

Regionenabhängige Vergrößerungsfaktoren von Panora-maschichtaufnahme in Abhängigkeit von der Patienten-positio-nierung und ihre Bedeutung für die Implantologie

Teil 1:

Orthograde Patientenpositionierung

<http://w210.ub.uni-tuebingen.de/dbt/volltexte/2003/681/pdf/1orthograd.pdf>.

G. Gómez Román*, D. Lukas**, R. Beniashvili***, W. Schulte****

Area-dependent Enlargement Ratios of Panoramic Tomography on Orthograde Patient Positioning and Its Significance for Implant Dentistry. Int.J.Oral Maxillofac Implants 14:248-257, 1999.

* Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Propädeutik (Ärztlicher Direktor: Univ.-Prof. Dr. med dent. H. Weber),

** Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, (Ärztlicher Direktor: Univ.-Prof. Dr. med., Dr. med. dent. S. Reinert),
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsklinikum Tübingen
e-mail: drmed_lukas@web.de, <http://www.periotest.de/lukas/>

*** Zahnarzt, Reutlingen

**** Ehem. Ärztlicher Direktor der Poliklinik für Zahnärztliche Chirurgie und Parodontologie, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde das Verhalten der vertikalen und horizontalen Vergrößerungsfaktoren auf der Panoramiaschichtaufnahme in den verschiedenen Implantatregionen des Ober- und Unterkiefers untersucht. Ein Verfahren wird vorgestellt, das die Bestimmung der regionalen Vergrößerungsfaktoren in Abhängigkeit von der Implantatregio zuläßt. Dabei werden gut definierte Merkmale am Implantatkörper als Referenzpunkte herangezogen. Der vertikale Vergrößerungsfaktor variierte bei optimal orthograd eingestellten Aufnahmen in Abhängigkeit von der vermessenen Regio zwischen 1,21 und 1,29. Der horizontale Vergrößerungsfaktor an der koronalen Implantatstufe variiert zwischen 1,15 und 1,35. Da er im Seitenzahnggebiet unter dem vertikalen Wert liegt, trägt dies zur Verzerrung der abgebildeten Implantatstrukturen bei. Die horizontale Vergrößerung an der apikalen Implantatstufe variiert zwischen 1,14 und 1,44. Der Unterschied der horizontalen Vergrößerungsfaktoren bewirkt ebenfalls eine Verzerrung der abgebildeten Implantatstrukturen auf der Panoramiaschichtaufnahme. Die Panoramiaschichtaufnahme ist sehr gut geeignet für die präimplantologische Diagnostik vor allem in der vertikalen Dimension.

Einleitung

Im Rahmen der präimplantologischen Diagnostik nimmt die Panoramaschichtaufnahme aufgrund ihrer guten Übersicht über die knöchernen Strukturen des Gesichtsschädels einen wichtigen Stellenwert ein [17,24,29]. Im Unterkiefer werden Informationen über die Höhe der knöchernen Mandibula, die Lage der Foramina mentalia und den Verlauf des Mandibularkanals geboten [26,27,36]. Im Oberkiefer werden die Höhe des Processus alveolaris der Maxilla und die an ihn angrenzenden, anatomischen Strukturen, wie der Nasenboden, die Sinus maxillares und die knöchernen Septen zwischen Kieferhöhle und Nasenhöhle im Bereich der Eckzahnregion dargestellt [4,26,27].

Gegenüber den standardisierten Mundfilmaufnahmen, die bei mehrfacher Implantation mit hohem Aufwand verbunden sind und bei denen sich oft auch Probleme aus anatomischen Gründen ergeben (hoher Mundboden, flacher Gaumen) [11,12], liegen die Vorteile der Panoramaschichtaufnahme in einer für den Patienten angenehmeren Aufnahmetechnik und in der geringeren Strahlenbelastung [6,25].

Die in vertikaler und horizontaler Richtung unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren in Abhängigkeit von den Regionen sind ein grundsätzliches Problem bei Panoramaschichtaufnahmen[9,33]. Metallkugeln, die häufig in der präimplantologischen Diagnostik Verwendung finden, werden beispielsweise als horizontal verbreitete Ellipsen abgebildet [34]. Wird ein Objekt in Richtung des Films verschoben, so nimmt der Vergrößerungsfaktor in horizontaler Richtung stärker ab als in vertikaler. Verantwortlich dafür ist, daß sich die Projektionen der Objektpunkte auf dem Film schneller bewegen als der Film. Überträgt man dieses wieder auf eine Metallkugel, so stellt sie sich als horizontal komprimierte Ellipse dar [35].

Ein weiterer Parameter für das Ausmaß des horizontalen Vergrößerungsfaktors stellt die Objektgröße dar, was in einer japanischen Studie festgestellt wurde[9].

Für das Zustandekommen der Verzerrungseffekte ist weiterhin die Eigenschaft der Parallaxe, die sich ebenfalls in horizontaler Dimension auswirkt, von Bedeutung. Hierunter versteht man die gegenseitige Verschiebung der Abbildungen zweier verschieden weit entfernter Gegenstände auf der Panoramaschichtaufnahme, wenn sie unter verschiedenen Projektionswinkeln betrachtet werden. Die Parallaxe wird durch die relative Bewegung des Films und der Strahlenquelle zum Objekt verursacht. Ihren Einfluß auf die Abbildung intrakoronar gelegener Pins wurde bereits in einer Studie verdeutlicht[32]. *Tronje* et al.[35] kamen aufgrund des verschiedenen Verhaltens der Vergrößerungsfaktoren in horizontaler und vertikaler Dimension zu dem Ergebnis, daß horizontale Beurteilungen linearer Dimensionen anhand der Panoramaschichtaufnahme unzuverlässig sind. Dagegen sind vertikale Messungen dann verwertbar, wenn der Patient gewissenhaft am Röntgengerät positioniert wird und seine Kiefer durchschnittlich anatomisch geformt sind. Von großer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, daß im klinischen Routinebetrieb häufig asymmetrische Panoramaschichtaufnahmen, trotz akkurater Patientenpositionierung und anatomisch durchschnittlich geformter Kiefer, entstehen. Bei diesen Aufnahmen werden z.B. alle

abgebildeten Strukturen der rechten Bildhälfte verkleinert, die der linken Bildhälfte vergrößert dargestellt. Als Ursache für Asymmetrien kommen Diskrepanzen zwischen Filmbewegung und der Bewegung des Strahlenbündels, eine fehlerhafte Steuerung der Filmgeschwindigkeit oder lediglich beim Prototyp des Röntgengeräts nicht symmetrische Patientenpositionierung in Bezug zur justierten Bildschicht in Betracht [16]. Aufgrund der oben dargestellten typischen Verzerrungs- und Vergrößerungsfaktoren ist in der präimplantologischen Diagnostik eine möglichst genaue Abschätzung der aufnahmetechnisch bedingten Verzerrungen und Vergrößerungen von großer Bedeutung.

Im Folgenden wird untersucht, wie sich die vertikalen und horizontalen Vergrößerungsfaktoren auf der Panoramaschichtaufnahme in den verschiedenen Regionen des Ober- und Unterkiefers bei optimaler Positionierung eines mit Implantaten versehenen mazerierten Schädels am Panoramaröntgengerät Orthophos verhalten. Die Behandlung fehlpositionierter Patienten folgt ([Teile 2, 3 und 4](#)).

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an einem durchschnittlich geformten, zahnlosen, mazerierten unbekanntes Geschlechts, Alters und Rasse mit einem zur Implantation ausreichendes Knochenangebot in allen Kieferabschnitten des Ober- und Unterkiefers durchgeführt. (*Auf Grund der restriktiven deutschen Bestimmungen mußte dieser Schädel aus dem Ausland beschafft werden. Die Autoren sind der Sammlung des anatomischen Institutes in Wien zu Dank verpflichtet.*) Die Fixierung des Oberkiefers zum Unterkiefer des mazerierten Schädels in ungefähr neutraler Relation erfolgte mit Gummibändern und Aufbißblöcken aus Kaltpolymerisat (Palavit - GTM der Firma Kulzer, Wehrheim im Taunus). Die Unterkiefermitte (vorgegeben durch die Spina mentalis und die Mitte zwischen den Tubercula mentalia) und die Mitte des Mittelgesichtes (gekennzeichnet durch die Fissura internasalis und intermaxillaris) lagen auf einer gemeinsamen Geraden.

FrialitTM-2 -Stufenzylinder Implantate mit der Länge 11 mm und dem Durchmesser 3,8 mm wurden im Oberkiefer in allen Regionen außer in Regio 7, im Unterkiefer in allen Regionen außer in Regio 1 und 8 inseriert, d.h. im Oberkiefer standen 14 und im Unterkiefer 12 Implantate zu Verfügung ([Abb. 1](#)). Dabei wurde zuerst in einer Kieferhälfte implantiert, anschließend wurden die Implantatabstände sowohl zueinander als auch zur Kiefermitte mit einem Meßzirkel vermessen und so die entsprechenden Implantatpositionen der anderen Kieferhälfte bestimmt werden. Somit stimmten die Abstände der Implantate zueinander in beiden Kieferhälften überein. Gleichzeitig waren die Distanzen der Implantate der einen Kieferhälfte zur Mediansagittalebene mit denen der korrespondierenden Implantate der anderen Kieferhälfte identisch. Die Neigungswinkel in mesio-distaler und oro-vestibulärer Richtung wurde von der Gegenseite im Rahmen der klinischen Möglichkeiten übernommen. Eine genauere Implantatinsertion beispielsweise mit Hilfe von Bohr-schablonen ist nicht sinnvoll, da sich regionenabhängig die klinisch relevanten Insertionswinkel der Implantate in oro-vestibulärer bzw. mesio-distaler Richtung

aufgrund der anatomischen Gegebenheiten erfahrungsgemäß um bis zu 5° unterscheiden.

Für die exakte Positionierung des mazerierten Schädels in einem Panorama-röntgengerät Typ Orthophos (Firma Siemens) wurde ein massives Fotostativ (Firma Linhof) mit Doppelgelenk verwendet, das sowohl Rotationsbewegungen um die Vertikale als auch Kippbewegungen um eine horizontale Achse ermöglichte. Um individuelle Einstellungen vornehmen zu können, sowie um definierte Positionsänderungen festzuhalten, wurde auf dem Stativ eine Stahlplatte mit einer schlitzförmigen Fräsung befestigt. Der mazerierten Schädel wurde auf einem stählernen Schlitten befestigt, der in der Fräsung linear geführt wurde. Somit konnte der Schädel exakt transversal und – nach Rotation der gesamten stählernen Konstruktion um 90° – auch in der Sagittalebene verschoben werden. Das Doppelgelenk des Stativs ermöglichte zusätzliche Bewegungen um die dorso-ventrale, cranio-caudale und transversale Achse.

Zwischen mazeriertem Schädel und dem beweglichen Schlittenteil wurde ein der Wirbelsäule entsprechender Stab aus Kaltpolymerisat (Palavit - G™ der Firma Kulzer, Wehrheim im Taunus) eingefügt. Die Länge des Stabes wurde so gewählt, daß das Stativ außerhalb des Strahlenfeldes lag.

Dieser Stab wurde mit einer Kunststoffmanschetten am Schlittenteil befestigt, die eine Rotation um die Längsachse des Stabes erlaubten. Mit dem Schädel wurde der Stab über eine dem Atlas entsprechende Auflage verbunden, deren passend ausgeformte Gelenkgruben mit unter sich gehende Anteile hatte, so daß die Condylen und somit auch der Schädel in immer gleicher Position einrasten konnten.

Um einer Kippung des Schädels entgegenzuwirken wurden an der bereits bestehenden Auflage Kippmeider aus Kunststoff angebracht, die sich nach anterior bis zur pars basilaris und nach posterior bis zur linea nuchae inferior ausdehnten und eine hohe Lagekonstanz mit waagrechtlicher Ausrichtung der Frankfurter-Horizontalen des Schädels gewährleisten ([Abb. 2](#)).

Röntgentechnik

Alle Panoramafilmopfern des mazerierten Schädels wurden mit einem und demselben Panoramaröntgengerät Orthophos der Firma Siemens erstellt. [Abb. 3](#) zeigt als Beispiel die Aufnahme des optimal positionierten mazerierten Schädels.

Die Aufnahmen wurden mit dem vom Hersteller mit "1" bezeichneten Belichtungsprogramm erstellt. Wegen der fehlenden Weichteilbedeckung wurde die Röhrenspannung auf 60 kV, die Stromstärke auf 9 mA und die Belichtungszeit auf 14,1 s reduziert. Zur weiteren Kontrastverbesserung wurde zusätzlich ein Glasstab in der Stärke von 20 mm vor der Schlitzblende angebracht.

Alle Röntgenbilder des mazerierten Schädels wurden mit Röntgenfilmen T-MAT G 5500 (Firma Kodak) im Format 15 cm * 30 cm in original Filmkassetten (Firma Siemens) mit

Verstärkerfolien des Typs Lanex medium (Firma Kodak) hergestellt und mit einem Gerät Dental XR (Firma Dürr) bei einer Temperatur von 28°C in 7 Minuten entwickelt.

Um eine Idealposition des mazerierten Schädels im Röntgengerät – im folgenden als orthograde Einstellung bezeichnet – zu ermöglichen, wurde der mazerierte Schädel in der Sagittalebene im richtigen Abstand zum Röntgenfilm gebracht. Im klinischen Betrieb wird dies durch Verwendung von Aufbißstützen bei bezahnten Patienten bzw. von Subnasalstützen bei unbezahnten Patienten erreicht. Gleichzeitig verhindert eine Stirnstütze das unbeabsichtigte Verschieben des Kopfes in der sagittalen Ebene. Dementsprechend wurde der zahnlose, mazerierte Schädel mit Hilfe der Subnasalstütze in seiner Lage fixiert, wobei die fehlende Weichteilbedeckung durch eine Verlängerung des Abstandes um 5 mm berücksichtigt wurde. Um diesen festgelegten Abstand reproduzieren zu können, wurde auf der Aufbißstütze eine zur Bodengrunde parallel ausgerichtete Schiebelehre angebracht und ein Abstand zum knöchernen Subnasalpunkt von 18 mm eingestellt. Zusätzlich wurde der mazerierte Schädel analog zum klinischen Routinebetrieb mittels einer Stirnstütze fixiert. Anschließend wurden am Schädel der Oberrand des Foramen acusticum externum und der tiefste Punkt des knöchernen Unterrandes der Orbita markiert und die Verbindungslinie zwischen beiden markierten Punkten parallel zur horizontalen Linie des eingblendeten Lichtvisiers ausgerichtet. Dadurch war die Frankfurter Horizontale des mazerierten Schädels waagrecht ausgerichtet. Die durch Fissura internasalis, Fissura intermaxillaris und Mitte zwischen den Tubercula mentalia definierte Mediansagittalebene wurde am vertikalen Strahl des Lichtvisiers eingestellt. Die cranio-caudalen Achse des mazerierten Schädels wurde im Röntgengerät rotationssymmetrisch ausgerichtet, indem die Abstände der Foramina acustica externa zur Mitte des vertikalen Strahls des Lichtvisiers gleich eingestellt wurden.

Um für die vergleichende Röntgenbilddiagnostik und die Reliabilität der Einstellungen diese orthograde Optimaleinstellung möglichst exakt reproduzieren zu können, wurde eine dem Unterkieferrand genau anliegende Schiene aus Kaltpolymerisat in der Optimalposition über einen Plexiglasstab starr mit dem abnehmbaren Aufbißblock verbunden. Somit konnte die orthograde Optimaleinstellung sicher wiedergefunden werden.

Insgesamt wurden 18 Aufnahmen in orthograder Optimalposition angefertigt, davon 10 nach Reposition des Stativs und des Schädels.

Kephalometrische Analyse

Alle Panoramaschichtaufnahmen wurden mit einer zehnfach vergrößernden Meßlupe der Firma Peak vermessen. Die Meßlupe hat einen Meßbereich von 20 mm und eine Skaleneinteilung in 1/10 mm Schritten. Als Röntgenbildbetrachter diente das Modell Prolite 5000 der Firma Kaiser.

Vermessung der Implantate

Die den Messungen zugrunde liegenden Referenzpunkte am Implantat sind für das Frialit™-2 Implantatsystem entsprechend [Abb. 4](#) folgendermaßen definiert:

Referenzpunkt Nr. 1 (RfP1): Mittelpunkt der gedachten Verbindungslinie zwischen den Unterkanten der koronalen Stufe des Implantatsystems. Referenzpunkt Nr. 2 (RfP2): am weitesten apikal abgebildeter Punkt des Implantates.

Der metrischen Bestimmung des Vergrößerungsfaktors der Implantate liegen folgende Meßstrecken zugrunde:

Alle Meßstrecken liegen innerhalb des Implantatkörpers.

- vertikal: Distanz zwischen Referenzpunkt 1 und Referenzpunkt 2
- horizontal: a) Breite des Implantates an der koronalen Stufe
 b) Breite des Implantates an der apikalen Stufe des Implantates
- die gemessenen Werte werden mit den tatsächlichen Implantatabmessungen verglichen.

Statistische Methoden

Entsprechend der Aufgabenstellung wurde eine beschreibende Auswertung durchgeführt, und die Mittelwerte, Minima und Maxima sowie die Spannweiten als absoluten Differenzen zwischen den Extremwerten berechnet. Z.B. Kieferbreite und -form und Verlauf der anatomischen Strukturen des Gesichtsschädels variieren zwischen einzelnen Patienten stark, in geringem Umfang auch die Insertionswinkel der Implantate. Alle Untersuchungen der vorliegenden Arbeit wurden jedoch an einem einzigen Schädel durchgeführt. Eine weiterführende statistische Analyse würde somit eine Genauigkeit vortäuschen, die nicht auf den klinischen Routinebetrieb übertragen werden kann.

Die Reproduzierbarkeit der Messungen wurden in einem Vorversuch mit dem t-Test für gepaarte Beobachtungen geprüft. Dabei wurden sechs orthograde Panoramaschichtaufnahmen zum Vergleich der Werte je zweifach vermessen. Die zweiten Messungen wurden acht Wochen nach Abschluß der ersten Datenerhebung ausgeführt. Vermessen wurde in der Vertikalen die Distanz von Referenzpunkt 1 zu Referenzpunkt 2 und in horizontaler Dimension die Breite der koronalen und apikalen Implantatstufe jeweils regionenabhängig.

Alle Berechnungen wurden mit einem handelsüblichen Tabellenkalkulationsprogramm (123 der Firma Lotus) durchgeführt. Dazu wurden die Daten in einen Personal Computer eingegeben. Die Programmierung des t-Tests erfolgte in Anlehnung an die Darstellung

in *Cavalli-Sforza* [3]. Die Richtigkeit der Programmierung wurde anhand der dort angegebenen Beispielrechnung überprüft.

Ergebnisse

Reproduzierbarkeit der Messungen am Röntgenbild

Die im Rahmen einer zweiten Meßserie erhobenen Werte für die implantatbezogenen Meßstrecken unterscheiden sich von den entsprechenden Bezugswerten bei der ersten Datenerhebung wie folgt: Bei der vertikalen Distanzmessung von Referenzpunkt 1 zu Referenzpunkt 2 wurden maximale Unterschiede von $\pm 0,3$ mm ermittelt. Dagegen lagen die horizontalen Unterschiede bei maximal $\pm 0,2$ mm an der koronalen Implantatstufe und $+0,4$ mm bzw. $-0,3$ mm an der apikalen Implantatstufe. Die Prüfung mit dem t-Test nach *Student* [28] ergab auf dem 1 % Niveau keine signifikanten Meßunterschiede. Die reinen Meßfehler können somit vernachlässigt werden.

Reproduzierbarkeit der Einstellungen am Röntgengerät

Die Spannweiten der Aufnahmen nach jeweiliger Reposition des Stativs und des Schädels dienen zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der jeweiligen Einstellungen. In vertikaler Dimension ergaben sich durchschnittliche Werte von 3,5%, während in der horizontalen Dimension an der koronalen Implantatstufe durchschnittliche Werte von 5% und an der apikalen Implantatstufe durchschnittliche Werte von 9% ermittelt wurden.

Vertikaler Vergrößerungsfaktor

In [Abb. 5](#) wird die Verteilung der Vergrößerungsfaktoren, gemessen zwischen Referenzpunkt 1 und Referenzpunkt 2, auf die betreffenden Implantatregionen dargestellt. Sie liegen im Frontzahnbereich des Oberkiefers zwischen minimal 1,23 und maximal 1,29. Im Frontzahnbereich des Unterkiefers variiert der Vergrößerungsfaktor zwischen 1,26 und 1,27 und unterliegt somit geringeren Schwankungen als im Oberkiefer. Im Oberkieferseitenzahnbereich liegt der Vergrößerungsfaktor zwischen minimal 1,26 und maximal 1,29, im Gegensatz dazu liegt er im Unterkieferseitenzahngebiet zwischen minimal 1,21 und maximal 1,26. Somit liegt die vertikale Vergrößerung in keiner Implantatregion über dem Faktor 1,29.

Horizontaler Vergrößerungsfaktor an der koronalen Stufe der Implantate

Den [Abb. 6](#) kann der jeweilige mittlere Vergrößerungsfaktor für die betreffende Implantatregion entnommen werden. Der horizontale Vergrößerungsfaktor an der koronalen Implantatstufe variiert im Oberkiefer in den Regionen 12 bis 22 zwischen 1,24 und 1,27, während er in den Implantatregionen 13 und 23 mit einem Wert von 1,19 deutlich unter dem der vertikalen Vergrößerung im Frontzahnbereich liegt. Im Seitenzahnbereich des Oberkiefers liegt die horizontale Vergrößerung mit Ausnahme der Regionen 18 und 28 ebenfalls deutlich unter der vertikalen Vergrößerung. Hier

variieren die Werte zwischen 1,17 und 1,2. In den Regionen 18 bzw. 28 herrscht eine Vergrößerung von 1,35 bzw. 1,28.

Im Unterkiefer liegen die Werte für den Vergrößerungsfaktor im Frontzahnggebiet zwischen minimal 1,27 und maximal 1,32 und sind damit größer als die vertikalen. Im Unterkieferseitenzahnggebiet ist wie im Oberkiefer eine Tendenz zu kleineren Vergrößerungsfaktoren sichtbar. Lediglich in der Regio 44 liegt der horizontale Vergrößerungsfaktor an der koronalen Stufe mit 1,28 über dem vertikalen.

In keiner Implantatregion geht die horizontale Vergrößerung an der koronalen Implantatstufe über den Faktor 1,35 hinaus. Die stärkste Vergrößerung und gleichzeitig auch die größte Differenz zum vertikalen Vergrößerungsfaktor wird im Oberkiefer in den Implantatregionen des tuber maxillae im Unterkiefer dagegen, im Frontzahnbereich beobachtet.

Horizontaler Vergrößerungsfaktor an der apikalen Stufe der Implantate

In den [Abb. 7](#) ist der regionenabhängige Vergrößerungsfaktor an der apikalen Stufe dargestellt. Im Frontzahnbereich liegen sowohl für den Ober- als auch für den Unterkiefer alle Werte des Vergrößerungsfaktors an der apikalen Stufe über den Werten an der koronalen Stufe. An der apikalen Stufe variieren sie im ersten und zweiten Quadranten zwischen 1,31 und 1,38, im dritten und vierten Quadranten zwischen 1,31 und 1,35. Auch im Seitenzahnbereich des Oberkiefers ist der Vergrößerungsfaktor an der apikalen Stufe größer als die Vergrößerung der betreffenden Regionen an der koronalen Stufe. Die Werte liegen zwischen 1,25 und 1,44. Im Molarenbereich des Unterkiefers ist die Vergrößerung jedoch geringer als an der koronalen Stufe, mit Ausnahme der Regionen 36 und 46. Hier sind die Vergrößerung an der apikalen und koronalen Stufe gleich.

Der horizontale Vergrößerungsfaktor an der apikalen Implantatstufe ist im Oberkiefer an allen Regionen größer als an der koronalen und übertrifft auch die vertikale Vergrößerung. Im Unterkiefer dagegen kehrt sich dieser Sachverhalt um, vor allem bei den Implantatregionen der zweiten Molaren.

Diskussion

Reproduzierbarkeit der Messungen am Röntgenbild

Aufgrund der zweidimensionalen Darstellungen dreidimensionaler Objekte gilt allgemein, daß Röntgenbilder nur eine begrenzte quantitative Aussagekraft haben. Daraus resultiert, daß allgemein mit einer Meßungenauigkeit von 1 mm gerechnet wird [2,5,31]. Demgegenüber sind die in der vorliegenden Arbeit maximal aufgetretenen Meßdifferenzen von 0,4 mm in vertikaler und horizontaler Dimension vernachlässigbar. *Larheim* et al.[13] haben größere Meßungenauigkeiten gefunden. Die in dieser Arbeit gewählten implantatspezifischen Referenzpunkte können offensichtlich besser identifiziert werden als Merkmale natürlicher Zähne oder knöcherner Strukturen. Die

Abgrenzung der radioopaken Implantatstrukturen gegenüber dem umgebenden Knochen gelingt gut. Die apikale Kante der koronalen Implantatstufe beim Frialit™ -2 Implantat hatte sich bereits in einer früheren Studie als zuverlässiger Referenzpunkt bewährt [7,8].

In der vorliegenden Untersuchung weichen die Extremwerte der Vergleichsmessungen nur geringfügig von den Mittelwerten ab. Dies erlaubt die Schlußfolgerung, daß bereits Daten einmalig vermessener Implantate auf der Panoramaschichtaufnahme aussagefähig sind. Eine Meßlupe mit in 0,1 mm geteilter Skala hat sich als zuverlässige Meßhilfe erweisen.

Regionenabhängiger Vergrößerungsfaktor

Grundsätzlich zeigen alle Röntgenaufnahmen die für die Panoramaröntgentechnik charakteristische Vergrößerung.

Vertikal. Die in Abb. 5 bis Abb. 7 dargestellte Abhängigkeit des Vergrößerungsfaktors von der jeweiligen Regio zeigt, daß der vertikale Vergrößerungsfaktor im Ober- und Unterkiefer nur geringfügig um einen Mittelwert schwankt. Das bestätigt die Arbeit von *Sämfors und Welander* [18]. Das Absinken des vertikalen Vergrößerungsfaktors in den Regionen 12, 22, 37 und 47 kann mit der dem Verlauf des Alveolarfortsatzes entsprechenden stärkeren Kippneigung der Implantate in oro-vestibulärer Richtung erklärt werden. Die stärkere Kippneigung führt dazu, daß die Implantate nicht exakt innerhalb der scharf abgebildeten Ebene, also nicht senkrecht zum Zentralstrahl liegen und somit in einem bestimmten Winkel getroffen werden. Aber auch die von *McDavid et al.* [15] festgestellte Abhängigkeit der vertikalen Vergrößerung von der Objektiefe trägt sicherlich zum niedrigeren vertikalen Vergrößerungsfaktor bei.

Betrachtet man die regionenabhängig gemessenen Vergrößerungsfaktoren in der vertikalen Dimension und vergleicht diese mit dem Maßstab der im Rahmen der präimplantologischen Diagnostik gebräuchlichen Klarsichtschablonen, so stellt man fest, daß der zugrundegelegte Vergrößerungsfaktor von 1,25 nur selten unter-, in der Mehrzahl der Ober- und Unterkieferregionen jedoch überschritten wird. Dieser Wert von 1,25 wird durch die von uns ermittelten Vergrößerungsfaktoren von 1,29 bzw. 1,21 maximal um lediglich 0,04 bzw. 3,2% unter- bzw. überschritten. Dies führt dazu, daß bei der Anwendung eines durchschnittlichen Faktors von 1,25 das tatsächlich vorhandene Knochenangebot in den Regios 12, 22, 37 und 47 nur geringfügig unter-, ansonsten größtenteils leicht überschätzt wird. Ein durchschnittlicher Vergrößerungsfaktor von 1,3 ist daher ein sicherer Wert für die Vermessung orthograde Aufnahmen in vertikaler Dimension.

Horizontal. Die Beobachtung von *Tronje et al.* [35], *Zach et al.* [37] sowie von *Sjöblom und Welander* [22], daß der horizontale Vergrößerungsfaktor im anterioren Kieferbereich am größten ist, kann auch durch die eigenen Ergebnisse untermauert werden. Da bei der Implantation in Anlehnung an die klinischen Möglichkeiten Rücksicht auf die Ausdehnung des Sinus maxillaris und das vorhandene Knochenangebot genommen wurde, kann der Anstieg des horizontalen

Vergrößerungsfaktors in den Regionen 18 und 28 auf die extrem schräge Lage der Implantate innerhalb des Tuber maxillae zurückgeführt werden. Im gesamten Oberkiefer ist die horizontale Vergrößerung an der apikalen Implantatstufe größer als an der koronalen. In der Unterkieferfront ist diese meist größer, im Seitenzahnbereich dagegen kleiner oder gleich wie die Vergrößerung an der koronalen Stufe. Die unterschiedliche horizontale Vergrößerung an diesen beiden Stufen hängt damit zusammen, daß aufgrund der oro-vestibulären Neigung der Implantate in Abhängigkeit vom Alveolarkammverlauf die apikale Stufe im Oberkiefer filmferner, im Unterkiefer dagegen filmnäher im Gegensatz zur koronalen zu liegen kommt und sie somit vergrößert abgebildet wird. Dieser Sachverhalt wurde bereits von *Setz et al.* [21] in einer klinischen Studie an IMZ Implantaten aufgezeigt und von *Tronje et al.* [35] mathematisch dargelegt. Eine zusätzliche Erklärung dafür liefert sicherlich auch die von *Hayakawa et al.* [9] durchgeführte Studie, in der aufgezeigt wird, daß filmferner gelegene Objekte stärker verzerrt dargestellt werden als filmnäher gelegene.

Vergleicht man die regionenabhängigen horizontalen Vergrößerungsfaktoren an beiden Implantatstufen mit den korrespondierenden vertikalen, so fällt eine größere Schwankungsbreite der Werte auf. Gleichzeitig wird deutlich, daß bereits bei orthograder Einstellung die Implantate verzerrt auf der Panoramaschichtaufnahme dargestellt werden. Die horizontalen Faktoren in den Regionen des Seitenzahnbereichs mit Ausnahme des tuber maxillae fallen gegenüber den Werten im Frontzahngebiet und im Weisheitszahnbereich deutlich ab. Beim Vergleich der korrespondierenden Regionen der Ober- und Unterkieferquadranten, deren Vergrößerungsfaktoren nicht genau übereinstimmen, muß immer bedacht werden, daß der Alveolarfortsatz nicht absolut symmetrisch geformt ist, daß er durch Resorption verschieden stark verändert werden kann und daß wie von *McDavid et al.* [16] gezeigt, eine technisch oder systembedingte asymmetrische Vergrößerung des rechten oder linken Kieferabschnitts erfolgen kann.

Ein Vergleich mit ähnlichen Studien von *Szabo et al.* [29] oder *Setz et al.* [21], die versuchten, den röntgentechnisch bedingten Vergrößerungsfaktor im Rahmen der präimplantologischen Diagnostik bei ihrer Bildbewertung zu berücksichtigen, erscheint schwierig, obwohl in der vertikalen Dimension hohe Übereinstimmungen zu den eigenen Ergebnissen vorhanden sind. In beiden Studien fehlen Angaben über Länge und Durchmesser der vermessenen Implantate. Beide Parameter haben jedoch, wie von *Hayakawa et al.* [9] gezeigt, vor allem auf die horizontale Vergrößerung einen großen Einfluß. Außerdem muß davon ausgegangen werden, daß die mittleren Vergrößerungsfaktoren durch Patientenfehlpositionierung beeinflusst wurden, da in beiden Studien Panoramaschichtaufnahmen aus dem klinischen Routinebetrieb verwendet wurden.

Der in dieser Arbeit der Patientenpositionierung eingeräumte hohe Stellenwert, den diese als wichtiger Parameter zur Herstellung einer optimalen Panoramaschichtaufnahme einnimmt, wird in den Untersuchungen vieler Autoren wie *Tronje et al.* [35], *McDavid et al.* [15], *Treasure et al.* [32], *Schopf* [19], aber auch *Szabo et al.* [29] und *Setz et al.* [21] betont. Ein Vergleich mit Studien, wie sie zur Quantifizierung des Vergrößerungsfaktors von *Thanyakarn et al.* [30], *Larheim et al.* [14], *Selle und Schneuzer* [20] und *Schopf* [19] durchgeführt wurden, erscheint

problematisch, da Faktoren wie Wurzelkrümmung, Achsneigung, Zahnstellung, Zahngröße sowie wiederum die korrekte Patientenpositionierung Einfluß auf den Vergrößerungsfaktor nehmen.

Bedeutung der Ergebnisse für die präimplantologische Diagnostik

Festzuhalten bleibt, daß die Panoramaschichtaufnahme sehr gut für die präimplantologische Diagnostik vor allem in der vertikalen Dimension geeignet ist. Für die Klarsichtschablonen zur Implantationsplanung wird eine Vergrößerung von 1,3 in der Vertikalen und 1,35 in der Horizontalen vorgeschlagen.

Bedeutung der Ergebnisse für implantologische Verlaufskontrollen

Panoramaschichtaufnahmen werden bei implantologisch behandelten Patienten meistens direkt postoperativ, nach der prothetischen Versorgung und danach anfangs meist in einjährigen Abständen angefertigt, so daß ganze Meßserien von ein und demselben Patienten zum Vergleich vorliegen. Da der periimplantäre Knochenverlust ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung und für die Einschätzung des Erfolgs darstellt [1,10,23], kann es notwendig werden, diesen aus den Röntgenbildern zu berechnen und gegebenenfalls zu therapieren.

Ein Maß für das Voranschreiten einer Periimplantitis ist die stetig abnehmende Knochenhöhe in vertikaler Richtung. Diese läßt sich im Approximalraum der Implantate röntgenologisch am besten darstellen. Die reproduzierbare Einschätzung dieser periimplantären Transluzenzen setzt eindeutige und für jedes Implantatsystem spezifische Meßvorschriften voraus. Solche Meßvorschriften wurden bereits für verschiedene Implantatsysteme definiert [7].

Da der periimplantäre Knochendefekt direkt am Implantat lokalisiert ist und den gleichen Vergrößerungs- und Verzerrungseffekten ausgesetzt wird, kann der regionenabhängige Vergrößerungsfaktor am Implantat auf die periimplantäre Transluzenz übertragen werden. Damit sind Panoramaschichtaufnahme sehr gut zur Verlaufs- und Erfolgskontrolle geeignet.

Literaturverzeichnis

1. Akesson, L., Hakansson, J., Rohlin, M.: Comparison of panoramic and intraoral radiography and pocket probing for the measurement of the marginal bone level. J Clin Periodontol 19, 326 (1992).
2. Bender, I.: Factors influencing the radiographic appearance of bony lesions. J Endod 8, 161 (1982).
3. Cavalli-Sforza, L.: Biometrie - Grundzüge biologisch-medizinischer Statistik. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 1972.

4. Fredholm, U., Bolin, A., Andersson, L.: Preimplant radiographic assessment of available maxillary bone support. Comparison of tomographic and panoramic technique. *Swed Dent J* 17, 103 (1993).
5. Fröhlich, E.: Grenzen und Täuschungen bei der röntgenologischen Darstellung marginaler Zahnbetterkrankungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1, 225 (1956).
6. Gibbs, S.J., Pujol, A., McDavid, W.D., Welander, U., Tronje, G.: Patient risk from rotational panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 17, 25 (1988).
7. Gómez-Román, G., Axmann, D., Hoedt, B., Schulte, W.: Eine Methode zur quantitativen Erfassung und statistischen Auswertung des periimplantären Knochenabbaues. *Z Stomatol* 92, 463 (1995).
8. Gómez-Román, G., d'Hoedt, B., Axmann-Krcmar, D., Schulte, W.: Visual-metric measurement of peri implant bone defects on radiographs; A study of reproducibility. *Z Zahnärztl Implantol Im Druck*, (1996).
9. Hayakawa, Y., Wakoh, M., Fujimori, H., Ohta, Y., Kuroyanagi, K.: Morphometric analysis of image distortion with rotational panoramic radiography. *Bull Tokyo Dent Coll* 34, 51 (1993).
10. Jahn, M., d'Hoedt, B.: Zur Definition des Erfolges bei dentalen Implantaten. Ein Vergleich verschiedener Kriterien. *Z Zahnärztl Implantol* 8, 221 (1992).
11. Jansen, V.K., Richter, E.-J., Spiekermann, H.: Zur Genauigkeit des Orthopantomogramms bei der Bestimmung des Knochenabbaus an IMZ Implantaten. *Z Zahnärztl Implantol* 9, 200 (1993).
12. Larheim, T.A., Eggen, S.: Measurements of alveolar bone height at tooth and implant abutments on intraoral radiographs. A comparison of reproducibility of Eggen technique utilized with and without a bite impression. *J Clin Periodontol* 9, 184 (1982).
13. Larheim, T.A., Svanaes, D.B., Johannessen, S.: Reproducibility of radiographs with the orthopantomograph 5: tooth-length assessment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 58, 736 (1984).
14. Larheim, T.A., Wie, H., Tveito, L., Eggen, S.: Method for radiographic assessment of alveolar bone level at endosseous implants and abutment teeth. *Scand J Dent Res* 87, 146 (1979).
15. McDavid, W.D., Brent Dove, S., Welander, U., Tronje, G.: Dimensional reproduction in direct digital rotational panoramic radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 75, 523 (1993).

16. McDavid, W.D., Tronje, G., Welander, U., Morris, C.R.: Effect of errors in film speed and beam alignment on the image layer in rotational panoramic radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 52, 561 (1981).
17. Rahn, R., Kreile, E., Gharemani, M.: Die Häufigkeit von Zufallsbefunden auf Panorama-Schichtaufnahmen. *Zahnärztl Mitt* 5, 434 (1991).
18. Sämfors, K.A., Welander, U.: Angle distortion in narrow beam rotation radiography. *Acta radiol Diagn* 15, 570 (1974).
19. Schopf, P.: Längen und Winkelmessungen am Orthopantomogramm. *Fortschr Kieferorthop* 27, 107 (1966).
20. Selle, G., Schneuzer, B.: Interpretation des Orthopantomogrammes-metrische und qualitative Untersuchungen. *Schweiz Mschr Zahnmed* 82, 1153 (1972).
21. Setz, J., Krämer, A., Lin, W.: Vermessen von Orthopantomogrammen in der präimplantären Diagnostik. *Z Zahnärztl Implantol* 5, 64 (1989).
22. Sjöblom, A., Welander, U.: Position, form and thickness of the image layer in narrow beam rotation radiography. *Acta radiol Diagn* 19, 697 (1978).
23. Smith, D., Zarb, G.: Criteria for success of osseointegrated edosseous implants. *J Prosthet Dent* 62, 567 (1989).
24. Spiekermann, H., Donath, K., Jovanovic, S., Richer, J.: *Implantologie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1994.
25. Stenström, B., Julin, P., Karlsson, L.: Comparison between panoramic radiographic techniques. *Dentomaxillofac Radiol* 16, 11 (1987).
26. Strid, K.: *Radiographic Results*. Branemark, P.-I., Zarb, G.A., Albrektsson, T.: *Tissue-integrated prostheses: Osseointegration in clinical dentistry*, Quintessence Publishing Co. Chicago, London, Berlin, Rio de Janeiro, 1985, Ed. 16132th, p. 187-198.
27. Strid, K.: *Radiographic Procedures*. Branemark, P. I., Zarb, G. A., Albrektsson, T.: *Tissue integrated prostheses. Osseointegration in clinical dentistry*. Quintessence Publishing Co. Chicago, London, Berlin, Rio de Janeiro, 1985, Ed. 16132th, p. 317-327.
28. Student : The probable error of a mean. *Biometrika* 6, 1 (1908).
29. Szabo, G., Keck, B., d'Hoedt, B.: Präimplantologische Diagnostik mit individuellen Röntgenschablonen im Orthopantomogramm. *Z Zahnärztl Implantol* VII, 33 (1991).
30. Thanyakarn, C., Hansen, K., Rohlin, M., Akesson, L.: Measurements of tooth length in panoramic radiographs. 1. The use of indicators. *Dentomaxillofac Radiol* 21, 26 (1992).
31. Theilade, J.: An evaluation of the reliability of radiographs in the measurement of bone loss in periodontal disease. *J Periodontol* 31, 143 (1960).

32. Treasure, P., Chandler, N.P., Wilson, C.G.: Image shift of intracoronar pins viewed on bite-wing and panoramic radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 77, 80 (1994).
33. Tronje, G.: Image distortion in rotational panoramic radiography: V. Object morphology; inner structures. *Acta radiologica Diagnosis* 23, 59 (1982).
34. Tronje, G., Eliasson, S., Julin, P., Welander, U.: Image distortion in rotational panoramic radiography. II. Vertical distances. *Acta Radiol Diagn Stockh* 22, 449 (1981).
35. Tronje, G., Welander, U., McDavid, W.D., Morris, C.R.: Image distortion in rotational panoramic radiography: I. General considerations. *Acta radiol Diagn* 22, 295 (1981).
36. Yosue, T., Brooks, S.L.: The appearance of mental foramina on panoramic and periapical radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 68 Number 4, Part 1, 488 (1989).
37. Zach, G.A., Langland, O.E., Sippy, F.H.: The use of the Orthopantomograph in Longitudinal Studies. *Angle Orthod* 39, No.1, 42 (1969).

Korrespondenzanschrift:

Priv.-Doz. Dr Germán Gómez Román Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Propädeutik (Implantologie und Defektprothetik), Universitätsklinikum, Osianderstraße 2-8, D-72076 Tübingen. Fax: 07071-293 982; e-mail: gngomez@med.uni-tuebingen.de

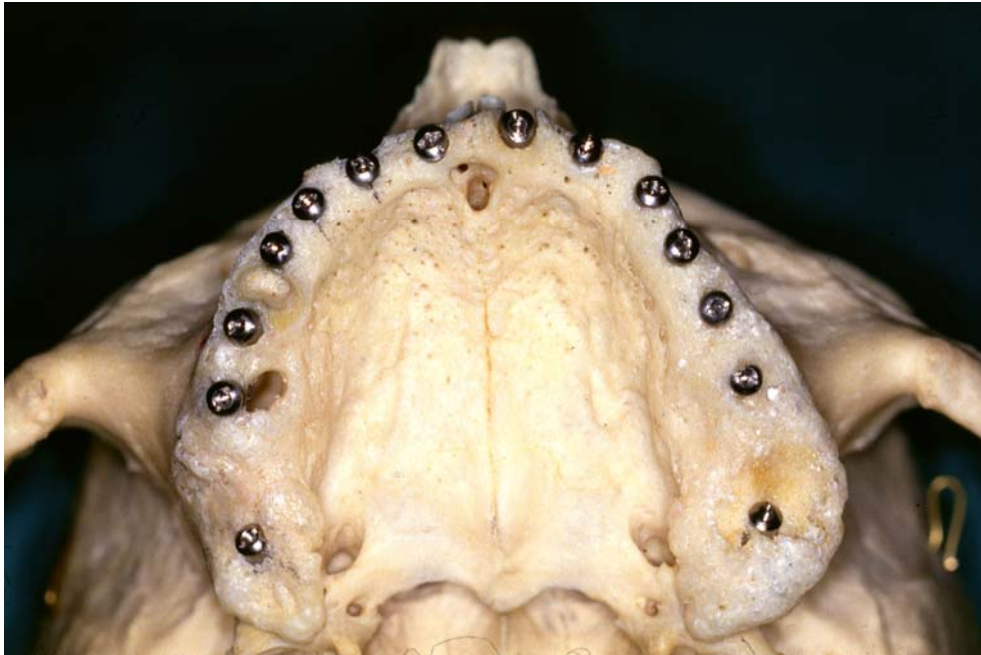


Abb. 1 Die eingebrachten Implantate im Oberkiefer (oben) und im Unterkiefer (unten).

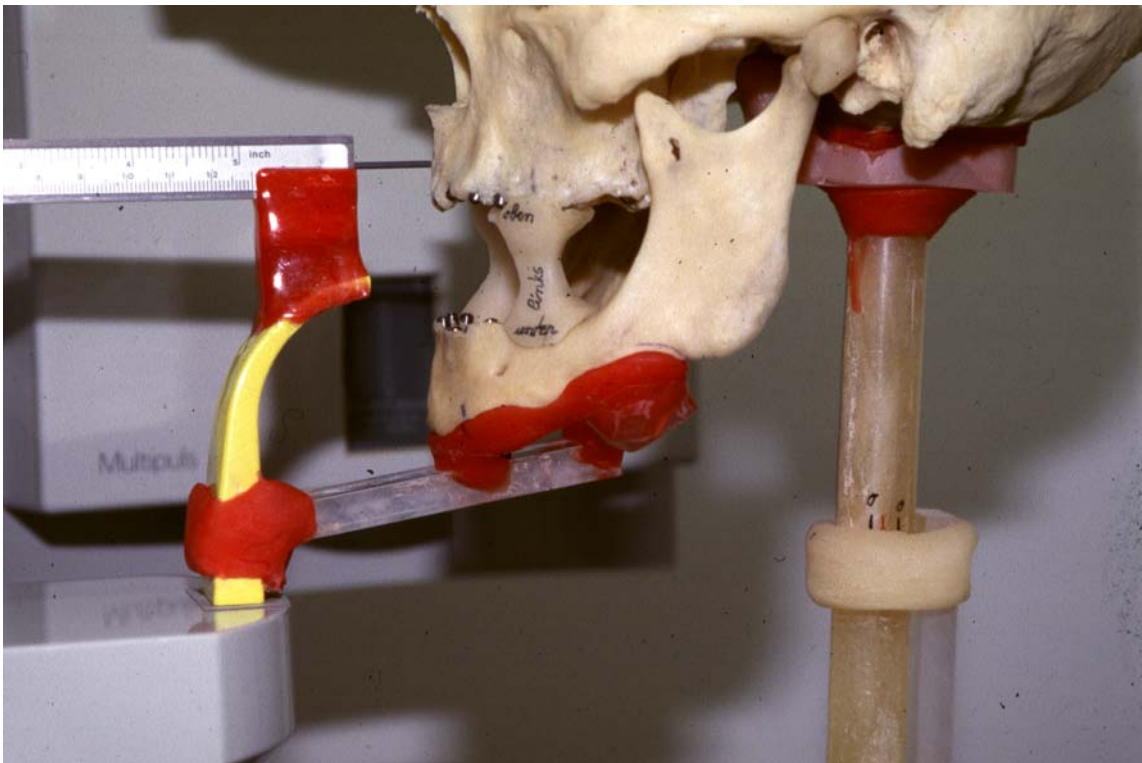


Abb. 2 fotografische Darstellung der Schädelpositionierung am Röntgengerät.

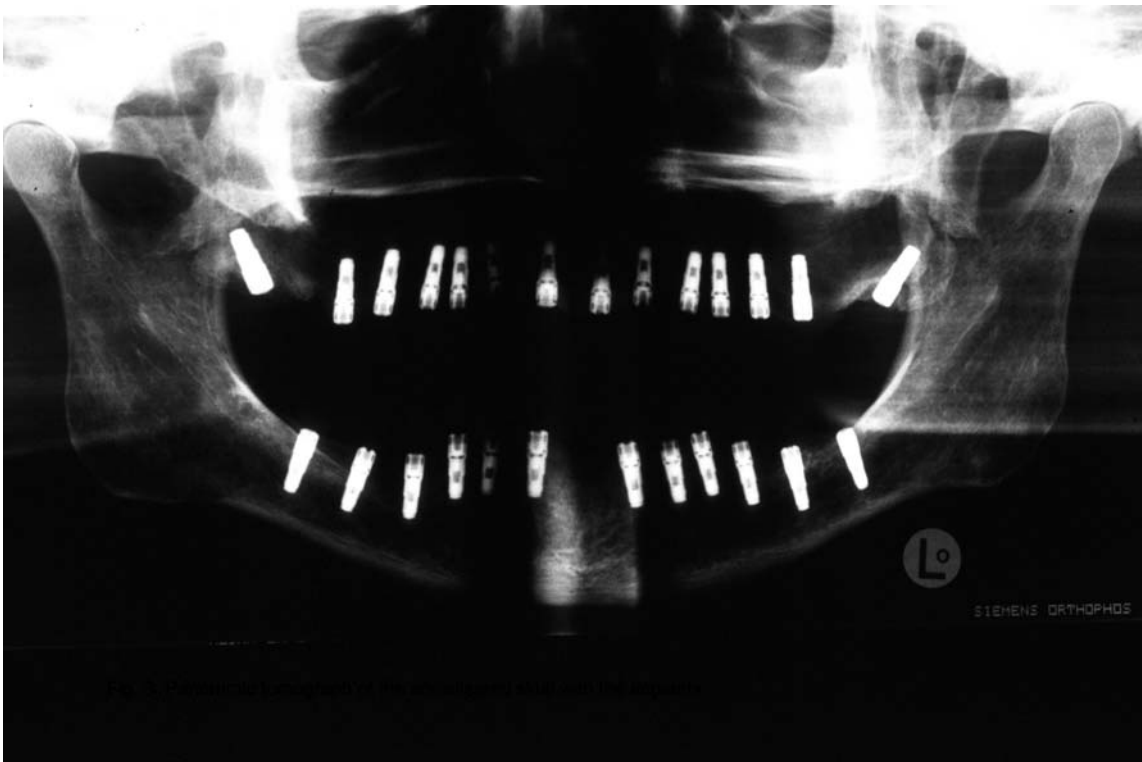


Abb. 3 Panoramaschichtaufnahme des mazerierten Schädels mit den Implantaten.

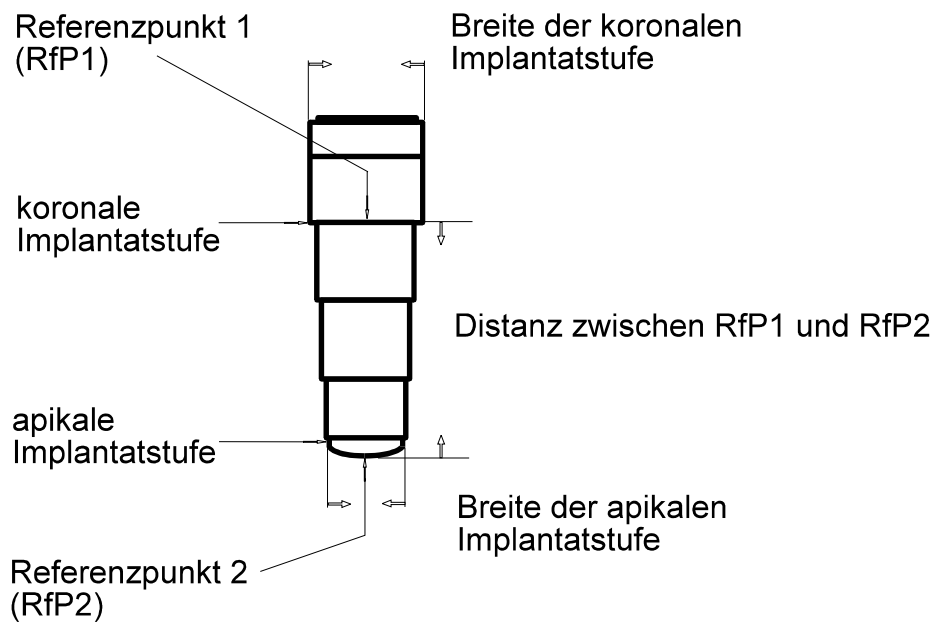


Abb. 4 Meßvorschrift für das Frialit[®]-2 Stufenzylinder-Implantat

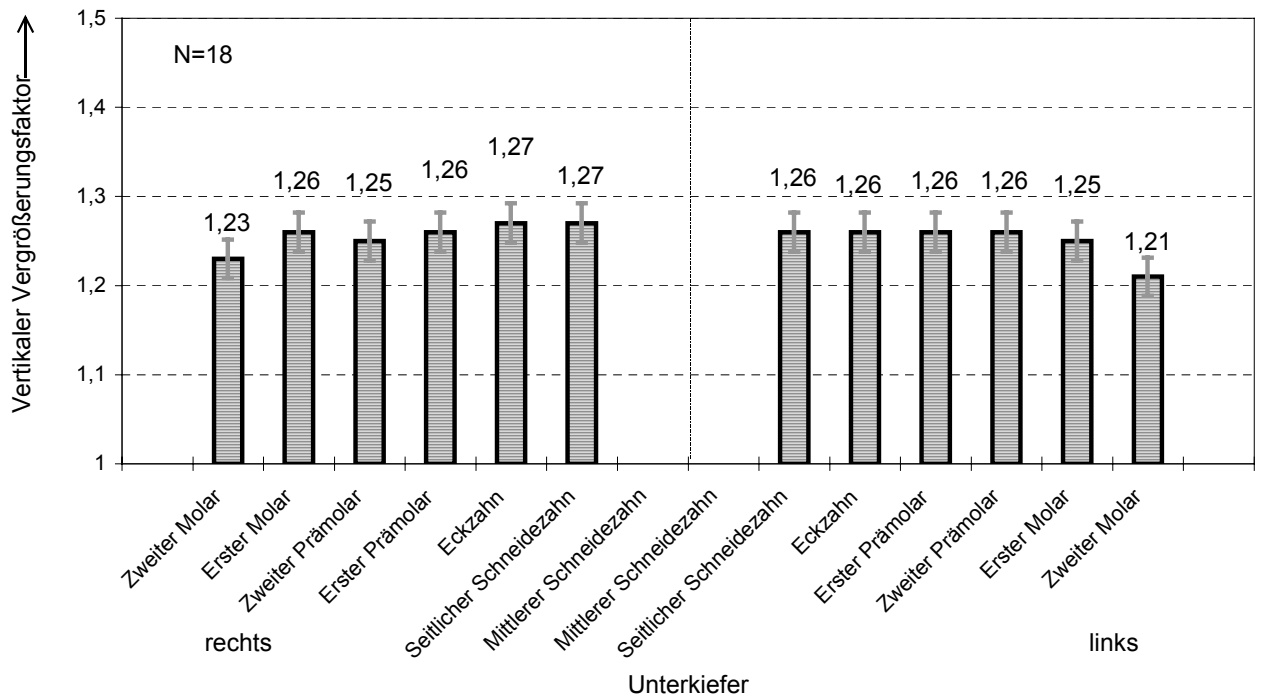
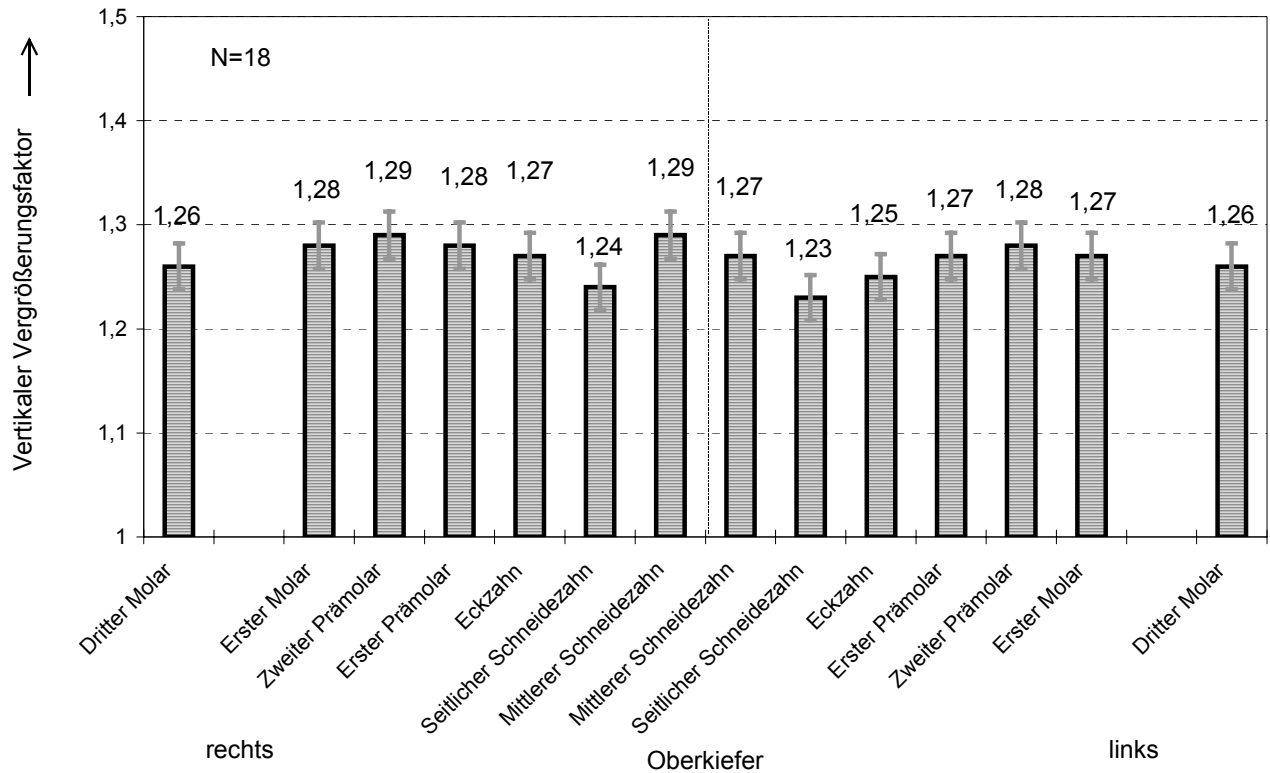


Abb. 5 Mittlere vertikale Vergrößerung bei orthograder Einstellung. Die senkrechten Linien sind die Spannweiten von 3,5%.

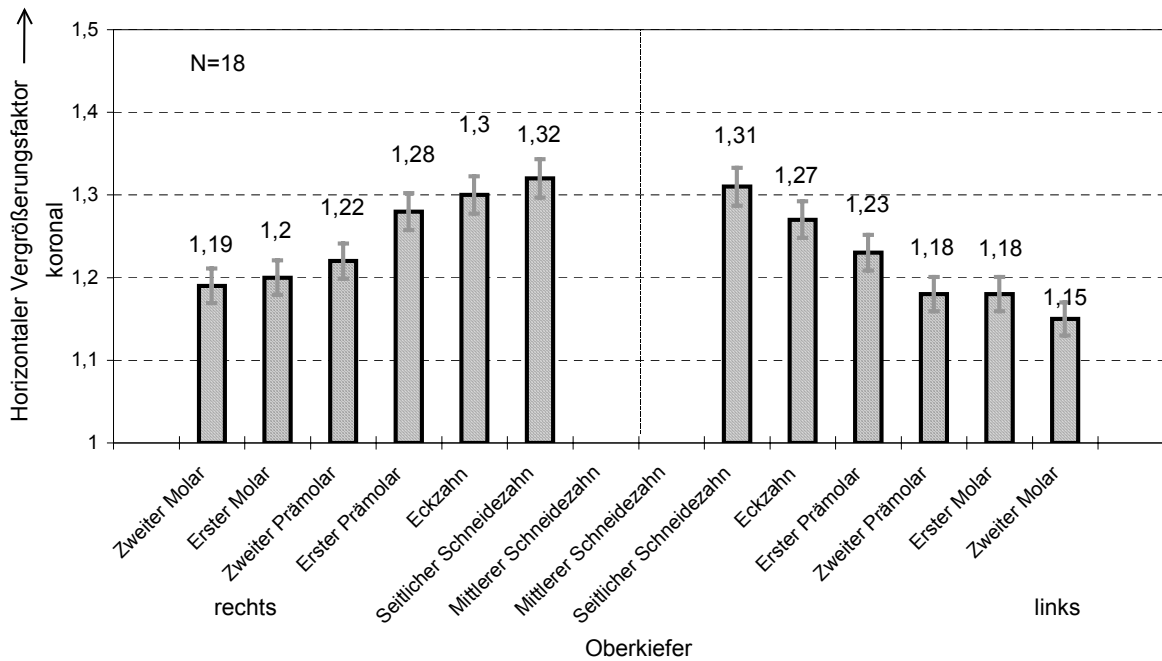
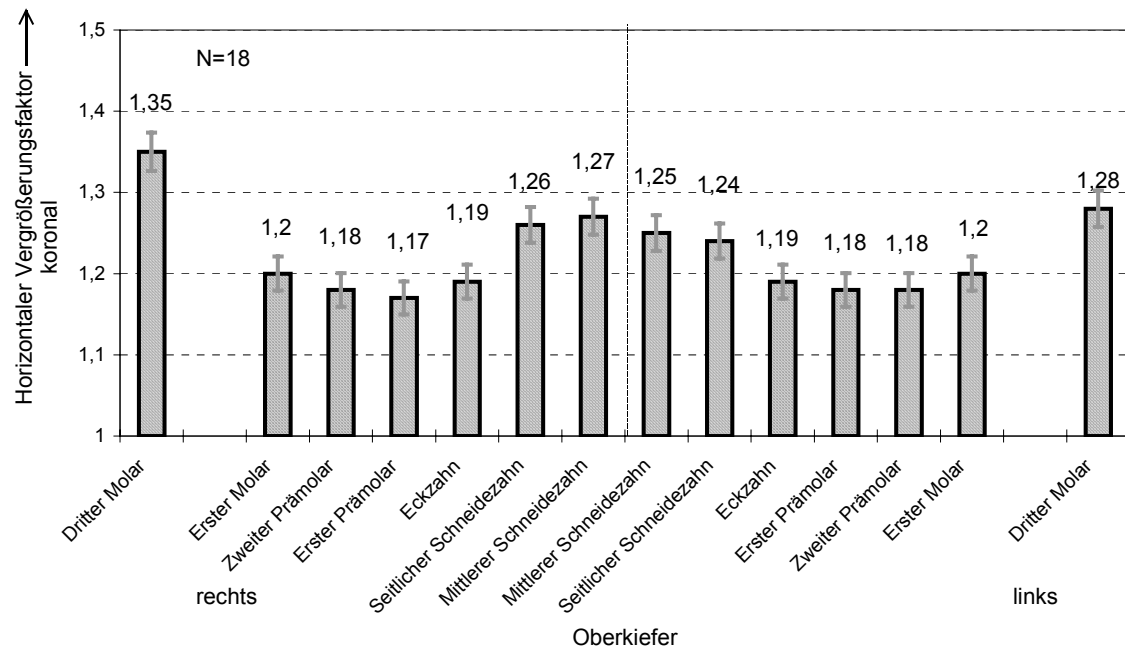


Abb. 6 Mittlere horizontale Vergrößerung an der koronalen Implantatstufe. Die senkrechten Linien sind die Spannweiten von 5%.

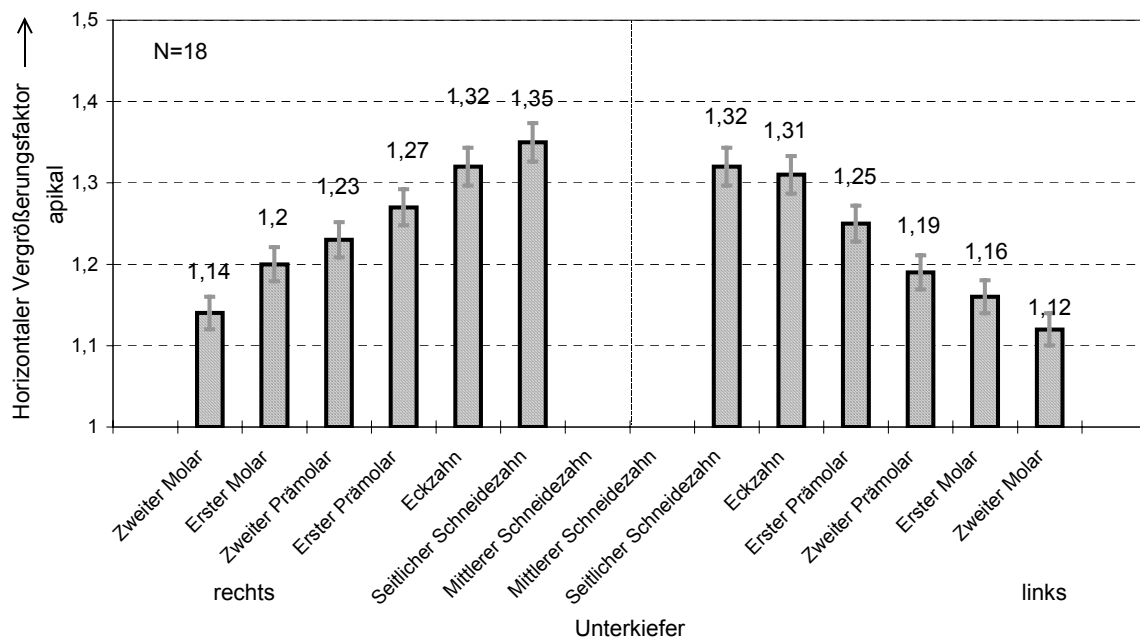
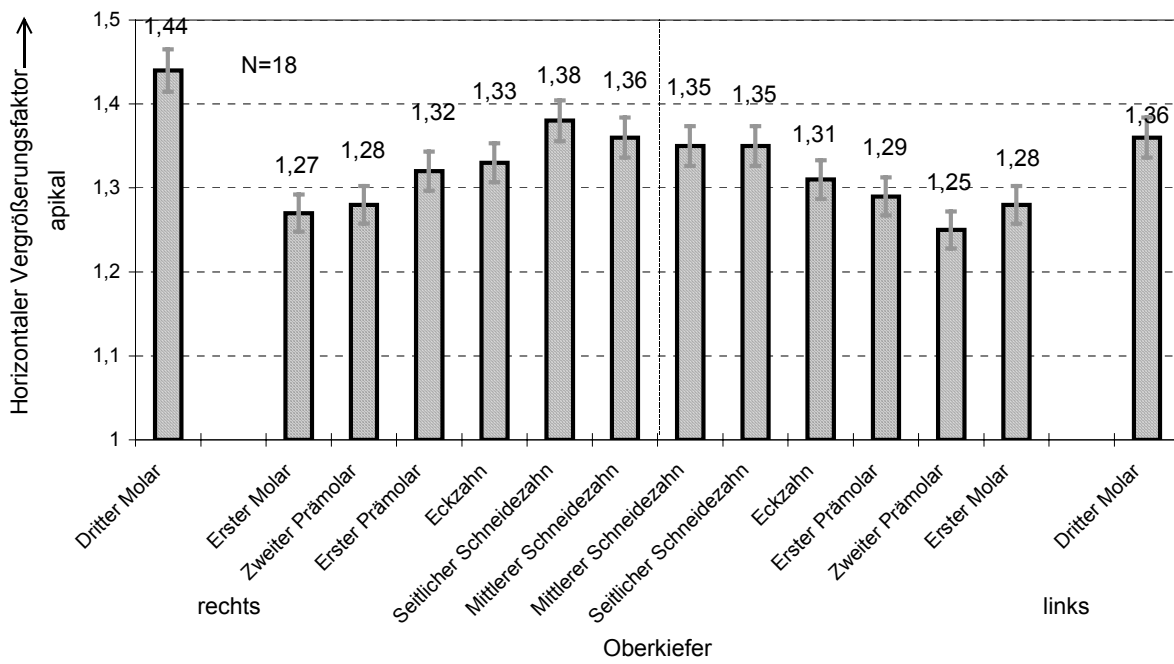


Abb. 7 Mittlere horizontale Vergrößerung an der apikalen Implantatstufe. Die senkrechten Linien sind die Spannweiten von 9%.