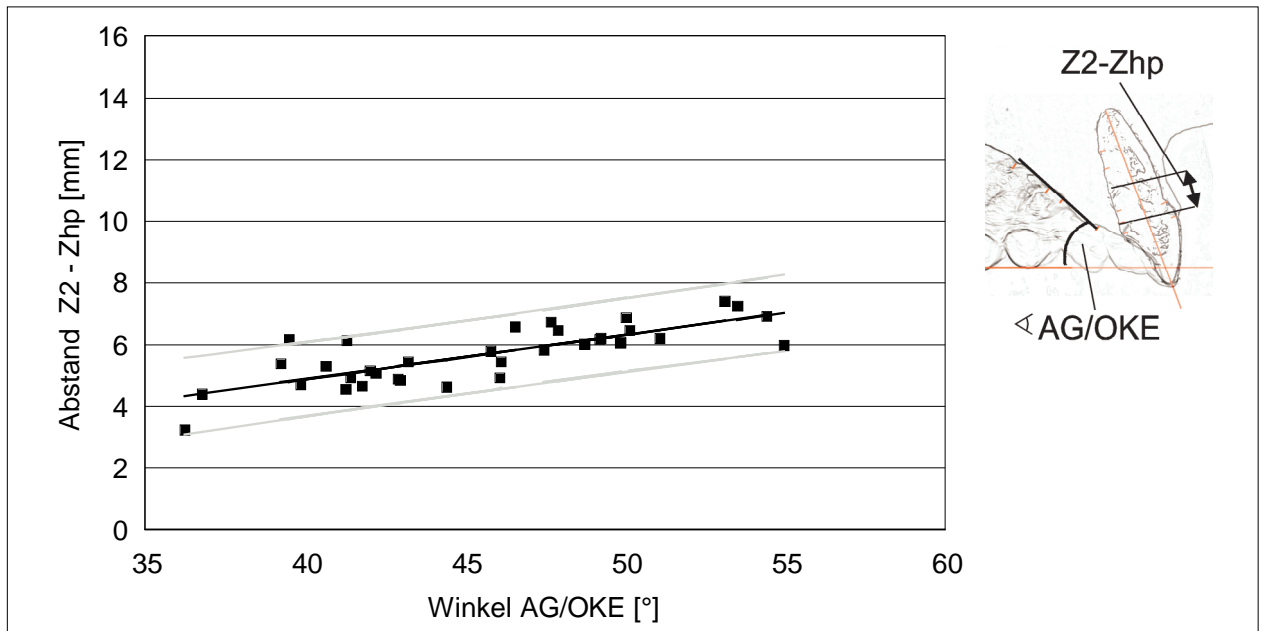


Abb. 39: Die Korrelation zwischen \sphericalangle AG/OKE und dem Abstand Z2-Zhp ist höchst signifikant. Mit zunehmendem \sphericalangle AG/OKE nimmt der Abstand Z2-Zhp zu.

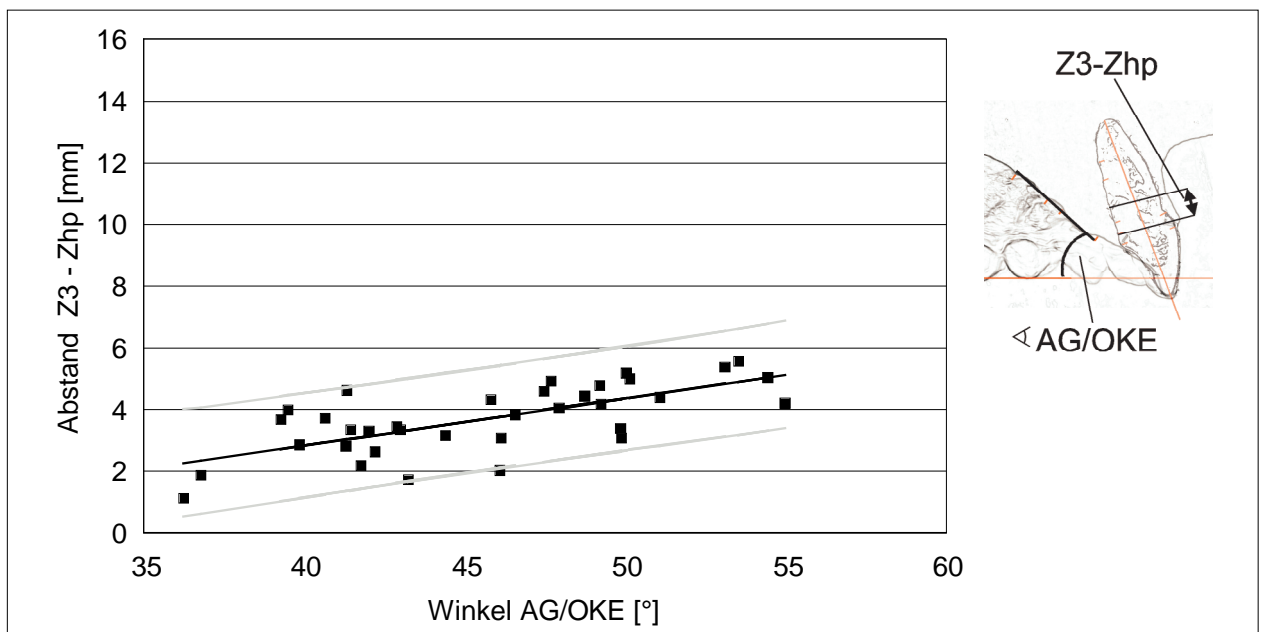


Abb. 40: Die Korrelation zwischen \sphericalangle AG/OKE und dem Abstand Z3-Zhp ist höchst signifikant. Mit zunehmendem \sphericalangle AG/OKE nimmt der Abstand Z3-Zhp zu.

4.2.2.2 Gaumenhöhe

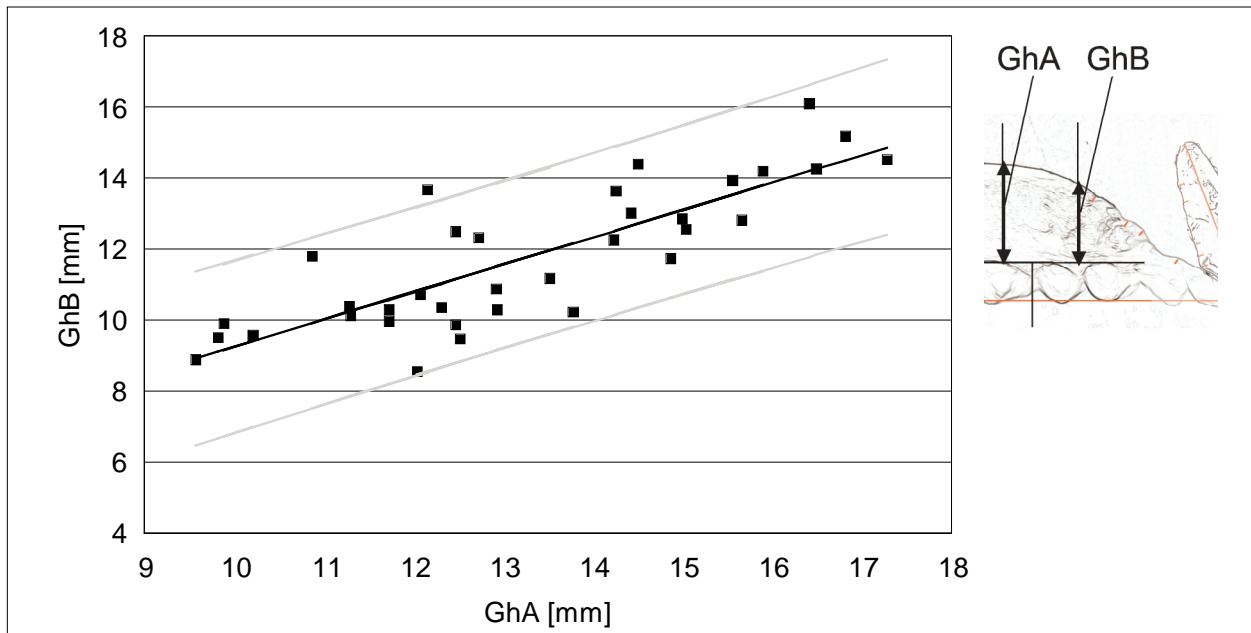


Abb. 41: Die Korrelation zwischen GhA und GhB ist höchst signifikant. Mit zunehmender GhA nimmt GhB zu.

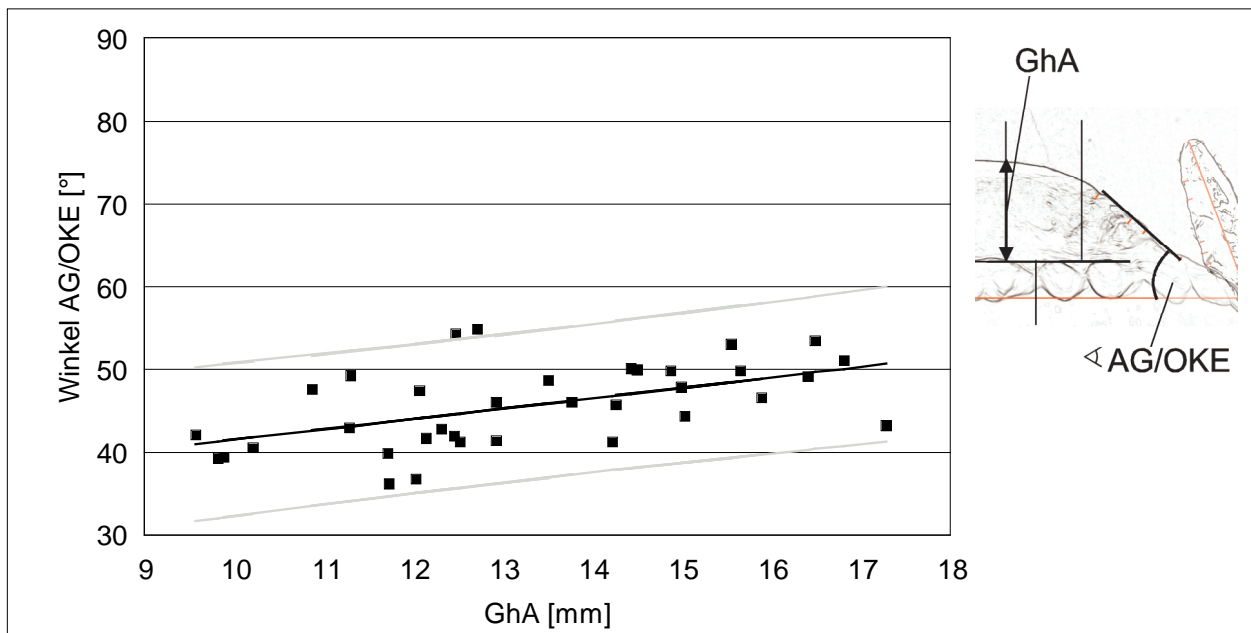


Abb. 42: Die Korrelation zwischen GhA und \sphericalangle AG/OKE ist deutlich signifikant. Mit zunehmender GhA nimmt \sphericalangle AG/OKE zu.

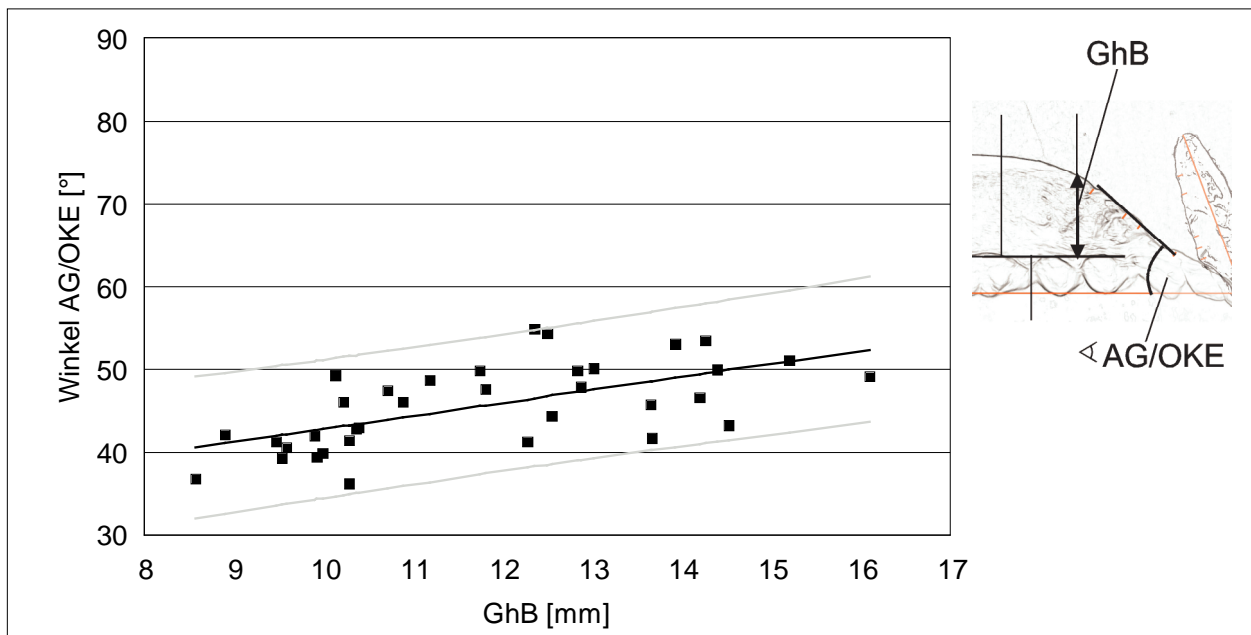


Abb. 43: Die Korrelation zwischen GhB und \sphericalangle AG/OKE ist höchst signifikant. Mit zunehmender GhB nimmt \sphericalangle AG/OKE zu.

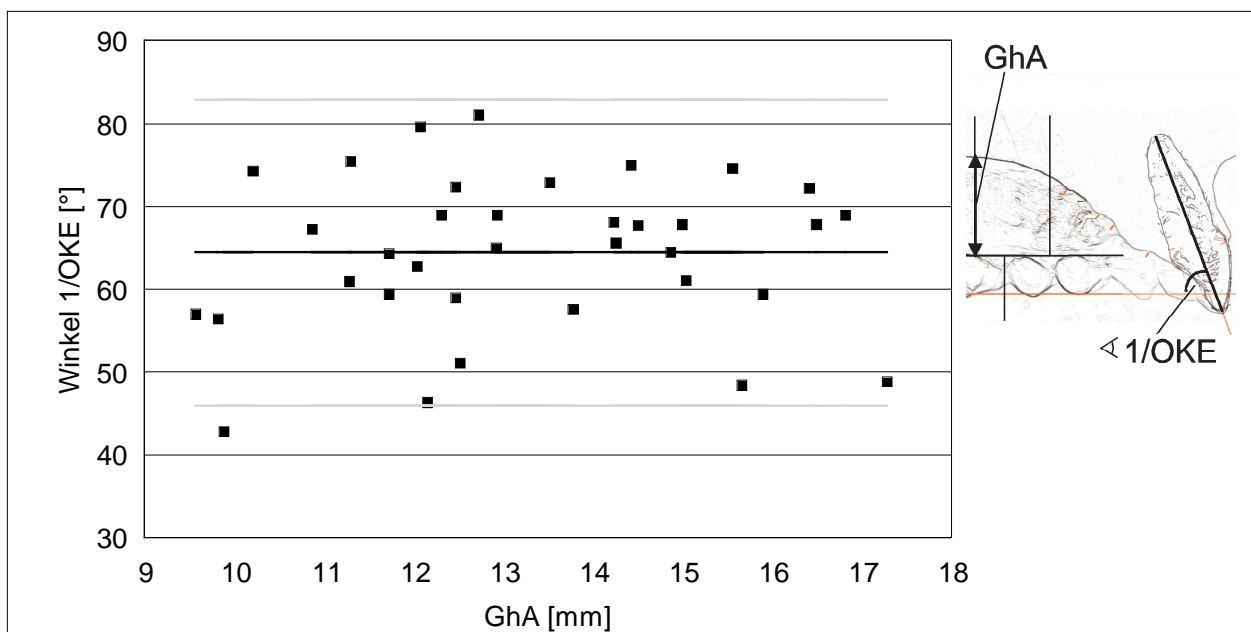


Abb. 44: Zwischen GhA und \sphericalangle 1/OKE konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

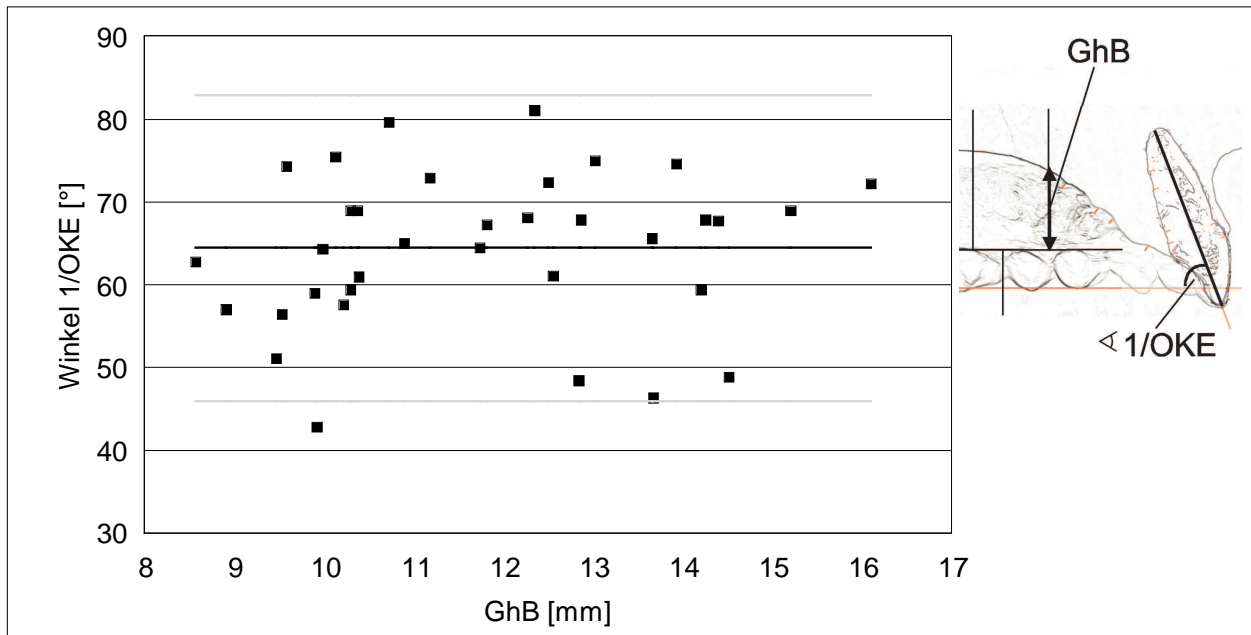


Abb. 45: Zwischen GhB und \sphericalangle 1/OKE konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

4.2.2.3 Ausgewählte Korrelationen zwischen der rechten und linken Seite

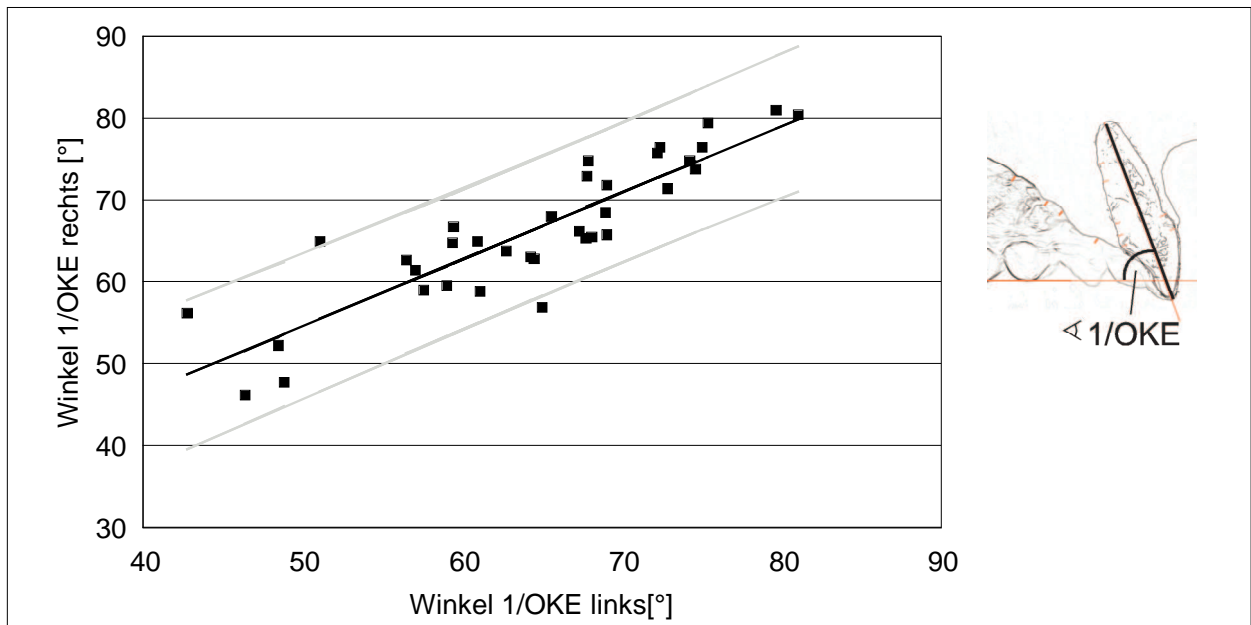


Abb. 46: Die Korrelation zwischen \sphericalangle 1/OKE links und \sphericalangle 1/OKE rechts ist höchst signifikant. Mit zunehmendem \sphericalangle 1/OKE links nimmt \sphericalangle 1/OKE rechts zu.

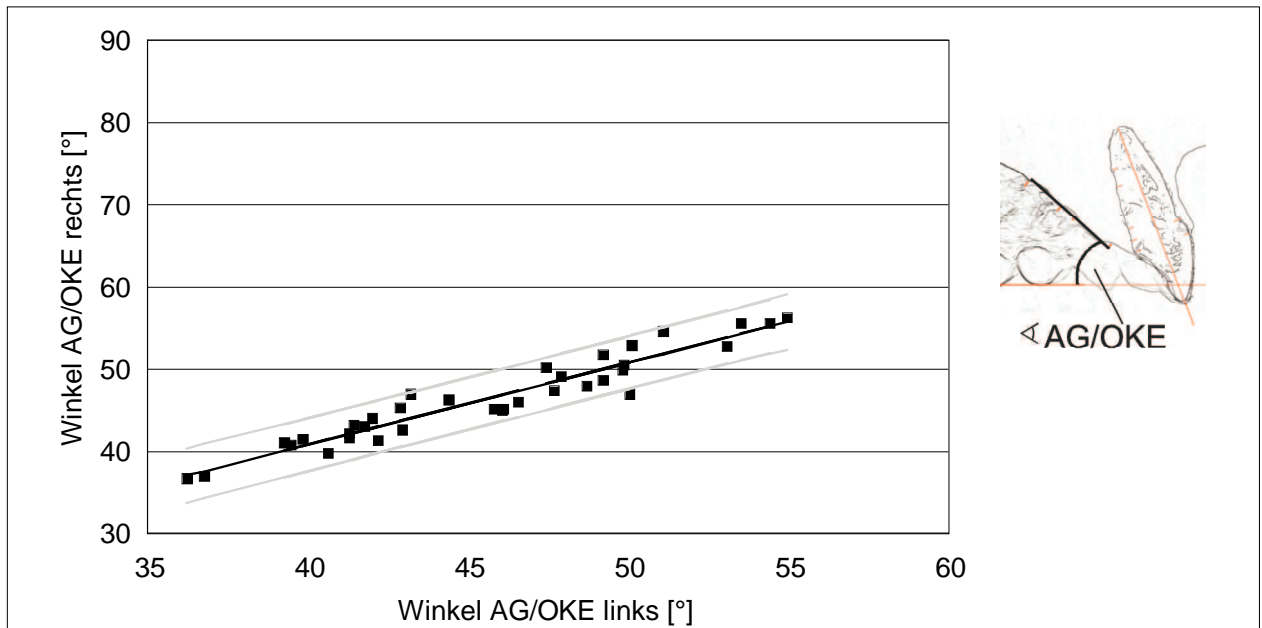


Abb. 47: Die Korrelation zwischen \sphericalangle AG/OKE links und \sphericalangle AG/OKE rechts ist höchst signifikant. Mit zunehmendem \sphericalangle AG/OKE links nimmt \sphericalangle AG/OKE rechts zu.

5 DISKUSSION

5.1 Diskussion der Methode

5.1.1. Materialauswahl

Die Größe des palatinalen Knochenangebotes im vorderen Teil des Gaumens ist bei Jugendlichen mit einem Distalbiss von großer Bedeutung, weil hier die oberen Schneidezähne oft retrudiert werden, besonders nach Extraktionen. Anhand einer Fernröntgenseitenaufnahme ist dann zu überlegen, ob eine vorliegende Frontzahnstufe allein durch Zahnbewegungen beseitigt werden kann oder ob ein operativer Ausgleich erforderlich ist (79).

Es ist zu vermerken, dass sich alle hier untersuchten Probanden in einem für kieferorthopädische Behandlungen typischen Alter befanden. Andere Autoren (27, 39) basierten ihre Arbeiten auf Patientengruppen, die sowohl Heranwachsende wie auch Erwachsene umfassten. Die Größe dieser Gruppen war ähnlich zu der hier dargestellten.

Angesichts der in der Literatur beschriebenen Zunahme der Gaumenhöhe von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter (7, 32, 33, 42, 58, 77) und deren nachfolgende Abnahme (10) wurde bei der hier untersuchten Probandengruppe der Einfluss des Alters auf die Gaumenhöhe weitgehend minimiert.

5.1.2. Einscannen der Modelle

Der spongiöse Knochen palatinal der oberen Schneidezähne kann auf Fernröntgenseitenaufnahmen (27, 28, 29, 39, 50, 79, 80) und auf Computertomographien (19, 20) beurteilt werden. Bei Fernröntgenseitenaufnahmen erschweren projektorisch bedingte Fehler die Auswertung. Die Vergrößerung einzelner Strukturen beträgt zwischen 3% bis 7% (13). Die Computertomographie ist dagegen mit einer relativ hohen Strahlenbelastung und einem großen technischen Aufwand verbunden (20).

Auch sagittale Schnitte von Kiefermodellen ermöglichen Aussagen über die Ausdehnung des palatinalen Spongiosaknochens (50). Die Herstellung von kieferorthopädischen Modellen ist nicht invasiv und preiswert. Schnitte durch die Mitte eines mittleren Schneidezahnes lassen die

Kontur der klinischen Krone des Zahnes ebenso gut erkennen, wie den Verlauf der sagittalen Gaumenkurve. Das Einscannen von sagittalen Schnitten ist vergleichsweise preiswert, einfach und präzise. Die hier gemessene Vergrößerung des Objektes ist vernachlässigbar (Kapitel 3.2.6.1).

Das Übertragen der Form der sagittalen Gaumenkurve vom Modell mittels mechanischer Instrumente (35, 36, 69, 70, 75) stellt die herkömmliche Methode zu deren Abbildung dar. Auch die Fernröntgenseitenbildaufnahmetechnik (9, 14, 37, 73) und das Betrachten von sagittalen Schnitten kieferorthopädischer Modelle (50, 65) geben Auskunft über ihren Verlauf. Das Einscannen der sagittalen Gaumenkurve stellt eine zeitgemäße (17, 18) Alternative gegenüber den anderen Methoden dar. Während *Ferrario et al.* (1998, 2000) die gesamte Krümmung als Polynom 4. Grades berechneten, wurde hier die Strecke zwischen den Punkten Akp' bis Ap' gewählt, weil sich dieser Teil der sagittalen Gaumenkurve im „Schatten“ der Schneidezahnwurzel befindet und somit einen Einfluß auf den Platz hinter dieser hat. Weil sich die Strecke einer geraden Linie annähert, wurde sie als Polynom 1. Grades (Ausgleichsgerade) abgebildet und ausgewertet.

Die Gaumenhöhe wurde früher direkt am Patienten (7, 26, 58), an Fernröntgenseitenaufnahmen (8, 59), an Abformungen des Gaumens (33), an Kiefermodellen (10, 15, 26, 40, 43, 60, 71, 74, 77, 78) beziehungsweise aufgezeichneten Gaumenkurven (17, 18, 26, 32, 42) gemessen.

Ein Vorteil der hier vorgestellten Methode ist, dass sich alle wichtigen Strukturen gut auf einem zweidimensionalen Bild darstellen lassen, was das Messen erleichtert.

5.1.3. Auswahl des oberen mittleren Schneidezahnmodells

Eine statistische Auswertung der Abmessungen der Zähne 1 bis 10 ergab, dass der Zahn Nr. 5 bezüglich aller seiner Dimensionen innerhalb der 95% Konfidenzintervalle der Mittelwerte lag (Tab. 3). Es wurde ferner beobachtet, dass die von *Ash* (1984) gemessene Gesamtlänge und die Länge der Krone innerhalb der hier ermittelten 95% Konfidenzintervalle der Mittelwerte lagen. Die anderen gemessenen Mittelwerte fielen im Vergleich mit den Werten aus der Literatur tendenziell etwas größer aus. Bemerkenswert ist, dass alle Angaben von *Schumacher & Gente* (1995) über Zahnmaße einer Untersuchung aus dem Jahre 1969 entstammen, die an Zähnen aus

dem mitteldeutschen Raum durchgeführt wurde. Da auch die Daten von *Ash* (1984) einige Jahre zurück liegen, wäre es möglich, dass dies die relativ geringen Unterschiede erklärt. Bei *Schumacher & Gente* (1995) wurde im übrigen die Bezugsfläche nicht spezifiziert.

Tabelle 3: Maße der untersuchten Schneidezähne im Vergleich zu Literaturwerten

Mittlerer oberer Schneidezahn	Gesamte Länge [mm]	Länge der Krone auf labialer Fläche [mm]	Länge der Wurzel auf labialer Fläche [mm]	Labiolinguale Breite am Zahnhals [mm]
Ash (1984)	23,5	10,5	13,0	6,0
Schumacher & Gente (1995)	22,2	9,2	13,0	
Nr 1	24,10	9,47	14,63	6,52
Nr 2	23,58	9,66	13,92	7,28
Nr 3	24,71	11,09	13,62	6,54
Nr 4	23,63	10,47	13,16	7,1
Nr 5	24,05	10,19	13,86	6,73
Nr 6	22,49	10,05	12,44	5,43
Nr 7	24,32	9,89	14,43	7,26
Nr 8	22,89	9,65	13,24	6,14
Nr 9	25,52	12,12	13,40	7,18
Nr 10	24,14	9,71	14,43	7,11
Mittelwert	23,94	10,23	13,71	6,73
Standardabweichung	0,82	0,78	0,65	0,56
Maximum	25,52	12,12	14,63	7,28
Minimum	22,49	9,47	12,44	5,43
95% Streubereich				
Maximum	25,55	11,75	14,98	7,84
Minimum	22,33	8,71	12,44	5,62
95% Konfidenzintervall des Mittelwertes				
Maximum	24,53	10,79	14,18	7,13
Minimum	23,36	9,67	13,25	6,33

5.1.4. Einfügen der Zahnkontur in die Strichzeichnungen der sagittalen Schnitte der Oberkiefermodelle

Die Daten der ausführlichen histologischen Untersuchung der dentogingivalen Verhältnisse bei jungen Erwachsenen von *Gargiulo et al.* (1961) schienen für die Zwecke dieser Arbeit besonders geeignet, wie Abbildung 8 zeigt. Andere Autoren geben ähnliche metrische Werte für die einzelnen hierbei bedeutsamen Strukturen an (Tab. 4).

Tabelle 4: Sulkustiefe, Epithelansatzbreite sowie Abstand zwischen Schmelz-Zement-Grenze und Alveolarknochen nach verschiedenen Autoren.

Autor(en)	Sulkustiefe [mm]	Epithelansatzbreite [mm]	Abstand Schmelz-Zement-Grenze und Alveolarknochen [mm]
<i>Gargiulo et al. (1961)</i>	mesial 1,09 distal 0,84 vestibulär 0,87 oral 0,40 Durchschnitt 0,80	mesial 1,56 distal 1,37 vestibulär 1,35 oral 1,14 Durchschnitt 1,35	mesial 0,75 distal 1,10 vestibulär 1,01 oral 1,49 Durchschnitt 1,08
<i>Grant et al. (1965)</i>		~ 1,0	~ 1,0
<i>Schumacher (1984)</i>			okklusaler Rand der Alveole erreicht die Schmelz-Zement-Grenze nicht ganz
<i>Plagmann (1998)</i>	~ 0,5	1,5	1,0 bis 2,0
<i>Mutschelknauss (2000)</i>	0,5	~ 2,0	

5.1.5. Auswahl der Messgrößen

Während *Schumacher* (1984) den retroalveolären Spongiosaraum im Frontzahnggebiet des Oberkiefers in Form eines Dreiecks darstellt, wurde in der vorliegenden Arbeit diese Region mit Hilfe eines Winkels zwischen Ausgleichsgeraden am Anstieg der sagittalen Gaumenkurve und an der Zahnwurzel sowie eines Abstandes im Bereich des Alveolarkamms vollständig beschrieben und gemessen. Da diese Ausgleichsgeraden an den angrenzenden Strukturen orientiert sind, war es möglich zu bestimmen, in wie weit das palatinale Knochenangebot von der Inklination des Schneidezahnes und dem Anstieg der sagittalen Gaumenkurve abhängt. Auch die Gaumenhöhe konnte in diese Zusammenhänge einbezogen werden.

Um das palatinale Knochenangebot noch anschaulicher darzustellen, wurden weiterhin Abstände direkt zwischen Zahnwurzel und Gaumenanstiegskurve gemessen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1. Erfassung des palatinalen Knochenangebotes hinter der Schneidezahnwurzel

Da $\sphericalangle AZ/AG$ stets positiv ist, wird die Empfehlung von *Hickham* (1978) und *Hickham & Miethke* (1987) unterstützt, vor jeder Frontzahnretrusion größeren Ausmaßes die Schneidezähne zunächst zu intrudieren, da dadurch mehr spongioser Knochen zur Verfügung steht.

Ein relativ breiter 95% Streubereich für $\sphericalangle AZ/AG$ (10° bis 40°) und für den Abstand $Akp \perp LAG$ (1,7 mm bis 4,2 mm), weist auf deutliche Unterschiede bei einzelnen Patienten hin. Deshalb ist es ratsam, vor der Retrusion von Schneidezähnen das palatinale Knochenangebot individuell einzuschätzen. Es ist möglich, dass im Einzelfall nur sehr wenig Platz hinter den Schneidezahnwurzeln vorhanden ist.

In der Vergangenheit wurde bereits vermutet, dass es einen Zusammenhang zwischen der palatinalen Konfiguration des Alveolarfortsatzes (*Schumacher* 1984, *Miethke* 1995), der Inklination der Schneidezähne (*Miethke* 1995) und dem Ausmaß des retroalveolären Spongiosaraums gibt. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde tatsächlich eine höchst signifikante Korrelation zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und $\sphericalangle AZ/AG$ und eine deutlich signifikante Korrelation zwischen $\sphericalangle 1/OKE$ und $\sphericalangle AG/OKE$ nachgewiesen. Bei steigendem $\sphericalangle 1/OKE$ ist die Zunahme des $\sphericalangle AZ/AG$ stärker als die Zunahme des $\sphericalangle AG/OKE$. Das bedeutet, dass $\sphericalangle 1/OKE$ einen stärkeren Einfluss auf $\sphericalangle AZ/AG$ hat als auf $\sphericalangle AG/OKE$. Somit ist durchschnittlich bei steil stehenden Schneidezähnen ein reichlicheres palatinales Knochenangebot trotz steileren Anstieges der sagittalen Gaumenkurve vorhanden als bei exvertierten Schneidezähnen. Hierbei werden auch die Aussagen aus der Literatur (*Korkhaus* 1939, *Schulze* 1982) bestätigt, dass der Anstieg der sagittalen Gaumenkurve die Inklination der Schneidezähne generell widerspiegelt. Im Einzelfall ist eine relativ breite Streuung zu berücksichtigen (Abb. 16 und 17). Zwischen $\sphericalangle AG/OKE$ und $\sphericalangle AZ/AG$ konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden, das heißt, es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Anstieg der sagittalen Gaumenkurve und dem palatinalen Knochenangebot nachgewiesen werden (Abb. 18).

Auch für $\sphericalangle 1/OKE$ sowie $\sphericalangle AG/OKE$ und den Abstand $Akp \perp LAG$ konnte keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden (Abb. 19 und 20), was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass dieser Abstand in der Nähe des Alveolarkamms definiert wurde. Somit ist aufgrund des Abstandes, unabhängig von der Inklination des Schneidezahnes und dem Anstieg der sagittalen

Gaumenkurve, stets ein zusätzliches Platzangebot zu dem durch $\sphericalangle AZ/AG$ bestimmten, vorhanden. Seine Streuung verursacht eine zusätzliche Variation des gesamten palatinalen Knochenangebotes.

Bis jetzt fehlten metrische Angaben zum Anstieg der sagittalen Gaumenkurve bei Jugendlichen mit Distalbiss; der hier gemessene, relativ breite 95% Streubereich für $\sphericalangle AG/OKE$ beträgt 36° bis 56° .

Der von *Ferrario et al.* (1998) berechnete Mittelwert der Neigung der sagittalen Gaumenkurve bei Probanden mit normaler Okklusion (26°) ist deutlich kleiner als der in dieser Arbeit gemessene (46°). Das ist vor allem auf eine unterschiedliche Definition der Bezugslinien zurückzuführen. Wendet man jedoch die in dieser Arbeit zugrunde liegende Definition an, so errechnet sich bei *Ferrario et al.* (1998) ein fast gleich großer Winkel von etwa 45° .

Die hier gemessenen Mittelwerte für den Anstieg der sagittalen Gaumenkurve und für die Inklination der Schneidezähne (65°) ähneln den Werten, die bei Probanden mit normaler Okklusion zu finden sind (18, 56). Daraus kann man schließen, dass auch das durchschnittliche Ausmaß des palatinalen Knochenangebotes bei beiden *Angle*-Klassen etwa gleich groß ist.

Der in dieser Untersuchung gemessene, relativ breite 95% Streubereich für $\sphericalangle I/OKE$ beträgt 48° bis 83° .

Im Durchschnitt ist der Wert der Inklination der rechten oberen Schneidezähne um 2° größer als auf der linken Seite. Auch der Anstieg der sagittalen Gaumenkurve auf der rechten Seite zeigt im Durchschnitt um $0,8^\circ$ größere Werte. Beide Unterschiede sind statistisch signifikant beziehungsweise deutlich signifikant. Es wäre denkbar, dass Habits dafür verantwortlich sind.

$\sphericalangle I/OKE$ links korreliert höchst signifikant mit $\sphericalangle I/OKE$ rechts, bei einem 95% Vorhersagebereich von 20° (Abb. 46). $\sphericalangle AG/OKE$ links korreliert höchst signifikant mit $\sphericalangle AG/OKE$ rechts und der 95% Vorhersagebereich ist deutlich schmaler (7°) (Abb. 47). Somit sind zwischen Inklination des Schneidezahnes rechts und links sichtbare Unterschiede bei relativ gleichmäßigem Verlauf des Gaumens von rechts nach links möglich. Aus diesem Grund können Unterschiede der Größe des palatinalen Knochenangebotes rechts und links auftreten.

Eine andere Möglichkeit, den Platz hinter dem Schneidezahnwurzel zu ermitteln, ist bestimmte Strecken zu messen.

Bemerkenswert ist, dass die Mittelwerte der sich in Richtung Wurzelspitze des Schneidezahnes nähernden Messstrecken $W1/2-W1/2'$, $W1/3-W1/3'$ und $Ap-Ap'$ steigende Werte zeigen, was mit den ausschließlich positiv gemessenen $\sphericalangle AZ/AG$ korrespondiert. Der 95% Streubereich ist für jede dieser Strecken relativ breit. Bei $Ap-Ap'$ beträgt er 7,5 mm bis 14,6 mm, bei $W1/3-W1/3'$ 3,9 mm bis 8,7 mm und bei $W1/2-W1/2'$ 3,4 mm bis 7,4 mm. Somit gilt für alle Messstrecken, dass zwischen den einzelnen gemessenen Werten deutliche Unterschiede erkennbar sind. Einige Strecken nehmen nur relativ kleine Werte an, was auf wenig palatinale Knochenauflagerung hinweist.

Wie auf den Abbildungen 21 bis 22 ersichtlich, nehmen die Abstände $Ap-Ap'$ und $W1/3-W1/3'$ mit zunehmender Inklination des Schneidezahnes im Durchschnitt zu. Dies betrifft vor allem den Abstand $Ap-Ap'$. Das heißt, bei steil stehenden Schneidezähnen ist durchschnittlich ein reichlicheres palatinales Knochenangebot entlang der Strecke $Ap-Ap'$ und $W1/3-W1/3'$ vorhanden, als bei exvertierten Incisivi. Dies konnte aber nicht für Messungen entlang der Strecke $W1/2-W1/2'$ nachgewiesen werden (Abb. 23). Alle schräg gemessenen Abstände nehmen kleinere und größere Werte an, unabhängig von der Zunahme von $\sphericalangle AG/OKE$ (Abb. 24 bis 26). Aufgrund der in den Abbildungen 21 bis 26 sichtbaren relativ breiten 95% Vorhersagebereiche beziehungsweise 95% Streubereiche ist immer eine individuelle Einschätzung der Größe dieser Abstände für jeden Patienten empfehlenswert.

Ebenso steigen die gemessenen Mittelwerte der Messstrecken $W1/2'-Z3$, $W1/3'-Z2$ und $Ap'-Z1$ mit Verschiebung der Messstrecken ins Alveolarfortsatzinnere. Auch sie zeigen einen relativ breiten 95% Streubereich. Für $Ap'-Z1$ beträgt er 6,4 mm bis 11,8 mm, für $W1/3'-Z2$ 4,4 mm bis 8,2 mm und für $W1/2'-Z3$ 3,5 mm bis 7,1 mm. Insofern fallen auch hier einzelne Messungen des palatinalen Knochenangebotes relativ unterschiedlich aus.

Die Abbildungen 29 bis 31 zeigen ein ähnliches Verhalten der Strecken mit zunehmendem Werten $\sphericalangle 1/OKE$, wie bei den schräg gemessenen Abständen, aber die Tendenz zu einer eindeutigen Korrelation verschiebt sich mit Verschiebung der Strecken ins Alveolarfortsatzinnere. Nur für den Abstand $Ap'-Z1$ wurden durchschnittlich höhere Werte bei steil stehenden Schneidezähnen gemessen, als bei exvertierten. Zwischen $\sphericalangle AG/OKE$ und den

parallel zu der Okklusionsebene gemessenen Abständen verschiebt sich die Tendenz zu einer eindeutigen Korrelation mit Verschiebung der Strecken in Richtung des Alveolarkamms, bei negativem Korrelationskoeffizienten (Abb. 32 bis 34). Auch diese Abstände sollten somit bei jedem Patienten individuell eingeschätzt werden.

Ähnliches gilt für die Abstände Z1-Zhp, Z2-Zhp, und Z3-Zhp. Für Z1-Zhp beträgt der 95% Streubereich 7,5 mm bis 11,5 mm, für Z2-Zhp 3,8 mm bis 7,6 mm und für Z3-Zhp 1,7 mm bis 5,8 mm.

Nur für Abstand Z3-Zhp sind die gemessenen Werte bei steigendem \sphericalangle I/OKE im Durchschnitt größer (Abb. 35 bis 37). Durchschnittlich steigen bei steigendem \sphericalangle AG/OKE die Werte für alle entlang des Zahnes gemessenen Abstände (Abb. 38 bis 40). Das heißt im Durchschnitt grenzt mit zunehmender Inklination des Schneidezahnes der parallel zu der Okklusionsebene gemessene Abstand W1/2'-Z3 am Zahn weiter vom Zahnhals entfernt an. In Durchschnitt grenzen mit zunehmendem Werten des Anstiegs der sagittalen Gaumenkurve alle entsprechenden parallel zu der Okklusionsebene gemessenen Abstände am Zahn weiter vom Zahnhals entfernt an. Aufgrund der Streuung der Werte gilt generell auch hier die Notwendigkeit einer individuellen Einschätzung.

Die Strecke ApLAG entspricht der von *Kraft* (1995) und von *Hartwig* (2000) gemessenen palatinalen Alveolarfortsatzbreite in Apexhöhe. Die Abstände Ap-Ap' und W1/2-W1/2' fallen aufgrund ihrer anderen Definition grundsätzlich tendenziell etwas größer aus als die äquivalenten Strecken bei *Kraft* und *Hartwig*. Dieser Unterschied ist beim Vergleich der Messwerte Ap-Ap' und ApLAG sichtbar (Tab. 5).

Unter Berücksichtigung der Differenzen, die sich aufgrund der unterschiedlichen Methode ergeben (13, 63), sind die Mittelwerte der Daten von *Kraft* für Patienten mit normaler Inklination der oberen Schneidezähne (Tab. 6) und den eigenen Daten (Tab. 5) sehr ähnlich. Bei allen Patientengruppen bei *Kraft*, bei denen die Mittelwerte auf eine exvertierte Stellung der oberen Schneidezähne deuten, verschieben sich die Mittelwerte des palatinalen Knochenangebotes in die Richtung der in der hier vorgelegten Arbeit gemessenen unteren Werte des 95% Streubereichs (Tab. 5).

Tabelle 5: Mittelwerte (und Standardabweichungen), 95% Konfidenzintervall der Mittelwert und 95% Streubereich ausgewählter Parameter, die an den sagittalen Schnitten der Modelle (links und rechts) von 35 Jugendlichen mit Distalbiss vor ihrer kieferorthopädischer Behandlung im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gemessen wurden.

Parameter	Mittelwert und Standardabweichung		95% Konfidenzintervall der Mittelwert				95%Streubereich			
			Maximum		Minimum		Maximum		Minimum	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
Ap _{LAG}	10,37 (1,66)	10,66 (1,55)	10,94	11,19	9,80	10,13	13,63	13,70	7,12	7,62
Ap-Ap'	10,82 (1,89)	11,26 (1,73)	11,47	11,85	10,17	10,66	14,53	14,65	7,12	7,86
W1/2- W1/2'	5,28 (1,04)	5,46 (1,00)	5,64	5,80	4,92	5,12	7,33	7,42	3,23	3,50
1/OKE	64,43 (9,40)	66,37 (8,68)	67,66	69,36	61,20	63,39	82,85	83,38	46,01	49,37

Tabelle 6: Mittelwerte (und Standardabweichungen) ausgewählter Parameter, die an den Fernröntgenseitenaufnahmen von Patienten vor ihrer kieferorthopädischen Behandlung in Abhängigkeit von ihrer Angle-Klasse und in Abhängigkeit von der geplanten Art der Bewegung der oberen Schneidezähne gemessen wurden (Kraft 1995).

Parameter	Angle-Klasse I	Angle-Klasse II	Angle-Klasse III	Bewegung OK stabil	Bewegung OK Retrusion	Bewegung OK Protrusion
Anzahl der Patienten	4	25	1	3	18	9
palatinale Alveolarfortsatzbreite (Apexhöhe) [mm]	8,7 (1,5)	7,4 (2,0)	7,7 (1,6)	9,5 (0,8)	6,8 (1,8)	9,0 (1,1)
palatinale Alveolarfortsatzbreite (1/2 Wurzellänge) [mm]	4,2 (1,5)	2,6 (1,0)	3,0 (1,2)	5,7 (0,5)	2,6 (0,9)	3,2 (1,3)
1/FH [°]	107,8 (4,9)	111,1 (12,7)	121,1 (9,8)	108,0 (10,3)	115,7 (11,4)	102,5 (8,5)

Diese Beobachtungen unterstützen die hier vorgestellte Ansicht, daß generell die palatinale Alveolarfortsatzbreite durchschnittlich bei den exvertierten Schneidezähnen kleiner ausfällt. Im Bezug auf steigende Werte \sphericalangle 1/OKE und \sphericalangle AG/OKE verhält sich der Abstand Ap \perp LAG wie die Strecke Ap-Ap' (Abb. 27 und 28).

Dass die eigenen Werte für die Strecken Ap \perp LAG, Ap-Ap' und W1/2-W1/2' etwas größer ausfallen als die Werte, die *Hartwig* (2000) auf Fernröntgenseitenaufnahmen maß (Tab. 7), mag daran liegen, dass diese Aufnahmen von Patienten stammten, bei denen eine kieferorthopädisch-chirurgische Kombinationstherapie geplant war. Ebenfalls ist es denkbar, dass diese Unterschiede durch das Alter der Patienten bedingt sind, das in der Untersuchung von *Hartwig* bei durchschnittlich 25,3 Jahren lag.

Tabelle 7: Mittelwerte (und Standardabweichungen) ausgewählter Parameter, die an Fernröntgenseitenaufnahmen von Patienten vor ihrer kieferorthopädischen Behandlung, in Abhängigkeit von ihrer *Angle*-Klasse gemessen wurden (*Hartwig* 2000).

Parameter	<i>Angle</i> -Klasse II	<i>Angle</i> -Klasse III
Anzahl der Patienten	11	8
palatinale Alveolarfortsatzbreite (Apexhöhe) [mm]	5,7 (1,7)	6,3 (2,6)
palatinale Alveolarfortsatzbreite (1/2 Wurzellänge) [mm]	1,4 (1,0)	1,8 (0,6)
1/NL [°]	65,6 (10,7)	64,3 (10,2)

5.2.2. Gaumenhöhe

Ein Vergleich der eigenen Messergebnisse für die Gaumenhöhe mit den Angaben anderer Autoren (Tab. 8) ist angesichts unterschiedlicher Untersuchungsmethoden und Messpunkte (s. Kapitel 1.6) schwierig.

Trotzdem sind die Messergebnisse für die Gaumenhöhe bei einer Gruppe von Patienten mit einer *Angle*-Klasse II bei *Staab* (1961) den eigenen sehr ähnlich. Die Messergebnisse der Gaumenhöhe bei *Williams* (1964), *Reulen* (1968) und *Buschang* (1994) sind deutlich größer, da sie die Höhe der klinischen Krone der 1. Molaren mit beinhalten.

Tabelle 8: Vergleich der Mittelwerte (und Standardabweichungen) für die Gaumenhöhe bei Patienten mit unterschiedlicher *Angle*-Klasse in Abhängigkeit von Messort, Alter und Geschlecht der Probanden.

Autor(en)	<i>Angle</i> -Klasse	Anzahl der untersuchten Patienten	Gaumenhöhe im Molarenbereich [mm]	Gaumenhöhe im Prämolarenbereich [mm]	Alter [Jahr]	Geschlecht
Staab (1961)	I	100	13,6±2,4		13 bis 16	♂
	II	100	12,5±2,6			
	II, 1	50	12,4±2,5			
	II, 2	50	12,6±2,9			
Williams (1964)	I	25	17,7(1,8)		11:6 bis	
	II, 1	25	16,4(2,2)		12:6	
Lebret (1966)	I	30	14,06(1,86)	11,88(1,56)	18	♀ ♂
Reulen (1968)	II, 1	31	22,8(1,98)		14 bis 18	
Buschang et al. (1994)	I	241	17,88		17 bis 68	♀
	II, 1	121	18,39			
	II, 2	24	17,13			
Ferrario et al. (1998)	I	18	14,70 (1,63)		13,96	♀
		12	14,42 (2,48)		14,02	♂
Warnack (2008)	II	35	L13,29(2,12) R13,46(2,07)	L11,79(1,98) R11,88(1,97)	13,9	♀ ♂

Für die Gaumenhöhe wurde hier ein relativ breiter 95% Streubereich berechnet. Er betrug im Bereich der Molaren 9,3 mm bis 17,5 mm und im Bereich der Prämolaren 8,0 mm bis 15,7 mm. Damit wird die Aussage von *Galves & Methenitou* (1989) unterstützt, die bei Patienten mit einer *Angle* – Klasse II überwiegend „hohe“, aber auch „normale“ Gaumengewölbe beobachtet haben. An dieser Stelle erscheint allerdings die Aussage von *Howell* (1981) hilfreich, dass eine subjektive Einschätzung des Gaumens als „seicht“ schwieriger ist als eine Einschätzung als „tief“.

Die nicht nachgewiesene Korrelation zwischen GhA und \sphericalangle 1/OKE (Abb. 44) wird indirekt durch die Ergebnisse der Arbeit von *Staab* (1961) bestätigt, der keine statistisch signifikanten Unterschiede der Gaumenhöhe bei Jugendlichen mit einer *Angle*-Klasse II, 1 und einer *Angle*-Klasse II, 2 fand. Die hier vorgelegte Arbeit unterstreicht auch die Angabe von *Schulze* (1982)

dass bei der *Angle*-Klasse II, 1 eine kontinuierliche Variabilität zwischen flachen und hohen Gaumengewölben zu beobachten ist. Im Gegensatz dazu berichtet *Buschang* (1994) von Unterschieden der Gaumenhöhe zwischen Probanden mit einer *Angle*-Klasse II, 1 und einer *Angle*-Klasse II, 2.

Ein Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen von *Lebret* (1966), *Staab* (1961) und *Ferrario et al.* (1998) deutet darauf hin, dass die Gaumenhöhe bei Probanden mit einer *Angle*-Klasse I und einer *Angle*-Klasse II sehr ähnlich ist. Auch die von *Williams* (1964) und *Buschang et al.* (1994) berichteten Daten deuten unter Berücksichtigung der Methodenunterschiede in diese Richtung (Tab. 8).

Gaumenhöhe und Anstieg der sagittalen Gaumenkurve hängen deutlich (GhA) beziehungsweise höchst (GhB) signifikant von einander ab, was die Aussagen von *Schulze* (1982) und *Schumacher* (1984) bestätigt. Praktisch bedeutet das, dass im Durchschnitt mit zunehmender Gaumenhöhe auch \sphericalangle AG/OKE steigt; im Einzelfall ist jedoch eine relativ breite Streuung zu berücksichtigen (Abb. 42 und 43).

Im Durchschnitt steigt mit zunehmender am Molaren gemessener Gaumenhöhe die am Prämolaren gemessene Gaumenhöhe, da eine höchst signifikante Korrelation vorliegt (Abb. 41). GhA und GhB verhalten sich bezüglich ihres Zusammenhangs mit \sphericalangle AG/OKE beziehungsweise \sphericalangle 1/OKE ähnlich (Abb. 42 bis 45).

5.3 Aussichten und Zukunftsperspektiven

Die vorgestellte Methode zur Bestimmung des palatinalen Knochenangebotes bietet sich auch für Studien anderer Patientengruppen an.

Angaben zur Dicke der palatinalen Knochenkompakta würden die Ergebnisse dieser Untersuchung ergänzen.

Unter Berücksichtigung der in der Literatur (14, 37, 42, 73) beschriebenen teilweise stabilen Form der sagittalen Gaumenkurve ist die hier vorgestellte Methode ebenfalls für Untersuchungen geeignet, die auf der Basis von Modellen vor und nach der Behandlung helfen könnten die Grenze zwischen veränderbaren und stabilen Bereichen am Gaumen zu bestimmen (Abb. 48 a und b). Auch Inklinationsveränderungen von Schneidezähnen (14, 31) könnten mit Hilfe dieser Methode weiter untersucht werden (Abb. 48 c und d).

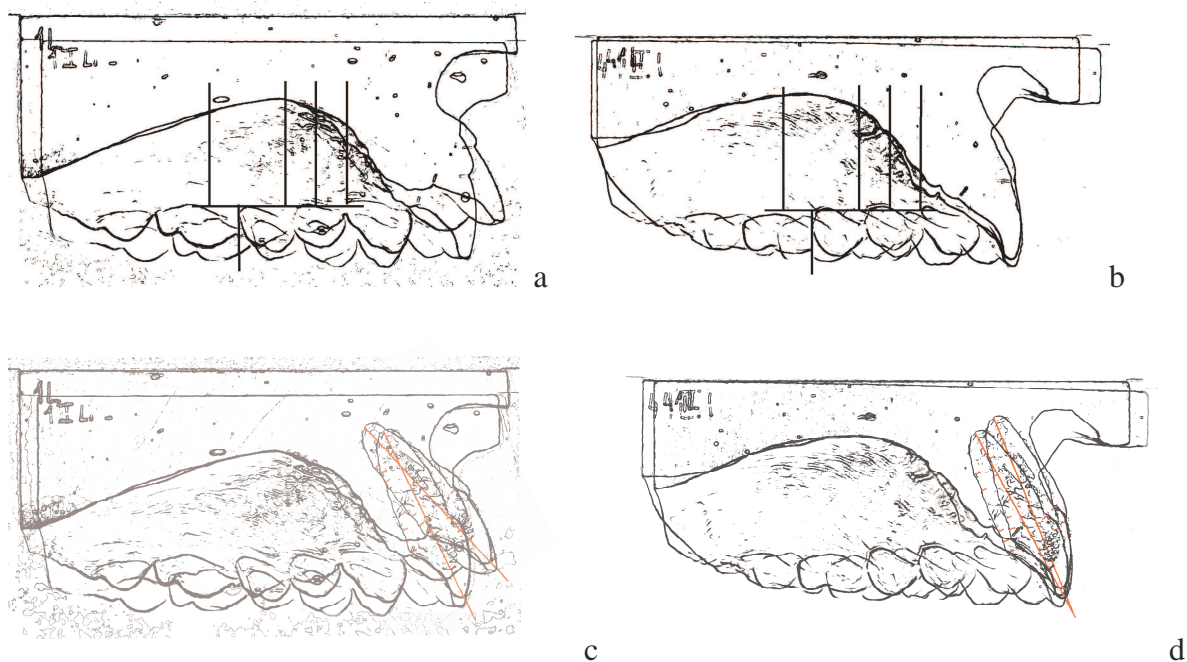


Abb. 48: Beispiele überlagerter Strichzeichnungen von Modellen vor und nach kieferorthopädischer Behandlung
 a, b) Veränderung der Form der sagittalen Gaumenkurve
 c, d) Veränderung der Zahninklination

6 ZUSAMMENFASSUNGEN

6.1 Zusammenfassung

Kenntnisse des palatinalen Knochenangebots im vorderen Teil des Gaumens sind von großer Bedeutung bei einer Retrusion oberer Schneidezähne.

Nur wenige Arbeiten haben sich bis jetzt diesem palatinalen Knochenangebot gewidmet. Übliche Untersuchungsmethoden wie Laminagraphie, Fernröntgenseitenbildaufnahmetechnik, Sonographie oder Computertomographie sind mit erheblichen Nachteilen behaftet.

Die hier vorgelegte Arbeit basiert auf sagittalen Schnitten kieferorthopädischer Modelle im Bereich der oberen mittleren Schneidezähne, die eingescannt wurden. Danach wurde die Kontur eines natürlichen Schneidezahnes mit durchschnittlichen Maßen in die Darstellungen integriert. Das palatinale Knochenangebot wurde mittels eines Winkels zwischen Ausgleichsgeraden (Polynome 1. Grades) am Anstieg der sagittalen Gaumenkurve und an der Zahnwurzel sowie eines Abstandes im Bereich des Alveolarkamms vollständig beschrieben und gemessen. Auch die Gaumenhöhe konnte in Betrachtungen der gegenseitigen Zusammenhänge zwischen den gemessenen Größen einbezogen werden. Zusätzlich wurden in dieser Region zahlreiche Strecken zwischen Zahnwurzel und Gaumenanstiegskurve gemessen. Das Probandengut bestand aus 35 Jugendlichen mit Distalbiss.

Der für das palatinale Knochenangebot stehende Winkel zwischen dem Anstieg der sagittalen Gaumenkurve und der Zahnwurzel beträgt 10° bis 40° . Der dazugehörige Abstand im Bereich des Alveolarkamms beträgt 1,7 mm bis 4,2 mm. Zwischen der Inklination des Schneidezahnes und der Größe des palatinalen Knochenangebotes wurde eine höchst signifikante Korrelation nachgewiesen. Zwischen dem Anstieg der sagittalen Gaumenkurve und dem palatinalen Knochenangebot konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. Zwischen der Inklination der oberen Schneidezähne und dem Anstieg der Gaumenkurve besteht ein statistisch deutlich signifikanter Zusammenhang.

Generell ist durchschnittlich bei steil stehenden Schneidezähnen ein reichlicheres palatinales Knochenangebot trotz des steileren Anstieges der sagittalen Gaumenkurve vorhanden als bei

exvertierten Incisivi. Die relativ breite Streuung der Messergebnisse weist darauf hin, dass bei der Behandlungsplanung eine individuelle Einschätzung des palatinalen Knochenangebotes empfehlenswert ist.

Die sagittale Gaumenkurve steigt mit 36° bis 56° zur Okklusionsebene an. Die Inklination der oberen Schneidezähne beträgt 48° bis 83° . Im Durchschnitt ist die Inklination der rechten oberen Schneidezähne um 2° steiler als auf der linken Seite, der Anstieg der sagittalen Gaumenkurve rechts ist $0,8^\circ$ steiler als links. Diese Unterschiede sind statistisch signifikant und deutlich signifikant. Die sagittale Zahnstellung links korreliert höchst signifikant mit der Zahnstellung rechts, bei einer Streuung von 20° . Der Anstieg der sagittalen Gaumenkurve links korreliert höchst signifikant mit dem Anstieg der sagittalen Gaumenkurve rechts, bei einer Streuung von 7° .

Somit sind zwischen Inklination des Schneidezahnes rechts und links deutliche Unterschiede bei relativ stetigem Verlauf des Gaumens möglich. Deshalb können Unterschiede der Größe des palatinales Knochenangebotes rechts und links auftreten.

Die Gaumenhöhe im Molarenbereich betrug $9,3$ mm bis $17,5$ mm, in der Prämolarenregion $8,0$ mm bis $15,7$ mm. Beide verhalten sich bezüglich ihres Zusammenhangs mit Inklination der Schneidezähne und dem Anstieg der sagittalen Gaumenkurve ähnlich. Zwischen der Gaumenhöhe und der Inklination der Schneidezähne konnte keine Korrelation nachgewiesen werden. Dagegen bestand zwischen Gaumenhöhe und Anstieg der sagittalen Gaumenkurve ein deutlich beziehungsweise höchst signifikanter Zusammenhang. Dennoch ist im Einzelfall eine breite Streuung zu berücksichtigen. Eine höchst signifikante Korrelation wurde zwischen Gaumenhöhe im Molaren- und im Prämolarenbereich nachgewiesen.

Bei Patienten mit einer *Angle*-Klasse II können unabhängig von der Inklination der oberen Schneidezähne flache bis hohe Gaumen vorkommen. Im Durchschnitt nimmt mit zunehmender Gaumenhöhe auch der Anstieg der sagittalen Gaumenkurve zu. Durchschnittlich steigt mit zunehmender Gaumenhöhe am Molaren gemessen die Gaumenhöhe am Prämolaren gemessen.

Die vorgestellte Untersuchungsmethode kann an anderen Patientengruppen und bei weiteren Fragestellungen eingesetzt werden.

6.2 Summary

Knowledge of the amount of palatal bone in anterior portion of the palate is very important for palatal movement of the maxillary incisors.

Only a few studies have focused on that amount of palatal bone. Usual methods for examination as laminagraphy, radiographic cephalometry, ultrasonography or computer tomography have severe disadvantages.

This study is based on scanned sagittal cuts of dental casts. The cuts were performed through the region of maxillary central incisors. Afterwards the contour of a natural incisor with average dimensions was integrated into the scans. The amount of palatal bone was fully described and measured by an angle between lines of best fit (polynomials of first degree) at the slope of the palate and on the root of incisor and by a distance in the region of alveolar crest. The palatal height could be included into the examination of the mutual interrelation between measured values also. This region was quantitatively described by various distances between the root of incisor and the slope of the palate additionally. Subjects consisted of 35 adolescents with Class II malocclusion.

The angle describing the amount of palatal bone between the slope of the palate and the root of incisor is 10° to 40° . The related distance in the region of the alveolar crest is 1,7 mm to 4,2 mm. A highly significant correlation was proven between the maxillary incisor inclination and the amount of palatal bone. No significant correlation could be proven between the slope of the palate and the amount of palatal bone. A considerable significance could be proven between the maxillary incisor inclination and the slope of the palate.

Generally a more opulent amount of palatal bone is found for steep incisors as for gently inclined incisors on average in spite of the tendency to higher slope of the palate for steep incisors. The relatively large scatter of the results indicates that an individual estimation of amount of palatal bone is recommendable for treatment planning.

The sagittal curve of the hard palate is increasing with 36° to 56° with respect to occlusal plane. The maxillary incisors inclination is 48° to 83° . The average inclination of the right maxillary

incisors is 2° steeper as for the left ones. The average slope of the palate on the right side is 0,8° steeper than on the left side. These differences are statistically significant and considerably significant respectively. The maxillary incisors inclination on the left side correlates highly significant with the maxillary incisors inclination on the right side with a scatter of 20°. The slope of the palate on the left side correlates highly significant with the slope of the palate on the right side with a scatter of 7°.

Thus considerable differences between the maxillary incisors inclination on the left and the right side are possible whereas the course of the palate is relatively continuous. Therefore differences of the amount of palatal bone can occur between left and right side.

The palatal height was 9,3 mm to 17,5 mm in molar region and 8,0 mm to 15,7 mm in premolar region. Both behave similar with respect to their relation to the maxillary incisors inclination and the slope of the palate. Between the palatal height and the maxillary incisor inclination no significant correlation could be found. Contrarily a considerable or a highly significant correlation existed between palatal height and the slope of the palate. However a broad scatter is to be considered for the individual case. A highly significant correlation was found between palatal height in molar region and in premolar region.

Shallow to high palates can occur for patients with Class II malocclusions independent of maxillary incisors inclination. With increasing palatal height the slope of palate is increasing on average. The palatal height measured in premolar region is increasing with palatal height measured in molar region on average.

The method presented can be used for other groups of patients and for further problems.

7 LITERATURVERZEICHNIS

1. Ash MM. Wheeler's Dental anatomy, physiology and occlusion. 6th ed. Philadelphia, London, Toronto: WB Saunders Company, 1984.
2. Barth M. Über die funktionelle Struktur des Oberkieferapparates bei Neuweltaffen. *Anat H* 1918;56:173-242.
3. Baumrind S. A reconsideration of the propriety of the "pressure-tension" hypothesis. *Am J Orthod* 1969;55:12-22.
4. Begg PR. Begg orthodontic theory and technique. Philadelphia: WB Saunders Company, 1965. Zitiert in: Edwards JG. A study of the anterior portion of the palate as it relates to orthodontic therapy. *Am J Orthod* 1976;69:249-73.
5. Berger H. Die Bedeutung der neueren Konstitutionsforschung für die Orthodontie. *Dtsch Mschr Zahnk* 1928;46:849-65.
6. Bluntschli H. Rückwirkungen des Kieferapparates auf den Gesamtschädel. *Z Zahnärztl Orthop* 1926;18:57-80.
7. Brawley RE, Sedwick HJ. Studies concerning the oral cavity and saliva. *Am J Orthod Oral Surg* 1939;25:1062-8.
8. Bresolin D, Shapiro PA, Shapiro GG, Chapko MK, Dassel S. Mouth breathing in allergic children: Its relationship to dentofacial development. *Am J Orthod* 1983;83:334-40.
9. Brodie AG. Late growth changes in the human face. *Angle Orthod* 1953;23:146-57.

-
10. Buschang PH, Stroud J, Alexander RG. Differences in dental arch morphology among adult females with untreated Class I and Class II malocclusion. *Eur J Orthod* 1994;16:47-52.
 11. Cieszyński A. Orthodontie und statischer Aufbau des Schädels. *Fortschr Kieferorthop* 1933;3:31-47.
 12. DeAngelis V. Observations on the response of alveolar bone to orthodontic force. *Am J Orthod* 1970;58:284-94.
 13. Drescher D. Kephalemtrie. In: Schmuth GPF, Vardimon AD. *Kieferorthopädie*. 3 Auflage. Stuttgart, New York: Thieme, 1994:75-102.
 14. Edwards JG. A study of the anterior portion of the palate as it relates to orthodontic therapy. *Am J Orthod* 1976;69:249-73.
 15. Eguchi S, Townsend GC, Richards LC, Hughes T, Kasai K. Genetic contribution to dental arch size variation in Australian twins. *Arch Oral Biol* 2004;49:1015-24.
 16. Farrar JN. An inquiry into physiological and pathological changes in animal tissues in regulating teeth. *Dent Cosmos* 1876;18:13-24.
 17. Ferrario VF, Sforza C, Colombo A, Tartaglia GM. The effect of ethnicity and age on palatal size and shape: A study in a northern Chilean healthy population. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 2000;15:233-40.
 18. Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Colombo A. Quantitative description of the morphology of the human palate by a mathematical equation. *Cleft Palate Craniofac J* 1998;35:396-401.

-
19. Fuhrmann R. Dreidimensionale Interpretation von alveolären Knochendehiszenzen. *Fortschr Kieferorthop* 1996;57:62-74.
 20. Fuhrmann R, Wehrbein H, Diedrich P. Dreidimensionale computertomographische Darstellung des bezahnten Alveolarkamms. *Fortschr Kieferorthop* 1993;54:91-100.
 21. Galvez J, Methenitou S. Airway obstruction, palatal vault formation and malocclusion: A cross sectional study. *J Pedodont* 1989;13:133-40.
 22. Gargiulo AW, Wentz FM, Orban B. Dimensions and relations of the dentogingival junction in humans. *J Periodont* 1961;32:261-7.
 23. Görke O. Beitrag zur funktionellen Gestaltung des Schädels bei den Anthropomorphen und Menschen durch Untersuchung mit Röntgenstrahlen. *Arch Anthropol* 1904;29:91-112.
 24. Grant D, Stern IB, Everett FG. *Orban Parodontologie*. Berlin: Quintessenz, 1965.
 25. Grimm FM. Bone bending, a feature of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod* 1972;62:384-93.
 26. Harth G. Biometrische Untersuchungen über die Dimensionen des Normalgebisses in verschiedenen Lebensaltern. Intramaxilläre Beziehungen. *Dtsch Mschr Zahnk* 1930;48:1537-63.
 27. Hartwig D. Vergleichende kephalometrische und klinische Interpretation der Frontzahnregion bei der orthodontisch-chirurgischen und rein orthodontischen Erwachsenenbehandlung. Aachen, RWTH: Zahnmed Diss 2000.

-
28. Hickham JH. Personal communication and a series of educational courses in Europe 1978. Zitiert in: Miethke R-R. Possibilities and limitations of various cephalometric variables and analyses. In: Athanasiou AE (editor). Orthodontic cephalometry. London, Baltimore, Bogota: Mosby-Wolfe, 1995:63-103.
 29. Hickham JH, Miethke R-R. Das „Directional Edgewise Orthosystem“ Ein 10-Jahres-Überblick. *Prakt Kieferorthop* 1987;1:11-26.
 30. Hirschfelder U. Dreidimensionale computertomographische Analyse von Kiefer-, Gesichts- und Schädelanomalien. München, Wien: Carl Hanser, 1992.
 31. Hoeve AT, Mulie RM. The effect of antero-postero incisor repositioning on the palatal cortex as studied with laminagraphy. *J Clin Orthod* 1976;10:804-22.
 32. Howell S. Assessment of palatal height in children. *Community Dent Oral Epidemiol* 1981;9:44-7.
 33. Knott VB, Johnson R. Height and shape of the palate in girls: A longitudinal Study. *Arch Oral Biol* 1970;15:849-61.
 34. Kollmann J. Die Formen des Ober- und des Unterkiefers bei den Europäern. *Schweiz Vjschr Zahnk* 1892;2:64-94.
 35. Korkhaus G. A new orthodontic symmetrograph. *Int J Orthod* 1930;16:665-8.
 36. Korkhaus G. Anatomische Vorbemerkungen. Biomechanische Gebiß- und Kieferorthopädie (Orthodontie). In: Bruhn Ch (Hrsg). *Handbuch der Zahnheilkunde*, Bd 4. 1 und 2 Auflage. München: JF Bergmann, 1939.
 37. Korkhaus G. Present orthodontic thought in Germany. *Am J Orthod* 1959;45:881-900.

-
38. Körbitz A. Kursus der Orthodontie. Verlag der Berliner Zahnärztlichen Poliklinik, 1909.
 39. Kraft A. Kephalemtrische und klinische Interpretation der Frontzahnregion bei der orthodontischen Behandlung Erwachsener. Aachen, RWTH: Zahnmed Diss 1995.
 40. Laine T, Hausen H. Alveolar arch dimensions, orthodontic treatment and absence of permanent teeth among finnisch students. Angle Orthod 1985;55:225-33.
 41. Landsberger R. Das anatomische, das physiologische und das klinische Bild des hohen Gaumens. Corresp BI Zahnärzte Berlin 1915;44:1-20.
 42. Lebet LML. Der menschliche Gaumen: sein Wachstum, die auf ihn bezogene Wanderung der Seitenzähne, seine Expansion bei Anwendung zweier verschiedener orthodontischer Behandlungsmethoden. Fortschr Kieferorthop 1966;27:121-40.
 43. Linder-Aronson S, Bäckström A. A comparison between mouth and nose breathers with respect to occlusion and facial dimensions. Odont Revy 1960;11:343-76.
 44. Lindhe J, Karring T. Anatomie des Parodonts. In: Lindhe J, Karring T, Lang NP (Hrsg). Klinische Parodontologie und Implantologie. Berlin, Chicago, London: Quintessenz, 1999:19-68.
 45. Löst C. Darstellung parodontaler Strukturen per Ultraschall. Dtsch Zahnärztl Z 1988;43:729-32.
 46. Löst C, Irion KM, Nüssle W, Ketterl W. Ultraschall-B-Bilder vom fazialen und oralen Limbus alveolaris. Dtsch Zahnärztl Z 1988;43:190-3.

-
47. Lundström AF. Malocclusion of the teeth regarded as a problem in connection with the apical base. Stockholm: A-B Fahlcrantz Boktryckeri, 1923.
48. Mann WJ. Ultraschall im Kopf-Hals-Bereich. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1984.
49. Merkel F. Knochenstruktur des Schädels. Wiesbaden: JF Bergmann, 1913.
50. Miethke R-R. Possibilities and limitations of various cephalometric variables and analyses. In: Athanasiou AE (editor). Orthodontic cephalometry. London, Baltimore, Bogota: Mosby-Wolfe, 1995:63-103.
51. Mutschelknauss RE. Anatomie und Physiologie des Parodontiums. In: Mutschelknauss RE (Hrsg). Lehrbuch der klinischen Parodontologie. Berlin, Chicago, London: Quintessenz, 2000:69-89.
52. Neumann H. Die Bedeutung der Zähne für den hohen Gaumen. Corresp Bl Zahnärzte Berlin 1926;50:2-12.
53. Oppenheim A. Tissue changes, particularly of the bone, incident to tooth-movement. Tr Eur Orthod Soc 1911;8:11. Zitiert in: Schwarz AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. Int J Orthod 1932;18:331-52.
54. Plagmann H-Ch. Lehrbuch der Parodontologie. München, Wien: Carl Hanser, 1998.
55. Proffit WR, Fields HW, Ackermann JL, Bailey TJ, Tulloch JFC. Contemporary Orthodontics. 3rd ed. St Louis, Baltimore, Boston: Mosby, 2000:296-325.
56. Rakosi T, Jonas I. Kieferorthopädie Diagnostik. In: Rateitschak KH (Hrsg). Farbatlant der Zahnmedizin, Bd 8. Stuttgart, New York: Thieme, 1989.

57. Rateitschak KH & EM, Wolf HF. Parodontologie. 2 Auflage. In: Rateitschak KH (Hrsg). Farbatlant der Zahnmedizin, Bd 1. Stuttgart, New York: Thieme, 1989.
58. Redman RS, Shapiro BL, Gorlin RJ. Measurement of normal and reportedly malformed palatal vaults. II. Normal juvenile measurements. J Dent Res 1966;45:266-9.
59. Reulen P. Untersuchung zur Frage der Gaumenhöhe bei Distalbiss mit oberer Spitzfront (Angle Klasse II, 1). Berlin, FU: Zahnmed Diss 1968.
60. Riquelme A, Green LJ. Palatal width, height, and length in human twins. Angle Orthod 1970;40:71-9.
61. Rohen JW. Anatomie für Zahnmediziner. 3 Auflage. Stuttgart, New York: Schattauer, 1994.
62. Sachs L. Angewandte Statistik. 11 Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2004.
63. Schroeder HE. Orale Strukturbiologie. 4 Auflage. Stuttgart, New York: Thieme, 1992.
64. Schulze Ch. Lehrbuch der Kieferorthopädie, Bd 1. 2 Auflage. Berlin, Chicago, Tokio: Quintessenz, 1980.
65. Schulze Ch. Lehrbuch der Kieferorthopädie, Bd 3. Berlin, Chicago, Tokio: Quintessenz, 1982.
66. Schumacher GH. Anatomie für Stomatologen, Teil 1. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1984.

-
67. Schumacher GH, Gente M. Odontographie. 5 Auflage. Heidelberg: Hüthig, 1995.
68. Schwarz AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod* 1932;18:331-52.
69. Simon P. Grundzüge einer systematischen Diagnostik der Gebiss-Anomalien. Berlin: Hermann Meusser, 1922.
70. Simon P. System einer biologisch-mechanischen Therapie der Gebiß-Anomalien. Berlin: Hermann Meusser, 1933.
71. Staab AE. The relative form of the palate in Class I and Class II malocclusions. *J Dent Res* 1961;40:1242-7.
72. Standstedt C. Einige Beiträge zur Theorie der Zahnregulierung. *Nordisk Tandläkare Tidsskrift* 1904;4 1905;1 1905;2. Zitiert in: Schwarz AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod* 1932;18:331-52.
73. Steiner CC. Cephalometrics as a clinical tool. In: Kraus BS, Riedel RA (editors). *Visas in orthodontics*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1962:131-61.
74. Townsend GC, Richards LC, Sekikawa M, Brown T, Ozaki T. Variability of palatal dimensions in south australian twins. *J Forensic Odontostomatol* 1990;8:3-14.
75. Van Loon JAW. Neue Methoden zur Feststellung normaler und anormaler Beziehungen der Zähne zu den Gesichtslinien. *Zahnärztl Orthop Proth* 1916;10:1-11 22-29 42-55 61-69.
76. Wehrbein H, Fuhrmann RAW, Diedrich PR. Periodontical conditions after facial root tipping and palatal root torque of incisors. *Am J Orthod* 1994;106:455-62.

77. Westling L, Mohlin B. Palatal dimensions and some inherited factors (body height and metacarpal index). *Swed Dent J* 1996;20:141-9.
78. Williams WC. The correlations between palatal vault height and various arch measurements. *Am J Orthod* 1964;50:631.
79. Witt E. Möglichkeiten und Grenzen der kieferorthopädischen Behandlung Erwachsener. *Fortschr Kieferorthop* 1991;52:1-7.
80. Zimmer M, Miethke R-R. Fernröntgenseitenbildanalyse der Abteilung für Kieferorthopädie und Kinderzahnheilkunde der Polikliniken Nord der Freien Universität Berlin. *Prakt Kieferorthop* 1989;3:33-48.
81. Zöfel P. *Statistik verstehen*. München, Boston, San Francisco: Addison-Wesley, 2002.

8 ANHANG

8.1 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

8.2 Danksagung

An erster Stelle danke ich Herrn Prof. Dr. R.-R. Miethke für die Überlassung des Dissertationsthemas, seine Anregungen, intensive Betreuung und konstruktive Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann und Frau Dr. H. Landau möchte ich für ihre stets vorhandene Hilfsbereitschaft und geistige Unterstützung danken.

Mein großer Dank gilt den Mitarbeitern und ehemaligen Mitarbeitern des Instituts für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin des CharitéCentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde - Andreas Bartels für die Hilfe bei ersten Versuchen des Einscannens der Modelle und Bearbeitung der Daten am Computer - Dorothea Schmidt und Renate Krüger für die Gewährleistung des Zugangs zu Modellen und das Aussuchen von Patientenakten - Manfred Heinrich, Ingrid Khan und Marlies Thomas-Beyer für die Ratschläge zum Herstellen der Duplikate und Trimmen der Modelle - Claus Schoetzau für die Unterstützung bei Organisationsfragen.

Herrn Prof. Dr. J.-F. Roulet danke ich für das Ausleihen der Schneidezähne aus der Zahnsammlung der Abteilung für Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin.

Den niedergelassenen Kieferorthopäden Frau Dr. G. Anschütz und Herrn Th. Zenker danke ich sehr für das zur Verfügung Stellen von Modellgut aus ihren Praxen für Zwecke dieser Arbeit sowie die mir gegebene Möglichkeit, die ausgewählten Modelle im Praxislabor zu bearbeiten. Ich möchte mich auch bei Mitarbeitern der Praxen bedanken, die hiermit verbundene Tätigkeiten unterstützt haben.

Ich danke meinem Ehemann für die Entwicklung der endgültigen Methode des Einscannens der Modelle und der Verarbeitung der Bilder, die Installation von Computerprogrammen und Hilfe bei deren Anwendung sowie für die Unterstützung bei dem Entwurf des Studiendesigns, das eine sinnvolle statistische Auswertung ermöglichte. Sehr herzlich danke ich für die geistige Unterstützung. Mein Dank gilt auch meiner Familie und allen, die mich gefordert haben, so dass ich die Fähigkeit und die Möglichkeit des Schreibens dieser Arbeit erlangt habe.

8.3 Erklärung

Ich, Anna Ewa Warnack, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Begrenzung der Retrusion oberer Schneidezähne bei Jugendlichen mit einer *Angle*-Klasse II“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

Datum

Unterschrift