

# **UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF**

Kopf- und Neurozentrum  
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie  
(Nordwestdeutsche Kieferklinik)

Klinikdirektor: Prof. Dr. med. Dr. dent. Rainer Schmelzle

## **Evaluation der Korrelation zwischen der Kortikalishöhe und der Kortikalisverlaufsform in Panoramaschichtaufnahmen und der Existenz einer Osteoporose**

### **Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin  
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Dr. med. Ahmed Al-Dam  
aus Taif, Saudi-Arabien

Hamburg 2010

**Angenommen von der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 16.11.2010**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

**Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Dr. M. Heiland**

**Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. C. Habermann**

**Prüfungsausschuss, dritte/r Gutachter/in: Prof. Dr. M. Amling**

**FOR MY  
CARING FATHER,  
SELFLESS MOTHER  
AND MY LOVING WIFE**

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 Osteoporose</b> .....	<b>6</b>
1.1.1 Definition und Epidemiologie.....	6
1.1.2 Diagnostik.....	9
1.1.3 Therapie.....	12
1.1.4 Osteoporose und Gesichtsschädelknochen.....	13
<b>1.2 Panoramaschichtaufnahme</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3 Studiendesign und -zielsetzung</b> .....	<b>18</b>
<b>2. Patienten, Material und Methodik</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 Patienten</b> .....	<b>20</b>
2.1.1 Untersuchungsgruppe.....	20
2.1.2 Kontrollgruppe.....	22
<b>2.2 Material</b> .....	<b>24</b>
2.2.1 Panoramaschichtaufnahmen.....	24
2.2.2 Messinstrumentarium.....	24
2.2.3 Betrachtungseinrichtung.....	25
<b>2.3 Methodik</b> .....	<b>27</b>
2.3.1 Parameter.....	27
2.3.2 Knochendichtemessung.....	30
2.3.3 Statistik.....	35
<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1 Ergebnisse der Untersuchungsgruppe</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2 Ergebnisse der Kontrollgruppe</b> .....	<b>39</b>
<b>3.3 Aussagekraft der Kortikalisverlaufsform (Klemetti-Index)</b> .....	<b>41</b>
<b>3.4 Aussagekraft der Kortikalishöhe (mandibular cortical width, MCW)</b> .....	<b>46</b>
<b>3.5 Vergleichende Beurteilung der Parameter</b> .....	<b>50</b>

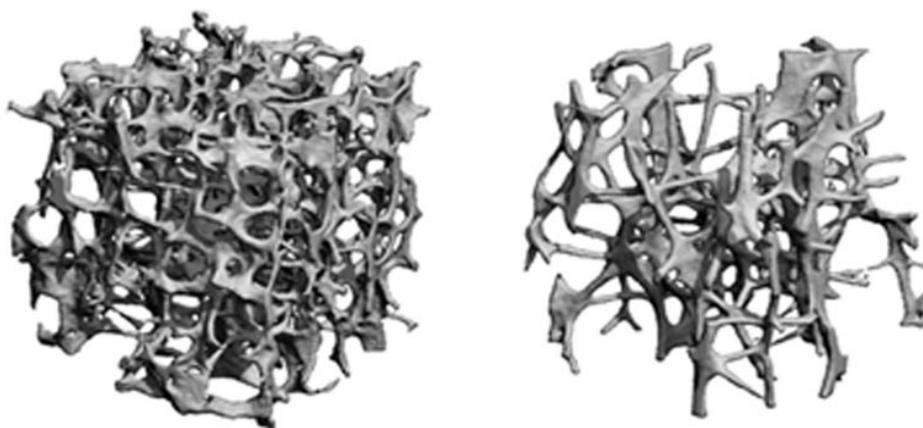
3.6 Übereinstimmung der Einschätzungen.....	52
4. Diskussion.....	54
4.1 Diskussion der Zielsetzung und des Studienaufbaus.....	54
4.2 Diskussion der Ergebnisse.....	60
5. Zusammenfassung.....	72
6. Abkürzungsverzeichnis.....	75
7. Literaturverzeichnis.....	77
8. Danksagung.....	85
9. Lebenslauf.....	86
10. Eidesstattliche Erklärung .....	87

# 1. Einleitung

## 1.1 Osteoporose

### 1.1.1 Definition und Epidemiologie

Für die Osteoporose ist derzeit die Definition des „National Institute of Health Consensus Development Panel on Osteoporosis“ maßgeblich, die das Frakturrisiko in den Mittelpunkt stellt. Osteoporose wird demnach als eine Skeletterkrankung definiert, die durch eine unzureichende Knochenfestigkeit charakterisiert ist, welche zu einem erhöhten Frakturrisiko prädisponiert. Die Knochenfestigkeit spiegelt dabei primär das Zusammenwirken von Knochendichte und Knochenqualität wieder. Die Osteoporose wird durch eine niedrige Knochenmasse und eine Verschlechterung der Mikroarchitektur des Knochengewebes charakterisiert ([Abb. 1](#)). Daraus folgt eine gesteigerte Knochenbrüchigkeit (*NIH Consensus 2000*). Liegt eine Osteoporose vor und sind bereits eine oder mehrere Frakturen als Folge der Osteoporose aufgetreten, spricht man von einer manifesten Osteoporose (*Pfeilschifter 2006*).



*Abbildung 1: Mikro-computertomografische Aufnahme eines Wirbelkörpers einer gesunden Person (links) und einer an Osteoporose erkrankten Person (rechts). Zu beobachten hierbei ist die verminderte Knochenmasse, die dünneren Trabekel und der Verlust an Verbindungen zwischen den Trabekeln (White 2002) mit freundlicher Genehmigung*

Eine Osteoporose liegt nach einer Definition der WHO aus dem Jahr 1994 dann vor, wenn der Knochenmineralgehalt in einer DXA-Knochendichtemessung (DXA, dual energy X-ray absorptiometry = Zwei-Energien-Photonenabsorptiometrie) an der Lendenwirbelsäule und am proximalen Femur (Gesamtareal oder Schenkelhals) 2,5 Standardabweichungen oder mehr unter dem Mittelwert einer 30-jährigen Frau liegt. Die in Standardabweichungen angegebene Abweichung der Knochendichte von der einer 30-jährigen Frau wird als T-Wert bezeichnet (*Pfeilschifter 2006*).

Die Osteoporoseformen werden nach der Genese oder Lokalisation wie folgt eingeteilt:

Nach der Genese:

- Primäre Osteoporose: idiopatisch, postmenopausal ohne begleitende, den Knochenstoffwechsel beeinflussende krankheitsspezifische oder medikamentöse Faktoren (*Schnack 1996*).
- Sekundäre Osteoporose: Sekundär als Folge von Krankheit oder medikamentösen Einflüssen (*Reisky 1997*). Dies ist z.B. der Fall bei Hypogonadismus, Hypercortisolismus, Hyperparathyreodismus, Langzeitbehandlung mit Glukokortikoiden oder bei einer schweren chronischen Niereninsuffizienz.

Nach der Lokalisation:

- Lokalisierte Form der Osteoporose: Substanzverlust der Knochen in eng umgrenztem Gebiet z.B. bei mangelnder Belastung
- Generalisierte Form: Minderung der Knochendichte im gesamten Skelett (*Freiwald et al. 1995*).

Die erniedrigte Knochendichte (T-Wert  $< -2,5$ ) und somit die Diagnose einer Osteoporose gemäß der WHO-Definition liegt bei postmenopausalen Frauen bei etwa 7% im Alter von 55 Jahren und steigt auf 19 % im Alter von 80 Jahren an. Für Männer liegen für den deutschen Sprachraum keine ausreichenden Angaben vor (*Pfeilschifter 2006*). Frauen im Alter zwischen 50 und 79 Jahren erleiden zu 1 % eine morphometrisch nachweisbare Wirbelkörper- und zu 1,9 %

eine periphere Fraktur pro Jahr. Bei Männern liegt die Inzidenz bei 0,6 und 0,7 % (*Baum und Peters 2008*).

Die Frakturrate steigt mit dem Alter exponentiell an. Eine Fraktur ist dann osteoporoseverdächtig, wenn sie bei einem Sturz aus dem Stand oder geringer Höhe entstanden ist. Hierbei ist die Wirbelkörperfraktur die häufigste osteoporosebedingte, die proximale Femurfraktur die folgenschwerste Frakturform (*Peters 2007*). Auch ältere Patienten mit peripheren Frakturen infolge eines adäquaten Traumas haben im Durchschnitt eine erniedrigte Knochendichte (*Mackey et al. 2007*). Nach Auftreten einer osteoporosebedingten Wirbelkörperfraktur erhöht sich das Risiko für eine weitere Wirbelkörperfraktur um das fünffache im Vergleich zu den „gesunden“ Kontrollpersonen, und mit jeder weiteren Fraktur nimmt dieses Risiko weiter zu (*Ross et al. 1991, Dreinhöfer und Käfer 2004*).

Patienten mit osteoporotischen Frakturen haben eine erhöhte Sterblichkeit, insbesondere im ersten Jahr nach dem Frakturereignis, und ein hohes Risiko für weitere Frakturen (*Baum und Peters 2008*). Eine Untersuchung der Ärztekammer Westfalen-Lippe im Rahmens des Qualitätssicherungsprogramms zeigte in den Jahren 1993-1997 eine etwa 6-prozentige perioperative Kliniksterblichkeit nach Hüftfraktur. Im amerikanischen und englischen Raum beträgt die 1-Jahres-Mortalitätsrate nach einem solchen Ereignis zwischen 10 und 24 % (*Fisher et al. 1991, Cauley et al. 2000, Dreinhöfer und Käfer 2004*).

In einer weiteren Hinsicht stellt die Osteoporose eine sozioökonomische Problematik dar. Von der UNO und der WHO wurde die Osteoporose unter die 10 ökonomisch bedeutsamsten Volkskrankheiten des 21. Jahrhunderts eingestuft. Die geschätzten Gesamtkosten zur Behandlung der Osteoporose und deren Folgen in Deutschland beliefen sich im Jahr 2002 auf über 2,2 Milliarden Euro (*Pfeilschifter 2006*). In Großbritannien belaufen sich die Kosten für das NHS (National Health System), die durch Osteoporose verursacht werden auf 1,7 Milliarden Pfund. Laut der International Osteoporosis Foundation (IOF 2010) gab es 2003 in Europa 643.000 Hüftfrakturen, die direkte Kosten in der Höhe von 14,7 Milliarden Euro verursachten.

## 1.1.2 Diagnostik

In der Leitlinie des Dachverbands der Deutschsprachigen Osteologischen Fachgesellschaften (DVO-Leitlinie) wird empfohlen, die Osteoporose-Basisdiagnostik bei Personen durchzuführen, bei denen anhand ihres klinischen Risikoprofils eine hohe Frakturrate zu erwarten ist. Als Schwelle zum Start einer solchen Diagnostik definiert die Leitlinie eine Wahrscheinlichkeit von mindestens 20 %, in den nächsten zehn Jahren eine Wirbelkörper- und/oder proximale Femurfraktur zu erleiden (*Pfeilschifter 2006*).

Das Risikoprofil setzt sich aus anamnestischen Angaben und klinischen Befunden zusammen. Daraus ergibt sich die Empfehlung für eine spezifische Diagnostik der Osteoporose. Zu den Angaben und Befunden gehören: Geschlecht, Lebensalter, anamnestische Wirbelkörperfrakturen, periphere Frakturen, Anamnese einer proximalen Femurfraktur bei Vater oder Mutter, Multiple Stürze, Nikotinkonsum, Immobilität und Untergewicht (*Pfeilschifter 2006*).

Zur Vereinfachung der Umsetzung hat der DVO eine elektronische und in Papierform ausgedruckte „Kitteltaschenversion“ der Leitlinie erstellt. In dieser Leitlinie ist eine tabellarische Zusammenfassung der Empfehlung zur Basisdiagnostik in Abhängigkeit von der Anamnese und den erhobenen Befunden beinhaltet (Tab. 1).

*Tabelle 1: Empfehlung zur Basisdiagnostik des DVO, wobei die Angaben (A) bis (D) die Evidenzgrade wiedergeben*

Frau	Mann	Bei Vorliegen eines oder mehrerer der folgenden Befunde (sofern Risiko nicht behebbar):
50-60 Jahre	60-70 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eine oder mehrere Wirbelkörperfraktur(en) (A)</li> <li>• eine oder mehrere periphere Fraktur(en) als Einzelfallentscheidung (C)</li> </ul>
60-70 Jahre	70-80 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eine oder mehrere Wirbelkörperfraktur(en) (A)</li> <li>• eine oder mehrere periphere Fraktur(en) (A)</li> <li>• Schenkelhalsfraktur eines Elternteils (B)</li> <li>• Untergewicht (BMI &lt; 20) (A)</li> <li>• Nikotinkonsum (A)</li> <li>• multiple Stürze (A)</li> <li>• Immobilität (A-B)</li> </ul>
>70 Jahre	>80 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle, falls daraus therapeutische Konsequenzen gezogen werden sollen/können (A)</li> </ul>

Die Evidenzgrade sind ein Produkt der Evidenzevaluation des wissenschaftlichen Datenmaterials. Die in der obigen Tabelle vom DVO verwendeten Evidenzgrade basierten auf die Oxford-Kriterien des „Centre for Evidence-Based Medicine“ (*Phillips et al. 2001*). Der Evidenzgrad A hat die höchste Evidenz und Evidenzgrad D die niedrigste (Tab. 2).

*Tabelle 2: Empfehlungs- und "Evidenz"grade für AWMF-Leitlinien (nach Centre of Evidence Based Medicine Oxford)*

Empfehlungsgrad	"Evidenz" durch
<b>A</b>	Systematisches Review von randomisierten kontrollierten Studien bzw. Gut geplante randomisierte klinische Studien oder „Alle-oder-Keiner-Prinzip“
<b>B</b>	Systematisches Review gut geplanter Kohortenstudien, gut geplante Kohortenstudie, randomisierte kontrollierte Studie mit mäßigem Follow Up, "Outcome-research"-Studie, systematisches Review von Fall-Kontroll-Studien oder Fall-Kontroll-Studien
<b>C</b>	Fallserien, einschließlich schlechter Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien
<b>D</b>	Meinungen ohne explizite kritische Bewertung, physiologische Modelle etc.

Bei gestellter Indikation zur Basisdiagnostik wird eine spezifische Anamnese und ein spezifischer Befund erhoben. Zum Umfang der Anamnese gehört die Erfassung aktueller Beschwerden (z.B. Rückenschmerzen und Funktionsbeeinträchtigungen), Einnahme osteoporose- oder sturzfördernder Medikamente und Erfassung des individuellen Sturzrisikos. Zu den Befunden gehört die Messung von Größe und Gewicht zur Bestimmung des „body mass index“ (BMI) und die radiologische Erfassung von Wirbelkörperfrakturen bei entsprechenden klinischen Hinweisen (*Baum und Peters 2008*).

Neben der Durchführung spezieller labormedizinischer Blutuntersuchungen (Blutbild, BSG/CRP, Kalzium, Phosphat, Kreatinin, AP,  $\gamma$ -GT, TSH, Eiweiß-Elektrophorese) zur spezifischen Diagnostik der Osteoporose ist die Durchführung einer Knochendichtemessung erforderlich. Dieses erfolgt üblicherweise durch eine DXA-Untersuchung, die als die klinisch valideste Methode gilt (*Gramp*

und Adams 2003).

Das Prinzip der DXA beruht auf einer gewebeabhängig variierenden Schwächung von polyenergetischen Röntgenstrahlen. Dies ermöglicht es, die Knochendichte in ausgewählten Körperregionen zu ermitteln. Bei der Messung mittels DXA wird der BMD-Wert (Bone mineral density = Knochenmineraldichte) aus der Differenz der gewebeabhängigen Abschwächung zweier Energiestrahlen, die eine bestimmte Körperregion durchdringen, ermittelt. Durch die Verwendung von Strahlung mit zwei unterschiedlichen Energien ist es mit der DXA möglich, den Knochenmineralgehalt trotz der variablen Absorption der Weichteilgewebe zu ermitteln. Mit dem DXA-Verfahren konnte erstmals – im Gegensatz zum SEPA-Verfahren (Singleenergy-photon-absorptiometry = Ein-Energie-Photonenabsorptiometrie), bei dem lediglich die Knochendichte von peripheren Skelettanteilen gemessen werden kann - die Knochendichtebestimmung auf die Wirbelsäule und den Schenkelhals ausgeweitet werden (*Reed GW 1966, Peppeler und Mazess 1981*). Für die Osteoporosediagnostik werden vor allem Prädeliktionsstellen für osteoporosebedingte Frakturen, wie Lendenwirbelsäule und proximaler Femur, herangezogen.

Die Diagnose einer Osteoporose und damit die Empfehlung zur einer medikamentösen Osteoporosetherapie wird nach DVO dann ausgesprochen, wenn das Frakturrisiko in den nächsten 10 Jahren 30% oder höher ist und die T-Werte an der LWS oder am Femur  $<-2,0$  betragen.

### **1.1.3 Therapie**

Die Therapie basiert auf zwei Säulen; Die Basismaßnahmen zur Frakturprophylaxe und die spezifische medikamentöse Therapie.

Zu den Basismaßnahmen zur Frakturprophylaxe gehört die Motivation des Patienten, v.a. bei stattgefundenem Frakturereignis, zur Mobilisation ggf. mit psychosozialer Unterstützung, Optimierung der physiotherapeutischen, medikamentösen und/oder der chirurgischen Schmerztherapie. Außerdem gehört hier-

zu die Patientenberatung mit Bezug auf eine osteoporoserisiko-mindernde Lebensweise. Um das Osteoporose-Risiko zu minimieren, soll der Patient darauf achten, dass er nicht untergewichtig wird, nicht raucht, ausreichend Kalzium zu sich nimmt, regelmäßige körperliche Aktivitäten durchführt, auf eine ausreichende Sonnenlichtexposition achtet und ggf. seinen behandelnden Arzt konsultiert, um die osteoporose- und sturzfördernden Medikamente anzupassen (*Pfeilschifter 2006, Baum und Peters 2008*). Ergeben sich Hinweise auf sekundäre Ursachen einer hohen Frakturgefährdung, so sollten diese ggf. in Absprache mit dem Fachspezialisten weiter abgeklärt und therapiert werden.

Die spezifische medikamentöse Therapie der Osteoporose wird bei einem besonders hohen Frakturrisiko vom DVO empfohlen. Diese Therapieform wird ab einem -basierend auf der Grundlage der derzeit verfügbaren epidemiologischen Daten- 10-Jahres-Frakturrisiko von 30% empfohlen. Hier geht der DVO davon aus, dass die Effizienz einer spezifischen medikamentösen Therapie der Osteoporose eindeutig ist und dass sie eventuelle Therapierisiken erheblich übersteigt, so dass hier eine klare Therapieindikation besteht. Die medikamentöse Therapie besteht hauptsächlich aus einer Substitution an Vitamin D und Calcium und einer oralen Biphosphonattherapie.

#### **1.1.4 Osteoporose und Gesichtsschädelknochen**

Die Gesichtsknochen verändern sich im Rahmen einer generalisierten Osteoporose in Ähnlichkeit zum übrigen Skelett im Sinne einer Abnahme der Knochendichte. Die Knochendichte und der Mineralgehalt der Mandibula ist bei einer systemischen Osteoporose reduziert (*Horner und Devlin 1992, Jonasson et al. 2001, White 2002, Jonasson et al. 2006, Jonasson et al. 2009*).

Die häufigste Lokalisation, die von einer Fraktur des Gesichtsknochens betroffen ist, ist das Mittelgesicht. Hohlweg et al. sahen insbesondere das mittlere Drittel des Mittelgesichts als eine Prädilektionslokalisierung (*Hohlweg-Majert et al. 2006*), während Gerbino et al. die zentrolaterale Mittelgesichtsfraktur in der Altersgruppe der Bevölkerung, die älter als 60 Jahre sind als überrepräsentiert

angaben (*Gerbino et al. 1999*). Analog zur der Häufigkeit der übrigen Sklettfrakturen ist die Häufigkeit einer knöchernen Fraktur im Gesichtsbereich bei älteren Personen erhöht. Da die Inzidenz der Osteoporose im Alter erhöht ist, kann sie als wichtiger Kofaktor bei der Genese der Frakturen fungieren. Allerdings liegen im höheren Alter für das Sturzereignis häufig Komorbiditäten vor (*Gerbino et al. 1999*), so dass von einem kausalen Zusammenhang zwischen den Frakturen und der Osteoporose nicht mit Sicherheit ausgegangen werden kann.

In den letzten Jahren ist der Anteil älterer Patienten an der Gesamtanzahl der Patienten mit Gesichtsknochenfrakturen zunehmend. Eine retrospektive Analyse der Universitätsklinik Turin ergab einen zunehmenden Anteil dieser älteren Patientengruppe von 7% auf 12% zwischen den Jahren 1987 und 1996 (*Gerbino et al. 1999*).

Osteoporose wird als ein möglicher Faktor bei der Komplikationsgenese nach einer Unterkieferfraktur gesehen. Die häufigste Komplikation ist eine verzögerte Knochenheilung oder eine ausbleibende knöcherne Durchbauung des Frakturspalts. Mögliche Ursachen sind die aufgrund der verminderten Knochendichte erschwerte stabile Fixierung und die reduzierte Kontaktfläche der Bruchfragmente insbesondere im unbezahnten Unterkiefer (*Gerbino et al. 1999, Hohlweg-Majert et al. 2006*). Eine weitere Ursache kann eine Verlängerung der chondralen Ossifikationsphase verbunden mit einer relativ erhöhten Anzahl an Osteoklasten sein (*Islam et al. 2005*).

## 1.2 Panoramaschichtaufnahme

Die Panoramaschichtaufnahme (PSA) wird auch als Orthopantomogramm (OPG) bezeichnet. Bei der Panoramaschichtaufnahme handelt es sich um ein auf dem Prinzip der Schichtuntersuchung basierendes radiologisches Verfahren, mit dem neben den Zähnen gleichzeitig auch der Ober- und Unterkiefer mit den benachbarten knöchernen Strukturen des Gesichtsschädels dargestellt werden können ([Abb. 2](#)).



*Abbildung 2: Panoramaschichtaufnahme*

Die Panoramaschichtaufnahme wurden 1922 von Zulauf und 1933 von Numata in Form der Pantographie angefertigt (*Scheutzel P 1989*). Der mit einer Bleiplatte hinterlegte Film wurde auf der Innenseite dem Zahnbogen angepaßt und kontinuierlich mit dem durch eine Schlitzblende begrenzten schmalen Strahlenbündel von einer Seite zur anderen belichtet. Paatero konnte als erster 1951 ein

funktionstüchtiges Pantomographiegerät mit extraoralem Film vorstellen (*Paatero YV 1959*).

Das Prinzip der Panoramaschichtaufnahme basiert grundlegend auf der Verwendung einer Schlitzblende und der koordinierten Bewegung eines oder mehrerer Anteile des Fokus-Objekt-Film-Systems. Dabei sendet ein Röntgengenerator Strahlung auf einen Sensor. Die Rezeption der Strahlung erfolgt dabei entweder direkt von der Filmfolie oder von strahlungsgehärteten CCD-Chips. Die Aufnahme (Röntgenquelle und Film) befinden sich bei dieser Technik außerhalb des Mundes.

Da die Panoramaschichtaufnahme auf dem Prinzip der Schichtuntersuchung basiert wird eine Schichtebene scharf dargestellt wobei die außerhalb dieser Schicht liegenden Strukturen verwischt erscheinen. Die Schichtdicke beträgt im Frontzahnbereich ca. 8 mm und in im Seitenzahnbereich etwa 12-15 mm (*Becker und Schawacht 2002*). Die korrekte Positionierung des Patienten in der für Panoramaschichtaufnahme vorgesehene Röntgeneinrichtung entscheidet daher über die Qualität und die spätere Interpretierbarkeit der Aufnahme. Sie erfolgt mittels der am Gerät befestigten Aufbißlehre mit einer terminalen Kerbe und dem Lichtvisier. Schädelbezugslinien sind in der frontalen Ebene die Eckzahnlinie, die Frankfurter Horizontale in der horizontalen und die Mittellinie in der sagittalen Ebene. Zur korrekten Positionierung des Patienten in der frontalen Ebene läßt man ihn in die Aufbisskerbe beißen; dabei kontrolliert man die Eckzahnlinie und achtet darauf, daß der Unterkiefer nicht seitlich verschoben ist, was eine asymmetrische Unterkieferstellung zur Folge hätte. Desweiteren wird der Kopf des Patienten mittels des Lichtvisiers an der Mediansagittalebene und der „Frankfurter Horizontalen“ ausgerichtet.

Diese Panoramaschichtaufnahme gehört zu den am häufigsten angefertigten Röntgenaufnahmen in der zahnärztlichen und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgischen Diagnostik. Die Gründe dafür liegen in der durch diese Aufnahme gebotenen ausreichenden Übersicht über relevante Strukturen bei relativ niedriger Strahlenbelastung und vergleichsweise geringen Kosten. Je nach verwendetem Gerätetyp und gewähltem Programm liegt die effektive Dosis im Normalfall zwi-

schen 0,005 und 0,03 mSv (*Rother 2001*). Diese effektive Dosis liegt um den Faktor 6-10 niedriger als das sogenannte Zahnstatus bestehend aus 10-12 Zahnfilmen (*Spitzer 2007*).

Einschränkungen des Einsatzes der analogen Panoramaschichtaufnahme-Bildgebung ergeben sich durch die Unschärfen infolge der Projektionsgeometrie und der Schichtlage und der Unschärfe aufgrund des Einsatzes von Verstärkerfolien, wegen derer feine Befunde nicht immer gut erkennbar sind. Hier sind intraorale Aufnahmen wie der folienlose intraorale Zahnfilm und die modernen digitalen Sensorsysteme mit hoher Detailauflösung überlegen (*Goch 2005*). Ferner kommt es aufgrund unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren in vertikaler und horizontaler Richtung zu Verzerrungen in der Darstellung. Eine dental-implantologische Studie zur Verifizierung von Vergrößerungsfaktoren, bei der eine Panoramaschichtaufnahme-Untersuchung an in Leichenunter- und oberkiefern inserierten normierten Implanteten durchgeführt wurde, kam zum Ergebnis, dass der vertikale Vergrößerungsfaktor bei optimal orthograd eingestellten Aufnahmen in Abhängigkeit von der vermessenen Regio zwischen 1:1,21 und 1:1,29 variiert. Der horizontale Vergrößerungsfaktor an der koronalen Implantatstufe variiert zwischen 1:1,15 und 1:1,35. 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 Panoramaschichtaufnahme (*Gomez-Roman et al. 1999*).

### 1.2.1 Studiendesign und -zielsetzung

50 Patienten der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf, von denen Panoramaschichtaufnahmen vorliegen und bei denen nach Vorgaben des DVO eine Osteoporose-Basisdiagnostik empfohlen wurden in die Untersuchungsgruppe aufgenommen. Die stationäre Aufnahme der Patienten erfolgte zur Therapie von Traumafolgen oder Infektionen im Kopf-Halsbereich. Die Aufnahme der Patienten in die Studie erfolgte konsekutiv. Bei diesen Patienten wurde eine Knochendichtemessung nach dem DXA-Verfahren im Zentrum für Biomechanik und Sklettbiologie des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf durchgeführt. Die Durchführung der Messung erfolgte während des stationären Aufenthalts, hierbei kam es nicht zu einer Verzögerung der geplanten Patientenentlassung.

Die zu den Patienten gehörigen pseudonymisierten Panoramaschichtaufnahmen wurden durch drei voneinander unabhängigen erfahrenen Untersuchern im Bezug auf bestimmte Parameter, die in der Literatur als etablierte Instrumente zur Beurteilung des Vorliegens einer systemischen Osteoporose beschrieben wurden, ausgewertet. Zu diesen beschriebenen Parametern gehören die in dieser Studie untersuchten Parameter mandibular cortical width (MCW), also die auf der Panoramaschichtaufnahme messbare Höhe der Kortikalis unterhalb des Foramen mentale, und die Kortikalisverlaufsform nach Klemetti, bei dem die Morphologie des Spongiosa-Kortikalis-Übergangs distal des Foramen mentale beidseitig beurteilt wird (*Klemetti et al. 1994, Taguchi et al. 2004, White et al. 2005, Yaşar und Akgünlü 2006*).

Den Panoramaschichtaufnahmen der Untersuchungsgruppe wurden einer von den Untersuchern unbekannt Anzahl an Panoramaschichtaufnahmen beige-mischt, die von jüngeren Patienten stammen, die die sogenannte Kontrollgruppe bilden, bei denen anamnestisch kein Hinweis auf das Vorliegen von Osteoporose vorliegt und bei denen nach Vorgaben der DVO keine Osteoporose-Basisdiagnostik empfohlen wird.

Ziel der vorliegenden Studie ist es zu evaluieren, inwieweit die oben angespro-

chenen osteoporose-assoziierten Parameter tatsächlich mit dem Vorliegen einer systemischen Osteoporose korrelieren und inwieweit die erhobenen Befunde der Untersucher kongruent sind. Dies könnte dem Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen und dem Zahnarzt als Angehörige der Fachdisziplinen, die die Indikation zur Anfertigung einer Panoramaschichtaufnahme am häufigsten stellen und bei denen die Panoramaschichtaufnahme eine Routine-Aufnahme im Rahmen der fachspezifischen Diagnostik darstellt, die Möglichkeit geben, als erste Instanz basierend auf dieser radiologischen Aufnahme Hinweise auf das eventuelle Vorliegen einer systemischen Osteoporose zu entdecken und -in Kooperation mit spezialisierten Fachdisziplinen- eine Osteoporosedagnostik zu initiieren. Die Diagnosestellung einer Osteoporose bzw. einer Osteopenie erfolgte gemäß den Vorgaben des DVO. In diesen Vorgaben werden -im Gegensatz zur WHO-Definition- nicht nur die T-Werte berücksichtigt, es fließen vielmehr andere Faktoren, die ein Frakturrisiko erhöhen, in die Beurteilung mit ein (z. B. Lebensalter, Frakturen, Stürze) (*Pfeilschifter 2006*).

Der Zusammenhang zwischen dem Vorliegen von systemischer Osteoporose mit verschiedenen osteoporose-assoziierten Parametern wurde in verschiedenen Studien untersucht. In den meisten dieser Studien wurden bei Patienten, bei denen primär eine radiologische Knochendichtemessung durchgeführt wurde, Panoramaschichtaufnahmen angefertigt und im Bezug auf die jeweiligen, zu untersuchenden Parameter ausgewertet.

Im Gegensatz hierzu wurde im Rahmen der vorliegenden Studie die Untersuchung nicht normierten, verschiedenen Geräten entstammenden Panoramaschichtaufnahmen von primär mund-, kiefer- und gesichtschirurgischen Patienten durchgeführt. Dieses Studiendesign wurde deshalb gewählt, um die Situation in der täglichen mund-, kiefer- und gesichtschirurgischen, oralchirurgischen und z.T. zahnärztlichen Routine zu simulieren, in der die vorliegenden Panoramaschichtaufnahmen, je nach Zuweiser, nicht normiert verschiedenen Geräten mit verschiedenen Einstellungen entstammen.

## **2. Patienten, Material und Methodik**

### **2.1 Patienten**

Es wurden 100 Personen (66% Frauen) im mittleren Alter von 22 bis 95 Jahren (Mittelwert 57,73 Jahre, Standardabweichung 21,01 Jahre) untersucht. 50 Patienten gehörten der Untersuchungsgruppe und 50 weitere der Kontrollgruppe an. Die Zusammensetzung und die Anzahl der Patienten der jeweiligen Gruppe waren den Untersuchern nicht bekannt.

#### **2.1.1 Untersuchungsgruppe**

Die Untersuchungsgruppe setzte sich aus 50 Patienten zusammen, davon waren 33 Patienten weiblich und 17 männlich, das Alter der weiblichen Patientinnen dieser Gruppe bewegte sich zwischen 51-93 Jahren (Mittelwert 76,4 Jahre, Standardabweichung 11,4 Jahre) während das Alter männlicher Patienten sich zwischen 60-86 Jahren bewegte (Mittelwert 73,9 Jahre, Standardabweichung 8,8 Jahre). Die Altersverteilung der Gesamtgruppe lag demnach zwischen 51-93 Jahren (Mittelwert 74,9 Jahre, Standardabweichung 10,3 Jahre). Die Aufnahme der Patienten in die Studie erfolgte konsekutiv im Zeitraum von Januar 2007 bis Juli 2008 unter Beachtung folgender Ein- und Ausschlusskriterien:

##### Einschlusskriterien:

- Vorliegen der Indikation zur Osteoporose-Basisdiagnostik gemäß den Leitlinien des Dachverbands der Deutschsprachigen Osteologischen Fachgesellschaften. Die Indikationen werden je nach Geschlecht und Alter bei Vorliegen eines oder mehrerer der folgenden Befunde gestellt, diese sind:

- Frauen zwischen 50-60 Jahren und Männer zwischen 60-70 Jahren, die:
  - eine oder mehrere Wirbelkörperfraktur(en) .
  - eine oder mehrere periphere Fraktur(en) als Einzelfallentscheidung.
- Frauen zwischen 60-70 Jahren und Männer zwischen 70-80 Jahren:
  - eine oder mehrere Wirbelkörperfraktur(en).
  - eine oder mehrere periphere Fraktur(en).
  - Schenkelhalsfraktur eines Elternteils.
  - Untergewicht (BMI < 20).
  - Nikotinkonsum.
  - multiple Stürze.
  - Immobilität.
- Frauen ab 70 Jahre und Männer ab 80 Jahre Alle, falls daraus therapeutische Konsequenzen gezogen werden sollen/können.
- Einverständnis der Patientin/des Patienten.
- Bereits vorliegende PSA.

Ausschlusskriterien:

- Nichterfüllung eines der Einschlusskriterien.
- Aktuelles oder anamnestisches Vorliegen einer malignen Erkrankungen
- Vorliegen einer direkt oder indirekt potentiell knochenalterierenden Erkrankung wie:
  - Hyperparathyreodismus
  - Hypoparathyreodismus
  - Paget Krankheit
  - Osteomalazia
  - Renale Osteodystrophie
  - Osteogenesis imperfekta
- Aktuelle oder anamnestisch-erruierte Einnahme von Osteoporose-Therapeutika und Knochenstoffwechsel beeinflussenden Medikamenten,

wie z.B. Bisphosphonaten.

- Vorliegen von Ereignissen, die die Beurteilbarkeit der PSA erschweren, wie z.B. eine Knochenläsion in den zu beurteilenden Regionen
- Bettlägrigkeit (Aus logistischen Gründen)

Die Panoramaschichtaufnahmen der Patienten wurden nach Beendigung der Auswertung an den Funktionsbereich Zahnärztliches Röntgen des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf zur Archivierung zurückgegeben.

### **2.1.2 Kontrollgruppe**

Die Kontrollgruppe setzte sich aus 50 Patienten zusammen, davon waren, wie in der Untersuchungsgruppe, 33 Patienten weiblich und 17 männlich, das Alter der weiblichen Patientinnen dieser Gruppe bewegte sich zwischen 21-49 Jahren (Mittelwert 35,4 Jahre, Standardabweichung 8,3 Jahre) während das Alter männlicher Patienten sich zwischen 22-57 Jahren bewegte (Mittelwert 42,6 Jahre, Standardabweichung 8,9 Jahre). Die Altersverteilung der Gesamtgruppe lag demnach zwischen 21-57 Jahren (Mittelwert 37,9 Jahre, Standardabweichung 9,1 Jahre). Die Aufnahme in die Gruppe erfolgte unter Beachtung folgender Ein- und Ausschlusskriterien:

#### Einschlusskriterien:

- Anamnestisch kein Hinweis auf das Vorliegen einer primären oder sekundären Osteoporose, ferner war bei den Patienten dieser Gruppe nach Vorgaben der DVO keine Osteoporose-Basisdiagnostik indiziert.
- Frauen bis zum fünfzigsten Lebensjahr
- Männer bis zum sechzigsten Lebensjahr
- Bereits vorliegende PSA.

### Ausschlusskriterien:

- Nichterfüllung eines der Einschlusskriterien.
- Aktuelles oder anamnestisches Vorliegen einer malignen Erkrankung
- Vorliegen einer direkt oder indirekt knochenalterierenden Erkrankung wie:
  - Hyperparathyreodismus
  - Hypoparathyreodismus
  - Paget Krankheit
  - Osteomalazia
  - Renale Osteodystrophie
  - Osteogenesis imperfecta
  
- Aktuelle oder anamnestisch-erruierte Einnahme von Osteoporose-Therapeutika und Knochenstoffwechsel beeinflussenden Medikamenten, wie z.B. Bisphosphonaten.
- Vorliegen von Ereignissen, die die Beurteilbarkeit der PSA erschweren, wie z.B. eine Knochenläsion in den zu beurteilenden Regionen
  
- Vollbezahnung
- Zahnkeime
- Retinierte Weisheitszähne
- Kieferorthopädische Apparaturen

Die letzten vier Punkte wurden in die Ausschlusskriterien aufgenommen, um eine eventuelle Verfälschung der Bewertungsergebnisse durch eine mögliche Zuordnung der PSA zu einem jungen Patienten zu vermeiden.

Die Panoramaschichtaufnahmen der Patienten wurden nach Beendigung der Auswertung an den Funktionsbereich Zahnärztliches Röntgen des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf zur Archivierung zurückgegeben.

## **2.2 Material**

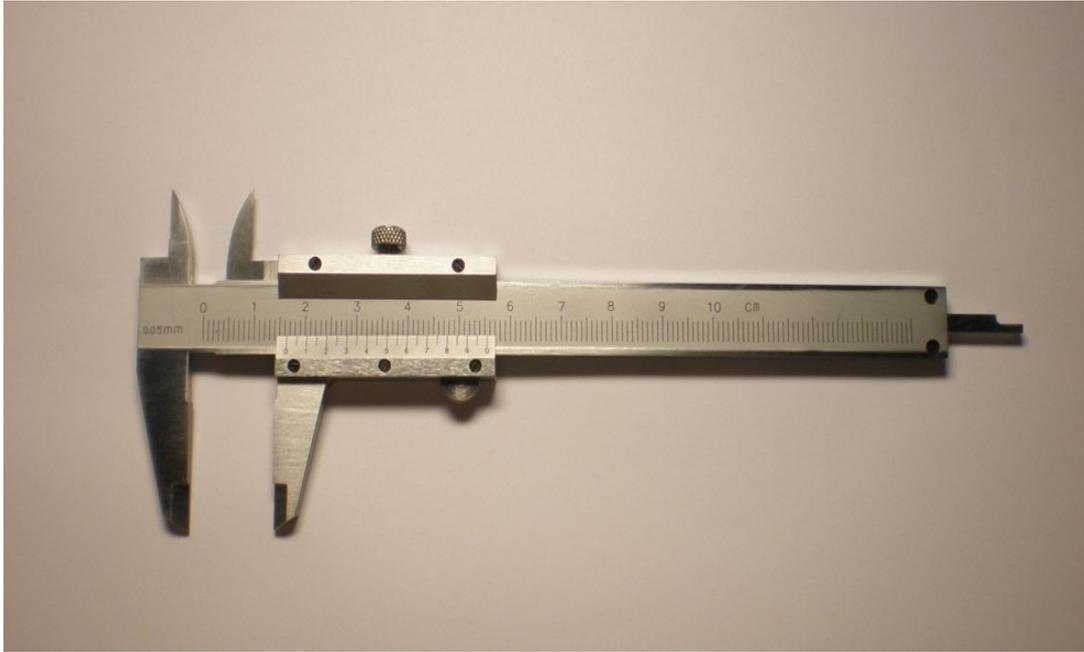
### **2.2.1 Panoramaschichtaufnahmen**

Es lagen die von den Patienten mitgebrachten Röntgenaufnahmen als Filmfolien vor. Die Filmfolien waren weder größen- noch kontrastnormiert, da sie von verschiedenen Geräten mit unterschiedlichen Einstellungen stammten. Angaben über Röhrenspannung, Röhrenstrom, Expositionszeit und Vergrößerungsfaktor lagen nicht vor. Die Größe des zu beurteilenden Fensters lag zwischen 23,5x11 cm und 28x14 cm.

### **2.2.2 Messinstrumentarium**

Zur Messung des mandibular cortical width, also die Kortikalishöhe unter dem Foramen mentale wurde ein aus rostfreiem Stahl hergestellten Messschieber ([Abb. 3](#)) benutzt, der folgende Spezifikationen ausweist:

- Konformität mit DIN-862 Form A1
- Monoblock-Ausführung, Schieber aus einem Stück gefräst
- Messbereich 0-100 mm
- Noniuswert 0,05 mm
- Fehlergrenzen nach DIN-862 0,05 mm
- Messschenkellänge 40 mm
- Feststellschraube



*Abbildung 3: Messschieber*

### **2.2.3 Betrachtungseinrichtung**

Die Betrachtung der Panoramaschichtaufnahmen zur Beurteilung der Osteoporoseassoziierten Parameter erfolgte am Röntgenfilmbetrachter Planilux (Gerätebau Felix Schulte GmbH, Warstein, Deutschland) ([Abb. 4](#)) mit folgenden Herstellerangaben:

- Gerätetyp: DXH
- Betrachtungsfläche: 80 x 43 cm
- maximale Leuchtdichte: 6700 cd/m<sup>2</sup>



*Abbildung 4: Röntgenfilmbetrachter Planilux DXH*

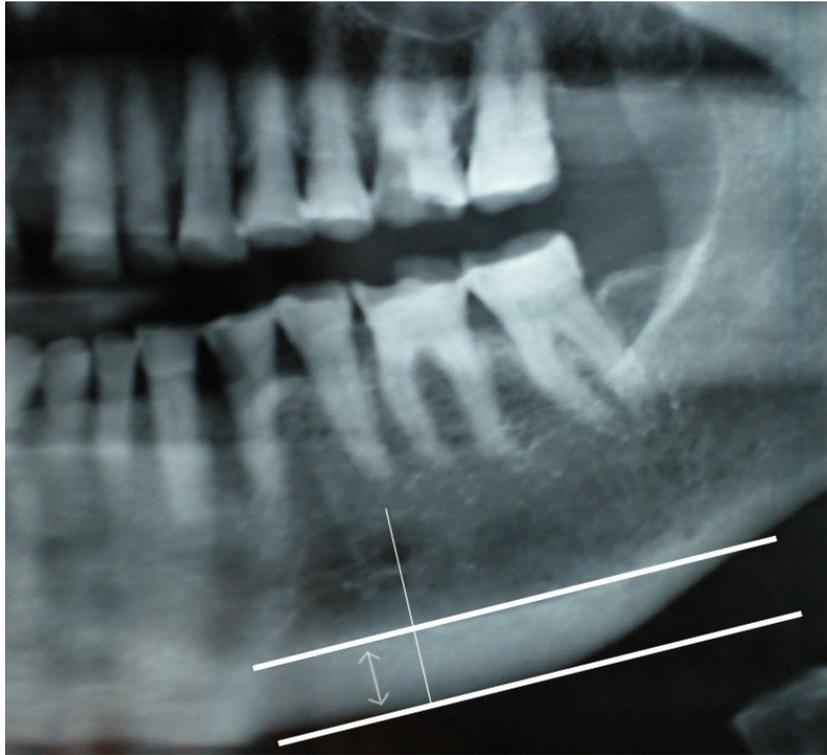
## 2.3 Methodik

Die zu der Untersuchungsgruppe gehörigen 50 Panoramaschichtaufnahmen wurden pseudonymisiert. Den Panoramaschichtaufnahmen der Untersuchungsgruppe wurden die 50 - ebenfalls pseudonymisierten - Panoramaschichtaufnahmen der Kontrollgruppe beigemischt. Die Aufnahmen wurden durch 3 voneinander unabhängigen, erfahrenen Untersuchern ausgewertet. Die Untersucher beurteilten -durch den klinischen Alltag bedingt- jährlich mindestens 1000 Panoramaschichtaufnahmen. Weder die genaue Anzahl der Panoramaschichtaufnahmen der Untersuchungsgruppe noch die der Kontrollgruppe waren den Untersuchern bekannt.

### 2.3.1 Parameter

Die Untersucher beurteilten zwei Parameter in den pseudonymisierten Panoramaschichtaufnahmen; Die Kortikalishöhe (mandibular cortical width (MCW)) und die Kortikalisverlaufsform nach Klemetti (mandibular cortical shape).

**Die Kortikalishöhe**, in der englischen Literatur überwiegend als mandibular cortical width (MCW) bezeichnet, wird in Anlehnung an der von Taguchi beschriebenen Methode (*Taguchi et al. 1996*) beidseitig unterhalb des Foramen mentale ermittelt. Hierzu wird eine tangential angeordnete Linie am Unterrand des Unterkiefers gezeichnet, die entlang der Längsachse des Unterkiefers einen Kontaktpunkt im Bereich des Foramen mentale besitzt. Senkrecht zu dieser Linie wird eine Linie gezeichnet, die durch den tiefsten Punkt des Foramen mentale verläuft, am obersten Rand der sichtbaren Kortikalisbegrenzung wird eine zur Tangente parallel verlaufenden Linie gezeichnet, der Abstand zwischen der Tangente und der dazu kranial parallel verlaufenden Linie wird auf der rechten und auf der linken Seite gemessen ([Abb. 5](#)) und in eine Tabelle eingetragen.



*Abbildung 5: Methodik der Messung der Kortikalishöhe unter dem Foramen mentale*

**Die Kortikalisverlaufsform** (mandibular cortical shape) erfolgt in Anlehnung an der von Klemetti beschriebenen Vorgehensweise (*Klemetti et al. 1994*). Gemäß der Methode nach Klemetti wird der Verlauf der Innenkortikalis distal des Foramen mentale beidseitig im Bezug auf den kranialen Übergang von dem kortikalen in den spongiösen Knochen beurteilt. Der erhobene Befund wird gemäß folgender Einteilung bewertet:

- Kategorie „normal“: Hier zeigt sich ein deutlich abgrenzbarer, scharfer Verlauf der Unterkieferkortikalis am kranialen Übergang von dem kortikalen in den spongiösen Knochen ([Abb. 6](#))



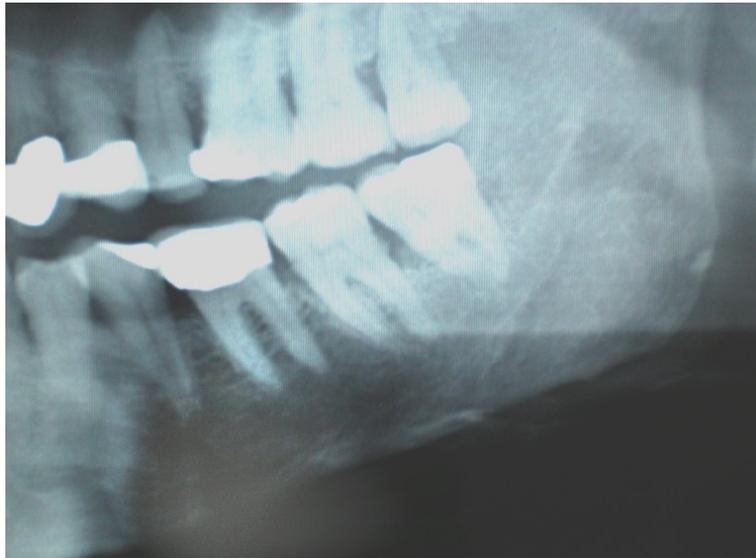
*Abbildung 6: Kategorie „normal“ nach Klemetti bei deutlich abgrenzbarem, scharfem Verlauf der Unterkieferkortikalis*

- Kategorie „mild“: Hier werden halbmondförmige Aufhellungen als Hinweis auf lakunäre Resorptionen und/oder insgesamt eine weniger ausgeprägte Schärfe des Übergangs als der unter „Kategorie normal“ beschriebene Übergang ([Abb. 7](#)).



*Abbildung 7: Kategorie „mild“ nach Klemetti, hier zeigt sich eine weniger ausgeprägte Schärfe des Kortikalis-Spongiosa-Übergangs und lakunäre Erosionen*

- Kategorie „severe“, also schwer: Hier liegen schwere Erosionen entlang des Verlaufs der Unterkieferkortikalis am kranialen Übergang von dem kortikalen in den spongiösen Knochen, ein Übergang ist schwer abgrenzbar ([Abb. 8](#)).



*Abbildung 8: Kategorie „severe“ nach Klemetti, hier liegt eine hochgradige Resorption des kortikospongiösen Übergangs.*

### **2.3.2 Knochendichtemessung**

Basierend auf die Empfehlungen des DVO und in Kooperation mit dem Zentrum für Biomechanik und Sklettbiologie des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf erfolgte der Transport der Untersuchungsgruppenpatienten in das o.g. Zentrum zur Durchführung der Knochendichtemessung (Dual-X-Ray-Absorptiometrie, DXA).

Die Messung der Knochendichte erfolgte mit dem Osteodensitometer Lunar Prodigy (General electric medical systems Healthcare Lunar, Madison, Wisconsin, USA), Herstelldatum Dezember 2002 ([Abb. 10](#)). Das Gerät verändert der

Scan-Tiefe automatisch in Abhängigkeit von der Dicke des zu scannenden Volumens, die aus dem Alter, der Höhe und des Gewichts berechnet wird. Die Messung erfolgte an Patienten, die leichte Innenbekleidung trugen und keine entfernbararen Metallobjekte am Körper hatten. Die Untersuchungsdauer betrug 5 – 10 Minuten.



*Abbildung 10: Der Osteodensitometer Prodigy X*

Die Osteodensitometrie erfolgte an der Lendenwirbelsäule und am proximalen Femur auf der rechten und linken Seite. An der Lendenwirbelsäule wird der mittlere T-Wert derjenigen Wirbel von L1-L4 ermittelt, an denen eine artefaktarme Messung möglich ist. Am proximalen Femur wird der T-Wert der Gesamtfemur-region „Total Hip“ ermittelt. In die Beurteilung der Knochendichte laut der DVO-Leitlinien wurde der niedrigere der beiden T-Werte der DXA-Messungen an der Lendenwirbelsäule und am Gesamtfemur zugrunde gelegt. Der T-Wert gibt die in Standardabweichungen angegebene Abweichung der Knochendichte des Untersuchten von der einer 30-jährigen Frau an.

Die Diagnose einer Osteoporose und damit die Empfehlung zur einer medikamentösen Osteoporosetherapie wird gemäß den DVO-Leitlinien dann ausgesprochen, wenn das Frakturrisiko in den nächsten 10 Jahren 30% oder höher ist und die T-Werte an der LWS oder am Femur  $<-2,0$  betragen. Dies ist der Fall wenn der niedrigere der T-Werte in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht einen bestimmten Schwellenwert unterschreitet ([Tab. 3](#)) (*Pfeilschifter 2006*).

*Tabelle 3: T-Werte in Abhängigkeit von Lebensalter und Geschlecht, die im Mittel mit einem 30%igen Frakturrisiko für Wirbelkörper- und proximale Femurfrakturen in 10 Jahren assoziiert sind*

Lebensalter in Jahren		T-Wert (niedrigerer Wert der beiden Messungen an der LWS und dem prox. Gesamtfemur)
Frau	Mann	
50-60	60-70	-4,0
60-65	70-75	-3,5
65-70	75-80	-3,0
70-75	80-85	-2,5
>75	>85	-2,0

Wenn zusätzlich einer der folgenden Risikofaktoren

- Proximale Femurfraktur eines Elternteils
- periphere Fraktur nach Bagateltrauma
- fortgesetzter Nikotinkonsum
- multiple Stürze
- Immobilität

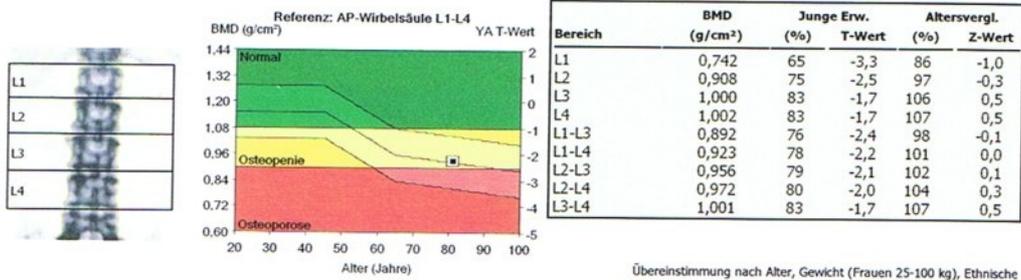
vorliegt, ist das Gesamtfrakturrisiko erhöht, so dass die dreißig-prozentige Frakturwahrscheinlichkeit bei einem -maximal um einen T-Wert- höheren Messwert schon erreicht wird. Entsprechend verschiebt sich der Schwellenwert für die Empfehlung einer medikamentösen Therapie bei Vorliegen eines oder mehrerer dieser Risikofaktoren um maximal einen T-Wert nach oben.

Die Diagnose einer Osteopenie oder erniedrigter Knochendichte wurde ausgesprochen, wenn der T-Wert zwischen  $-1$  und  $-2,5$  war, es sei denn, die Diagnose einer Osteoporose wird gemäß den o.g. Erläuterung bei einem T-Wert von über  $-2,5$  bereits ausgesprochen.

Nach erfolgter Untersuchung wurden die erhobenen Befunde durch die ärztlichen Mitarbeiter des Zentrums für Biomechanik und Sklettbiologie ausgewertet. Es wurde eine tabellarische und grafische Darstellung des jeweiligen Befunds erstellt (Abb. 11).

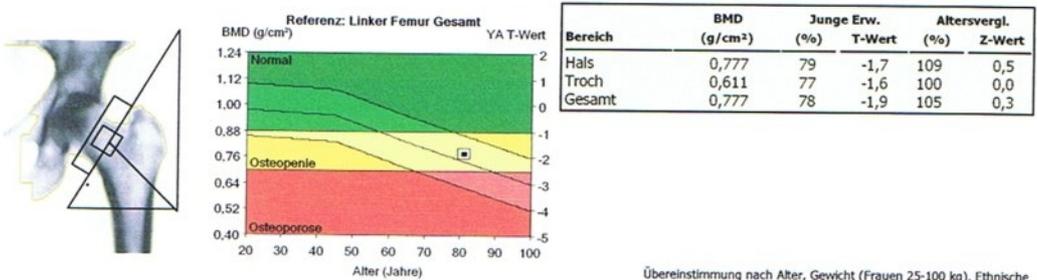
**Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf**  
**Prof. M. Amling, Zentrum für Biomechanik und Skelettbioogie**  
**Martinistr. 52 - Tel.: 040 / 42803-6373 - 20246 Hamburg**

<b>Patient:</b>	XXX	<b>Gemessen:</b>	28.06.2007	10:41:33	(10,10)
<b>Geburtsdatum:</b>	XXX	<b>Analysiert:</b>	28.06.2007	10:41:39	(10,10)
<b>Größe / Gewicht:</b>	156,0 cm 53,7 kg				
<b>Geschl. / Ethn.:</b>	Weiblich Weiß				



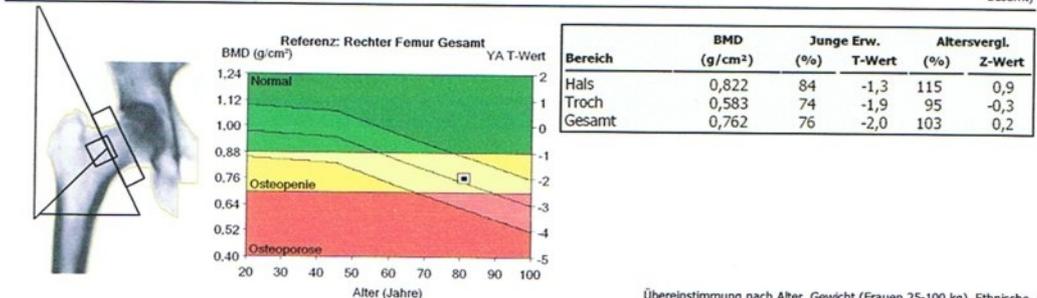
Übereinstimmung nach Alter, Gewicht (Frauen 25-100 kg), Ethnische Deutschland (Alter 20-40) AP-Wirbelsäule Referenzbevölkerung (v107)  
 Laut Statistik sind 68% der Folge-Scans im Bereich von ISA ( $\pm 0,010$  g/cm<sup>2</sup> für AP-Wirbelsäule L1-L4)

Bild nicht für Diagnosezwecke



Übereinstimmung nach Alter, Gewicht (Frauen 25-100 kg), Ethnische Deutschland (Alter 20-40) Femur Referenzbevölkerung (v107)  
 Laut Statistik sind 68% der Folge-Scans im Bereich von ISA ( $\pm 0,012$  g/cm<sup>2</sup> für Linker Femur Gesamt)

Bild nicht für Diagnosezwecke



Übereinstimmung nach Alter, Gewicht (Frauen 25-100 kg), Ethnische Deutschland (Alter 20-40) Femur Referenzbevölkerung (v107)  
 Laut Statistik sind 68% der Folge-Scans im Bereich von ISA ( $\pm 0,012$  g/cm<sup>2</sup> für Rechter Femur Gesamt)

Bild nicht für Diagnosezwecke

Abbildung 11: Tabellarischer und grafischer DXA-Auswertungsbogen

### **2.3.3 Statistik**

Vor der Auswertung wurden die Daten in Microsoft Excel 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) importiert und vorbereitet und dann in SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, Chicago, USA) in der Version 10.5 ausgewertet. Alle eingesetzten Verfahren folgen, soweit nicht anders angegeben, der SPSS-Voreinstellung. Für die eingesetzten einfaktoriellen univariaten Varianzanalysen wurden als post-hoc-Tests Tamhane's-Tests gerechnet, da die Varianzhomogenität als Rechenvoraussetzung nicht erfüllt war.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der Untersuchungsgruppe

In der folgenden Tabelle werden den pseudonymisierten Patientencodes die Ergebnisse der osteoporose-spezifischen Diagnostik mit den Ergebnissen :Osteoporose ja, Normalbefund und Osteopenie zugeordnet. Die von den drei Untersuchern (B, H und A) anhand der vorliegenden Panoramaschichtaufnahmen erhobenen Parameter MCW (mandibular cortical width, also die Kortikalishöhe) in mm und die Kortikalisverlaufsform (mandibular cortical shape) nach Klemetti aufgeteilt in die Kategorien: normal, mild und severe werden in der Tabelle den Patientencodes gegenübergestellt ([Tab. 5](#)).

*Tabelle 5: Tabellarische Aufstellung der Ergebnisse der Untersuchungsgruppe.*

*Das Alter wird in Jahren angegeben, in der Geschlechtsspalte bedeutet W: Weiblich und M: Männlich, MCW-B-re: Mandibular cortical width rechts ermittelt durch den Untersucher B in mm, MCW-B-li: Mandibular cortical width links, Untersucher B in mm, Klem-B: Klemetti-Index ermittelt durch den Untersucher B, MCW-H-re: Mandibular cortical width rechts ermittelt durch den Untersucher H in mm, MCW-H-li: Mandibular cortical width links, Untersucher H in mm, Klem-H: Klemetti-Index ermittelt durch den Untersucher H, MCW-A-re: Mandibular cortical width rechts ermittelt durch den Untersucher A in mm, MCW-A-li: Mandibular cortical width links, Untersucher A in mm, Klem-A: Klemetti-Index ermittelt durch den Untersucher A*

Code	Alter	Geschlecht	Osteoporose	MCW-B-re	MCW-B-li	Klemetti-B	MCW-H-re	MCW-H-li	Klemetti-H	MCW-A-re	MCW-A-li	Klemetti-A
AM2310	58	W	nein	4,1	3,7	mild	3,7	3,5	mild	3,6	4,3	mild
AW2203	90	W	penie	4,4	4,4	normal	4,2	3,6	normal	4,7	4,7	normal
BE2110	69	W	nein	4,4	4,4	normal	4,2	4,5	mild	4,5	4,5	normal
CB2612	74	W	Ja	5,3	4,6	normal	4,1	4,8	severe	5,3	3,5	mild
CP3003	74	M	nein	4,9	4,4	normal	4,8	4,5	severe	4	4,5	normal
CS2112	85	W	Ja	4,0	4,0	mild	4	3,6	severe	5	4	severe
ED0607	82	W	nein	3,3	3,4	normal	3,9	4,5	severe	4,5	4,6	mild

EM3009	85	W	Ja	5,0	5,5	mild	5,2	6	severe	5,3	4,8	severe
ES2606	93	W	Ja	3,3	3,0	severe	3	2,9	severe	3	3	mild
FK0603	86	M	penie	4,0	4,9	mild	4,3	4,3	severe	5,3	4,8	normal
GB0104	53	W	penie	4,3	4,3	normal	4,6	4,6	mild	4,6	4,2	normal
HF2204	83	W	penie	2,0	2,2	mild	3,2	2	severe	2,7	2,3	mild
HG2508	72	M	nein	6,3	5,0	mild	3,8	3,8	severe	6,3	4,1	mild
HJ2406	73	W	Ja	3,3	3,5	mild	3,3	3,9	severe	3,8	3,9	severe
HO3007	86	M	penie	5,0	5,2	normal	3,7	4,2	severe	5	5	severe
HP2401	65	M	penie	3,0	3,4	mild	2,5	3,3	mild	2,7	2,3	mild
HP2412	84	W	Ja	2,4	2,2	severe	2,6	2,1	severe	2	2	severe
HS1312	63	M	nein	4,4	5,0	normal	5,5	5,8	mild	5	4,5	normal
HW2706	85	W	penie	4,5	4,5	severe	4,8	5,8	severe	3,5	2,8	severe
IB0809	67	W	penie	4,0	4,0	mild	3,4	4,2	severe	3,9	4	mild
IG1011	82	W	Ja	2,7	3,3	severe	2,7	2,7	severe	3	3,3	mild
IK0202	79	W	nein	4,6	5,1	normal	4,7	4,4	severe	4,6	4,8	severe
IK1212	89	W	Ja	1,3	1,0	severe	1,7	1,4	severe	1,6	1,8	mild
IR1705	83	W	Ja	3,2	1,5	severe	2,1	2,2	severe	1,9	2	severe
JH0901	71	M	penie	4,5	5,2	normal	4,5	5,3	normal	4,6	5,1	normal
KG1006	75	W	Ja	4,9	4,1	mild	3,6	4,2	severe	4,5	4,1	mild
KH2004	72	M	nein	3,3	3,3	mild	3,1	3,1	normal	3	3,1	normal
KK0405	80	M	nein	5,0	4,8	normal	4,3	4,9	mild	5	4,9	normal
KN1603	82	M	nein	5,9	7,2	normal	5,3	6,4	severe	6	6,4	mild
KU1805	95	W	Ja	2,3	2,2	severe	2,5	4,8	severe	2,2	2,2	severe
LK2212	88	W	Ja	3,4	3,0	severe	4	5	severe	4,3	4,4	severe
LP2003	88	W	Ja	2,5	2,8	severe	4,2	4,9	severe	2,8	2,6	severe
MF1806	63	W	penie	5,1	4,2	mild	3,5	3,8	mild	5	4,5	mild
MG1711	79	W	penie	9,1	8,3	normal	9	9	mild	9,5	8,3	normal
MH2310	72	W	nein	4,2	4,0	mild	4	3,9	severe	4	3	mild
MK2203	71	W	Ja	4,0	4,6	normal	4	4,4	normal	3,9	4,6	normal
MP2501	83	W	penie	5,4	6,4	mild	5,7	6,7	mild	5,5	5,7	mild
MS0901	72	M	nein	4,2	4,3	normal	4,5	5,7	mild	5,2	5	normal
MW1706	68	W	Ja	5,1	4,0	normal	4,9	3,9	normal	5,3	3,7	normal
NR1706	85	W	nein	5,0	4,0	severe	3,9	4,5	severe	2,5	3,6	severe
PK2508	60	M	nein	3,4	3,4	mild	2,1	2	severe	3	3	mild
PS2001	73	M	nein	5,7	5,4	severe	5,7	4,8	severe	5,9	4,5	severe
RG2706	68	W	penie	4,8	5,1	normal	4,4	5,6	normal	4,8	5,3	normal
RH1808	70	M	Ja	5,0	5,5	normal	5	6,4	severe	5,3	5,3	normal
RH2102	66	W	Ja	2,8	3,1	mild	2,7	2,9	severe	3	3,1	severe
RJ2801	82	M	penie	4,0	3,6	mild	3,7	3,5	severe	3,9	3,5	mild
RM2903	75	M	penie	3,7	3,6	mild	4,5	3,8	severe	3,7	3,3	mild

SG0103	51	W	nein	3,3	3,4	normal	3,3	4	normal	3,4	4,1	normal
SK2005	89	W	Ja	3,0	3,2	severe	2,8	3,7	severe	3	3,5	severe
UL1501	71	M	penie	6,8	6,4	normal	7,2	6,3	mild	6,8	6,5	normal

Das Ergebnis der Osteoporosedagnostik wurde mit dem Patienten bzw. der Patientin kommuniziert und eine eventuell notwendige Therapie empfohlen. Die medikamentöse Therapie bestand im Falle einer Osteopenie in der Empfehlung der Einnahme von täglich 1000 IE Vitamin D und 1000 mg Calcium, im Falle der Diagnose einer Osteoporose wurde zusätzlich eine orale Bisphosphonateinnahme (z.B. Fosavance® einmal wöchentlich) empfohlen.

Die Abnahme der Knochendichte korrelierte mit dem Geschlecht, während 56,2 % der Patienten der Untersuchungsgruppe, bei denen densitometrisch ein Normalbefund festgestellt wurde, Männer waren, betrug der Anteil der Frauen unter den Patienten mit der Diagnose „Osteoporose“ 94,4 % bei einer ursprünglichen Verteilung der Geschlechter in der Untersuchungsgruppe (und in der Kontrollgruppe) von 66 % Frauen zu 34 % Männern ([Tab. 4](#)).

*Tabelle 4: Anteil der Frauen am Gesamtkollektiv und an den Diagnosegruppen*

		Patientenanzahl	Anteil Frauen am gesamt-kollektiv in %	Anteil Frauen an den Diagnosegruppen in %	Mittleres Alter in Jahren (SD)
Kontrollgruppe		50	66,0	66,0	39,16 (9,10)
Untersuchungsgruppe	Normalbefund	16	66,0	43,8	71,63 (9,28)
	Osteopenie	16		56,3	75,56 (10,56)
	Osteoporose	18		94,4	81,11 (9,16)

## 3.2 Ergebnisse der Kontrollgruppe

In der folgenden Tabelle werden den pseudonymisierten Patientencodes die von den drei Untersuchern (B, H und A) anhand der vorliegenden Panoramaschichtaufnahmen erhobenen Parameter MCW (mandibular cortical width, also die Kortikalishöhe) in mm und die Kortikalisverlaufsform (mandibular cortical shape) nach Klemetti aufgeteilt in die Kategorien: normal, mild und severe werden in der Tabelle den Patientencodes gegenübergestellt ([Tab. 6](#)).

*Tabelle 6: Tabellarische Aufstellung der Ergebnisse der Untersuchungsgruppe. Das Alter wird in Jahren angegeben, in der Geschlechtsspalte bedeutet W: Weiblich und M: Männlich, MCW-B-re: Mandibular cortical width rechts ermittelt durch den Untersucher B in mm, MCW-B-li: Mandibular cortical width links, Untersucher B in mm, Klem-B: Klemetti-Index ermittelt durch den Untersucher B, MCW-H-re: Mandibular cortical width rechts ermittelt durch den Untersucher H in mm, MCW-H-li: Mandibular cortical width links, Untersucher H in mm, Klem-H: Klemetti-Index ermittelt durch den Untersucher H, MCW-A-re: Mandibular cortical width rechts ermittelt durch den Untersucher A in mm, MCW-A-li: Mandibular cortical width links, Untersucher A in mm, Klem-A: Klemetti-Index ermittelt durch den Untersucher A*

Code	Alter	Geschlecht	MCW-B-re	MCW-B-li	Klemetti-B	MCW-H-re	MCW-H-li	Klemetti-H	MCW-A-re	MCW-A-li	Klemetti-A
SM2911	38	W	4,8	4,1	normal	5,5	4,4	normal	5,4	4,5	normal
ZS3006	25	W	3,5	4,0	normal	3,7	4,1	normal	3,4	3,3	normal
PT1108	47	W	4,2	3,5	normal	3,9	3,5	normal	4,1	3,7	normal
KG0712	57	M	4,5	4,6	normal	4,8	4,9	mild	4,8	4,7	normal
MJ2212	49	W	4,0	4,9	normal	3,9	5,2	normal	4,2	4,3	normal
MK1008	22	W	4,5	4,0	normal	4,2	3,5	normal	4,9	3	normal
TA2802	45	M	3,3	3,3	normal	2	2	mild	3,5	3,5	mild
NJ2906	25	W	4,7	3,9	normal	4,4	3,9	mild	4,1	4,3	normal
KW3003	55	M	3,3	4,2	normal	4	3,8	mild	4	4	normal
JL1005	47	M	3,2	3,3	normal	4,6	4	normal	3,4	3,6	normal
LW0502	36	W	4,0	4,0	normal	4,3	4,1	normal	4,6	4,2	normal
IP0705	38	M	3,9	4,0	mild	3	3,9	mild	3	4	mild

JH1603	53	M	4,9	4,6	normal	4,5	3,9	mild	4,8	4,3	mild
KB0812	48	W	3,6	4,1	normal	3,6	4,5	normal	3,9	4,2	normal
KG0512	38	W	4,9	5,0	normal	4,2	4,7	normal	4,9	4,8	normal
BB1201	42	W	4,8	4,3	normal	4	4	normal	4,5	4,5	normal
AT1210	39	M	5,1	4,4	normal	5,6	4,7	severe	5,2	5	normal
SF1006	29	W	4,2	4,3	mild	4,5	4,2	normal	4	4,2	normal
PK1301	41	W	4,9	4,6	normal	4,8	4,8	normal	5,5	4,7	normal
PD2704	48	M	5,2	4,6	normal	4,8	4,8	normal	5	4,9	normal
HD2101	47	M	4,0	4,0	normal	3,8	5,1	mild	3,5	4,9	normal
RK0112	36	M	3,5	3,4	normal	3,5	3,3	normal	4,5	4	normal
MT0209	46	M	3,7	4,2	normal	3,7	4,5	mild	3,8	4,6	normal
SB0310	37	W	4,5	4,2	normal	4,3	3,9	normal	4,1	4,1	normal
RB0506	22	M	5,0	5,0	normal	5	5,2	normal	5,2	5,4	normal
NB2809	38	W	4,0	4,0	normal	4	4	normal	3,9	4	normal
SP3011	37	W	3,7	3,6	normal	3,6	3,3	mild	3,5	3,6	normal
ML1008	33	M	4,2	4,0	normal	5,8	3,8	severe	4,2	4,2	normal
ML0509	49	W	5,0	5,4	normal	5,2	5,2	normal	5,3	5,5	normal
MR1509	40	W	5,4	5,0	normal	4,7	5,2	normal	5,8	5,3	normal
MS0511	43	W	3,9	3,8	normal	3,8	4	normal	3,8	3,5	normal
RR0907	36	M	3,7	4,6	normal	4,2	4,5	normal	4,3	4,6	normal
DH2012	44	W	4,0	4,2	normal	4,3	4	normal	4,1	4	normal
ND2005	39	W	4,3	4,9	normal	4,3	3,9	normal	4,6	4,3	normal
AS0311	46	M	4,3	4,6	normal	4,7	5,3	severe	4,8	5	normal
CK0611	35	W	4,8	6,3	normal	4,9	6	normal	5	6	normal
CM3003	37	W	3,9	4,5	normal	4,1	4,5	normal	3,7	3,4	normal
AB1501	46	W	4,7	4,5	normal	4	4,2	mild	3,3	4,3	mild
NW1108	30	W	5,1	5,2	normal	4,6	5,3	normal	5,2	4,5	normal
JR0111	55	M	5,1	5,0	normal	5,2	5,8	normal	5,2	4,8	normal
AH0112	51	W	3,8	3,6	normal	4,6	4,6	normal	3,6	3,6	normal
AK1508	27	W	4,7	5,2	normal	4,6	5,4	normal	4,7	5	normal
HE1208	42	M	4,8	4,8	normal	4,5	4,4	normal	5	4,7	normal
IB1503	31	W	4,2	5,0	normal	5,1	5,1	normal	5,4	4,6	normal
KS0109	27	W	4,6	4,7	normal	4,7	5	normal	4,6	4,8	normal
KS2403	34	W	3,7	3,8	normal	3,9	3,7	normal	3,8	3,9	normal
IN1112	21	W	4,4	4,3	normal	4	4,1	normal	4,5	4,5	normal
CS3008	40	W	3,6	3,2	normal	3,7	3,2	normal	4,4	3,2	normal
HE0510	25	W	2,4	2,4	normal	2	5,2	severe	3	3,1	mild
DB2803	38	W	5,8	5,8	normal	5,9	6	mild	6	5,9	normal

### 3.3 Aussagekraft der Kortikalisverlaufsform (Klemetti-Index)

Unter den Patienten der Untersuchungsgruppe war -basierend auf die DVO-Vorgaben- die Diagnose einer Osteoporose bei 18 Patienten gestellt worden, bei 16 war eine Osteopenie und bei weiteren 16 ein Normalbefund festgestellt worden. Eine Aufstellung der Einschätzungen der Untersucher im Bezug auf die Kortikalisverlaufsform, ebenfalls das Klemetti-Index genannt wird folgend tabellarisch ([Tab. 7](#)) dargestellt:

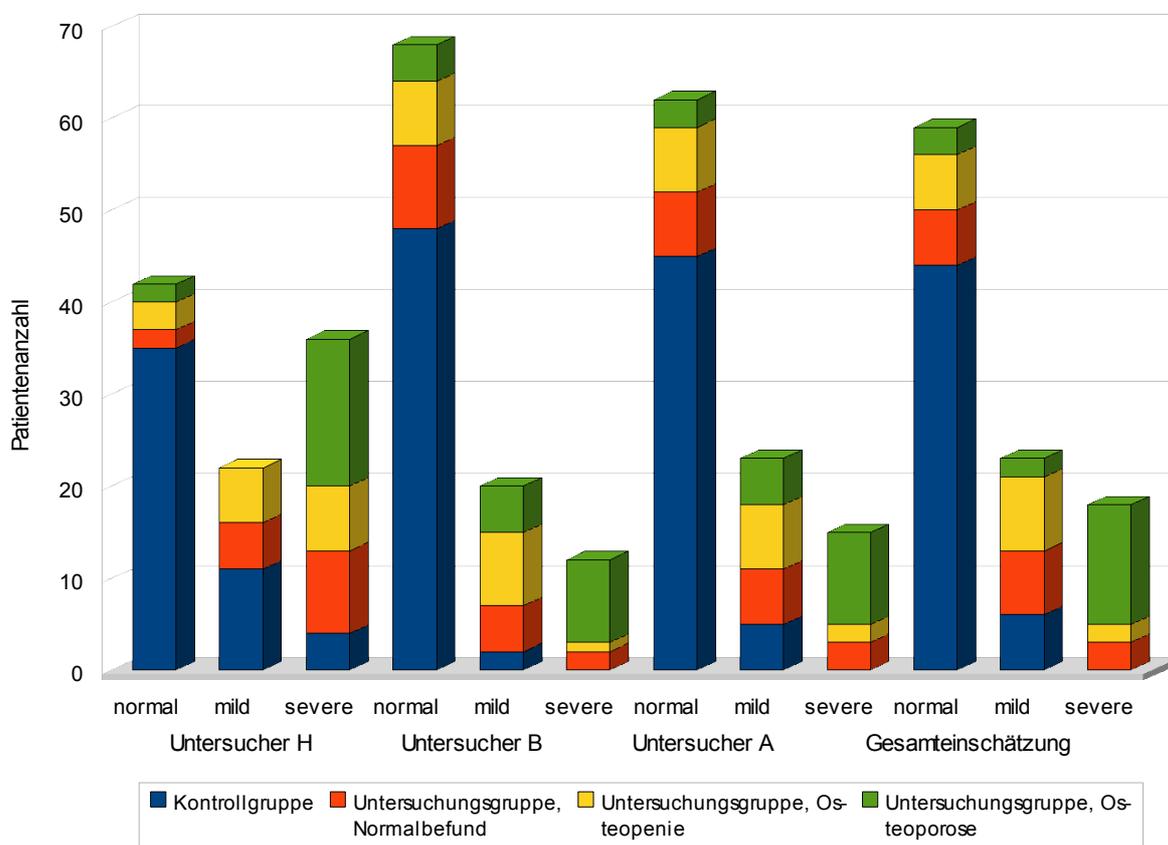
*Tabelle 7: Anzahl der Patienten der Kontrollgruppe und der Untersuchungsgruppe (und Subgruppen) in Abhängigkeit von der Einschätzung des Klemetti-Index des jeweiligen Untersuchers*

		Patientenanzahl	Untersucher H			Untersucher B			Untersucher A		
			normal	mild	severe	normal	mild	severe	normal	mild	severe
Kontrollgruppe		50	35	11	4	48	2	0	45	5	0
Untersuchungsgruppe	Normalbefund	16	2	5	9	9	5	2	7	6	3
	Osteopenie	16	3	6	7	7	8	1	7	7	2
	Osteoporose	18	2	0	16	4	5	9	3	5	10

Aus den drei Klemetti-Beurteilungen wurde eine Gesamteinschätzung gebildet, die jeweils die Auffassung der Mehrheit der Untersucher wiedergibt, beim Vorliegen von drei verschiedenen Beurteilungen, d.h. Normal, mild und severe wurde als mittlere Beurteilung die Beurteilung „mild“ angenommen. Die Gesamteinschätzung stellt sich wie folgt dar ([Tab. 8](#)), eine Aufstellung der Einschätzungen der Untersucher und der Gesamteinschätzung im Bezug auf die Kortikalisverlaufsform wird ferner grafisch dargestellt ([Abb. 12](#)) :

**Tabelle 8: Anzahl der Patienten der Kontrollgruppe und der Untersuchungsgruppe (und Subgruppen) in Abhängigkeit von der Einschätzung des Klemetti-Gesamtindex**

		Patientenanzahl	Klemetti-Gesamtindex		
			normal	mild	severe
Kontrollgruppe		50	44	6	0
Untersuchungsgruppe	Normalbefund	16	6	7	3
	Osteopenie	16	6	8	2
	Osteoporose	18	3	2	13



**Abbildung 12: Grafische Darstellung der Einschätzungen des Klemetti-Index des einzelnen Untersuchers bezogen auf die einzelnen Gruppen (Kontroll-versus Untersuchungsgruppe) und Subgruppen (Untersuchungsgruppe ohne densitometrischen Hinweis auf Osteoporose, Untersuchungsgruppe mit Hinweis auf Osteopenie, Untersuchungsgruppe mit Hinweis auf Osteoporose)**

Zur Beurteilung der individuellen Einschätzungen des Klemetti-Index wurde das zutreffende Einschätzen des Vorliegens oder Nichtvorliegens einer Osteoporose evaluiert. Hierfür wurden 3 Modelle überprüft:

**Erstes Modell:** Als zutreffende Zuordnung der Osteoporose-Patienten ist die Einschätzung in die „severe-“ Kategorie anzusehen, als zutreffende Zuordnung der Kontrollgruppe galt die Zuordnung in die Kategorie „normal“, bei einer Zuordnung der „gesunden Untersuchungsgruppe“ in die „Normal-“Kategorie wurde die Zuordnung ebenfalls als zutreffend angesehen, hier wird die Patientengruppe „Normalbefund“ der Untersuchungsgruppe als die gesunde Untersuchungsgruppe angesehen:

- Untersucher H hat 88.9% der Osteoporose-Patienten zutreffend diagnostiziert, allerdings 70% der Kontrollen und 12.5% der gesunden Untersuchungsgruppe.
- Untersucher B hat 50% der Osteoporose-Patienten zutreffend diagnostiziert, allerdings 96% der Kontrollen und 56.3% der gesunden Untersuchungsgruppe.
- Untersucher A hat 55.6% der Osteoporose-Patienten zutreffend diagnostiziert, allerdings 90% der Kontrollen und 43.8% der gesunden Untersuchungsgruppe.
- Die Gesamteinschätzung hat 72,2% der Osteoporosen zutreffend diagnostiziert, allerdings 88% der Kontrollen und 36,5% der gesunden Untersuchungsgruppe. Die Sensitivität betrug 72,2%. Die Spezifität lag bei 75,6% unter Einbezug der Kontrollgruppe und 36,5% wenn nur die Untersuchungsgruppe beurteilt wurde.

**Zweites Modell:** Als zutreffende Zuordnung der Osteoporose-Patienten ist die Einschätzung in die „severe-“ Kategorie anzusehen, als zutreffende Zuordnung der Kontrollgruppe galt die Zuordnung in die Kategorie „normal“ bzw. „mild“, bei einer Zuordnung der „gesunden Untersuchungsgruppe“ in die „Normal-“ bzw. „mild-“Kategorie wurde die Zuordnung ebenfalls als zutreffend angesehen, hier

wird die Patientengruppe „Normalbefund“ der Untersuchungsgruppe als die gesunde Untersuchungsgruppe angesehen:

- Untersucher H hat 88.9% der Osteoporose-Patienten zutreffend diagnostiziert, allerdings 92% der Kontrollen und 43,8% der gesunden Untersuchungsgruppe.
- Untersucher B hat 50% der Osteoporose-Patienten zutreffend diagnostiziert, allerdings 100% der Kontrollen und 87,5% der gesunden Untersuchungsgruppe.
- Untersucher A hat 55.6% der Osteoporose-Patienten zutreffend diagnostiziert, allerdings 100% der Kontrollen und 81,3% der gesunden Untersuchungsgruppe.
- Die Gesamteinschätzung hat 72,2% der Osteoporosen zutreffend diagnostiziert, allerdings 100% der Kontrollen und 81,3% der gesunden Untersuchungsgruppe. Die Sensitivität betrug 72,2%. Die Spezifität lag bei 95,5% unter Einbezug der Kontrollgruppe und 81,3% wenn nur die Untersuchungsgruppe beurteilt wurde

**Drittes Modell:** Als zutreffende Zuordnung der Osteoporose-Patienten ist die Einschätzung in die „severe-“ Kategorie anzusehen, als zutreffende Zuordnung der Kontrollgruppe galt die Zuordnung in die Kategorie „normal“ bzw. „mild“, bei einer Zuordnung der „gesunden Untersuchungsgruppe“ in die „Normal-“ bzw. „mild-“Kategorie wurde die Zuordnung als zutreffend angesehen, hier wird die Patientengruppe „Normalbefund“ und die Gruppe der „Osteopenie-“Patienten der Untersuchungsgruppe als die gesunde Untersuchungsgruppe angesehen:

- Untersucher H hat 88.9% der Osteoporose-Patienten zutreffend diagnostiziert, allerdings 92% der Kontrollen und 34,4% der gesunden Untersuchungsgruppe.
- Untersucher B hat 50% der Osteoporose-Patienten zutreffend diagnostiziert, allerdings 100% der Kontrollen und 90,6% der gesunden Untersuchungsgruppe.

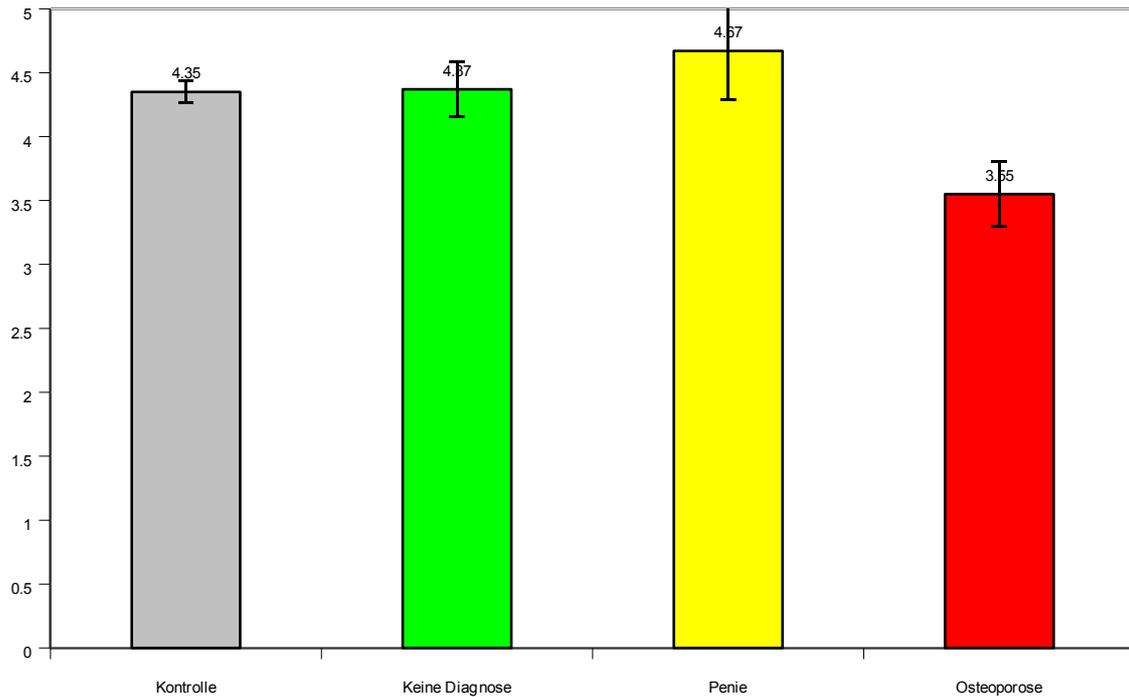
- Untersucher A hat 55.6% der Osteoporose-Patienten zutreffend diagnostiziert, allerdings 100% der Kontrollen und 84,4% der gesunden Untersuchungsgruppe.
- Die Gesamteinschätzung hat 72,2% der Osteoporosen zutreffend diagnostiziert, allerdings 100% der Kontrollen und 84,4% der gesunden Untersuchungsgruppe. Die Sensitivität betrug 72,2%. Die Spezifität lag bei 93,9% unter Einbezug der Kontrollgruppe und 84,4% wenn nur die Untersuchungsgruppe beurteilt wurde

### 3.4 Aussagekraft der Kortikalishöhe (mandibular cortical width, MCW)

Aus den Messungen der Kortikalishöhe unter dem Foramen mentale beidseits wurde ein Mittelwert ermittelt, dieser wurde in die weitere Berechnung einbezogen. In der Kontrollgruppe lag der mittlere MCW-Wert bei 4,35 mm, SD 0,62 mm. In der Gruppe der untersuchten Patienten, bei denen ein Normalbefund festgestellt werden konnte lag der mittlere MCW-Wert bei 4,37 mm und die SD bei 0,85 mm, während der MCW-Mittelwert der Osteopenie-Patienten bei 4,67 mm bei einer SD von 1,51 mm. Der MCW-Mittelwert der Osteoporose-Patienten lag Wert bei 3,55 mm bei einer SD von 1,08 mm. Folgend wurden die Daten tabellarisch (Tab. 9) und grafisch dargestellt (Abb. 13)

*Tabelle 9: Mittelwerte und der Standardabweichungen der Kortikalishöhe unter dem Foramen mentale (mandibular cortical width, MCW) in Abhängigkeit von der Patientengruppe*

		Patientenanzahl	MCW-Mittelwerte in mm	Standardabweichungen in mm
Kontrollgruppe		50	4,35	0,62
Untersuchungsgruppe	Normalbefund	16	4,37	0,85
	Osteopenie	16	4,67	1,51
	Osteoporose	18	3,55	1,08



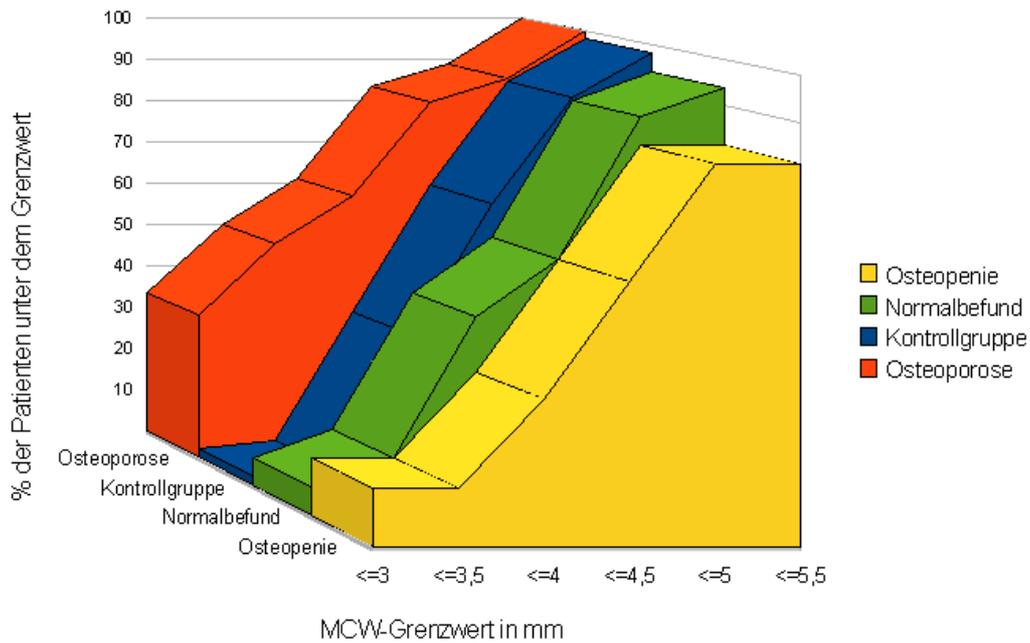
*Abb. 13: Mittelwerte der Kortikalishöhe unter dem Foramen mentale (mandibular cortical width, MCW) in Abhängigkeit von der Patientengruppe*

In den Post hoc-Tests (Tamhane's-Tests) unterscheidet sich die Gruppe der untersuchten Patienten mit einer diagnostizierten Osteoporose im MCW-Gesamtwert signifikant von den Patienten der Kontrollgruppe ( $p = 0,047$ ), nicht jedoch von den Untersuchungspersonen mit einem Normalbefund oder von den Patienten mit der Diagnose „Osteopenie“.

Zur näheren Evaluation wurde die Aussagekraft bestimmter MCW-Grenzwerte, sogenannte Cut-Off-Werte, überprüft. Hierfür wurden die Grenzwerte 3,0 mm, 3,5 mm, 3,8 mm, 4,0 mm und 4,2mm bestimmt und deren Aussagekraft evaluiert. Die tabellarischen und die grafischen Aufstellungen der Ergebnisse sind wie folgt ([Tab. 10](#)), ([Abb. 14](#)):

*Tabelle 10: Anzahl der Patienten der Kontrollgruppe und der Untersuchungsgruppe (und Subgruppen) deren MCW-Werte bis zum jeweiligen Grenzwert (Cut-Off-Werte) liegen. Die erste Zahl oben gibt die Anzahl der Patienten unter Einbeziehen des MCW-Mittelwerts. In Klammern sind die Anzahl der Patienten basierend auf die Bewertungen des jeweiligen Beurteilers, die erste Zahl ist nach Beurteiler B, zweite kursive und unterstrichene Zahl nach Beurteiler H und die dritte **fett hervorgehobene** ist nach Beurteiler A. Die Prozentangabe basiert auf den MCW-Mittelwert*

		Patienten-anzahl	MCW Cutt-Off-Werte in mm										
			<=3,0	%	<=3,5	%	<=3,8	%	<=4,0	%	<=4,2	%	
Kontrollgruppe		50	1 (1, <u>1</u> , <b>0</b> )	2	2 (5, <u>5</u> , <b>6</b> )	4	11 (10, <u>8</u> , <b>10</b> )	2	17 (17, <u>15</u> , <b>16</b> )	3	25 (21, <u>24</u> , <b>24</b> )	5	0
Untersuchungsgruppe	Normalbefund	16	1 (0, <u>1</u> , <b>1</b> )	6	2 (4, <u>2</u> , <b>4</b> )	1	4 (4, <u>5</u> , <b>5</b> )	2	7 (5, <u>6</u> , <b>6</b> )	4	7 (7, <u>8</u> , <b>6</b> )	4	4
	Osteopenie	16	2 (1, <u>2</u> , <b>2</b> )	1	2 (2, <u>3</u> , <b>4</b> )	1	4 (4, <u>5</u> , <b>5</b> )	2	5 (5, <u>7</u> , <b>6</b> )	3	5 (5, <u>8</u> , <b>6</b> )	3	1
	Osteoporose	18	6 (7, <u>6</u> , <b>6</b> )	3	9 (11, <u>7</u> , <b>9</b> )	5	10 (11, <u>10</u> , <b>9</b> )	5	11 (12, <u>11</u> , <b>10</b> )	6	13 (12, <u>12</u> , <b>10</b> )	7	2



**Abbildung 14: Der prozentige Patientenanteil der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit vom MCW-Grenzwert (in 5mm-Skalierung)**

Für die Berechnung der Sensitivität und der Spezifität der Cutt-Off-Werte wurde die Subgruppe der Untersuchungsgruppe mit der Diagnose einer Osteoporose als die Osteoporosegruppe angesehen, alle anderen Gruppen zusammen stellen die Gruppe ohne Osteoporose dar. Es ergibt sich folgendes Ergebnis:

- MCW 3,0: Sensitivität 33%, Spezifität 95%
- MCW 3,5: Sensitivität 50%, Spezifität 93%
- MCW 3,8: Sensitivität 56%, Spezifität 77%
- MCW 4,0: Sensitivität 61%, Spezifität 65%
- MCW 4,2: Sensitivität 72%, Spezifität 55%

### 3.5 Vergleichende Beurteilung der Parameter

Im folgenden wird die Frage beantwortet, ob der Klemetti-Index in der Gesamteinschätzung oder der MCW-Gesamtwert oder Kombinationen von beiden die beste Vorhersage der Diagnose bilden. Dazu werden für den MCW-Mittelwert jeweils die Grenzwerte 3,0 mm und 3,5 mm geprüft.

Zwei schrittweise binäre logistische Regressionen wurden gerechnet. Sie unterscheiden sich jeweils in der Einordnung der Diagnose „Penie“ als Kategorie „Diagnose: Osteoporose“ oder „Diagnose: Normalbefund“. Entsprechend wurde im Klemetti-Gesamtindex jeweils die Kategorie „mild“ entweder mit „severe“ oder mit „normal“ zusammengefasst. Dies ermöglicht, dass in die beiden logistischen Regressionen jeweils nur dichotome Variablen eingeführt werden.

In die erste logistische Regression wurde als abhängige Variable „Diagnose Osteoporose“ versus „Diagnose Penie bzw. Normalbefund“ eingeführt. Als mögliche Prädiktoren wurden die unabhängigen Variablen MCW-Gesamtwert 1 ( $>3,0 / \leq 3,0$ ), MCW-Gesamtwert 2 ( $>3,5 / \leq 3,5$ ), sowie der Klemetti-Gesamtindex (severe vs. mild und normal) geprüft. Es ergibt sich ein hochsignifikantes Vorhersagemodell (Chi-Quadrat= 35,35,  $p < 0,001$ ), das 49% der Varianz erklärt (Nagelkerkes  $R^2 = 0,49$ ) und 90% der Fälle zutreffend vorhersagt. In das Regressionsmodell wurde nur der Klemetti-Gesamtindex aufgenommen ( $B=3,69$ , Wald=27,79,  $p < 0,001$ ), die Aufnahme der MCW-Werte ergab keine weitere Optimierung des hochsignifikanten Aussagemodells.

In die zweite logistische Regression wurde als abhängige Variable „Diagnose Osteoporose oder Penie vs. Normalbefund“ eingeführt. Als mögliche Prädiktoren wurden die unabhängigen Variablen MCW-Gesamtwert 1 ( $>3,0 / \leq 3,0$ ), MCW-Gesamtwert 2 ( $>3,5 / \leq 3,5$ ), sowie der Klemetti-Gesamtindex (severe und mild vs. normal) geprüft. Es ergibt sich wiederum ein hochsignifikantes Vorhersagemodell (Chi-Quadrat= 22,96,  $p < 0,001$ ), das 28% der Varianz erklärt (Nagelkerkes  $R^2 = 0,28$ ) und noch 75% der Fälle zutreffend vorhersagt. In das Regressionsmodell wurde wieder nur der Klemetti-Gesamtindex aufgenommen ( $B=2,16$ , Wald=19,99,  $p < 0,001$ ) die Aufnahme der MCW-Werte ergab keine wei-

tere Optimierung des hochsignifikanten Aussagemodells.

Der Klemetti-Gesamtindex und der MCW-Gesamtindex korrelieren im mittleren Bereich signifikant miteinander (Spearman's Rho= -0.36,  $p < 0.001$ ). Während der Klemetti-Gesamtindex hoch mit dem Alter korreliert ist (Spearman's Rho= -0.67,  $p < 0.001$ ), korreliert der MCW-Gesamtwert mit dem Alter nicht signifikant (Spearman's Rho= -0.14,  $p < 0.182$ ).

### 3.6 Übereinstimmung der Einschätzungen

Im folgenden wird die Übereinstimmung der drei Untersucher beurteilt. Für die MCW-Werte werden Intraclass-Korrelationskoeffizienten (Two-Way Mixed Effects Model, Absolute Agreement Definition) berechnet.

Für die Beurteilungen der rechten Seite ergibt sich ein Intraclass-Korrelationskoeffizient von 0,94 (95%-Konfidenzintervall: 0,92/0,96,  $F= 16,68$ ,  $p < 0,001$ ). Für die Beurteilungen der linken Seite ergibt sich ein Intraclass-Korrelationskoeffizient von 0,93 (95%-Konfidenzintervall: 0,90/0,95,  $F= 14,59$ ,  $p < 0,001$ ). Für den Gesamtwert beider Beurteilungen ergibt sich ein Intraclass-Korrelationskoeffizient von 0,96 (95%-Konfidenzintervall: 0,94/0,97,  $F= 22,04$ ,  $p < 0,001$ ). Es lässt sich somit eine hohe Übereinstimmung festhalten.

Zur Beurteilung der Übereinstimmung im Schweregradrating, also in der Beurteilung Kortikalisverlaufsform nach Klemetti, wurde die „weighted Kappa statistic“ angewendet. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgte nach den Richtlinien von Landis und Koch, danach wird ein Kappa von 0,00-0,20 als eine sehr geringe, zwischen 0,21-0,40 als eine geringfügige, zwischen 0,41-0,60 als eine moderate, zwischen 0,61-0,80 als eine hohe und von über 0,81 als eine nahezu perfekte Übereinstimmung angesehen (Landis und Koch 1977). Untersucher B und H erzielten ein Kappa von 0,31 ( $p < 0,001$ ), Untersucher A und H ein Kappa von 0,45 ( $p < 0,001$ ) und Untersucher B und A ein Kappa von 0,63 ( $p < 0,001$ ), somit wurde die höchste Übereinstimmung im Bezug auf das Klemetti-Index zwischen den Untersuchern A und B festgestellt. Das mittlere Kappa beträgt somit 0,46.

Aus den drei Klemetti-Beurteilungen wurde eine Gesamteinschätzung gebildet, die jeweils die Auffassung der Mehrheit der Rater wiedergibt, beim Vorliegen von drei verschiedenen Beurteilungen, d.h. Normal, mild und severe wurde als mittlere Beurteilung die Beurteilung „mild“ angenommen. Diese Gesamteinschätzung ergab zur Einschätzung vom Untersucher A ein Kappa von 0,89 ( $p < 0,001$ ), zu Untersucher B ein Kappa von 0,68 ( $p < 0,001$ ) sowie zu Untersucher H ein Kappa von 0,53 ( $p < 0,001$ ). Somit war die Übereinstimmung der Ein-

schätzungen des Untersuchers A mit der Gesamteinschätzung am höchsten.

# 4. Diskussion

## 4.1 Diskussion der Zielsetzung und des Studienaufbaus

Eine frühstmögliche Osteoporose-Diagnosestellung zur Einleitung einer Therapie und zur Veranlassung von Prophylaxemaßnahmen ist von großer Bedeutung. In der vorliegenden Studie wird die Eignung der in der dentalen und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen Diagnostik häufig angefertigte Panoramaschichtaufnahme zur Detektion bestimmter Parameter überprüft, die in der Literatur mit dem Vorliegen einer Osteoporose assoziiert werden. Das Ziel ist es, bei positivem Überprüfungsergebnis hierdurch die oben angesprochenen Fachdisziplinen dafür zu sensibilisieren, die osteoporose-assoziierten Parameter zu überprüfen und ggf. eine Überweisung des Patienten an einen spezialisierten Arzt bzw. an eine spezialisierte Klinik durchzuführen.

Die erste Beschreibung einer Korrelation zwischen systemischer Osteoporose und einer fazialen Knochendichteminderung wurde bereits im Jahr 1960 von Groen et al. beschrieben (*Groen et al. 1960*). Die Mandibula scheint eine zum restlichen Skelett vergleichbare Minderung des Knochenmineralgehalts mit fortschreitendem Alter zu entwickeln (*von Wowern 1986*). Eine Literaturübersicht von Hildebolt zeigte, dass ab einem Alter von 50 Jahren eine histomorphologische und mikroradiographische Zunahme der Knochenporosität der Mandibula zu bemerken ist, wobei diese Veränderung bei Frauen ausgeprägter sind als bei Männern, eine Analogie zum Knochendichteverlust an anderen skelettalen Anteilen wie der Unterarm, die Wirbelkörper oder des Oberschenkels wurden bestätigt. Trotz nicht einheitlicher Studienlage zum Zusammenhang zwischen Osteoporose resümierte Hildebolt in seiner Übersicht eine Assoziation zwischen Osteoporose und Rückgang des Knochenmineralgehalt der Mandibula (*Hildebolt 1997*).

Der Zusammenhang zwischen dem Vorliegen von systemischer Osteoporose mit verschiedenen osteoporose-assoziierten Parametern wurde in verschiedenen Studien untersucht (*Klemetti et al. 1994, Taguchi et al. 1996, Devlin und Horner 2002, Taguchi et al. 2004, Lee et al. 2005, Halling et al. 2005, White et al. 2005, Bozic und Hren 2006, Yaşar und Akgünlü 2006, Taguchi et al. 2006, Amorim et al. 2007, Devlin et al. 2007, Devlin et al. 2008*). In der Regel wurden im Rahmen dieser Studien Patienten eingeschlossen, bei denen primär eine radiologische Knochendichtemessung durchgeführt wurde. Von diesen Patienten wurden dann normierte Panoramaschichtaufnahmen durch ein Gerät mit vordefinierten Einstellungen angefertigt und die Korrelation zwischen dem Ergebnis der Knochendichtemessung und den jeweils zu untersuchenden Parametern an der Panoramaschichtaufnahmen evaluiert. Im Gegensatz hierzu wurde im Rahmen der vorliegenden Studie die Untersuchung an primär Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgischen Patienten durchgeführt. Dieses Studiendesign wurde deshalb gewählt, um die Situation in der täglichen Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgischen, oralchirurgischen und zahnärztlichen Routine zu simulieren, in der nicht normierte Panoramaschichtaufnahmen -je nach Zuweiser- verschiedenen Geräten mit verschiedenen Einstellungen entstammen vorliegen. Unser Studiendesign unterscheidet sich ferner von dem anderer Studien darin, dass hier eine Kontrollgruppe existiert. Dieses hat das Ziel, die Aussagekraft der Studie mit Hinblick auf die Evidenz zu optimieren.

In der vorliegenden monozentrischen prospektiven klinischen Untersuchung ist durch die konsekutive prätherapeutische Erfassung bei den weiten Einschlusskriterien und die wenigen, arztunabhängigen Ausschlusskriterien eine ergebnisverfälschende Selektion minimiert worden. Die exakt gleiche Zusammensetzung der Gruppen im Bezug auf das Verteilen der Geschlechter soll eine geschlechtsspezifische Beeinflussung der Vergleichbarkeit beider Gruppen ausschließen. Folgende Faktoren sollen die Objektivität der Einschätzungen der Untersucher erhöhen:

- Pseudonymisierung der Panoramaschichtaufnahmen.
- Das Nichtbekanntgeben der Anzahl der Patienten weder in der Untersu-

chungsgruppe noch in der Kontrollgruppe.

- Ausschließen von Panoramaschichtaufnahmen von Patienten in der Kontrollgruppe, die eine Vollbezahnung, kieferorthopädische Apparaturen, Zahnkeime oder eine Zahnretention aufweisen, um einen möglichen Rückschluss auf einen niedrigen Patientenalter entgegenzuwirken.

Die Beurteilung der Panoramaschichtaufnahme im Rahmen dieser Studie erscheint deshalb als geeignet, da eine Minderung der Knochendichte der Mandibula simultan zur systemischen Minderung der Knochendichte auftritt (*Horner et al. 1996, Hildebolt 1997, Li et al. 2009*), ferner gehört diese Aufnahme zu den am häufigsten angefertigten Aufnahme in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und in der zahnärztlichen Diagnostik, sie bietet eine gute Übersicht bei niedriger Strahlenbelastung. Die Aufnahme ist die am zweithäufigsten angefertigte Röntgenaufnahme in der zahnärztlichen Diagnostik (*Tanner 2000, Scanff et al. 2008*) und -aus eigener Erfahrung- wahrscheinlich die häufigste Aufnahme in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen Diagnostik. Die radiologischen Aufnahmen der o.g. Fachdisziplinen machen etwa ein Drittel aller Röntgenaufnahmen der Bevölkerung aus (*Tanner 2000, Scanff et al. 2008*). Ein Nachteil dieser Aufnahmetechnik ist sicherlich die Zweidimensionalität des Bildes mit der Gefahr von Fehldiagnosen durch Summationsartefakte. Hier bieten modernste Geräte der digitalen Generation Abhilfe durch die Möglichkeiten der digitalen Filter. Ferner kann eine nicht optimale Positionierung des Patienten im Gerät die Entstehung einer verzerrten oder unscharfen Aufnahme verursachen. Dieses Risiko kann durch die Anwendung von geschultem Personal minimiert werden (*Rudzit und Rottke 1984*). Eine Einschränkung des Einsatzes der Panoramaschichtaufnahme-Technik ist die in der Regel erschwerte Durchführbarkeit bei bettlägerigen Patienten aus geräteergonomischen Gründen.

Die zwei von uns untersuchten osteoporose-assoziierten Parameter sind die in der Literatur am häufigsten untersuchten Parameter weshalb zu ihnen die validesten Daten vorliegen. Der erste Parameter, die Kortikalishöhe (mandibular cortical width, MCW), wird in Anlehnung an der von Taguchi beschriebenen Methode (*Taguchi et al. 1996*) beidseitig unterhalb des Foramen mentale ermittelt.

Die Beurteilung des zweiten Parameter, die Kortikalisverlaufsform (mandibular cortical shape), erfolgt in Anlehnung an der von Klemetti beschriebenen Vorgehensweise (*Klemetti et al. 1994*). Gemäß der Methode nach Klemetti wird der Verlauf der Kortikalis distal des Foramen mentale beidseitig v.a. im Bezug auf den kranialen Übergang von dem kortikalen in den spongiösen Knochen beurteilt. Die Mehrzahl der Studien bestätigt einen Korrelation zwischen dem MCW (*Devlin und Horner 2002, Horner et al. 2002, Lee et al. 2005, Devlin et al. 2007, Devlin et al. 2008*), der Kortikalisverlaufsform nach Klemetti (*Halling et al. 2005, Sutthiprapaporn et al. 2006, Taguchi et al. 2006, Yaşar und Akgünlü 2006*), oder gleichzeitig beiden (*Taguchi et al. 2004, White et al. 2005*) auf der einen Seite und der Knochendichte im Rahmen der Osteoporosediagnostik auf der anderen Seite.

Weitere Studiengruppen versuchten, weitere osteoporose-assoziierte Erkennungsparameter an den Panoramaschichtaufnahmen zu definieren. So untersuchte Bozic eine mögliche Korrelation zwischen der Knochendichte und folgenden anatomischen Messungen an der Panoramaschichtaufnahme: Die Breite des Ramus mandibulae, die Höhe des Corpus mandibulae an drei vordefinierten Positionen und das Verhältnis der Knochendicke ober- und unterhalb des canalis mandibularis und des Foramen mentale. Ferner untersuchte er die Knochendichte der eingescannten Panoramaschichtaufnahmen an vordefinierten Positionen mittels einer Grafiksoftware nach Erstellung eines Farbhistogramms, in der Studie wurde eine signifikante Korrelation bestätigt (*Bozic und Hren 2006*). Dieser und weitere Ansätze (*Drozdowska et al. 2002, Yaşar und Akgünlü 2006*), wurden jedoch nicht weiter verfolgt.

Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgte die Knochendichtemessung an der Lendenwirbelsäule und an den proximalen Femora nach dem DXA-Verfahren (dual energy X-ray absorptiometry). Die an den verschiedenen Sklettregionen ermittelten T-Scores weisen in der Literatur eine hohe Übereinstimmung auf, so liegt die Differenz der T-Scores zwischen der Messung am Femurhals und am Trochanter bei 0,7 T-Scores und zwischen LWS und Gesamtfemur bei 0,8 T-Scores (*Pfeilschifter 2006*). Ferner ist die Übereinstimmung zwischen den Gerä-

ten sehr hoch, so liegt der T-Score-Unterschied zwischen den GE-Lunar-Geräten und den Hologic-Geräten -als große Hersteller von DXA-Geräten- bei Messungen an der LWS von 0,2 T-Scores und 0,3-0,4 T-Scores an den Femora (*Genant et al. 1994*). Humadi et al. untersuchten die Korrelation zwischen den DXA-Messungsergebnissen mit der histomorphometrischen Analyse von Knochenbiopsien und fanden eine Sensitivität von 94,1%, eine Spezifität von 62,5% und eine positive Vorhersagekraft von 83,3% (*Humadi et al. 2010*). Die DXA-Messung wird als die der Zeit valideste Messung zur Identifizierung von Hochrisikopatienten und für eine Einleitung einer osteoporosespezifischen Prävention und Therapie (*Ross 1996, Fujiwara et al. 2001*). Für die DXA-Osteodensitometrie liegt der größte Erfahrungsschatz vor, sie stellt im Rahmen der Osteoporosediagnostik die Standardmethode dar (*Kanis et al. 2000, Adams 2003, Pfeilschifter 2006, Tucker et al. 2007*).

Zu den weiteren wichtigen Untersuchungsmethoden gehört die quantitative Computer-Tomographie (QCT). Im Gegensatz hierzu zeichnet sich das DXA-Verfahren durch eine kurze Untersuchungsdauer, eine höhere Kosteneffizienz und eine niedrige Strahlenbelastung aus (*Adams 2003*). Die Strahlenbelastung beträgt im Schnitt 2,2  $\mu\text{Sv}$  (*Chomtho et al. 2008*) und beträgt somit ein Tausendstel der jährlichen natürlichen und die zivilisatorischen Strahlenbelastung eines Erwachsenen in Deutschland (*Bundesamt für Strahlenschutz 2008*). In der Literatur sind weitere -ergänzende- diagnostische Verfahren beschrieben, die aber keine breite alleinige Verwendung finden, dazu gehören: Periphere Computertomographie des Radius (*Grampp et al. 1995*), quantitative Ultraschalluntersuchung des Calcaneus und der Phalangen (*Resch et al. 1990*) und die hochauflösende Magnetresonanztomographie der trabekulären Strukturen (*Bauer und Link 2009*).

In der Untersuchungsgruppe erfolgte die Diagnosestellung unter Anwendung der Leitlinien des DVO wie unter 2.3.4. beschrieben. Nach Angaben der WHO kann die Diagnose einer Osteopenie bei einem T-Wert von -1,0 bis -2,49 gestellt werden, bei T-Werten von unter -2,5 ist von einer Osteoporose auszugehen (*Siris et al. 2001*). Es hat sich zunehmend gezeigt, dass osteoporotische

Frakturen neben dem T-Wert von vielen anderen Faktoren abhängen, die zum großen Teil unter dem Begriff „Knochenqualität“ zusammengefasst werden können. Die Unschärfe der Diagnose einer Osteoporose in Bezug auf eine schlechte Skelettarchitektur bringt es mit sich, dass viele typische osteoporotische Frakturen bei Patienten auftreten, deren T-Werte in der Knochendichtemessung nur osteopenische Messwerte aufweisen (*Siris et al. 2001*), (*Pfeilschifter 2006*). In einem Teil dieser Fälle wird es sich um falsch-negative Messwerte durch Artefakte der DXA-Messung handeln, in einem anderen Teil aber um Formen der Osteoporose, bei denen die Verschlechterung der strukturellen Komponente der Osteoporose im Vordergrund steht. Eine Erniedrigung der Knochendichte ist ein relativer Risikofaktor für Knochenbrüche. Maßgeblich für die relative Höhe des Frakturrisikos ist der T-Wert. Maßgeblich für das absolute Risiko für Knochenbrüche ist der Gesamtkontext aus klinischen Risikofaktoren (Siehe 2.3.4) und der Knochendichte (*Pfeilschifter 2006*). Die Berücksichtigung von weiteren Faktoren -neben Alter und BMD-, die das Frakturrisiko im Vordergrund stellen, findet zunehmende Unterstützung (*Grampp 2008*).

## 4.2 Diskussion der Ergebnisse

Nach Vorgaben der DVO sind bei 18 Patienten die Diagnose einer Osteoporose und bei weiteren 16 Patienten die Diagnose einer Osteopenie gestellt worden, bei weiteren 16 der Untersuchungsgruppe-Patienten wurden Normalbefunde erhoben. Das Verhältnis der Osteoporosepatienten in der Untersuchungsgruppe zu Gesamtzahl betrug 36% bei einem mittleren Alter der Patienten in der Untersuchungsgruppe von 74,9 Jahre (Standardabweichung 10,3). Das Verhältnis der Anzahl Osteoporosepatientinnen an der Gesamtzahl aller Patientinnen der Untersuchungsgruppe betrug 51,5% bei einem Mittelwert des Alters von 76,4 Jahre (Standardabweichung 11,4 ). Das Verhältnis der männlichen Osteoporosepatienten an der Gesamtanzahl aller männlichen Patienten der Untersuchungsgruppe betrug 5,9% bei einem mittleren Alter von 73,9 Jahren (Standardabweichung 8,8 Jahre). In einer repräsentativen Statistik der Osteoporoseprävalenz in Schweden basierend auf die durch das DXA-Verfahren gewonnenen Knochendichtewerte werden ähnliche Daten zu den von uns ermittelten Daten angegeben (*Kanis und Glüer 2000*). In der männlichen Bevölkerung, die zwischen 70-74 Jahre alt war, betrug die Prävalenz einer Osteoporose 7,8%, der von uns ermittelte Wert war 5,9%, wobei die geringe Anzahl der Patienten (1 Osteoporosepatient von 17 männlichen Patienten) uns hier keine definitive statistische Aussage erlaubt. In der o.g. Studie wurde unter den weiblichen Studienteilnehmern ein Osteoporosepatientenanteil am gesamten untersuchten Kollektiv, der sich in der Altersgruppe 75-80 befand, von 37,5% ermittelte. In unserer Studie war dieser Anteil höher und betrug 51,5%. Zu bedenken in diesem Zusammenhang ist, dass in unserer Studie in manchen Fällen die Diagnose einer Osteoporose beim einem T-Wert von über -2,5 ausgesprochen wurde, wenn zusätzliche Risikofaktoren, wie unter Kapitel 2.3.4. beschrieben, vorlagen während sich Kanis et al. streng an einer Osteoporosediagnosestellung basierend auf einen T-Wert-Grenzwert von -2,5 hielten.

Die Abnahme der Knochendichte korrelierte in der vorliegenden Studie mit dem Geschlecht, während 56,2 % der Patienten der Untersuchungsgruppe, bei de-

nen ein Normalbefund erhoben wurde, Männer waren, betrug der Anteil der Frauen unter den Patienten mit der Diagnose „Osteoporose“ 94,4 % bei einer ursprünglichen Verteilung der Geschlechter in der Untersuchungsgruppe (und in der Kontrollgruppe) von 66 % Frauen zu 34 % Männern. Es zeigt sich ferner eine Zunahme der Häufigkeit der diagnostizierten Osteoporosepatienten mit zunehmendem Alter. Während das mittlere Alter der Patienten der Untersuchungsgruppe, bei denen Normalbefund festgestellt wurde 71,6 Jahre betrug war das mittlere Alter der Osteoporosepatienten 81,1 Jahre. Die Zunahme Osteoporoserisikos und damit der Frakturhäufigkeit mit zunehmendem Alter und in Abhängigkeit vom Geschlecht mit einer Zunahme bei weiblichem Geschlecht gilt als gesichert (*Ettinger 2003, Dawson-Hughes 2008, Saag und Geusens 2009*).

Zur Beurteilung der diagnostischen Aussagekraft der Kortikalisverlaufsform (Klemetti-Index) wurde das zutreffende Einschätzen des Vorliegens oder Nichtvorliegens einer Osteoporose der Untersucher basierend auf die Gesamteinschätzung evaluiert. Die Gesamteinschätzung wiedergibt die Auffassung der Mehrheit der Untersucher zum jeweiligen Patienten, beim Vorliegen von drei verschiedenen Beurteilungen, d.h. Normal, mild und severe wurde als mittlere Beurteilung die Beurteilung „mild“ angenommen. Zur Evaluation wurden drei Beurteilungsmodelle überprüft.

Beim ersten Modell galt als zutreffende Zuordnung der Osteoporose-Patienten die Einordnung in die „severe-“ Kategorie, als zutreffende Zuordnung der gesunden Untersuchungsgruppe, bestehend aus der Kontrollgruppe und der „Normalbefund-Gruppe“ galt die Zuordnung in die Kategorie „normal“. Im zweiten Modell galt im Gegensatz zum ersten Modell als zutreffende Zuordnung der gesunden Untersuchungsgruppe -bei gleicher Zusammensetzung wie im ersten Modell- in die Kategorie „normal“ bzw. „mild“. Im dritten Modell wurde die Definition der „gesunde Untersuchungsgruppe“ erweitert, hier gehörten der gesunden Untersuchungsgruppe neben den Patienten der Kontrollgruppe, der Gruppe „Normalbefund“ auch der Gruppe der „Osteopenie-“Patienten bei sonst gleichen Bedingungen wie im zweiten Modell.

Beim Anwenden des ersten Modells war von einer Sensitivität von 72,2% und

einer Spezifität von 75,6% auszugehen bei Beurteilung unter Einbezug der Ergebnisse der Kontrollgruppe in die Berechnung. Wenn nur die Untersuchungsgruppe (in diesem Modell: Osteoporosepatienten und Patienten mit einem Normalbefund) beurteilt wurde dann betrug die Spezifität 36,5%. Beim Anwenden des zweiten Modells betrug die Sensitivität 72,2% und die Spezifität 95,5% unter Einbezug der Kontrollgruppe und 81,3% wenn nur die Untersuchungsgruppe (in diesem Modell: Osteoporosepatienten und Patienten mit einem Normalbefund) beurteilt wurde. Die Sensitivität des dritten Modells betrug 72,2% während die Spezifität 93,9% bei Einschluss der Kontrollgruppe betrug. Wenn nur die Untersuchungsgruppe (in diesem Modell: sowohl die Osteoporosepatienten, die Patienten mit einem Normalbefund als auch die Osteopeniepatienten) in diesem Modell die sogenannte „gesunde Untersuchungsgruppe“ bildete dann betrug die Spezifität 84,4%.

Von den in der vorliegenden Studie vorgestellten Modelle halten wir das dritte Modell für das relevanteste Modell. In diesem Modell wurde die Korrelation der Einschätzung in die Klemetti-Kategorie „severe“ mit den Diagnosestellung Osteoporose (nach DVO-Definition) überprüft, der Rest Patienten galt in dieser Bewertung als nicht betroffen. Die Spezifitäten dieses Modells -ja nach eingeschlossener Gruppe- waren deutlich höher als die des ersten Modells oder vergleichbar mit denen des zweiten Modells, wobei im dritten Modells die Daten aller Patienten in die Beurteilung einbezogen werden konnten was die Aussagekraft des Ergebnisses erhöht.

Taguchi et al. verglich die diagnostische Aussagekraft der MCW und der Kortikalisverlaufsform nach Klemetti mit der diagnostischen Aussagekraft eines Osteoporosefragebogens (osteoporosis self-assessment tool, OST) an 159 gesunden postmenopausalen Frauen und an 157 postmenopausalen Frauen mit Z.n. Hysterektomie, Oophorektomie oder Östrogentherapie. Es erfolgte eine Knochendichtemessung mittels DXA an der LWS, normierte Panoramaschichtaufnahmen wurden dann im Rahmen der Studie mittels eines Geräts erstellt. Für das Klemetti-Index wurde eine Sensitivität von 86,8% und eine Spezifität von 63,6% ermittelt. Die Diagnose einer Osteoporose wurde bei einem T-Wert von

unter -2,5 ausgesprochen, wobei für die Beurteilung die Korrelation der Kategorien „mild“ und „severe“ des Klemetti-Index mit der Diagnose „Osteoporose“ evaluiert wurde. Die Sensitivität des Osteoporosefragebogens lag bei 86,8% und die Spezifität bei 57,8% während die Sensitivität des MCW bei 89,5% und die Spezifität bei 33,9% lag. In der Studie wurde eine vergleichbare diagnostische Wertigkeit des Klemetti-Index und des Osteoporosefragebogens konkludiert und insgesamt eine mögliche Anwendbarkeit der untersuchten panoramischen Parameter im Rahmen des Osteoporose-Screening subsumiert (*Taguchi et al. 2004*).

In einer späteren Untersuchung von Taguchi et al. wurde die diagnostische Aussagekraft der Parameter MCW und der Kortikalisverlaufsform nach Klemetti mit der diagnostischen Aussagekraft eines Osteoporosefragebogens (osteoporosis self-assessment tool, OST) in ähnlicher Weise zur Studie von 2004 verglichen, es wurde ferner der Frage nach einem möglichen Grenzwert für den MCW nachgegangen. Hier wurde die Untersuchung jedoch an gesunden postmenopausalen Frauen, die jünger als 65 Jahr alt waren, durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie wurde die Knochendichte mittels DXA an der LWS und am proximalen Femur ermittelt. Es wurden Panoramaschichtaufnahmen wie in der o.g. Studie angefertigt. Die Untersuchung des Klemetti-Index ergab eine Sensitivität von 72,6% und eine Spezifität von 74,0% bei einem T-Wert von -2,0 und eine Sensitivität von 86,7% und eine Spezifität von 65,6% wenn der T-Wert -2,5 war. Für die Beurteilung des Klemetti-Index wurden hier ebenfalls die Kategorien „mild“ und „severe“ bei der Berechnung als „any erosion“ zusammengefügt, dem gegenüber stand der Klemetti-Normalbefund. Die Sensitivität für den Osteoporosefragebogen betrug 86,7% und die Spezifität 46,9%, während die Sensitivität für den MCW 90,0% und die Spezifität 45,3% waren. Als sinnvoller MCW-Grenzwert wurden 3,0 mm gesehen (*Taguchi et al. 2006*).

Halling et al. bezogen die Korrelation zwischen dem Klemetti-Index und einer erniedrigten Knochendichte, welche mittels DXA an beiden Fersen ermittelt wurde. Nach Knochendichtemessung wurden standardisierte Panoramaschichtaufnahmen angefertigt. In die Studie wurden insgesamt 211 Männer und Frau-

en ab einem Alter von 60 Jahren inkludiert. In dieser Studie wurden die Klemetti-Index-Burteilungen „normal“ und „mild“ zusammengefasst und mit einer nicht vorhandenen Knochendichteminderung korreliert, die verminderte Knochendichteminderung (hier definiert als ein T-Wert unter -1,5) wurde mit der Klemetti-Burteilung „severe“ korreliert. Es wurde eine Sensitivität von 50% und eine Spezifität von 89% ermittelt (*Halling et al. 2005*).

Im Gegensatz hierzu berechneten Sutthiprapaporn et al. in ihrer Studie eine Sensitivität des Klemetti-Index von 73,0% und eine Spezifität von 49,0%. In dieser Studie wurden von 100 postmenopausalen Frauen, bei denen primäre eine Knochendichtemessung an der LWS und an den proximalen Femora angefertigt wurde normierte Panoramaschichtaufnahmen angefertigt. Das Klemetti-Index der Aufnahme wurde beurteilt. Die Klemetti-Burteilungen „normal“ und „mild“ wurden mit einer nicht geminderten Knochendichte korreliert. Eine verminderte Knochendichte lag in dieser Studie bei einem T-Wert von unter -1,0 (*Sutthiprapaporn et al. 2006*).

Die Vergleichbarkeit unserer Ergebnisse zu den o.g. Ergebnissen und der Vergleich der in der Literatur angegebenen Ergebnisse untereinander gestaltet sich als nicht einfach durchführbar, da die Zusammensetzung der Kollektive, die Lokalisationen der Knochendichtemessungen am Körper und die Kriterien für die Osteoporosediagnosestellung bzw. die T-Grenzwerte und die damit korrelierten Klemetti-Index-Kategorien z.T. nicht kongruent sind. Trotzdem zeigt sich, - basierend auf unseren Ergebnissen - das Klemetti-Index als ein hilfreiches Instrument im Rahmen der Überprüfung der Indikationsstellung zu einer Osteoporosediagnostik analog zu vielen Literaturangaben (*Halling et al. 2005, Lee et al. 2005, Sutthiprapaporn et al. 2006, Taguchi et al. 2006, Yaşar und Akgünlü 2006*).

Zu den Literaturstellen, die die diagnostische Aussagekraft des Klemetti-Index als gering erachten gehört die die Arbeitsgruppe von Devlin et al.. Sie untersuchten die diagnostische Aussagekraft des MCW und des Klemetti-Index für die Osteoporosediagnostik in normierten, einem Gerät entstammenden Panoramaschichtaufnahmen von 653 postmenopausalen Frauen. Die Diagnose einer

Osteoporose wurde ausgesprochen, wenn der mittels DXA ermittelte T-Wert an der LWS und an den proximalen Femora  $-2,5$  oder kleiner war. Das Odd Ratio für den Klemetti-Index lag -abhängig vom Beurteiler- zwischen  $3,75$  und  $5,4$  während der MCW Werte zwischen  $6,51$  und  $8,04$  erreichte (*Devlin et al. 2007*). Drozdowska et al. untersuchten die diagnostische Aussagekraft von verschiedenen panoramischen Parametern, darunter die des Klemetti-Index und des MCW. Die normierten, einem Gerät entstammenden Panoramaschichtaufnahmen 30 von postmenopausalen Frauen wurden in die Studie inkludiert. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten keinen eindeutigen diagnostischen Benefit für beide Parameter (*Drozdowska et al. 2002*).

Die mittleren MCW-Werte der Gruppen und subgruppen waren wie folgt: Kontrollgruppe  $4,35$  mm, SD  $0,62$  mm, Normalbefundgruppe:  $4,37$  mm und die SD  $0,85$  mm, Osteopenie-Patienten  $4,67$  mm, SD  $1,51$  mm und die Osteoporosepatienten  $3,55$  mm bei einer SD von  $1,08$  mm. Erwähnenswert ist, dass die deutliche Erhöhung des MCW-Mittelwerts der Osteopeniegruppe auf einen vergleichsweise sehr hohen Einzelwert von  $8,87$  mm beruht, wenn dieser Wert aus der Ermittlung des Mittelwerts exkludiert wird ergibt sich ein Mittelwert von  $4,39$  und eine SD von  $1,05$  mm. Dieser deutlich erhöhte Wert resultiert vermutlich aus einem Vergrößerungsartefakt der inkludierten Panoramaschichtaufnahme und ist in Anbetracht des Studiendesign nachvollziehbar, gemäß dessen nicht normierte Aufnahmen beurteilt werden.

Die Literaturrecherche im Hinblick auf den MCW-Mittelwert zeigt wenige vergleichbare Studien, da die Kollektivzusammensetzung und die verglichenen T-Werte heterogen waren. In einer Studie von Devlin et al. wurden in normierten, einem Gerät entstammenden Panoramaschichtaufnahmen von 74 Frauen im Alter von 43-79 Jahren die Korrelation zwischen den Kortikalishöhen im Bereich des Foramen mentale, am Gonion und im Bereich des Unterkieferwinkels und einer reduzierten Knochendichte evaluiert. In dieser Studie wurde eine reduzierte Knochendichte angenommen, wenn der mittels DXA an der LWS, am rechten Schenkelhals und am proximalen und distalen Unterarm ermittelte T-Werte unter  $-1,0$  lag. Hier wurde eine Korrelation und somit diagnostische Aussagekraft

nur zwischen dem MCW-Wert und der Knochendichte subsumiert. Es wurde hierfür ein Mittelwert von 3,96 mm bei einer SD von 0,88 ermittelt, hingegen betrug der Mittelwert der gesunden Teilnehmer 4,73 mm und die SD 0,88 mm (*Devlin und Horner 2002*). Im Rahmen der multizentrischen OSTEODENT-Studie wurde bei 652 Patientinnen der Frage einer möglichen Korrelation zwischen einem Osteoporosefragebogens (OSIRIS) und dem panoramischen MCW-Wert von unter 3 mm auf der einen Seite und einem mittels DXA an der LWS und an den proximalen Femora bestimmten osteodensitometrischen T-Wert von unter -2,5 auf der anderen Seite nachgegangen. Von den Patienten wurden mit Hilfe eines vordefinierten Geräts Panoramaschichtaufnahmen angefertigt und digital ausgewertet. Es wurde ein MCW-Mittelwert bei den Osteoporosepatienten (T-Wert unter -2,5) von 3,0 mm bei einer SD von 0,6 mm, der MCW-Mittelwert der untersuchten Teilnehmer ohne Osteoporose war 3,7 mm mit einer SD von 0,6 mm (*Devlin et al. 2008*). Die MCW-Mittelwerte sowohl unserer Osteoporosepatienten als auch der Patienten, bei denen keine Osteoporose festgestellt wurde liegen zwischen ermittelten Werten der o.g. Publikationen.

In den Post hoc-Tests (Tamhane's-Tests) unterscheidet sich die Gruppe der untersuchten Patienten mit einer diagnostizierten Osteoporose im MCW-Gesamtwert signifikant von den Patienten der Kontrollgruppe ( $p = 0,047$ ), nicht jedoch von den Untersuchungspersonen mit einem Normalbefund oder von den Patienten mit der Diagnose „Osteopenie“. Basierend auf unseren Ergebnissen ist von einer tendentiellen Korrelation zwischen dem erniedrigten MCW-Wert und des Vorliegen einer Osteoporose analog zu diversen Literaturangaben.

Horner et al. untersuchten die diagnostische Aussagekraft des MCW in 135 normierten, einem Gerät entstammenden, Panoramaschichtaufnahmen von Patientinnen im Alter zwischen 45-55 Jahren, bei denen osteodensitometrisch mittels DXA-Messungen an den Femora und am Becken eine verminderte Knochendichte festgestellt wurde (hier definiert als ein T-Wert von unter -1,0) und fanden eine positive Korrelation ( $r = -0.22$ ,  $p = 0.01$ ) (*Horner et al. 2002*). In der Studie von Lee et al. wurde ebenfalls die diagnostische Aussagekraft des MCW-Werts, der in normierten, einem Gerät entstammenden, Panorama-

schichtaufnahmen von 100 postmenopausalen Frauen bestimmt wurde mit einer mittels DXA-Messung an der LWS und der Schenkelhalse gemessenen, verminderten Knochendichte (Osteopenie und Osteoporose) ermittelt. Es wurde für die Beurteilung einer verminderten Knochendichte im Bereich der LWS eine Sensitivität von 54,7% und eine Spezifität von 82,0% angegeben, die Spezifität und Sensitivität im Bezug auf die Knochendichte der Schenkelhalse betrug 51,8% und 82,2% (*Lee et al. 2005*). Eine positive Korrelation der MCW mit der Knochendichte wurde ferner in weiteren Studien bestätigt (*Devlin und Horner 2002, Devlin et al. 2007, Devlin et al. 2008*) und stehen entgegen der Ergebnisse von Drozdowska et al., die dem MCW und dem Klemetti-Index eine diagnostisch untergeordnete Rolle bescheinigten (*Drozdowska et al. 2002*).

Der Klemetti-Gesamtindex und der MCW-Gesamtindex korrelieren in der vorliegenden Studie im mittleren Bereich signifikant miteinander. Während der Klemetti-Gesamtindex hoch mit dem Alter korreliert, korreliert der MCW-Gesamtwert mit dem Alter nicht signifikant. Unter Anwendung des Mann-Whitney-U-Tests (zweiseitig) ergaben sich signifikante Unterschiede der Altersverteilung zwischen der Osteoporosegruppe und der Kontrollgruppe ( $z=6,26$ ,  $p < 0,001$ ) und zwischen der Osteoporosegruppe und der Gruppe mit Normalbefund ( $z=2,62$ ,  $p=0,004$ ). Zwischen der Altersverteilungen der Osteoporose- und der Osteopeniegruppe ergab sich keinen signifikanten Altersunterschied ( $z=1,57$ ,  $p=0,12$ ). Die Frage, ob basierend auf unseren Ergebnissen von einer Korrelation des MCW-Werts mit dem Alter auszugehen ist lässt sich nicht eindeutig beantworten. Denn trotz eines signifikanten Unterschieds der Altersverteilung der Osteoporosegruppe von den Patienten der „Normalbefundgruppe“ lag kein signifikanter MCW-Wertunterschied vor. Auf der anderen Seite lag sowohl ein signifikanter Altersunterschied als auch ein signifikanter MCW-Unterschied zwischen den Patienten der Osteoporosegruppe und der Kontrollgruppenpatienten vor. Eine eindeutige Aussage lässt sich vermutlich durch den Einschluss einer größeren Anzahl an Patienten treffen. Der MCW-Gesamtwert im Spearman's-Test mit dem Alter nicht signifikant (Spearman's  $Rho = -0.14$ ,  $p < 0.182$ ). Ledgerton et al. beschrieben hingegen eine signifikante Korrelation zwischen dem Alter des Patienten und dem Klemetti-Index und dem MCW (*Ledgerton et al. 1999*).

Die Arbeitsgruppe von Devlin fand ebenfalls eine signifikante Korrelation zwischen dem MCW-Wert und dem Alter (*Devlin und Horner 2002*).

Taguchi et al. gaben bei einem MCW-Grenzwert von 4,5 mm eine Sensitivität von 89,5% und eine Spezifität von 33,9% (*Taguchi et al. 2004*), bei Berechnung der Sensitivität und Spezifität in unserer Studie bei einem Grenzwert von 4,5 mm ergeben sich die Werte 94% und 20% und sind damit nah an den o.g. Ergebnissen. Horner et al. gaben bei einem MCW-Grenzwert von 3,0 mm eine Sensitivität von 8% und eine Spezifität von 98,7% (*Horner et al. 2002*), in unsere Studie betragen diese Werte 33% und 95% und waren somit ähnlich den von Horner ermittelten Werte. Devlin et al. berechnete eine Sensitivität von 59,3% und eine Spezifität von 83,0% bei einem Grenzwert von 3,6 mm (*Devlin und Horner 2002*), diese beiden Werte liegen über den von uns ermittelten Werte bei einem Grenzwert von 3,8 mm von 56% und 77%. Die in der Literatur berechneten Werte basieren auf die Osteoporosediagnosestellung bei einem T-Wert von unter -2,5 ohne Beachtung der DVO-Vorgaben.

Basierend auf unseren Daten sehen wir einen MCW-Grenzwert von 3,5 mm als der geeignete Grenzwert im Rahmen der Osteoporosediagnostik, da bei diesem Wert eine sehr hohe Spezifität (93%) bei akzeptabler Sensitivität (50%) vorliegt. Die Eignung dieses MCW-Werts beruht auf dem Gedanken, dass die positive Beurteilung der Osteoporose-assoziierten Parameter an den Panoramaschichtaufnahmen im Sinne des wahrscheinlichen Vorliegens einer Osteoporosediagnose als ein Ko-Parameter im Gesamtkontext der Indikationsstellung anzusehen ist. Hierfür ist eine hohe Spezifität hilfreich, um nicht viele falschpositive Ergebnisse zu produzieren. Diese könnten dazu führen, nicht notwendige Knochendichtemessungen durchzuführen was mit einer unnötigen Belastung für den Patienten für die Gesundheitsökonomie verbunden wäre. Bei der Anwendung des MCW-Grenzwerts von 3,0 mm ergibt sich eine geringfügig erhöhte Spezifität (95%) bei einer deutlich reduzierten Sensitivität (33%), dies erscheint uns als nicht zielführender als der o.g. Grenzwert. In der Literatur findet sich Konformität zu der hier beschriebenen Interpretation, so untersuchten Devlin et al. im Rahmen der OSTEODENT-Studie u.a. die Kosteneffektivität einer Veran-

lassung einer Osteoporosediagnostik basierend auf die Kombination der Ergebnisse des OSIRIS-Osteoporosefragebogens und des MCW-Werts. Es wurden hierfür ein Sensitivitätsgrenzwert und ein Spezifitätsgrenzwert von jeweils 90% herangezogen. Es wurden im Hinblick auf die falsch positiven Ergebnisse des OSIRIS- Fragebogens und des MCW-Werts die produzierten Kosten für eine Osteoporosediagnostik untersucht, es ergibt sich eine deutlich höhere Kosteneffektivität bei einer Spezifität von 90% (110 britische Pfund für einen Osteoporosefall) als bei einer Sensitivität von 90% (141 britische Pfund für einen Osteoporosefall) (*Devlin et al. 2008*). In der Literatur wurde in mehreren Literaturstellen der MCW-Grenzwert bei 3,0 mm gesetzt (*Devlin und Horner 2002, Taguchi et al. 2006, Devlin et al. 2007, Devlin et al. 2008*), während die Arbeitsgruppe von Lee et al. ein MCW-Grenzwert von 4,0 mm bei Beurteilung der DXA-Ergebnisse der LWS und ein Grenzwert von 3,9 mm bei Beurteilung der DXA-Ergebnisse des Schenkelhalses vorschlägt (*Lee et al. 2005*).

In der vorliegenden Studie wurde überprüft, ob der Klemetti-Index in der Gesamteinschätzung oder der MCW-Gesamtwert oder Kombinationen von beiden die beste Vorhersage der Diagnose bilden. Es zeigt sich ein hochsignifikantes Vorhersagemodell, wenn die Untersuchungssubgruppe mit der Osteoporosediagnose mit den Subgruppen Osteopenie und der Normalbefundgruppe verglichen wurde. Das Vorhersagemodell erklärte 49% der Varianz und sagte 90% der Fälle zutreffend vorher. Die Aufnahme der MCW-Werte in das Regressionsmodell ergab keine weitere Optimierung des hochsignifikanten Aussagemodells, die höhere diagnostische Aussagekraft des Klemetti-Index als die der Kortikalishöhe (MCW) wurde in der Literatur ebenfalls angegeben (*Taguchi et al. 2004*). Die in unserer Studie eingeschlossenen Panoramaschichtaufnahmen sind nicht normiert, die ursprüngliche Positionierung des Patienten im Gerät ist für uns nicht nachvollziehbar. Die unterschiedlichen Vergrößerungsartefakten sind ein bedeutender Faktor für die reduzierte diagnostische Aussagekraft des MCW-Werts verglichen mit der des Klemetti-Index in unserer Studie und hat seinen Ursprung im von uns gewählten Studiendesign. Die gemessene Kortikalishöhe von 8,87 mm bei einem Patienten in der Osteopeniegruppe verdeutlicht diese Problematik.

Im Rahmen der Studie wurde die Übereinstimmung der Untersucher evaluiert. Die Panoramaschichtaufnahmen wurden von drei erfahrenen Untersuchern beurteilt. Die Beurteilung der Panoramaschichtaufnahmen durch den jeweiligen Untersucher erfolgte ohne Kenntnis des Beurteilungsergebnisses des anderen Untersuchers. Die höchste Übereinstimmung im Bezug auf das Klemetti-Index wurde zwischen dem Untersucher A und B (Kappa von 0,63 ( $p < 0,001$ )), sie kann nach den Empfehlungen von Landis und Koch als hoch eingestuft werden (*Landis und Koch 1977*). Aus den drei Klemetti-Beurteilungen wurde eine Gesamteinschätzung gebildet, die jeweils die Auffassung der Mehrheit der Untersucher wiedergibt, die Übereinstimmung der Einschätzungen des Untersuchers A mit der Gesamteinschätzung war am höchsten. Das mittlere Kappa der Beurteilungen in unserer Studie betrug 0,46 und gilt damit nach den Empfehlungen von Landis und Koch als moderat und ist hiermit vergleichbar zur als moderat geltende Übereinstimmung der Studie von Lee et al., in der 4 Untersucher involviert waren (Kappa 0,59-0,60) (*Lee et al. 2005*). In der Studie von Drozdowska et al. wurde eine hohe Übereinstimmung (Kappa von 0,70) ermittelt, wobei in dieser Studie nur 2 Untersucher inkludiert waren (*Drozdowska et al. 2002*). Basierend auf den Daten unserer Untersucher läßt sich sagen, dass die Beurteilung der Panoramaschichtaufnahmen durch mehr als ein Beobachter empfohlen wird, um das Risiko einer Ergebnisverfälschung durch individuell stark exzentrischen Werte zu minimieren.

Unsere Studie bestätigt eine Korrelation zwischen den PSA-Parametern „Kortikalishöhe (MCW)“ und der „Kortikalisverlaufsform (Klemetti-Index)“ auf der einen Seite und der Existenz einer Osteoporose nach DVO-Definition auf der anderen Seite. Die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen, die Oralchirurgen und die Zahnärzte können bei einer Einschätzung des Klemetti-Index als severe und einer gemessenen Kortikalishöhe von unter 3,5 mm den Patienten an eine spezialisierte Abteilung zur Durchführung einer Osteoporosedagnostik und ggf. Einleitung von therapeutischen Maßnahmen überweisen. Die von uns ermittelten Ergebnisse zeigen eine höhere diagnostische Aussagekraft des Klemetti-Index verglichen zu der der Kortikalishöhe. Eine abschließende Aussage zur Korrelation der oben angesprochenen Parameter zu einer systemischen Osteopo-

rose lässt sich nur dann definitiv treffen, wenn eine größere Anzahl von Patienten untersucht wird.

## 5. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wird die Eignung der Panoramaschichtaufnahme (PSA) zur Detektion bestimmter Parameter überprüft, die in der Literatur mit dem Vorliegen einer Osteoporose assoziiert werden.

In der vorliegenden monozentrischen prospektiven klinischen Studie werden die vom Patienten mitgebrachten PSAs von 50 primär MKG-chirurgischen Patienten (Altersmittelwert 76,4, SD 11,4, 66% Frauen) untersucht. Dieses Studiendesign wurde deshalb gewählt, um die Situation in der täglichen Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgischen und zahnärztlichen Routine zu simulieren, in der nicht normierte Panoramaschichtaufnahmen -je nach Zuweiser- vorliegen. Bei diesen Patienten wurde nach Erfüllung der Kriterien der DVO eine DXA-Knochendichtemessung an der LWS und beidseitig an den proximalen Femora durchgeführt. Den PSAs der o.g. Untersuchungsgruppe werden 50 zusätzliche PSAs beigemischt, die von gesunden jungen Patienten (Altersmittelwert 35,4, SD 8,3, 66% Frauen) stammen. Alle PSA werden pseudonymisiert und drei voneinander unabhängige erfahrene Untersuchern zur Beurteilung vorgelegt. Es werden die Kortikalishöhe (MCW) und die Kortikalisverlaufsform (Klemetti-Index) beurteilt. Weder die Anzahl der Panoramaschichtaufnahmen der Untersuchungsgruppe noch die der Kontrollgruppe ist den Untersuchern bekannt.

Nach Vorgaben des DVO, die neben dem mittels DXA ermittelten T-Wert weitere frakturrisikobezogene Faktoren berücksichtigten, ist bei 18 Patienten die Diagnose einer Osteoporose und bei 16 Patienten die einer Osteopenie gestellt worden, bei weiteren 16 wurden Normalbefunde erhoben.

Bei der Evaluation der Korrelation der Osteoporosediagnosen mit der Klemetti-Einschätzung „severe“ ergab sich eine hohe Sensitivität von 72,2% und eine hohe Spezifität von 93,9% wenn alle 100 Patienten beurteilt wurden. Die Osteoporosegruppe unterscheidet sich im MCW-Gesamtwert signifikant von den Patienten der Kontrollgruppe, nicht jedoch von den Untersuchungspersonen mit einem Normalbefund oder von den Patienten mit der Diagnose „Osteopenie“. Wir sehen einen MCW-Grenzwert von 3,5 mm als der geeignete Grenzwert im Rah-

men der Osteoporosediagnostik, da bei diesem Wert eine sehr hohe Spezifität (93%) bei akzeptabler Sensitivität (50%) vorliegt. Die von uns ermittelten Ergebnisse zeigen eine höhere diagnostische Aussagekraft des Klemetti-Index verglichen zu der der Kortikalishöhe, dieses findet in dem von uns gewählten Studiendesign seinen Ursprung. In vorliegenden Studie ließ sich eine hohe Übereinstimmung der Beurteilungsergebnisse der drei Untersucher feststellen.

Unsere Studie bestätigt eine Korrelation zwischen den PSA-Parametern „MCW“ und der „Kortikalisverlaufsform“ auf der einen Seite und der Existenz einer Osteoporose nach DVO-Definition auf der anderen Seite. Die MKG-Chirurgen und die Zahnärzte können bei einer Einschätzung des Klemetti-Index als „severe“ und einer gemessenen Kortikalishöhe von unter 3,5 mm den Patienten an eine spezialisierte Abteilung überweisen. Um eine abschließende Aussage zur Korrelation der oben angesprochenen Parameter zu einer systemischen Osteoporose zu treffen muss eine künftige Studie mit einer größeren Patientenzahl durchgeführt werden.

## 6. Abkürzungsverzeichnis

AP	Alkalische Phosphatase
BMI	body mass index
BSG	Blutsenkungsgeschwindigkeit
ca.	Circa
cm	Zentimeter
CRP	capsel reactive protein
DVO	Dachverband der Deutschsprachigen Osteologischen Fachgesellschaften
DXA	Dual-X-ray-absorptiometry
ggf.	gegebenenfalls
Hz	Hertz
IE	Internationale Einheiten
LWS	Lindenwirbelsäule
MCW	mandibular cortical width
mg	Milligramm
MKG	Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
mm	Millimeter
o.g.	obengenannt
OPG	Orthopantomogramm
PSA	Panoramaschichtaufnahme
QCT	Quantitative Computer-Tomographie
SD	Standardabweichung
T-Wert	Die in Standardabweichungen angegebene Abweichung der Knochendichte von der einer 30-jährigen Frau
TSH	Thyroidea stimulierendes Hormon
UNO	United Nations Organization
V	Volt
v.a.	vor allem
W	Watt
WHO	World Health Organization

Z.n.	Zustand nach
z.T.	zum Teil
$\gamma$ -GT	Gamma-Glutamyl-Transferase
$\mu$ Sv	Mikro-Sievert

## 7. Literaturverzeichnis

- Adams J (2003) Dual energy X-ray absorptiometry. In: Radiology of osteoporosis. Grampp S (Hrsg.), erste Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 87-100.
- Amorim M, Takayama L, Jorgetti V, Pereira R (2007) Comparative study of axial and femoral bone mineral density and parameters of mandibular bone quality in patients receiving dental implants. *Osteoporosis international* 18(5):703–709.
- Bauer J, Link T (2009) Advances in osteoporosis imaging. *European journal of radiology* 71(3):440–449.
- Baum E, Peters K (2008) Primäre Osteoporose - leitliniengerechte Diagnostik und Therapie. *Deutsches Ärzteblatt* 105(33):M-573.
- Becker J, Schawacht M (2002) Bildgebende Untersuchungsverfahren in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. In: Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten. Reichart PA, Hausamen JE, Becker J (Hrsg.), Quintessenz, Berlin, 37-54.
- Bozic M, Ihan Hren N (2006) Osteoporosis and mandibles. *Dentomaxillofacial radiology* 35(3):178–184.
- Bundesamt für Strahlenschutz (2008) Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche und künstliche Quellen [Online im Internet] <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do;jsessionid=C925A02EEC7635688B554DAA68EB12C7?nodeId=2459> [Stand 22.05.2010].
- Cauley J, Thompson D, Ensrud K, Scott J, Black D (2000) Risk of mortality following clinical fractures. *Osteoporosis international* 11(7):556–561.
- Chomtho S, Wells J, Williams J, Davies P, Lucas A, Fewtrell M (2008) Infant growth and later body composition: evidence from the 4-component model. *The American journal of clinical nutrition* 87(6):1776–1784.
- Dawson-Hughes B (2008) A revised clinician's guide to the prevention

and treatment of osteoporosis. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism* 93(7):2463–2465.

- Devlin H, Allen P, Graham J, Jacobs R, Nicopoulou-Karayianni K, Lindh C, Marjanovic E, Adams J, Pavitt S, van der Stelt P, Horner, K. (2008) The role of the dental surgeon in detecting osteoporosis: the OSTEODENT study. *British dental journal* 204(10):E16.
- Devlin H, Horner K (2002) Mandibular radiomorphometric indices in the diagnosis of reduced skeletal bone mineral density. *Osteoporosis international* 13(5):373–378.
- Devlin H, Karayianni K, Mitsea A, Jacobs R, Lindh C, van der Stelt P, Marjanovic E, Adams J, Pavitt S, Horner K (2007) Diagnosing osteoporosis by using dental panoramic radiographs: the OSTEODENT project. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 104(6):821–828.
- Dreinhöfer KE, Käfer W (2004) *Weißbuch der Osteoporose*. Berufsverband der Fachärzte für Orthopädie e.V. Berlin
- Drozdowska B, Pluskiewicz W, Tarnawska B (2002) Panoramic-based mandibular indices in relation to mandibular bone mineral density and skeletal status assessed by dual energy X-ray absorptiometry and quantitative ultrasound. *Dentomaxillofacial Radiology* 31(6):361–367.
- Ettinger M (2003) Aging bone and osteoporosis: strategies for preventing fractures in the elderly. *Archives of internal medicine* 163(18):2237–2246.
- Fisher E, Baron J, Malenka D, Barrett J, Kniffin W, Whaley F, Bubolz T (1991) Hip fracture incidence and mortality in New England. *Epidemiology* 2(2):116–122.
- Freiwald J, Kruse S, Lichte H (1995) *Bewegung gegen Osteoporose : das Aktivprogramm für Vorbeugung und Therapie*. Rowohlt Verlag, Reinbek.
- Fujiwara S, Masunari N, Suzuki G, Ross P (2001) Performance of Osteoporosis Risk Indices in a Japanese Population. *Curr Ther Res Clin Exp (Current Therapeutic Research)* 62(8):586–593.
- Genant H, Grampp S, Glüer C, Faulkner K, Jergas M, Engelke K, Hagiwara S, van Kuijk C (1994) Universal standardization for dual x-ray absorptiometry: patient and phantom cross-calibration results. *Journal of*

bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research 9(10):1503–1514.

- Gerbino G, Roccia F, De Giovanni P, Berrone S (1999) Maxillofacial trauma in the elderly. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 57(7):777-82.
- Goch I (2005) Vergleich metrischer Genauigkeit von Computertomographie, digitaler Volumetomographie und Othopantomographie in der modernen Implantologie. Zahnmedizinische Dissertation, Heinrich Heine Universität Düsseldorf.
- Gomez-Roman G, Lukas D, Beniashvili R, Schulte W (1999) Area-dependent enlargement ratios of panoramic tomography on orthograde patient positioning and its significance for implant dentistry. *The International journal of oral & maxillofacial implants* 14(2):248–257.
- Grampp S, Lang P, Jergas M, Glüer C, Mathur A, Engelke K, Genant H (1995) Assessment of the skeletal status by peripheral quantitative computed tomography of the forearm: short-term precision in vivo and comparison to dual X-ray absorptiometry. *Journal of bone and mineral research* 10(10):1566–1576.
- Grampp S (2008) Dual energy X-ray absorptiometry. In: *Radiology of osteoporosis*. Grampp S (Hrsg.), zweite Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 197-204.
- Groen J, Duyvensz F, Halsted J (1960) Diffuse alveolar atrophy of the jaw (non-inflammatory form of paradental disease) and pre-senile osteoporosis. *Gerontologia clinica* 2):68–86.
- Halling A, Persson G, Berglund J, Johansson O, Renvert S (2005) Comparison between the Klemetti index and heel DXA BMD measurements in the diagnosis of reduced skeletal bone mineral density in the elderly. *Osteoporosis international* 16(8):999–1003.
- Hildebolt C (1997) Osteoporosis and oral bone loss. *Dentomaxillofacial Radiology* 26(1):3–15.
- Hohlweg-Majert B, Schmelzeisen R, Pfeiffer B, Schneider E (2006) Significance of osteoporosis in craniomaxillofacial surgery: a review of the literature. *Osteoporosis international* 17(2):167–179.

- Horner K, Devlin H (1992) Clinical bone densitometric study of mandibular atrophy using dental panoramic tomography. *Journal of dentistry* 20(1):33–37.
- Horner K, Devlin H, Alsop C, Hodgkinson I, Adams J (1996) Mandibular bone mineral density as a predictor of skeletal osteoporosis. *The British journal of radiology* 69(827):1019–1025.
- Horner K, Devlin H, Harvey L (2002) Detecting patients with low skeletal bone mass. *Journal of dentistry* 30(4):171–175.
- Humadi A, Alhadithi R, Alkudiri S (2010) Validity of the DEXA diagnosis of involutional osteoporosis in patients with femoral neck fractures. *Indian journal of orthopaedics* 44(1):73–78.
- International Osteoporosis Foundation (IOF) (2010). Nyon [Online im Internet]  
URL:<http://www.iofbonehealth.org/download/osteofound/filemanager/publications/pdf/eu-report-2003-sp.pdf> [Stand 25.07.2010]
- Islam A, Rasubala L, Yoshikawa H, Shiratsuchi Y, Ohishi M (2005) Healing of fractures in osteoporotic rat mandible shown by the expression of bone morphogenetic protein-2 and tumour necrosis factor- $\alpha$ . *The British journal of oral & maxillofacial surgery* 43(5):383–391.
- Jonasson G, Bankvall G, Kiliaridis S (2001) Estimation of skeletal bone mineral density by means of the trabecular pattern of the alveolar bone, its interdental thickness, and the bone mass of the mandible. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 92(3):346–352.
- Jonasson G, Alstad T, Vahedi F, Bosaeus I, Lissner L, Hakeberg M (2009) Trabecular pattern in the mandible as bone fracture predictor. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 108(4):e42-51.
- Jonasson G, Jonasson L, Kiliaridis S (2006) Changes in the radiographic characteristics of the mandibular alveolar process in dentate women with varying bone mineral density: a 5-year prospective study. *Bone* 38(5):714–721.
- Kanis J, Glüer C (2000) An update on the diagnosis and assessment of osteoporosis with densitometry. Committee of Scientific Advisors, International Osteoporosis Foundation. *Osteoporosis international*

11(3):192–202.

- Kanis J, Johnell O, Oden A, Jonsson B, Laet C de, Dawson A (2000) Risk of hip fracture according to the World Health Organization criteria for osteopenia and osteoporosis. *Bone* 27(5):585–590.
- Klemetti E, Kolmakov S, Kröger H (1994) Pantomography in assessment of the osteoporosis risk group. *Scandinavian journal of dental research* 102(1):68–72.
- Landis J, Koch G (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33(1):159–174.
- Ledgerton D, Horner K, Devlin H, Worthington H (1999) Radiomorphometric indices of the mandible in a British female population. *Dentomaxillofacial Radiology* 28(3):173–181.
- Lee K, Taguchi A, Ishii K, Sueti Y, Fujita M, Nakamoto T, Ohtsuka M, Sanada M, Tsuda M, Ohama K, Tanimoto, Keiji, White, Stuart C. (2005) Visual assessment of the mandibular cortex on panoramic radiographs to identify postmenopausal women with low bone mineral densities. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 100(2):226–231.
- Li NY, Zhou FT, Jing H, Bu LX, Yang XC, Feng YY (2009) Measurement of mandible bone mineral density of adults in north China. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 44(7):425–429.
- Mackey D, Lui L, Cawthon P, Bauer D, Nevitt M, Cauley J, Hillier T, Lewis C, Barrett-Connor E, Cummings S (2007) High-trauma fractures and low bone mineral density in older women and men. *JAMA : the journal of the American Medical Association* 298(20):2381–2388.
- NIH Consensus (2000) Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *NIH consensus statement* 17(1):1–45.
- Paatero YV (1959) Orthoradial jaw pantomography. *Annales medicinae internae Fenniae. Supplementum* 48(Supp 28):222–227.
- Peppler W, Mazess R (1981) Total body bone mineral and lean body mass by dual-photon absorptiometry. I. Theory and measurement procedure. *Calcified tissue international* 33(4):353–359.
- Peters KM (2007) Osteoporose. In: *Praxis der konservativen Orthopädie*. Bischoff HP, Heisel J, Locher H (Hrsg.), Thieme, Stuttgart, New York,

- Pfeilschifter J (2006) Evidenzbasierte Konsensusleitlinie zur Osteoporose, Langfassung. Schattauer, Stuttgart.
- Phillips B, Ball C, Sackett D, Badenoch D, Straus S, Haynes B, Dawes M (2001) Levels of evidence and grades of recommendations. Oxford Centre for Evidence-based Medicine, Oxford [Online im Internet] [www.cebm.net/index.aspx?o=1047](http://www.cebm.net/index.aspx?o=1047) [Stand 24.04.2010].
- Reed GW (1966) The assessment of bone mineralization from the relative transmission of 241 Am and 137 CS radiations. *Phys Med Biol*(11):174–177.
- Reisky, P (1996) Arthrose richtig behandeln: sinnvoll vorbeugen, beweglich bleiben. Ehrenwirth Verlag, München.
- Resch H, Pietschmann P, Bernecker P, Krexner E, Willvonseder R (1990) Broadband ultrasound attenuation: a new diagnostic method in osteoporosis. *AJR. American journal of roentgenology* 155(4):825–828.
- Ross P (1996) Osteoporosis. Frequency, consequences, and risk factors. *Archives of internal medicine* 156(13):1399–1411.
- Ross P, Davis J, Epstein R, Wasnich R (1991) Pre-existing fractures and bone mass predict vertebral fracture incidence in women. *Annals of internal medicine* 114(11):919–923.
- Rother U (2001) Strahlenexposition und Strahlenschutz. In: *Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde*. Rother U (Hrsg.), Urban und Fischer, München, Jena, 52-65.
- Rudzit I, Rottke B (1984) Das Problem der Bildqualität bei Panoramaschicht-aufnahmen. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 39(12):908–912.
- Saag K, Geusens P (2009) Progress in osteoporosis and fracture prevention: focus on postmenopausal women. *Arthritis research & therapy* 11(5):251.
- Scanff P, Donadieu J, Pirard P, Aubert B (2008) Population exposure to ionizing radiation from medical examinations in France. *The British journal of radiology* 81(963):204–213.
- Scheutzel P (1989) Entwicklung der zahnärztlichen Panoramaröntgen-

aufnahmeverfahren. Zahnärztl. Mitt.(79):2322.

- Schnack G (1996) Osteoporose-Präventionstraining. Deutscher Ärzteverlag, Köln.
- Siris E, Miller P, Barrett-Connor E, Faulkner K, Wehren L, Abbott T, Berger M, Santora A, Sherwood L (2001) Identification and fracture outcomes of undiagnosed low bone mineral density in postmenopausal women: results from the National Osteoporosis Risk Assessment. JAMA : the journal of the American Medical Association 286(22):2815–2822.
- Spitzer P, Müller-Richter U (2007) Diagnostik durch aktuelle bildgebende Verfahren. In: Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. Horch H (Hrsg.), Urban & Fischer Verlag bei Elsevier, München 1-20.
- Sutthiprapaporn P, Taguchi A, Nakamoto T, Ohtsuka M, Mallick P, Tsuda M, Kodama I, Kudo Y, Suei Y, Tanimoto K (2006) Diagnostic performance of general dental practitioners after lecture in identifying postmenopausal women with low bone mineral density by panoramic radiographs. Dentomaxillofacial Radiology 35(4):249–252.
- Taguchi A, Suei Y, Ohtsuka M, Otani K, Tanimoto K, Ohtaki M (1996) Usefulness of panoramic radiography in the diagnosis of postmenopausal osteoporosis in women. Width and morphology of inferior cortex of the mandible. Dentomaxillofacial Radiology 25(5):263–267.
- Taguchi A, Suei Y, Sanada M, Ohtsuka M, Nakamoto T, Sumida H, Ohama K, Tanimoto K (2004) Validation of dental panoramic radiography measures for identifying postmenopausal women with spinal osteoporosis. American journal of roentgenology 183(6):1755–1760.
- Taguchi A, Tsuda M, Ohtsuka M, Kodama I, Sanada M, Nakamoto T, Inagaki K, Noguchi T, Kudo Y, Suei Y, Tanimoto K, Keiji, Bollen, Anne-Marie (2006) Use of dental panoramic radiographs in identifying younger postmenopausal women with osteoporosis. Osteoporosis international 17(3):387–394.
- Tanner RJ, Wall BF, Shrimpton PC, Hart D, Bungay DR (2000) Frequency of medical and dental X-ray examinations in the UK, 1997/98, NRPB-R320. National Radiological Protection Board, Chilton.
- Tucker G, Metcalfe A, Pearce C, Need A, Dick I, Prince R, Nordin B (2007) The importance of calculating absolute rather than relative

fracture risk. *Bone* 41(6):937–941.

- White S (2002) Oral radiographic predictors of osteoporosis. *Dentomaxillofacial Radiology* 31(2):84–92.
- White S, Taguchi A, Kao D, Wu S, Service S, Yoon D, Swei Y, Nakamoto T, Tanimoto K (2005) Clinical and panoramic predictors of femur bone mineral density. *Osteoporosis international* 16(3):339–346.
- Wöwern N von (1986) Bone mass of mandibles. In vitro and in vivo analyses. *Danish medical bulletin* 33(1):23–44.
- Yaşar F, Akgünlü F (2006) The differences in panoramic mandibular indices and fractal dimension between patients with and without spinal osteoporosis. *Dentomaxillofacial Radiology* 35(1):1–9.

## 8. Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Max Heiland für die Überlassung des Themas, für die intensive wissenschaftliche Begleitung, für die konstruktiven Diskussionen, Anregungen und Kommentare. Ferner danke ich ihm für die zügige Korrektur. Mein Dank gilt ebenfalls dem ärztlichen Direktor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Rainer Schmelzle dafür, dass er die notwendigen Rahmenbedingungen ermöglichte.

Herrn Prof. Dr. med. Michael Amling, Leiter des Zentrums für Biomechanik, Skelettbiologie und experimentelle Unfallchirurgie und seinen Mitarbeitern danke ich für die Durchführung der Knochendichtemessungen und für die Mitbetreuung der Patienten.

Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Felix Blake danke ich für seine inspirierende Art und seine zahlreichen Hilfestellungen im Rahmen der Mitbetreuung dieser Arbeit. Ferner möchte ich mich bei meinem Kollegen Artun Atac für die umsichtige Assistenz bei der Studiendurchführung bedanken. Für die freundliche statistische Unterstützung danke ich Herrn Dr. Kay Petersen von der Abteilung für psychosoziale Medizin.

Mein unendlicher Dank gilt meinen Eltern, ohne sie ich nicht soweit gekommen wäre. Mit Ihrer Liebe, Verzicht, Selbstlosigkeit und jahrelanger Unterstützung haben sie mir den Weg erleichtert.

Lieben Dank auch an meine Frau Maeve, die mit ihrer Geduld, Ruhe und fortdauernder Unterstützung die Fertigstellung dieser Arbeit erst ermöglichte.

Mein größter Dank gilt Gott. Danke für diese Eltern, für diese Frau und für alle Menschen, die mich tatkräftig unterstützt haben.

Hamburg, den 10. August 2010

## **9. Lebenslauf**

## **10. Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere ausdrücklich, daß ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfaßt, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe, und daß ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Hamburg, den 10. August 2010