

**Osteoporosediagnostik: Visuelle Beurteilung konventioneller und digitaler
Röntgenbilder im Vergleich mit Knochendichtemessungen der
Lendenwirbelsäule**

Gerlinde Annette Foti

2006

Aus dem Institut für klinische Radiologie
Klinikum Großhadern der Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser

**Osteoporosediagnostik: Visuelle Beurteilung konventioneller und digitaler
Röntgenbilder in Korrelation zur Knochendichtemessung der
Lendenwirbelsäule**

Dissertation

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

vorgelegt von
Gerlinde Annette Foti
München
2006

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. G. Stucki

Mitbetreuung durch die
habilitierte Mitarbeiterin: PD Dr. med. A. Baur-Melnyk

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhard

Tag der mündlichen Prüfung: 23.03.2006

Inhalt

1. EINLEITUNG	3
1.1. GRUNDLAGEN	3
1.2 KLASSIFIZIERUNG DER OSTEOPOROSE	4
1.3 PATHOPHYSIOLOGIE DER OSTEOPOROSE	6
1.4 DIAGNOSTIK DER OSTEOPOROSE	8
1.4.1 VISUELLE BEURTEILUNGSKRITERIEN DER RÖNTGENBILDER	8
1.4.2 KNOCHENDICHTEMESSUNG MIT DER DXA	10
1.4.3 COMPUTERTOMOGRAPHIE (QCT)	14
1.5 FRAGESTELLUNG DER DISSERTATION	15
2. PATIENTEN UND METHODEN	16
2.1. PATIENTEN	16
2.2. METHODEN	18
2.2.1 DXA-MESSUNGEN	18
2.2.2 DIGITALE RÖNTGENAUFNAHMEN	19
2.2.3 KONVENTIONELLE RÖNTGENAUFNAHMEN	20
2.2.4 VERSUCHSABLAUF	21
2.2.5 DATENERFASSUNG UND STATISTIK	22
3. ERGEBNISSE	26
3.1 ERGEBNISSE DER DXA- MESSUNGEN	26
3.2 VERGLEICH DER VISUELLEN BEURTEILUNG DER KONVENTIONELLEN RÖNTGENAUFNAHMEN MIT DER DXA	27
UNTERSUCHER 1	27
UNTERSUCHER 2	29
UNTERSUCHER 3	31
UNTERSUCHER 4	33
ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE AUS DEN READINGS DER KONVENTIONELLEN RÖNTGENBILDER	35
3.3 VERGLEICH DER VISUELLEN BEURTEILUNG DER DIGITALEN RÖNTGENAUFNAHMEN MIT DER DXA	39
UNTERSUCHER 1	39
UNTERSUCHER 2	41
UNTERSUCHER 3	43
UNTERSUCHER 4	45
ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE AUS DEN READINGS DER DIGITALEN RÖNTGENBILDER	47
3.4 VERGLEICH ZWISCHEN KONVENTIONELLEN UND DIGITALEN AUFNAHMEN	52
3.5 INTERREADERVARIABILITÄT: ÜBEREINSTIMMUNG DER READER UNTEREINANDER UND MIT DER DXA	54
3.5.1 VIER UNTERSUCHER IM VERGLEICH	54
3.5.2 ZWEI UNTERSUCHER IM VERGLEICH	63
3.6 INTRAREADERVARIABILITÄT	69
3.6.1 KONVENTIONELLE AUFNAHMEN	70
3.6.2 DIGITALE AUFNAHMEN	75
3.6.3 INTRAREADERVARIABILITÄT: KONVENTIONELL VERSUS DIGITAL	79

4. DISKUSSION	80
4.1 DISKUSSION DES PATIENTENGUTS	82
ALTER UND GESCHLECHT	82
WIRBELKÖRPERFRAKTUREN	83
DEGENERATIVE VERÄNDERUNGEN	83
OSTEOPOROSE SEKUNDÄRER GENESE UND / ODER BEGONNENE THERAPIE	83
4.2 DISKUSSION DER METHODEN	85
KONVENTIONELL UND DIGITAL ERZEUGTE RÖNTGENAUFNAHMEN	85
KNOCHENDICHTEMESSUNG (DXA)	87
BERUFLICHE ERFAHRUNG DES UNTERSUCHERS, TRAININGSEFFEKT	88
STATISTIK	89
4.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE	93
DIAGNOSTISCHE GENAUIGKEIT DER VISUELLEN BEURTEILUNG DER OSTEOPOROSE	93
VERGLEICH KONVENTIONELL – DIGITAL	97
INTERREADERVARIABILITÄT	99
INTRAREADERVARIABILITÄT	101
DISKRIMINIERUNG OSTEOPENIE - OSTEOPOROSE	102
5. ZUSAMMENFASSUNG	104
6. GLOSSAR DER ABKÜRZUNGEN	106
7. LITERATURVERZEICHNIS	107

1. Einleitung

1.1. Grundlagen

Die Osteoporose ist eine der häufigsten Knochenerkrankungen der westlichen Bevölkerung. Insbesondere sind Frauen in der Menopause infolge Östrogenmangels betroffen (**KROKOWSKI et al.** 1976). Etwa 10 % der Frauen im Alter von 50 Jahren, 25 % im Alter von 60 und bereits 75 % im Alter von 75 Jahren leiden an Osteoporose. Durch die steigende Lebenserwartung in den letzten Jahrzehnten nimmt die Inzidenz der Osteoporose zu (**JERGAS et al.** 1992).

Die Erkrankung ist gekennzeichnet durch eine Abnahme der Knochensubstanz, gefolgt von Funktions-, Stabilitäts- und Strukturverlust des Knochens. 1993 wurde die Osteoporose von der internationalen **CONSENSUS DEVELOPMENT CONFERENCE** in Hongkong als eine „systemische Knochenskeletterkrankung, die durch eine niedrige Knochenmasse und eine Störung der Mikroarchitektur des Knochengewebes mit konsekutiv erhöhter Knochenbrüchigkeit und erhöhtem Frakturrisiko charakterisiert ist“ (**KECK** 1993), definiert. Osteoporotische Frakturen verursachen eine erhebliche Morbidität, Mortalität sowie auch Kosten für das öffentliche Gesundheitswesen (**JERGAS** und **GENANT** 1993).

REIFENSTEIN (1957) nennt als typische Charakteristika der Osteoporose, die sie von anderen Knochenkrankheiten abgrenzen:

- Zu geringe Knochenmasse
- Zu wenig kalzifizierter Knochen
- Zu geringe Knochendichte
- Zu wenig Knochenstruktur
- Zu wenig Matrixstruktur
- Verhältnis von Gesamtmenge unstrukturierter Matrix zu der des normalen Knochens reduziert
- Verhältnis des Gesamtmineralgehalts im Vergleich zu dem des gesunden Knochens reduziert.

1.2 Klassifizierung der Osteoporose

Neben der bereits erwähnten Postmenopausenosteoporose der Frau gibt es einige weitere Einflussfaktoren, die diese Stoffwechselkrankheit auslösen und unterschiedliche Therapieansätze nach sich ziehen. Aufgrund dessen unterscheidet man hinsichtlich der Ätiologie zwischen vier Osteoporosearten:

1. Postmenopausenosteoporose
2. Senile Osteoporose
3. Primäre Osteoporosen
4. Sekundäre Osteoporosen.

Im Folgenden sollen diese Osteoporoseformen näher erläutert werden:

Die **postmenopausale Osteoporose** hat ihren Ursprung im Ausfall der zuvor stetig produzierten Sexualhormone – allen voran des Östrogens – mit dem Beginn der Wechseljahre. Das Östrogen hat unter anderem anabole Wirkungen auf den Eiweiß- und Knochenstoffwechsel und fördert die Calciumeinlagerung in den Knochen. Als Folge eines Östrogenmangels kommt es zu einem gesteigerten Knochenstoffwechsel, bei dem der Knochenabbau gegenüber dem -aufbau überwiegt. Erst nach einigen Jahren normalisiert sich dieser Zustand, es kommt jedoch nicht zur Regeneration in bereits von Knochenmassenverlust betroffenen Gebieten. Charakteristisch für die postmenopausale Osteoporose ist ein Knochenabbau, der primär das trabekuläre Netzwerk betrifft (**WEISKE et al. 1998**). Es sind bei dieser Osteoporoseform insbesondere Wirbelkörper und der distale Radius betroffen (**WEISKE et al. 1998**).

Der Übergang zur **senilen Osteoporose** ist meist fließend und dadurch schwer abzugrenzen. Im Allgemeinen gilt für die Altersosteoporose, dass die betroffenen Patienten im Gegensatz zur Postmenopausenosteoporose älter als 70 Jahre alt sind und Männer wie Frauen betroffen sein können. Zudem ist der Knochenumsatz gleichermaßen auf Trabekel wie Kortikalis verteilt, und außer den Wirbelkörpern sind vor allem proximaler Femur und proximaler Humerus mineralsalzgemindert (**WEISKE et al. 1998**). Ursachen des Knochensubstanzverlustes stellen in diesem Fall der Alterungsprozess, Bewegungsmangel, unzureichende Zufuhr von Calcium und Vit. D 3, aber auch eine Vit-D3-Hormonresistenz (**WEISKE et al. 1998**) dar.

Durch Mangel an Vit. D 3 und dem damit verbundenen Absinken des Serumcalciumspiegels entwickelt sich über den Regelkreis der Hormone ein Überschuss an Parathormon. Dieses wiederum bewirkt verstärkte Osteoklastentätigkeit, um genügend Calcium bereitzustellen. Regelmäßige Belastung des Knochenskeletts stimuliert den Einbau von Calcium in den Knochen und damit die Bildung von Knochensubstanz. Mit zunehmendem Alter lassen nicht nur Funktion und Schnelligkeit der Stoffwechselprozesse nach. Beinahe zwangsweise kommt es bei älteren Menschen mit der Zeit i. d. R. zu einem Mangel an Bewegung, ausgelöst durch Schmerzen, Krankheiten, Arthrose, Funktionsverlust und Gewebedegeneration, so dass auch dieser gesundheitserhaltende Faktor im Alter entfallen kann.

Zu den **primären Osteoporosen** werden all jene gezählt, die durch gestörte oder gänzlich fehlende Funktion der Knochenzellen entstehen. In diese Gruppe gehören Krankheiten wie die Osteogenesis imperfecta tarda oder die idiopathischen juvenilen Osteoporosen.

Kommt es beim Mann zu einem Mangel an Sexualhormonen, so spricht man von einer **sekundären Osteoporose**. Ebenso werden alle Osteoporosen, die eine Begleiterscheinung von Krankheiten oder Therapiemaßnahmen darstellen, zu den sekundären Osteoporosen gerechnet. So führen beispielsweise eine Langzeitbehandlung mit Steroiden, ein primärer oder sekundärer Hyperparathyreoidismus als Begleiterscheinung eines Cushing-Syndroms, Immobilisation, Bestrahlungen, sowie zahlreiche endokrinologische, enterologische, hämatologische und andere Systemerkrankungen (z. B. osteoklastische Metastasen nach Mammakarzinom) zu einem Verlust an Knochensubstanz (**BÜHLING et al.** 2000).

1.3 Pathophysiologie der Osteoporose

Der menschliche Knochen unterliegt permanenten Umbauvorgängen. Auf diese Weise wird das Erwachsenenskelett in zyklischen Abständen immer wieder erneuert. Vor allem in der Spongiosa macht sich der erhöhte Knochenstoffwechsel bemerkbar. Hierfür sind unter anderem die unterschiedlichen Knochenzellen (*Osteoblasten*, *Osteoklasten*, *Osteozyten* und *Endostzellen*) verantwortlich, die ihrerseits einer hormonellen Stimulation unterliegen.

Den Knochenaufbau im Sinne einer Produktion von organischen Komponenten der Knochenmatrix übernehmen die *Osteoblasten*. Zudem sind diese an der Steuerung des Knochenumbaus maßgeblich beteiligt, indem sie Rezeptoren für Parathormon, Calcitriol, Östradiol und Trijodthyronin exprimieren und zahlreiche Zytokine sezernieren (MUNDY 1996). Einige Osteoblasten werden zu *Osteozyten* umgewandelt und somit in das neu gebildete Knochengewebe eingebaut (WEISKE et al. 1998). Über die genaue Funktion dieser Zellen ist bisher noch nichts bekannt, fest steht jedoch, dass sie den Transport von organischen und anorganischen Stoffen ermöglichen (WEISKE et al. 1998).

Die *Osteoklasten* stellen in ihrer Funktion das Gegenstück zu den Osteoblasten dar: sie resorbieren Knochensubstanz. Dazu sezernieren sie proteolytische Enzyme und exprimieren Rezeptoren für Calcitonin und CSF-1.

Die *Endostzellen* werden auch als „lining cells“ bezeichnet. Sie kommunizieren mit den Osteozyten über zytoplasmatische Ausläufer, ihre genaue Bedeutung für den Knochenstoffwechsel ist jedoch noch weitgehend unbekannt.

Hormone, die den Knochenumbau regulativ bestimmen, sind das Calcitonin, Parathormon und 1,25- (OH)₂- Vitamin D₃, indem sie für die Konstanthaltung des Serumcalcium- sowie des Phosphatspiegels sorgen. Systemische Wirkungen auf den Knochenstoffwechsel üben dagegen Östrogene, Androgene, Progesterone, Schilddrüsenhormone und Glukokortikosteroide aus (SCHMIDT et al. 2000, WEISKE et al. 1998).

Wie bereits erwähnt, betrifft der Knochenmasseverlust insbesondere den spongiösen Knochen. Zwar ist bei der senilen Osteoporose der kortikale Knochen ebenso betroffen, dennoch zeigen sich die Trabekel der Spongiosa als deutlich anfälliger.

Insbesondere vier Mechanismen spielen in diesem Zusammenhang eine übergeordnete Rolle:

1. *Verschmälerung der Trabekel* als Ausdruck einer negativen Bilanz der zellulären Leistung von Osteoklasten und Osteoblasten auf der Ebene einer BMU (basic multicellular unit) (**WEISKE et al.** 1998). Man nimmt an, dass im Laufe des Alterungsprozesses die Syntheseleistung der Osteoblasten zurückgeht, die Tätigkeit der Osteoklasten jedoch nur in geringerem Maße, so dass zu Ungunsten der Knochenmasse ein Ungleichgewicht zwischen Knochenauf- und -abbau entsteht.

2. *Entfernung von Strukturelementen* im trabekulären Netzwerk (**WEISKE et al.** 1998). Nach **MOSEKILDE** (1989) und **HAHN et al.** (1992) besteht diesbezüglich ein Unterschied zwischen den Geschlechtern. Männer besäßen demnach bei gleicher Knochenmasse eine besser erhaltene Mikroarchitektur als Frauen.

3. *Perforationen durch Osteoklasten*, die zunächst plattenartige Trabekel in stabförmige umwandeln (**GROTE et al.** 1994) und anschließend die stabförmigen Trabekel durchtrennen. Ein Remodelling mittels Osteoblasten ist nicht mehr möglich, da letzteren die Leitschiene fehlt (**WEISKE et al.** 1998).

4. *Mikrokallusformationen*. Es handelt sich laut **GROTE et al.** (1994) um eine „kolbige Auftreibung der Trabekel durch umschriebene Knochenfaserbildung“, wie sie nach kleineren Frakturen, jedoch auch bereits unter kurzzeitig hoher Belastung des Knochens auftreten.

1.4 Diagnostik der Osteoporose

Zur Diagnosestellung der Osteoporose eignet sich eine Kombination aus klinischer Untersuchung, Röntgenbild und Knochendichtemessung. Eine fortgeschrittene Osteoporose ist durch Knochenschmerzen, Frakturen ohne adäquates Trauma, Rundrücken, Gibbusbildung und Körpergrößenabnahme (> 4cm, mit tannenbaumartigen Hautfalten am Rücken) (**HEROLD** 2001) gekennzeichnet. Zur weiterführenden bildgebenden Diagnostik eignen sich Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule wie auch Knochendichtemessungen. Zusätzlich wird ein kleines Stoffwechsellabor (Calcium, Parathormon, Vit. D, Creatinin, TSH) zum Ausschluss eines Hyperparathyreoidismus bzw. einer Nierenschädigung zur Diagnostik herangezogen.

1.4.1 Visuelle Beurteilungskriterien der Röntgenbilder

Die Röntgenaufnahmen der LWS sind zur primären Diagnosestellung der Osteoporose obligat. Sie erfüllen drei wesentliche Aufgaben:

1. Mit ihrer Hilfe wird die **Knochenstruktur und -form** beurteilt. Besonderes Augenmerk bei der Analyse der Röntgenbilder gilt nach **HEUCK** (1976) der Form und Kontur der Wirbelendplatten sowie Anordnung, Verteilung und Struktur der Wirbelkörper-Spongiosa. Bei erhöhter Strahlentransparenz, Einbrüchen der Wirbelgrund- und deckplatten, Wirbeldeformierung¹ und -höhenminderung, sowie veränderter Bälkchenstruktur und -architektur spricht man von Zeichen einer rarefizierenden Osteopathie (**DIRISAMER** und **GRAMPP** 2002, **WEISKE et al.** 1998, **JERGAS et al.** 1993). Die im Verlauf der Osteoporoseentstehung zunehmende Kalksalzgehaltminderung macht sich auf dem Röntgenbild als erhöhte Strahlentransparenz bemerkbar, bei einer gleichzeitig relativ vermehrten Dichte von Grund- und Deckplatten (**DIRISAMER** und **GRAMPP** 2000, **JERGAS et al.** 1992). Dies findet seinen Ausdruck in der Bezeichnung „Rahmenwirbel“. Wirbelplatteneinbrüche und -deformierung lassen auf einen unphysiologischen Knochenbau bzw. eine höhergradige Knochenschwäche schließen. Der Knochen unterliegt zwar ständigen Umbauvorgängen, diese manifestieren sich jedoch nicht an der äußeren Form (**WEISKE** 1998). Vor allem für Grund- und Deckplatteneinbrüche

¹ Unter Wirbeldeformierung versteht man beispielsweise die Bildung von Keilwirbeln (auch unter anderem möglich bei Morbus Scheuermann) und Fischwirbeln.

ist die Osteoporose die häufigste Ursache (**MINNE** 1991). Nicht zu verwechseln mit der für die Osteoporose typischen Fischwirbelbildung ist der sogenannte „Cupid’s bow“, bei dem es sich um eine physiologische röntgenologische Erscheinung zwischen dem 3. und 5. Lendenwirbel im Sinne einer bogenförmigen Konkavität an den Wirbelgrundplatten handelt.

2. Anhand der Röntgenbilder sollen **sekundäre Osteoporoseformen** erkannt werden (z. B. bei Hyperparathyreoidismus, Tumorerkrankungen mit Knochenmetastasenbildung u. a.). Die verschiedenen *Ursachen* der Osteoporose äußern sich im Röntgenbild durch individuell charakteristische Zeichen. Bei der renalen Osteopathie beispielsweise sind die Spongiosabalken aufgefasert und unscharf verwaschen; Subdiskale Kallusformationen dagegen – wie sie im Verlauf einer Steroidosteoporose typisch sind – lassen im Röntgenbild bandförmige Verdichtungen erkennen (**WEISKE et al.** 1998).
3. Röntgenbilder stellen eine **Kontrollfunktion** zum osteodensitometrischen Messwert dar. Dieser kann bei degenerativen Veränderungen wie z. B. Spondylarthrose fälschlicherweise zu hoch liegen.

Da sich die Osteoporose vor allem am spongiosareichen Knochen der Wirbelsäule mit hoher Reagibilität gegenüber metabolischen und hormonellen Veränderungen manifestiert (**RESNICK et al.** 1988, **HEUCK** 1976) und sich eine Knochendichtezunahme bei erfolgreicher Therapie ebenfalls in diesem Bereich am besten nachweisen lässt (**RINGE et al.** 1994), sollten regelhaft Röntgenbilder der LWS vorgenommen werden. Die LWS stellt deshalb auch den geeignetsten Messort für die Knochendichtemessung dar (**FISCHER et al.** 1991, **SØGAARD et al.** 1994).

1.4.2 Knochendichtemessung mit der DXA

Die duale Röntgenabsorptiometrie ist eine Weiterentwicklung aus der dualen Photonenabsorptiometrie (DPA) und bezeichnet eine Messmethode, die zwei Strahlen unterschiedlicher Energie verwendet (**JERGAS et al.** 1992). Sie gehört zu den Flächenmessverfahren² der osteodensitometrischen Methoden. Photometrisch gemessen wird die Schwächung ionisierender Strahlung beim Durchgang durch den Knochen, wobei als Strahlenquellen Radionuklide (z. B. I-125, Gd-153) oder Röntgenstrahlen (SXA) dienen. Dabei werden alle einander überlagernden kalziumhaltigen Strukturen, die im Strahlengang liegen, in ihrer Summe erfasst, wobei eine Trennung von Kortikalis und Spongiosa nicht möglich ist (**THURN et al.** 1998). Weltweiter Standard ist derzeit die DXA (Dual-X-ray-Absorptiometrie), bei der von einer Röntgenquelle ausgehende Doppelenergien gemessen werden.

Standardisierte Messorte der DXA sind die Lendenwirbelsäule und die Hüfte im postero anterioren Strahlengang. Nur in Ausnahmefällen (d.h. im Forschungsbereich) kommt eine Messung des distalen und ultradistalen Radius zum Einsatz. Ganzkörpermessungen sind ebenfalls möglich, hierbei beträgt die Untersuchungszeit ca. 15-20 Minuten, wohingegen die Scanzeit für die Lendenwirbelsäule und Hüfte im p.a.- Strahlengang je nach Gerätetyp ca. 5-10 Minuten beträgt. Während des Messvorgangs wird der Messstrahl mäanderförmig über das Messfeld geführt. Die anschließend vorliegenden Daten werden in ein digitales Röntgenbild der untersuchten Region umgewandelt, wobei die Möglichkeit besteht, die einzelnen Messorte ein weiteres Mal zu unterteilen. Bei der Lendenwirbelsäule wird so jeder Wirbel einzeln ausgewertet. In der Hüfte werden verschiedene Regionen gemessen (intertrochantär, Ward'sches Dreieck, welches ein überwiegend trabekulären Knochen präsentierendes Areal darstellt, und Gesamtwert), wobei nur der T-Wert und Z-Wert zur Beurteilung herangezogen werden.

Bei der Knochendichtemessung mittels DXA kommt es zu unterschiedlicher Schwächung von Strahlung verschiedener Energien durch Gewebe. Strahlen niedriger Energie werden vor allem im Weichteil in höherem Maße geschwächt als solche höherer Energie. Es ergibt sich ein Kontrast zwischen Weichteilgewebe und Knochen, insbesondere für höhere Energie. Nach **JERGAS et al.** (1992) kann durch „Multiplikation der Schwächungskurve der Strahlung der

² Angabe in g Calciumhydroxylapatit / cm²

höheren Energie mit einem Faktor (...) die Weichteilkomponente des Intensitätsprofils genau zum Weichteilprofil der Strahlung passend gemacht werden“ (ebd. 1992). Subtrahiert man nun die Intensitätsprofile voneinander, so erhält man im Idealfall daraus das Schwächungsprofil nur des knöchernen Anteils, woraus nun der Knochenmineralsalzgehalt des untersuchten Areals errechnet werden kann. Die Angabe erfolgt in g/cm^2 (da der Knochen nur in zwei Ebenen Abbildung findet) und wird als BMD (bone mineral density) oder KMG (Knochenmineralsalzgehalt) bezeichnet.

Da die semiquantitativen Verfahren der radiographischen Morphometrie und der radiographischen Photodensitometrie aufgrund des enormen Aufwandes nur in Spezialeinrichtungen durchgeführt werden, rückte die Absorptiometrie immer weiter in den Vordergrund. Unter den Messverfahren für Diagnostik und Therapiemonitoring der Osteoporose liegt für die DXA- Methode die mit Abstand größte Datenbasis vor. Die Mehrzahl der prospektiven Studien und Therapiestudien im Bereich Osteoporose/Knochenstoffwechsel verwendet dieses Verfahren.

CUMMINGS et al. beschrieben 1993 die DXA als eine zuverlässige Knochendichtemessung an den am meisten frakturgefährdeten Regionen: proximaler Femur und Wirbelkörper. Verwendet werden zwei Strahlenenergien, die die Absorption von Strahlen durch das Weichgewebe subtrahieren (**REED et al.** 1965). An großen Normkollektiven wurden BMD (bone mineral density) -Durchschnittswerte³ mit entsprechenden Standardabweichungen (SD) ermittelt. Diese erlauben bei einer Messung die Angabe von:

T-Wert: Abweichung des Messergebnisses von der sog. „Peak-bone-mass“⁴,
ausgedrückt in SD, und

Z-Wert: Alters- (und körperrgewichts-) korrigierter Wert.

T- und Z-Wert werden mit jeweils zugehöriger Prozentangabe für beide Geschlechter getrennt errechnet. Neben dem Alter des zu Untersuchenden müssen für die Berechnung ebengenannter Werte auch Körpergewicht und Körpergröße vorliegen.

³ Der Knochenmineralsalzgehalt wird als BMD („bone mineral density“) in g/cm^2 errechnet und kann zusätzlich auch in sBMD als standardisierter Wert in mg/cm^2 angegeben werden.

⁴ Als „peak bone mass“ wird die maximale Knochenmasse bezeichnet, die normalerweise um das 25. bis 30. Lebensjahr erreicht wird. Etwa ab dem 40. Lebensjahr verringert sich die Knochenmineraldichte im Rahmen des physiologischen Knochenabbaus um ca. 1% pro Jahr.

Für die Diagnostik der Osteoporose gilt als Orientierung die Standardabweichung vom Mittelwert des jungen gesunden Kontrollkollektivs (T-Wert). Ist die Standardabweichung (SD) < -1 , so spricht man entsprechend den Richtlinien der **WHO** von 1994 von einem physiologischen Knochenmineralsalzgehalt (s. Tab.1). Bei einer SD von $-2,5$ und zugleich ≤ -1 liegt eine Osteopenie vor. Alle Werte $< -2,5$ SD kennzeichnen eine Osteoporose. Bei bereits vorhandenen Frakturen wird eine klinisch manifeste (fortgeschrittene) Osteoporose diagnostiziert.

Einteilung des Schweregrades \ T-Wert	T-Wert
Normale Knochendichte	> -1
Osteopenie	$-2,5$ bis -1
Osteoporose	$< -2,5$

Tab. 1.1 Einteilung des KMG-Verlusts anhand der T-Werte in die Kategorien „normale Knochendichte“, „Osteopenie“, und „Osteoporose“ (WHO 1994).

Vorteile der DXA-Messung gegenüber anderen Messmethoden sind beispielsweise eine geringere Strahlenbelastung durch kürzere Untersuchungszeiten (**JERGAS et al.** 1992) - etwa 10 Minuten für vier Wirbel der LWS. Die Strahlenbelastung für den Patienten bei der DXA der Hüfte beträgt im Allgemeinen zwischen $1-10 \mu\text{Sv}$ (**JERGAS et al.** 1992). Im Vergleich mit anderen Röntgenverfahren (z. B. a.p.-Thoraxaufnahmen mit einer Äquivalenzdosis von ca. $50 \mu\text{Sv}$ [**RICHARDSON 1990**] oder der natürlichen Strahlenbelastung (je nach Höhenlage 2400 bis $3000 \mu\text{Sv}$ [**LEWIS et al.** 1994]) ist die der densitometrischen Verfahren sehr niedrig.

Die DXA weist eine gute Präzision auf (**CULLUM 1989**), ebenso eine verbesserte Auflösung, sowie gute Reproduzierbarkeit⁵ und Richtigkeit für Verlaufskontrollen (**JERGAS et al.** 1992). Der Reproduzierbarkeitsfehler aller zurzeit verfügbaren DXA-Arbeitsplätze in vivo beträgt etwa $1-2\%$ bei einer Genauigkeit von $5-10\%$ (**JERGAS et al.** (1992), **HANSEN**

⁵Diese ist jedoch mit 3% (**KRÖLNER 1985**) eher als mäßig zu bezeichnen. Ursache ist die bei lateralen Lendenwirbelsäulen notwendige Lagerung mit einer Positionierungshilfe, die sich als schlecht reproduzierbar erweist (**JERGAS et al.** 1992). Folglich reicht die Präzision nicht aus, um Kurzzeitstudien über den Knochenmineralsalzgehalt an Einzelindividuen durchzuführen, wohl aber für klinische Studien an größeren Gruppen (**ADRESEN und NIELSEN 1986**).

et al. 1990, **HO et al.** 1990). Zugleich ermöglicht die DXA-Messung eine gute Abschätzung des Frakturrisikos an den beiden wichtigsten Frakturorten proximaler Femur und Wirbelkörper (**WEISKE et al.** 1998). Jeder Wirbel kann separat ausgewertet werden, so dass eventuelle Fehlerquellen eliminiert werden können (**JERGAS et al.** 1993).

Ein Nachteil der DXA ist die Einbeziehung aller Elemente der Wirbelsäule inklusive der überlagernden Strukturen. Im posterioranterioren Strahlengang kann es daher im Bereich der Lendenwirbelsäule beispielsweise durch ausgeprägte Spondylarthrosen, Spondylosen, Osteophyten, Schmorl'sche Knötchen oder Aortensklerose zu einer systematischen Verfälschung der Messwerte kommen. Diese liegen dann falsch zu hoch (**MASUD et al.** 1993).

Tabelle 1.2 fasst weitere Vor- und Nachteile der posterior- anterioren DXA zusammen:

Posteroanteriore DXA

Vorteile	Nachteile
Sehr niedrige effektive Dosis	Fälschliche Erhöhung des KMG durch degenerative Veränderungen der Wirbelsäule ⇒ verminderte Sensitivität, insbes. bei alten Patienten
Frakturrisikoabschätzung und Abschätzung des spezifischen Hüft- bzw. Wirbelkörperfrakturrisikos möglich	Keine separate Messung von rein trabekulärem Knochen möglich
Gute absolute Genauigkeit	Knochendicke beeinflusst die Flächendichte
Relativ unanfällig für Fehler in der Bedienung	
Gute Reproduzierbarkeit	

Tab. 1.2: Vor- und Nachteile der posterior-anterioren DXA- Messung; nach **WEISKE et al.** 1998.

1.4.3 Computertomographie (QCT)

Die Knochendichtemessung mit der quantitativen CT (QCT) gehört zu den Volumenmessverfahren (Angabe in mg Calciumhydroxylapatit/ml) der osteodensitometrischen Methoden. Sie ermöglicht als einzige Methode eine überlagerungsfreie Messung des trabekulären Knochens separat von der Compacta im Wirbelkörper. Bei der QCT werden Volumen-Messungen in 10mm-Schichten durchgeführt. Nach der Felsenberg- Einteilung wird bei Werten zwischen 80 und 120 mg HA/ml eine Osteopenie diagnostiziert, unter 80 mg HA/ml handelt es sich um eine Osteoporose. Die Strahlenbelastung der Untersuchung ist höher als bei der DXA und liegt bei ca. 80-100 μ Sv. Die QCT zur Knochendichtemessung ist nur angezeigt, wenn die DXA nicht durchführbar ist. Dies ist insbesondere der Fall, wenn ausgeprägte degenerative Veränderungen oder eine deutliche Aortensklerose vorliegen, welche zu falsch hohen Werten bei der DXA führen. Auch Spondylodesen oder anderes Fremdmaterial, sowie das Vorliegen einer starken Skoliose sind Ausschlusskriterien zur Durchführung einer Knochendichtemessung mit der DXA, hier kann die QCT als Alternativmethode eingesetzt werden. Eine Markraumverfettung jedoch kann zu falsch niedrigen Werten in der QCT führen.

1. 5 Fragestellung der Dissertation

Die digitale Radiographie findet zunehmend Einzug in die Projektionsradiographie. Vorteile sind Nachbearbeitung der Bilder, digitale Archivierung und eine niedrigere Strahlenbelastung. Bisher ist jedoch noch nicht geklärt, inwieweit die geänderte Technik der Bilderzeugung und Nachverarbeitung die Diagnosestellung der Osteoporose beeinflusst.

Das Interesse dieser Studie galt der visuellen Erkennung der Osteoporose anhand des Röntgenbildes der Lendenwirbelsäule. Besonderes Augenmerk lag auf dem Unterschied der Ergebnisse zwischen den Beurteilungen der *digitalen* und der *konventionellen* Bilder.

Die Fragestellungen betrafen im Einzelnen:

1. Die Übereinstimmung der Befunde (Beurteilung von konventionellen und digitalen Röntgenbildern) der einzelnen Untersucher mit der DXA-Messung als Gold-Standard
2. Die Übereinstimmung der Befunde (konventionell / digital) der Untersucher untereinander (*Interreader-Variabilität*)
3. Die Übereinstimmung der Befunde der Untersucher *sowohl* untereinander *als auch* mit der DXA- Messung
4. Die Übereinstimmung der Befunde (konventionell / digital) *eines* Untersuchers bei wiederholtem Reading (*Intrareadervariabilität*)

2. Patienten und Methoden

2.1. Patienten

Im Zeitraum von 9/99 bis 10/2000 wurden im Institut für Radiologische Diagnostik 1958 **digitale** Röntgenaufnahmen der LWS in Verbindung mit einer DXA angefertigt. Im Zeitraum von 11/1990 bis 11/1995 wurden 1422 **konventionelle** Röntgenaufnahmen der LWS in Verbindung mit einer DXA angefertigt. Folgende Ein- und Ausschlusskriterien wurden definiert:

Einschlusskriterium:

Vorliegen von Röntgenaufnahmen der LWS und DXA-Messung der LWS innerhalb eines Zeitraums von sechs Monaten.

Ausschlusskriterien:

1. Patienten mit Frakturen in einem oder mehreren Lendenwirbelkörpern
2. Bisphosphonat-Therapie
3. Patienten mit endokrinen Erkrankungen wie z. B. einem Hyperparathyreoidismus, M. Cushing, intestinalen Erkrankungen wie Colitis ulcerosa, M. Crohn, Sprue, Lebererkrankungen und nach Gastrektomie, Patienten mit rheumatoider Arthritis und solche, die einer Steroid-, oder Tumortherapie unterzogen wurden.
4. Stark degenerative Veränderungen der LWS, wie deutliche Spondylophytenbildung, Pseudospondylolisthesis und starke Osteochondrose in mehr als einem Bandscheibensegment.
5. Sichtbare Aortensklerose
6. Unscharfe und unsachgemäß angefertigte Röntgenbilder oder zweifelhafte DXA-Messungen

Zur Auswertung kamen in der Regel die Lendenwirbelkörper L1-L4. Lag der Knochendichtewert eines Wirbels aufgrund von degenerativen Veränderungen deutlich über denen der übrigen Wirbel, so wurde dieser von der Mittelung ausgenommen.

Aufgrund dieser Ein- und Ausschlusskriterien konnten 128 konventionelle Röntgenbilder und 158 digitale Röntgenbilder ausgewertet werden. Bei den konventionellen Röntgenbildern handelte es sich um 95 Frauen im Alter von 22 bis 80 Jahren (Durchschnittsalter 55,3 Jahre)

und 33 Männer zwischen 18 und 68 Jahren (Durchschnittsalter 48,3 Jahre). Die T-Werte der DXA-Messungen lagen zwischen $-4,75$ SD und $+2,42$ SD (gemittelt: $-1,39$). Das Kollektiv der digitalen Röntgenaufnahmen setzte sich aus 132 weiblichen Patienten im Alter zwischen 21 und 80 Jahren (Durchschnittsalter 54,5 Jahre), sowie 25 männlichen im Alter von 29-79 Jahren (Durchschnittsalter 54,2 Jahre) zusammen. Die T-Werte der DXA-Messungen lagen zwischen $-4,15$ SD und $+2,04$ SD (gemittelt: $-1,64$).

2.2. Methoden

2.2.1 DXA-Messungen

Als Knochendichtemessgerät wurde im gesamten Untersuchungszeitraum ein Hologic QDR 1000- Densitometer verwendet (s. Abb. 2.1).



Abb. 2.1: Hologic QDR 1000 DXA-Arbeitsplatz

Die Messung wurde von einer erfahrenen Röntgenassistentin unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Der mittlere Knochenmineralsalzgehalt an der LWS wurde aus der anterior-posterioren Messung der Wirbelkörper - in der Regel LWK 1 bis 4 - errechnet.

Analog zur WHO-Klassifikation (1994) galt ein T-Wert > -1 SD als Normalbefund. Bei einem T-Score ≤ -1 SD bis $-2,5$ SD und zugleich wurden die Röntgenaufnahmen in die Kategorie „Osteopenie“ und bei einem T-Score $> -2,5$ SD in die Kategorie „Osteoporose“ aufgenommen.

2.2.2 Digitale Röntgenaufnahmen

Zur Erzeugung der digitalen Röntgenbilder stand während des gesamten Untersuchungszeitraums ein „ADC-Compact“ von AGFA zu Verfügung. Der ADC-Digitizer scannt die Platten, digitalisiert die Röntgenbilder und verarbeitet sie – ohne manuelle Interaktion am Gerät. Der ADC Compact verfügt über einen Buffer für zehn Platten. Die ADC-ID-Software garantiert eine schnelle, fehlerfreie Übertragung der Patientendaten. Sobald die ADC-Kassette in den Übertragungsschacht des ID-Tabletts eingelegt wird, speichert die Software die Daten durch kontaktfreie Hochfrequenzübertragung auf den in die Kassette eingebauten Chip. Die ADC Autoprocessing-Software stellt den reibungslosen Betrieb der ADC-Konfiguration sicher. Die eingehenden Bildrohdaten werden automatisch verarbeitet. Das Ergebnis sind diagnostisch hochwertige Röntgenaufnahmen, die von der Software an den Drucker und/oder das Netzwerk übertragen werden.

Die Erzeugung der Aufnahmen wurde ebenfalls von einer erfahrenen Röntgenassistentin vorgenommen und mit der entsprechenden Bearbeitungssoftware optimiert. Die Qualitätskontrolle der Röntgenaufnahmen fand durch dieselbe Assistentin statt.

2.2.3 Konventionelle Röntgenaufnahmen

Für die Anfertigung der konventionellen Röntgenaufnahmen der Lendenwirbelsäule galten folgende Bedingungen:

- Kassettenfilm 20/40 cm, Hochformat
- A.p.: Film-Foliensystem der Empfindlichkeitsklasse 400
- Laterale Aufnahme: Verlaufsfolie (gradual), Empfindlichkeitsklasse 400
- Aufnahmen im Liegen zur Vermeidung von Bewegungsunschärfe
- Zentralstrahl: a.p. ⇒LWK 3 (ca. 2 Querfinger oberhalb des Beckenkamms)
lateral ⇒Beckenkamm
- Belichtung: a.p. mit 77 kV (Automatik), lateral mit 90 kV (Automatik)

2.2.4 Versuchsablauf

Die 128 konventionellen Lendenwirbelsäulenaufnahmen und die 158 digitalen Aufnahmen wurden vier erfahrenen Untersuchern separat zur Befundung vorgelegt (a.p. und lateral). Es handelte sich um vier Fachärzte für Radiologie mit mehrjähriger Berufserfahrung und Expertise auf dem Gebiet Osteoporose. Die Untersucher mussten in dichotomer Weise entscheiden, ob eine normale Knochendichte/Strahlentransparenz oder eine erniedrigte Knochendichte/Strahlentransparenz vorliegt. Zusätzlich wurde – in Anlehnung an die Richtlinien der WHO von 1994 – bei erniedrigter Knochendichte um eine Graduierung in „Osteopenie“ oder „Osteoporose“ gebeten.

Allen Untersuchern wurden die Röntgenbilder (a.p. und seitlich) in gleicher Reihenfolge präsentiert. Um den Ermüdungseffekt möglichst gering zu halten, wurden jeweils 3 Sitzungen im Abstand von 1-2 Wochen durchgeführt. Pro Sitzung wurden ca. 50 bzw. bei den konventionellen Bildern 40 Aufnahmen vorgelegt. Die Untersucher hatten keine Zeitrestriktion. Die Betrachtung der digitalen Bilder erfolgte mit einer „Siemens Magic-View-1000“-Konsole. Es blieb den Untersuchern freigestellt, technische Hilfsmittel wie Ausschnittsvergrößerung, Kontraständerungen, oder die Regulierung der Helligkeit von Röntgenaufnahmen vorzunehmen. Konventionelle Röntgenbilder wurden an Leuchtschirmen mit der erforderlichen Helligkeit (1000 Lux) beurteilt.

Geburtsdatum, Alter und Namen der Patienten wurden auf dem Bildschirm bzw. auf jedem Röntgenbild abgeklebt. Ebenso waren nur die Lendenwirbel L1-L4 durch eine Schablone sichtbar, um eine Beeinflussung in der Diagnosestellung durch eventuelle Grund- oder Deckplatteneinbrüche in der BWS sowie stark degenerative Veränderungen der BWS zu vermeiden.

Zur Validierung der Aussagen (richtig positiv / richtig negativ) dienen die Ergebnisse der jeweiligen DXA- Messungen. Gold-Standard war die T-Wert-Einteilung der WHO. Eine normale Knochendichte wurde bei einem T-Wert > -1 SD, eine erniedrigte Knochendichte ab einem T-Wert ≤ -1 SD angenommen. Die angegebenen T- und Z-Werte der Lendenwirbelsäule sind Mittelwerte aus den Ergebnissen der einzelnen Lendenwirbelkörper L1-L4.

2.2.5 Datenerfassung und Statistik

Zur Erfassung der Daten wurde das Tabellenkalkulationsprogramm von Microsoft Excel für personal computer verwendet. Jeweils eine Tabelle wurde für die Registrierung der Patienten mit digitalen bzw. konventionellen Röntgenaufnahmen angefertigt. Die digitalen Aufnahmen wurden (entsprechend ihrer Archivierung) nach Untersuchungsdatum, die konventionellen nach dem Alphabet sortiert. Auf diese Weise entstand hinsichtlich der Diagnosen sowohl für die Readings der konventionellen als auch für die Readings der digitalen Röntgenaufnahmen eine zufällige Verteilung.

Die Spalten enthielten der Reihenfolge nach folgende Daten (s. Abb. 2.1): Nachname, Vorname, Geschlecht, Geburtsdatum, Alter, Untersuchungsdatum der Röntgenbilder, Untersuchungsdatum der DXA-Untersuchung, BMD-Wert der LWS, T-Wert der LWS, BMD-Prozentangabe des T-Wertes, Z-Wert der LWS, Prozentangabe des Z-Wertes. Zur Kontrolle der Richtigkeit und Überprüfung eventueller Unstimmigkeiten wurden analog der Datenerfassung der LWS-Untersuchung die entsprechenden Werte der Untersuchung der Hüfte in den folgenden Spalten notiert. Orientiert am T-Wert der LWS als Gold-Standard wurde in der hintersten Tabellenspalte die Diagnoseeinteilung nach o.g. WHO- Standard (1994) in „normale Knochendichte“ und „erniedrigte Knochendichte“ bzw. bei letzterem eine nochmalige Unterteilung in „Osteoporose“ oder „Osteopenie“ vorgenommen.

Nachname	Vorname	Geschlecht	Geburtsdatum	Alter	Untersuchungsdatum Röntgenbilder	Untersuchungsdatum DXA	BMD LWS	T-Wert LWS	% T-Wert LWS	Z-Wert LWS	% Z-Wert LWS	BMD Hüfte	T-Wert Hüfte	% T-Wert Hüfte	Z-Wert Hüfte	% Z-Wert Hüfte	Diagnose
----------	---------	------------	--------------	-------	----------------------------------	------------------------	---------	------------	--------------	------------	--------------	-----------	--------------	----------------	--------------	----------------	----------

Abb. 2.1: Datenerfassung

Statistische Analyse

Zur statistischen Analyse der Beziehung zwischen visueller Beurteilung und Knochenmineralgehalt (DXA) wurden Vierfeldertafeln mittels SPSS (Version 1993) erstellt. Aus diesen wurden jeweils Sensitivität, Spezifität, falsch positive sowie falsch negative Ergebnisse, positiv prädiktiver Wert (ppv: positive predictive value), negativ prädiktiver Wert (npv: negative predictive value), und der zugehörige Kappa-Koeffizient errechnet.

Der **positiv prädiktive Wert** (ppv: positive predictive value, positiver Vorhersagewert) ist ein Maß für die Vorhersagbarkeit eines Testverfahrens. Er errechnet sich aus dem Quotienten

von richtigerweise als krank erkannten Personen und der Gesamtzahl der Personen mit positivem Testergebnis. Die positive Prädiktion sagt folglich aus, mit welcher *Wahrscheinlichkeit* eine Krankheit vorliegt, wenn ein Testergebnis positiv ausfällt. Sie hängt von weiteren Gütekriterien des Verfahrens bezüglich seiner Gültigkeit (Validität) - wie der Sensitivität und Spezifität - sowie der Prävalenz der Erkrankung ab. Als Prävalenz wird der aktuelle Krankenstand für eine bestimmte Krankheit bezeichnet und errechnet als die Anzahl der Erkrankten an einem bestimmten Stichtag, bezogen auf 100.000 der Betroffenen in der Bevölkerung. Prävalenz und positive Prädiktion korrelieren direkt miteinander: Bei einer sehr seltenen Krankheit werden auch dann, wenn die anderen Gütekriterien des Tests hohe Werte aufweisen, relativ viele Probanden ein falsch-positives Ergebnis erhalten. Der Anteil der richtig-positiven Ergebnisse sinkt, der Test hat also bei niedriger Prävalenz einen niedrigen Vorhersagewert.

Als **negativ prädiktiver Wert** (= npv: negative predictive value, negativer Vorhersagewert), wird der Quotient aus Personen, die richtigerweise als gesund erkannt werden und der Gesamtzahl der Personen mit negativem Testergebnis bezeichnet. Die Frage, welche hinter diesem Test steht lautet also: mit welcher Wahrscheinlichkeit ist eine Person mit einem negativen Testergebnis gesund?

Zur Errechnung des **Kappa-Koeffizienten** wird zunächst der Anteil konkordanter Urteile P_o (observed) ermittelt, indem die Anzahl der übereinstimmenden Antworten (a+d) durch die Gesamtzahl der zu beurteilenden Bilder (N) geteilt wird:

$$P_o = (a + d) : N$$

Diesem Anteil wird der Anteil konkordanter Urteile P_e (expected) gegenübergestellt, der rein zufällig aufgrund der Randsummen erwartet wird:

$$P_e = [(a + c) \cdot (a + b) + (c + d) \cdot (b + d)] : N^2$$

Der über den Zufall hinausgehende, theoretisch mögliche Anteil konkordanter Urteile wird mit $1 - P_e$ gekennzeichnet. $P_o - P_e$ meint den über den Zufall hinausgehenden, tatsächlich

auftretenden Anteil konkordanter Urteile. Indem $P_o - P_e$ durch $1 - P_e$ dividiert wird, erhält man den Kappa-Koeffizienten:

$$\text{Kappa} = (P_o - P_e) : (1 - P_e)$$

Die Werte des Kappa-Koeffizienten liegen zwischen -1 und $+1$. Letzteres meint eine vollständige Übereinstimmung zwischen Begutachtungen. Kappa nimmt den Wert 0 an, wenn die beobachtete Übereinstimmung gleich der zu erwarteten Zufallsübereinstimmung ist, und ist negativ, wenn die beobachtete Übereinstimmung geringer ausfällt, als diese nach dem Zufallsprinzip zu erwarten wäre. Zeigt die Auswertung keine Übereinstimmung, so ergibt sich ein Kappa-Koeffizient von -1 . Ein hoher Kappa-Wert korreliert demnach mit einem hohen Maß an Übereinstimmung, d. h. mit einer niedrigen Varianz. Ebenso ist ein niedriger Kappa-Wert einer geringen Varianz gleichzusetzen.

Die Signifikanz von Kappa wurde anhand des **Chi-Quadrat-Tests** ermittelt. Der Chi-Quadrat-Test wird angewandt, um zu überprüfen, ob das Ausmaß des Zusammenhangs in der vorliegenden Stichprobe nur mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit als Ergebnis einer Zufallsauswahl aus einer Grundgesamtheit entstanden sein kann, in der keine Beziehung zwischen den beiden Variablen besteht (Nullhypothese). Mit dem Chi-Quadrat-Test wird folglich festgestellt, ob das Ergebnis statistisch signifikant ist.

Seine Formel lautet:

$$\chi^2 = N \cdot (ad - bc)^2 : [(a+b) \cdot (c+d) \cdot (a+c) \cdot (b+d)]$$

Ergebnisinterpretation anhand eines Beispiels:

Chi-Square	Value	DF	Significance
Pearson	32,122200	4	0,00000 bzw. <0,0001

Es wurde ein Chi-Quadrat-Wert nach Pearson von 32,122200 berechnet, der hochsignifikant ($p = 0,00000$) ausfällt.

Die Summe aller richtigen Antworten (= richtig Positive und richtig Negative) wurde in Anzahl und Prozent berechnet

Ebenso in Anzahl/Prozent wurde die Übereinstimmung der Untersucher untereinander (*Interreadervariabilität*) und zusätzlich orientiert am tatsächlichen KMG der DXA ermittelt.

Die Übereinstimmung zweier Untersucher mit ihren eigenen Beurteilungen beim ersten sowie einem wiederholtem Reading (*Intrareadervariabilität*) wurde in Anzahl/Prozent und mit Hilfe des Kappa-Koeffizienten berechnet.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der DXA- Messungen

49 der 158 Patienten (31,0%) mit **digitalen** Röntgenaufnahmen hatten eine „normale Knochendichte“, 60 Patienten (38,0%) eine „Osteopenie“, und weitere 49 Patienten (31,0%) eine „Osteoporose“. Der Mittelwert des T-Wertes lag in dieser Gruppe bei $-1,64 \text{ mg/cm}^2$, der Mittelwert des Z-Wertes bei $-0,62 \text{ mg/cm}^2$.

46 der **128** Patienten (36,0%) mit **konventionell** angefertigten Röntgenaufnahmen wiesen eine normale Knochendichte, 57 (44,5%) eine Osteopenie, und 25 (19,5%) eine Osteoporose auf. Der Mittelwert des T-Wertes war in dieser Gruppe $-1,39 \text{ mg/cm}^2$, der Mittelwert des Z-Wertes $-0,43 \text{ mg/cm}^2$.

3.2 Vergleich der visuellen Beurteilung der konventionellen Röntgenaufnahmen mit der DXA

Zunächst wurden jeweils die Ergebnisse der vier Untersucher, welche die Röntgenbilder in die Kategorien „normale Knochendichte“⁶ und „erniedrigte Knochendichte“ (= „Osteopenie oder Osteoporose“) einteilten, dargestellt.

Es schließt sich eine weitere Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in die Einzelkategorien „Osteopenie“ und „Osteoporose“ an.

Untersucher 1

Untersucher 1 erkannte 73 von 82 Röntgenaufnahmen richtig positiv, die Sensitivität entspricht folglich 89,0% (s. Tab. 3.1). Die Spezifität beträgt 47,8%, d.h. 22 von 46 Röntgenaufnahmen wurden richtig negativ beurteilt. Insgesamt wurden 95 von 128 Diagnosen richtig gestellt (74,2%). 9 von 82 Röntgenbildern (11%) waren falsch positiv, 24 von 46 Aufnahmen (52,2%) falsch negativ. Der positiv prädiktive Wert ist 75,3 %, der negativ prädiktive Wert ist 71,0%. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Diagnosen von Untersucher 1 mit dem DXA-Ergebnis beträgt 0,40 mit einer Signifikanz $p < 0,0001$.

		DXA		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 1	Normal	n = 22	n = 9	$\Sigma n = 31$	24,2%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 24	n = 73	$\Sigma n = 97$	75,8%
		$\Sigma n = 46$	$\Sigma n = 82$	$\Sigma n = 95$	
TOTAL		35,9%	64,1%	128	

Tab.3.1: Die Vierfeldertafel beschreibt die dichotome Einteilung der Röntgenbilder in die Kategorien „normal“ und „erniedrigte Knochendichte (= Osteopenie / Osteoporose)“. Die Antworten von Untersucher 1 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

⁶ Im Folgenden als „normal“ abgekürzt.

3 Ergebnisse

Nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ erhielten 63 von 128 Aufnahmen (49,2 %) die zutreffende Diagnose. Untersucher 1 erkannte in 22 von 46 Fällen (47,8%) die Röntgenaufnahmen richtig als gesund, in 24 von 56 Fällen (42,9%) richtig als osteopenisch, sowie in 17 von 26 Fällen (65,4%) richtig als osteoporotisch. 18 der 46 Patienten (39,1%) mit normaler Knochendichte wurden falsch als osteopenisch, und 6 dieser 46 (13,0%) falsch als osteoporotisch angesehen. 9 der 56 osteopenischen Fälle (16,1%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, sowie 23 dieser 56 Fälle (41,1%) falsch als osteoporotisch. 9 der 26 Röntgenaufnahmen mit Osteoporose (34,6%) wurden falsch als osteopenisch angesehen. Es errechnete sich ein Kappa-Wert für die Übereinstimmung der Diagnosen von Untersucher 1 mit dem DXA-Ergebnis von 0,24 mit einer Signifikanz $p < 0,0001$.

		DXA			TOTAL	
		Normal	Osteopenie	Osteoporose		
Untersucher 1	Normal	n = 22	n = 9	n = 0	Σn = 31	24,2%
	Osteopenie	n = 18	n = 24	n = 9	Σn = 51	39,8%
	Osteoporose	n = 6	n = 23	n = 17	Σn = 46	35,9%
		Σn = 46	Σn = 56	Σn = 26	Σn = 63	
TOTAL		35,9%	43,8%	20,3%	128	

Tab.3.2: Die Neunfeldertafel veranschaulicht die Ergebnisse nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in die zwei Unterkategorien „Osteopenie“ und „Osteoporose“. Die Antworten von Untersucher 1 wurden mit den Ergebnissen der DXA- Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Untersucher 2

Untersucher 2 erkannte 66 von 82 Röntgenaufnahmen richtig positiv, die Sensitivität entspricht folglich 80,5% (s. Tab. 3.3). Die Spezifität beträgt 39,1%, d.h. 18 von 46 Röntgenaufnahmen wurden richtig negativ beurteilt. Insgesamt wurden 84 von 128 Diagnosen richtig gestellt (65,6%). 28 von 46 Röntgenbildern (60,9%) waren falsch positiv, 16 von 82 Aufnahmen (19,5%) falsch negativ. Der positiv prädiktive Wert ist 70,2%, der negativ prädiktive Wert ist 52,9%. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Diagnosen von Untersucher 2 mit dem DXA-Ergebnis beträgt 0,21 mit einer Signifikanz $p=0,0157$.

		DXA		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 2	Normal	n = 18	n = 16	$\Sigma n = 34$	26,6%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 28	n = 66	$\Sigma n = 94$	73,4%
		$\Sigma n = 46$	$\Sigma n = 82$	$\Sigma n = 84$	
TOTAL		35,9%	64,1%		128

Tab.3.3: Die Vierfeldertafel beschreibt die dichotome Einteilung der Röntgenbilder in die Kategorien „normal“ und „erniedrigte Knochendichte“ (= Osteopenie / Osteoporose). Die Antworten von Untersucher 2 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Bei Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ erhielten 54 von 128 Aufnahmen (42,2%) die zutreffende Diagnose (s. Tab. 3.4). Untersucher 2 erkannte in 18 von 46 Fällen (39,1%) die Röntgenaufnahmen richtig als gesund, in 14 von 56 Fällen (25,0%) richtig als osteopenisch, sowie in 22 von 26 Fällen (84,6%) richtig als osteoporotisch. 16 der 46 Patienten (34,8%) mit normaler Knochendichte wurden falsch als osteopenisch, und 12 dieser 46 (26,1%) falsch als osteoporotisch angesehen. 14 der 56 osteopenischen Fälle (25,0%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, sowie 28 dieser 56 Fälle (50,0%) falsch als osteoporotisch. In jeweils 2 von 26 Fällen (7,7%) kam es zur

3 Ergebnisse

Einteilung in die Kategorien „normal“ bzw. „Osteopenie“, obwohl eine Osteoporose vorlag. Es errechnete sich ein Kappa-Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 2 mit dem DXA- Ergebnis von 0,17 mit einer Signifikanz $p < 0,0001$.

		DXA			TOTAL	
		Normal	Osteopenie	Osteoporose		
Untersucher 2	Normal	N = 18	n = 14	n = 2	$\Sigma n = 34$	26,6%
	Osteopenie	N = 16	n = 14	n = 2	$\Sigma n = 32$	25,0%
	Osteoporose	N = 12	n = 28	n = 22	$\Sigma n = 62$	48,4%
		$\Sigma n = 46$	$\Sigma n = 56$	$\Sigma n = 26$	$\Sigma n = 54$	
TOTAL		35,9%	43,8%	20,3%		128

Tab.3.4: Die Neunfeldertafel veranschaulicht die Ergebnisse nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in die zwei Unterkategorien „Osteopenie“ und „Osteoporose“. Die Antworten von Untersucher 2 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Untersucher 3

Untersucher 3 erkannte 69 von 82 Röntgenaufnahmen richtig positiv, die Sensitivität entspricht folglich 84,1% (s. Tab. 3.5). Die Spezifität beträgt 21,7%, d.h. 10 von 46 Röntgenaufnahmen wurden richtig negativ beurteilt. Insgesamt wurden 79 von 128 Diagnosen richtig gestellt (61,7%). 36 von 46 Röntgenbildern (78,3%) waren falsch positiv, 13 von 82 Aufnahmen (15,9%) falsch negativ. Der positiv prädiktive Wert ist 65,7%, der negativ prädiktive Wert ist 43,5%. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Diagnosen von Untersucher 3 mit dem DXA- Ergebnis beträgt 0,07 mit einer Signifikanz $p=0,4930$.

		DXA		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 3	Normal	n = 10	n = 13	$\Sigma n = 23$	18,0%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 36	n = 69	$\Sigma n = 105$	82,0%
		$\Sigma n = 46$	$\Sigma n = 82$	$\Sigma n = 79$	
TOTAL		35,9%	64,1%		128

Tab.3.5: Die Vierfeldertafel beschreibt die dichotome Einteilung der Röntgenbilder in die Kategorien „normal“ und „erniedrigte Knochendichte“ (= Osteopenie / Osteoporose). Die Antworten von Untersucher 3 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Bei Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ erhielten 44 von 128 Aufnahmen (34,4%) die zutreffende Diagnose (s. Tab. 3.6). Untersucher 3 erkannte in 10 von 46 Fällen (21,7%) die Röntgenaufnahmen richtig als gesund, in 14 von 56 Fällen (25,0%) richtig als osteopenisch, sowie in 20 von 26 Fällen (76,9 %) richtig als osteoporotisch. 14 der 46 Patienten (30,4 %) mit normaler Knochendichte wurden falsch als osteopenisch, und 22 dieser 46 (47,8%) falsch als osteoporotisch angesehen. 10 der 56 osteopenischen Fälle (17,9%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, sowie 32 dieser

3 Ergebnisse

56 Fälle (57,1%) falsch als osteoporotisch. 2 von 26 Fällen mit Osteoporose (7,7%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, 4 dieser 26 Röntgenaufnahmen (15,4%) wurden falsch als osteopenisch angesehen. Es errechnete sich ein Kappa-Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 3 mit dem DXA-Ergebnis von 0,08 mit einer Signifikanz $p = 0,2606$.

		DXA			TOTAL	
		Normal	Osteopenie	Osteoporose		
Untersucher 3	Normal	n = 10	n = 10	n = 2	$\Sigma n = 22$	17,2%
	Osteopenie	n = 14	n = 14	n = 4	$\Sigma n = 32$	25,0%
	Osteoporose	n = 22	n = 32	n = 20	$\Sigma n = 74$	57,8%
		$\Sigma n = 46$	$\Sigma n = 56$	$\Sigma n = 26$	$\Sigma n = 44$	
TOTAL		35,9%	43,8%	20,3%		128

Tab.3.6: Die Neunfeldertafel veranschaulicht die Ergebnisse nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in die zwei Unterkategorien „Osteopenie“ und „Osteoporose“. Die Antworten von Untersucher 3 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Untersucher 4

Untersucher 4 erkannte 73 von 82 Röntgenaufnahmen richtig positiv, die Sensitivität entspricht folglich 89,0% (s. Tab. 3.7). Die Spezifität beträgt 37,0%, d.h. 17 von 46 Röntgenaufnahmen wurden richtig negativ beurteilt. Insgesamt wurden 90 von 128 Diagnosen richtig gestellt (70,3%). 29 von 46 Röntgenbildern (63,0%) waren falsch positiv, 9 von 82 Aufnahmen (11,0%) falsch negativ. Der positiv prädiktive Wert ist 71,6%, der negativ prädiktive Wert ist 65,4%. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Diagnosen von Untersucher 4 mit dem DXA- Ergebnis beträgt 0,29 mit einer Signifikanz $p=0,0004$.

		DXA		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 4	Normal	n = 17	n = 9	$\Sigma n = 26$	20,3%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 29	n = 73	$\Sigma n = 102$	79,7%
		$\Sigma n = 46$	$\Sigma n = 82$	$\Sigma n = 90$	
TOTAL		35,9%	64,1%		128

Tab. 3.7: Die Vierfeldertafel beschreibt die dichotome Einteilung der Röntgenbilder in die Kategorien „normal“ und „erniedrigte Knochendichte“ (= Osteopenie / Osteoporose). Die Antworten von Untersucher 4 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Bei Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ erhielten 55 von 128 Aufnahmen (43,0%) die zutreffende Diagnose (s. Tab. 3.8). Untersucher 4 erkannte in 17 von 46 Fällen (37,0%) die Röntgenaufnahmen richtig als gesund, in 14 von 46 Fällen (25,0%) richtig als osteopenisch, sowie in 24 von 26 Fällen (92,3%) richtig als osteoporotisch. 19 der 46 Patienten (41,3%) mit normaler Knochendichte wurden falsch als osteopenisch, und 10 dieser 46 Aufnahmen (21,7%) falsch als osteoporotisch angesehen. 9 der 56 osteopenischen Fälle (16,1%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, sowie 33 dieser 56 Fälle (58,9%) falsch als osteoporotisch. Keiner der 26 Fälle mit

3 Ergebnisse

Osteoporose (0,0%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, 2 dieser 26 Röntgenaufnahmen (7,7%) wurden falsch als osteopenisch angesehen. Es errechnete sich ein Kappa-Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 4 mit dem DXA- Ergebnis von 0,19 mit einer Signifikanz $p < 0,0001$.

		DXA			TOTAL	
		Normal	Osteopenie	Osteoporose		
Untersucher 4	Normal	n = 17	n = 9	n = 0	$\Sigma n = 26$	20,3%
	Osteopenie	n = 19	n = 14	n = 2	$\Sigma n = 35$	27,3%
	Osteoporose	n = 10	n = 33	n = 24	$\Sigma n = 67$	52,3%
		$\Sigma n = 46$	$\Sigma n = 56$	$\Sigma n = 26$	$\Sigma n = 55$	
TOTAL		35,9%	43,8%	20,3%	128	

Tab.3.8: Die Neunfeldertafel veranschaulicht die Ergebnisse nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in die zwei Unterkategorien „Osteopenie“ und „Osteoporose“. Die Antworten von Untersucher 4 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Readings der konventionellen Röntgenbilder

Gemittelt über alle vier Untersucher ergab sich eine richtig negative Aussage (normale Knochendichte versus erniedrigte Knochendichte) in 36,4% der Fälle (Einzelwerte s. Tab. 3.9). Hier zeigte sich eine Schwankung der Ergebnisse: Untersucher 1 hatte mit 47,8% die größte Übereinstimmung mit der DXA, während Untersucher 3 mit 21,7% die geringste Übereinstimmung aufwies. Als richtig positiv wurden im Mittel 85,7% der Röntgenbilder beurteilt, als falsch negativ im Mittel 14,4% der Fälle, sowie als falsch positiv im Mittel 63,6% (Einzelwerte s. Tab. 3.9). Die Summe aus richtig positiven und richtig negativen Aussagen in Prozent war gemittelt 68,0% (s. Tab. 3.9). Über alle Untersucher gemittelt errechnete sich ein positiv prädiktiver Wert von 70,7%, ein negativ prädiktiver Wert von 58,2% sowie ein Kappa von 0,24 (Einzelwerte s. Tab. 3.9).

	Mit den Ergebnissen der DXA verglichene Angaben in %				Gesamt	ppv	npv	Kappa
	richtig negativ (Spezifität)	richtig positiv (Sensitivität)	falsch negativ	falsch positiv				
Untersucher 1	47,8	89,0	11,0	52,2	74,2	75,3	71,0	0,40
Untersucher 2	39,1	80,5	19,5	60,9	65,6	70,2	52,9	0,21
Untersucher 3	21,7	84,1	15,9	78,3	61,7	65,7	43,5	0,07
Untersucher 4	37,0	89,0	11,0	63,0	70,3	71,6	65,4	0,29
Mittelwert	36,4	85,7	14,4	63,6	68,0	70,7	58,2	0,24

Tab. 3.9: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Kapiteln 3.2.1 bis 3.2.4 betreffend der dichotomen Einteilung in „normal“ und „erniedrigte Knochendichte“ (= Osteopenie oder Osteoporose). Aufgeführt sind Spezifität und Sensitivität, die falsch negativen und falsch positiven Aussagen des jeweiligen Readings, sowie die Gesamt-Prozentzahl der mit der DXA übereinstimmenden Angaben (= Summe aus richtig Positiven und richtig Negativen in Prozent). Rechts daneben findet sich der zugehörige positiv prädiktive Wert (ppv), der negativ prädiktive Wert (npv) und der Kappa-Koeffizient. Aus allen Werten wurde jeweils der Mittelwert gebildet.

3 Ergebnisse

Nach Unterteilung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ ergaben sich folgende Werte: Gemittelt über alle vier Untersucher wurden 36,4% der Röntgenaufnahmen mit normaler Knochendichte richtig beurteilt, ebenso 29,5% der osteopenischen (Einzelwerte s. Tab. 3.10). Bei letzteren hebt sich Untersucher 1 mit 42,9% deutlich von den übrigen Untersuchern (jeweils 25%) ab. Die höchsten Prozentzahlen der Richtigaussagen sind in der Kategorie „Osteoporose“ zu finden. Im Mittel wurden 79,8 % der osteoporotischen Fälle richtig diagnostiziert. Untersucher 4 erkannte nahezu alle Bilder dieser Kategorie (92,3%) als osteoporotisch (weitere Einzelwerte s. Tab.3.10). Die Summe aller richtig diagnostizierten Röntgenaufnahmen war im Mittel 42,2% (s. Tab.3.10).

	Mit DXA übereinstimmende Angaben in %				Kappa
	normal	Osteopenie	Osteoporose	Gesamt	
Untersucher 1	47,8	42,9	65,4	49,2	0,24
Untersucher 2	39,1	25,0	84,6	42,2	0,17
Untersucher 3	21,7	25,0	76,9	34,4	0,08
Untersucher 4	37,0	25,0	92,3	43,0	0,19
Mittelwert	36,4	29,5	79,8	42,2	0,17

Tab. 3.10: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Kapiteln 3.2.1 bis 3.2.4. Aufgeführt sind die richtigen Antworten in Prozent jedes Untersuchers, sowohl in den einzelnen Kategorien „normal“, „Osteopenie“ bzw. „Osteoporose“, als auch für alle Kategorien zusammengefasst. Rechts daneben findet sich der zugehörige Kappa-Koeffizient. Aus allen Werten wurde jeweils der Mittelwert gebildet.

Der Prozentsatz der insgesamt richtig diagnostizierten LWS-Aufnahmen sinkt bei der Unterteilung der Kategorien „erniedrigte Knochendichte“ um 25,8% von 68,0% auf 42,2% (s. Tab.3.9 und Tab.3.10).

Analog fällt Kappa für die Übereinstimmung der Untersucher mit dem DXA-Ergebnis im Mittel von 0,17 auf 0,24 (Tab. 3.9 und 3.10). Dies korreliert mit den Prozentwerten von positiv und negativ prädiktiven Werten.

3 Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen 3.1 und 3.2 zeigen den Zusammenhang zwischen den (gemittelten) Antworten der vier Untersucher und dem DXA-Ergebnis. Die 128 konventionellen Röntgenaufnahmen wurden gemäß der T-Werte ihrer Knochendichteuntersuchungen der Größe nach geordnet und in sechs gleich große Gruppen unterteilt. Während bei der Gruppe mit einer Knochendichte $\leq -3,11$ SD bis einschließlich $-4,75$ SD im Mittel 94% der Beurteilungen zutrafen, waren bei einem KMG $\geq -0,21$ SD bis einschließlich $+2,42$ SD im Mittel 35% der Aussagen richtig (Abb. 3.1). Es zeigt sich folglich die Tendenz, dass die Anzahl der richtigen Aussagen mit abnehmendem KMG steigt.

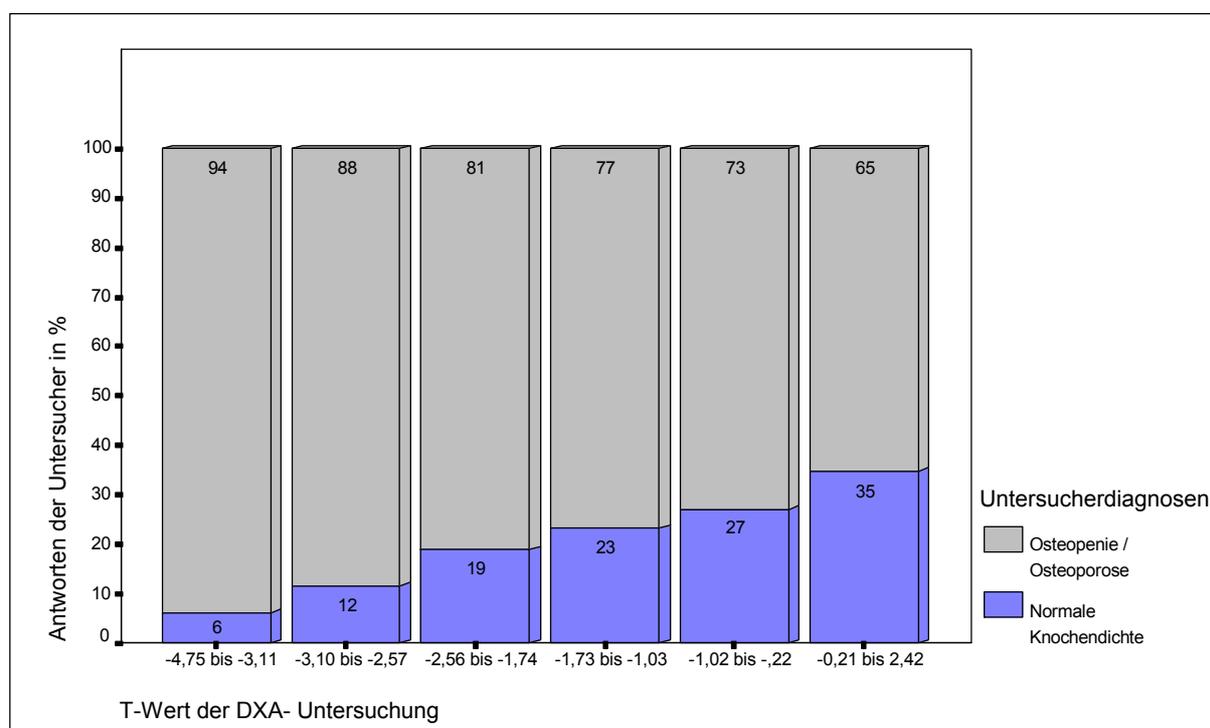


Abb. 3.1: Auf der Abszisse finden sich alle Antworten der Untersucher 1 bis 4 in den Kategorien „normal“ und „Osteopenie / Osteoporose“ in Prozent. Auf der Ordinate wurden die 128 konventionellen Röntgenbilder zur besseren Veranschaulichung gemäß ihrem zugehörigen T-Wert der DXA-Messung der Größe nach angeordnet und in sechs gleich große Kategorien unterteilt. In den einzelnen Balkengraphiken werden die jeweiligen Prozentzahlen aufgeführt.

3 Ergebnisse

Auch nach Aufschlüsselung der diagnostizierten Röntgenbilder mit erniedrigter Knochendichte in „osteopenisch“ und „osteoporotisch“ bleibt die in Abb. 3.1 veranschaulichte Tendenz erhalten (Abb.3.2). Es zeigten sich in der Gruppe mit T-Werten $\geq -0,21$ SD bis einschließlich $+2,42$ SD gemittelt 35% der Fälle richtig positiv beurteilte Röntgenaufnahmen. Bei einer Knochendichtewerten $\leq -3,11$ SD bis einschließlich $-4,75$ wurden im Mittel 77 % der Fälle richtig als osteoporotisch beurteilt.

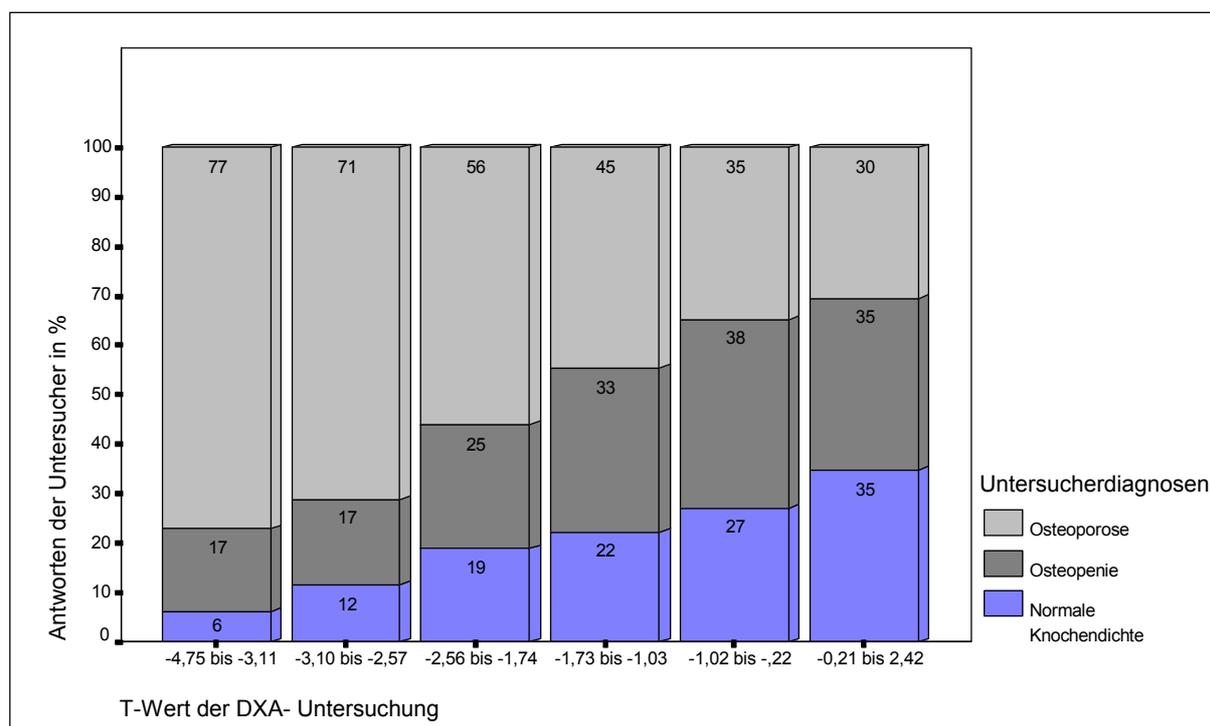


Abb. 3.2: Auf der Abszisse finden sich alle Antworten der Untersucher 1 bis 4 bezüglich der Kategorien „normal“, „Osteopenie“ und „Osteoporose“ in Prozent. Die 128 konventionellen Röntgenbilder wurden zur besseren Veranschaulichung gemäß ihrem zugehörigen T-Wert der DXA-Messung der Größe nach angeordnet und in sechs gleich große Kategorien unterteilt. In den einzelnen Balkengraphiken sind die jeweiligen Prozentzahlen aufgeführt.

3.3 Vergleich der visuellen Beurteilung der digitalen Röntgenaufnahmen mit der DXA

Untersucher 1

Untersucher 1 erkannte 68 von 109 Röntgenaufnahmen richtig positiv, die Sensitivität entspricht folglich 62,4% (Tab. 3.11). Die Spezifität beträgt 65,3%, d.h. 32 von 49 Röntgenaufnahmen wurden richtig negativ beurteilt. Insgesamt wurden 100 von 158 Diagnosen richtig gestellt (63,3%). Falsch positiv wurden 17 von 49 Fällen (34,7%), falsch negativ 41 von 109 Fällen (37,6%) diagnostiziert. Der positiv prädiktive Wert ist 76,5%, der negativ prädiktive Wert ist 43,8%. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Diagnosen von Untersucher 1 mit dem DXA- Ergebnis beträgt 0,24 mit einer Signifikanz $p=0,0011$.

		DXA		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 1	Normal	n = 32	n = 41	$\Sigma n = 73$	46,2%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 17	n = 68	$\Sigma n = 85$	53,8%
		$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 109$	$\Sigma n = 100$	
TOTAL		31,0%	69,0%		158

Tab.3.11: Die Vierfeldertafel beschreibt die dichotome Einteilung der Röntgenbilder in die Kategorien „normal“ und „erniedrigte Knochendichte“ (= Osteopenie / Osteoporose). Die Antworten von Untersucher 1 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

3 Ergebnisse

Bei Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ erhielten 75 von 158 Aufnahmen (47,5%) die zutreffende Diagnose (s. Tab. 3.12). Untersucher 1 erkannte in 32 von 59 Fällen (65,3%) die Röntgenaufnahmen richtig als gesund, in 25 von 60 Fällen (41,7%) richtig als osteopenisch, sowie in 18 von 49 Fällen (36,7%) richtig als osteoporotisch. 14 der 49 Patienten (28,6%) mit normaler Knochendichte wurden falsch als osteopenisch, und 3 dieser 49 Aufnahmen (6,1%) falsch als osteoporotisch angesehen. 29 der 60 osteopenischen Fälle (48,3%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, sowie 6 dieser 60 Fälle (10,0 %) falsch als osteoporotisch. 12 von 49 Fällen mit Osteoporose (24,5%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, 19 dieser 49 Röntgenaufnahmen (38,8%) wurden fälschlich als osteopenisch angesehen. Es errechnete sich ein Kappa-Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 1 mit dem DXA- Ergebnis von 0,21 mit einer Signifikanz $p < 0,0001$.

		DXA				
		Normal	Osteopenie	Osteoporose	TOTAL	
Untersucher 1	Normal	n = 32	n = 29	n = 12	$\Sigma n = 73$	46,2%
	Osteopenie	n = 14	n = 25	n = 19	$\Sigma n = 58$	36,7%
	Osteoporose	n = 3	n = 6	n = 18	$\Sigma n = 27$	17,1%
		$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 60$	$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 75$	
TOTAL		31,0%	38,0%	31,0%	158	

Tab.3.12: Die Neunfeldertafel veranschaulicht die Ergebnisse nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in die zwei Unterkategorien „Osteopenie“ und „Osteoporose“. Die Antworten von Untersucher 1 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Untersucher 2

Untersucher 2 erkannte 93 von 109 Röntgenaufnahmen richtig positiv, die Sensitivität entspricht folglich 85,3% (Tab. 3.13). Die Spezifität beträgt 49,0%, d.h. 24 von 49 Röntgenaufnahmen wurden richtig negativ beurteilt. Insgesamt wurden 117 von 158 Diagnosen richtig gestellt (74,1%). Falsch positiv wurden 25 von 49 Fällen (51,0%), falsch negativ 16 von 109 Fällen (14,7%) diagnostiziert. Der positiv prädiktive Wert ist 78,8%, der negativ prädiktive Wert ist 60,0%. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Diagnosen von Untersucher 2 mit dem DXA- Ergebnis beträgt 0,36 mit einer Signifikanz $p < 0,0001$.

		DXA		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 2	Normal	n = 24	n = 16	$\Sigma n = 40$	25,3%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 25	n = 93	$\Sigma n = 118$	74,7%
		$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 109$	$\Sigma n = 117$	
TOTAL		31,0%	69,0%		158

Tab.3.13: Die Vierfeldertafel beschreibt die dichotome Einteilung der Röntgenbilder in die Kategorien „normal“ und „erniedrigte Knochendichte“ (= Osteopenie / Osteoporose). Die Antworten von Untersucher 2 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Bei Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ erhielten 78 von 158 Aufnahmen (49,4 %) die zutreffende Diagnose (Tab. 3.14). Untersucher 2 erkannte in 24 von 49 Fällen (49,0%) die Röntgenaufnahmen richtig als gesund, in 14 von 60 Fällen (23,3%) richtig als osteopenisch, sowie in 40 von 49 Fällen (81,6 %) richtig als osteoporotisch. 13 der 49 Patienten (26,5 %) mit normaler Knochendichte wurden falsch als osteopenisch, und 12 dieser 49 Aufnahmen (24,5%) falsch als osteoporotisch angesehen. 14 der 60 osteopenischen Fälle (23,3%) wurden falsch als

3 Ergebnisse

„normal“ beurteilt, sowie 32 dieser 60 Fälle (53,3 %) falsch als osteoporotisch. 2 von 49 Fällen mit Osteoporose (4,1%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, 7 dieser 49 Röntgenaufnahmen (14,3%) wurden falsch als osteopenisch angesehen. Es errechnete sich ein Kappa- Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 2 mit dem DXA- Ergebnis von 0,25 mit einer Signifikanz $p < 0,0001$.

		DXA			TOTAL	
		Normal	Osteopenie	Osteoporose		
Untersucher 2	Normal	n = 24	n = 14	n = 2	$\Sigma n = 40$	25,3%
	Osteopenie	n = 13	n = 14	n = 7	$\Sigma n = 34$	21,5%
	Osteoporose	n = 12	n = 32	n = 40	$\Sigma n = 84$	53,2%
		$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 60$	$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 78$	
TOTAL		31,0%	38,0%	31,0%		158

Tab.3.14: Die Neunfeldertafel veranschaulicht die Ergebnisse nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in die zwei Unterkategorien „Osteopenie“ und „Osteoporose“. Die Antworten von Untersucher 2 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Untersucher 3

Untersucher 3 erkannte 93 von 109 Röntgenaufnahmen richtig positiv, die Sensitivität entspricht folglich 85,3% (s. Tab. 3.15). Die Spezifität beträgt 28,6%, d.h. 14 von 49 Röntgenaufnahmen wurden richtig negativ beurteilt. Insgesamt wurden 107 von 158 Diagnosen richtig gestellt (67,7%). Falsch positiv wurden 35 von 49 Fällen (71,4%), falsch negativ 16 von 109 Fällen (14,7%) diagnostiziert. Der positiv prädiktive Wert ist 72,6%, der negativ prädiktive Wert ist 46,7%. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Diagnosen von Untersucher 3 mit dem DXA- Ergebnis beträgt 0,16 mit einer Signifikanz $p = 0,03968$.

		DXA		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 3	Normal	n = 14	n = 16	$\Sigma n = 30$	19,0%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 35	n = 93	$\Sigma n = 128$	81,0%
		$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 109$	$\Sigma n = 107$	
TOTAL		31,0%	69,0%		158

Tab.3.15: Die Vierfeldertafel beschreibt die dichotome Einteilung der Röntgenbilder in die Kategorien „normal“ und „erniedrigte Knochendichte“ (= Osteopenie / Osteoporose). Die Antworten von Untersucher 3 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

3 Ergebnisse

Nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ erhielten 76 von 158 Aufnahmen (48,1 %) die zutreffende Diagnose (s. Tab. 3.16). Untersucher 3 erkannte in 14 von 49 Fällen (28,6%) die Röntgenaufnahmen richtig als gesund, in 25 von 60 Fällen (41,7%) richtig als osteopenisch, sowie in 37 von 49 Fällen (75,5%) richtig als osteoporotisch. 19 der 49 Patienten (38,8 %) mit normaler Knochendichte wurden falsch als osteopenisch, und 16 dieser 49 Aufnahmen (32,7%) falsch als osteoporotisch angesehen. 11 der 60 osteopenischen Fälle (18,3%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, sowie 24 dieser 60 Fälle (40,0%) falsch als osteoporotisch. 5 von 49 Fällen mit Osteoporose (10,2%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, 7 dieser 49 Röntgenaufnahmen (14,3%) wurden falsch als osteopenisch angesehen. Es errechnete sich ein Kappa-Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 3 mit dem DXA-Ergebnis von 0,22 mit einer Signifikanz $p < 0,0001$.

		DXA			TOTAL	
		Normal	Osteopenie	Osteoporose		
Untersucher 3	Normal	n = 14	n = 11	n = 5	$\Sigma n = 30$	19,0%
	Osteopenie	n = 19	n = 25	n = 7	$\Sigma n = 51$	32,3%
	Osteoporose	n = 16	n = 24	n = 37	$\Sigma n = 77$	48,7%
		$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 60$	$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 76$	
TOTAL		31,0%	38,0%	31,0%	158	

Tab.3.16: Die Neunfeldertafel veranschaulicht die Ergebnisse nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in die zwei Unterkategorien „Osteopenie“ und „Osteoporose“. Die Antworten von Untersucher 3 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Untersucher 4

Untersucher 4 erkannte 60 von 109 Röntgenaufnahmen richtig positiv, die Sensitivität entspricht folglich 55,0% (s. Tab. 3.17). Die Spezifität beträgt 44,9%, d.h. 22 von 49 Röntgenaufnahmen wurden richtig negativ beurteilt. Insgesamt wurden 82 von 158 Diagnosen richtig gestellt (51,9%). Falsch positiv wurden 27 von 49 Fällen (55,1%), falsch negativ 49 von 60 Fällen (45,0%) diagnostiziert. Der positiv prädiktive Wert ist 69,0%, der negativ prädiktive Wert ist 31,0%. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Diagnosen von Untersucher 4 mit dem DXA-Ergebnis beträgt $-0,01$ mit einer Signifikanz $p=0,9948$.

		DXA		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 4	Normal	n = 22	n = 49	$\Sigma n = 71$	45,0%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 27	n = 60	$\Sigma n = 87$	55,1%
		$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 109$	$\Sigma n = 82$	
TOTAL		31,0%	69,0%		158

Tab.3.17: Die Vierfeldertafel beschreibt die dichotome Einteilung der Röntgenbilder in die Kategorien „normal“ und „erniedrigte Knochendichte“ (= Osteopenie / Osteoporose). Die Antworten von Untersucher 4 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Bei Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ erhielten 63 von 158 Aufnahmen (39,9 %) die zutreffende Diagnose (s. Tab. 3.18). Untersucher 4 erkannte in 22 von 49 Fällen (44,9%) die Röntgenaufnahmen richtig als gesund, in 17 von 60 Fällen (28,3%) richtig als osteopenisch, sowie in 24 von 49 Fällen (49,0 %) richtig als osteoporotisch. 11 der 49 Patienten (22,4 %) mit normaler Knochendichte wurden falsch als osteopenisch, und 16 dieser 49 Aufnahmen (32,7%) falsch als osteoporotisch angesehen. 33 der 60 osteopenischen Fälle (55,0%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, sowie 10 dieser 60 Fälle (16,7 %) falsch als osteoporotisch. 16 von 49

3 Ergebnisse

Fällen mit Osteoporose (32,7%) wurden falsch als „normal“ beurteilt, 9 dieser 49 Röntgenaufnahmen (18,4%) wurden falsch als osteopenisch angesehen. Es errechnete sich ein Kappa-Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 4 mit dem DXA- Ergebnis von 0,11 mit einer Signifikanz $p = 0,1033$.

		DXA			TOTAL	
		Normal	Osteopenie	Osteoporose		
Untersucher 4	Normal	n = 22	n = 33	n = 16	$\Sigma n = 71$	44,9%
	Osteopenie	n = 11	n = 17	n = 9	$\Sigma n = 37$	23,4%
	Osteoporose	n = 16	n = 10	n = 24	$\Sigma n = 50$	31,6%
		$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 60$	$\Sigma n = 49$	$\Sigma n = 63$	
TOTAL		31,0%	38,0%	31,0%	158	

Tab.3.18: Die Neunfeldertafel veranschaulicht die Ergebnisse nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in die zwei Unterkategorien „Osteopenie“ und „Osteoporose“. Die Antworten von Untersucher 4 wurden mit den Ergebnissen der DXA-Messung verglichen. Die dunkelgrau hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen dem Untersucher und der Knochendichtemessung an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Readings der digitalen Röntgenbilder

Gemittelt über alle vier Untersucher ergab sich eine richtig negative Aussage (normale Knochendichte versus erniedrigte Knochendichte) in 47,0% der Fälle (Einzelwerte s. Tab. 3.19). Es zeigte sich eine Schwankung der Ergebnisse: Untersucher 1 erreichte 65,3% richtige Angaben, wohingegen Untersucher 3 mit 28,6% die geringste Übereinstimmung aufwies. Als richtig positiv wurden im Mittel 72,0% der Röntgenbilder beurteilt. Die Schwankungsbreite liegt zwischen 55,0% bei Untersucher 4 und 85,3% bei Untersucher 2 und 3. Falsch negativ waren im Mittel 28,0%, falsch positiv waren im Mittel 53,1% der Fälle (Einzelwerte s. Tab. 3.19). Die Summe aus richtig positiven und richtig negativen Aussagen in Prozent war gemittelt 64,3% (s. Tab. 3.19). Über alle Untersucher gemittelt errechnete sich ein positiv prädiktiver Wert von 74,2%, ein negativ prädiktiver Wert von 45,4% sowie ein Kappa von 0,25 (Einzelwerte s. Tab. 3.19).

	Mit den Ergebnissen der DXA verglichene Angaben in %					ppv	npv	Kappa
	richtig negativ (Spezifität)	richtig positiv (Sensitivität)	falsch negativ	Falsch positiv	Gesamt			
Untersucher 1	65,3	62,4	37,6	34,7	63,3	76,5	43,8	0,24
Untersucher 2	49,0	85,3	14,7	51,0	74,1	78,8	60,0	0,36
Untersucher 3	28,6	85,3	14,7	71,4	67,7	72,6	46,7	0,16
Untersucher 4	44,9	55,0	45,0	55,1	51,9	69,0	31,0	-0,01 ⁷
Mittelwert	47,0	72,0	28,0	53,1	64,3	74,2	45,4	0,25

Tab. 3.19: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Kapiteln 3.3.1 bis 3.3.4 betreffend der dichotomen Einteilung in „normal“ und „erniedrigte Knochendichte“ (= Osteopenie oder Osteoporose). Aufgeführt sind Spezifität und Sensitivität, die falsch negativen und falsch positiven Aussagen des jeweiligen Readings, sowie die Gesamt-Prozentzahl der mit der DXA übereinstimmenden Angaben (= Summe aus richtig Positiven und richtig Negativen in Prozent). Rechts daneben findet sich der zugehörige positiv prädiktive Wert (ppv), der negativ prädiktive Wert (npv) und der Kappa-Koeffizient. Aus allen Werten wurde jeweils der Mittelwert gebildet.

⁷ nicht verwertbar, daher aus der Mittelung ausgeschlossen

Nach Unterteilung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ ergaben sich folgende Werte (s. Tab.3.20): Gemittelt über alle vier Untersucher wurden 47,0% der Röntgenaufnahmen mit normaler Knochendichte zutreffend beurteilt (hier zeigt sich wiederum die Schwankung der Ergebnisse zwischen Untersucher 1 und 4), ebenso 33,8% der osteopenischen Lendenwirbelsäulenaufnahmen. Untersucher 1 und 3 heben sich mit jeweils mit 41,7% von den anderen Untersuchern mit 23,3% (Untersucher 2) und 28,3% (Untersucher 4) ab. Die höchsten Prozentzahlen der Richtigaussagen ergaben sich in der Kategorie „Osteoporose“ (Untersucher 2: 81,6%, Untersucher 3: 75,5%), hier ist andererseits auch die größte Schwankungsbreite der Ergebnisse zu verzeichnen: Untersucher 1 (36,7%) und Untersucher 4 (49,0%) liegen deutlich unter den Ergebnissen der übrigen Untersucher. Im Mittel wurden 60,7% der osteoporotischen Fälle richtig diagnostiziert. Die Summe aller richtig diagnostizierten Röntgenaufnahmen lag zwischen 39,9% (Untersucher 4) und 49,4% (Untersucher 2), im Mittel 46,2% (s. Tab. 3.20). Untersucher 1 gelang es mit 65,3% am besten, diejenigen Röntgenbilder, auf denen weder eine Osteopenie noch eine Osteoporose zu sehen war, zu erkennen, wohingegen er nur 36,7% der „Osteoporosen“ erkannte. Bei Untersucher 2 und 3 finden sich die meisten richtigen Antworten im Bereich „Osteoporose“ (81,6% und 75,5%). Untersucher 4 zeigt in keinem der Kategorien ein höheres Ergebnis als 49,0%.

Die einzelnen Kappa-Koeffizienten lagen zwischen 0,11 (Untersucher 4) und 0,25 (Untersucher 2). In Anlehnung an die Einteilung von **LANDIS** und **KOCH** (1977) bzw. **FLEISS** (1971) entsprechen diese Werte Übereinstimmungen, die als „ausreichend“ bis „mangelhaft“ bezeichnet werden. Gemittelt über alle Untersucher war der Kappa-Koeffizient 0,20 („mangelhaft“).

	Mit DXA übereinstimmende Angaben in %				Kappa
	normal	Osteopenie	Osteoporose	Gesamt	
Untersucher 1	65,3	41,7	36,7	47,5	0,21
Untersucher 2	49,0	23,3	81,6	49,4	0,25
Untersucher 3	28,6	41,7	75,5	48,1	0,22
Untersucher 4	44,9	28,3	49,0	39,9	0,11
Mittelwert	47,0	33,8	60,7	46,2	0,20

Tab. 3.20: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Kapiteln 3.3.1 bis 3.3.4. Aufgeführt sind die richtigen Antworten in Prozent jedes Untersuchers, sowohl in den einzelnen Kategorien „normal“, „Osteopenie“ bzw. „Osteoporose“, als auch für alle Kategorien zusammengefasst. Rechts daneben findet sich der zugehörige Kappa-Koeffizient. Aus allen Werten wurde jeweils der Mittelwert gebildet.

3 Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen 3.3 und 3.4 zeigen den Zusammenhang zwischen den (gemittelten) Antworten der vier Untersucher und dem DXA-Ergebnis. Die 158 digitalen Röntgenaufnahmen wurden gemäß der T-Werte ihrer Knochendichteuntersuchungen der Größe nach geordnet und in sechs gleich große Gruppen unterteilt. Während bei einer Knochendichte (T-Wert) $\leq -3,08$ SD bis einschließlich $-4,15$ SD im Mittel 82% der Beurteilungen richtig waren, wurden bei einem KMG (T-Wert) $\geq -1,7$ SD bis einschließlich $+2,04$ SD gemittelt über die vier Untersucher 50 % der Röntgenbilder richtig befundet (Abb. 3.3). Es zeigt sich folglich auch hier wieder die Tendenz, dass die Anzahl der richtigen Aussagen mit abnehmendem KMG steigt.

Im Bereich zwischen $-1,68$ SD bis einschließlich $-1,00$ SD wurden im Mittel 56 % richtig als osteopenisch oder osteoporotisch erkannt. Im Vergleich mit den Ergebnissen der übrigen Balkengrafiken fällt dieser Wert aus der steigenden Tendenz heraus.

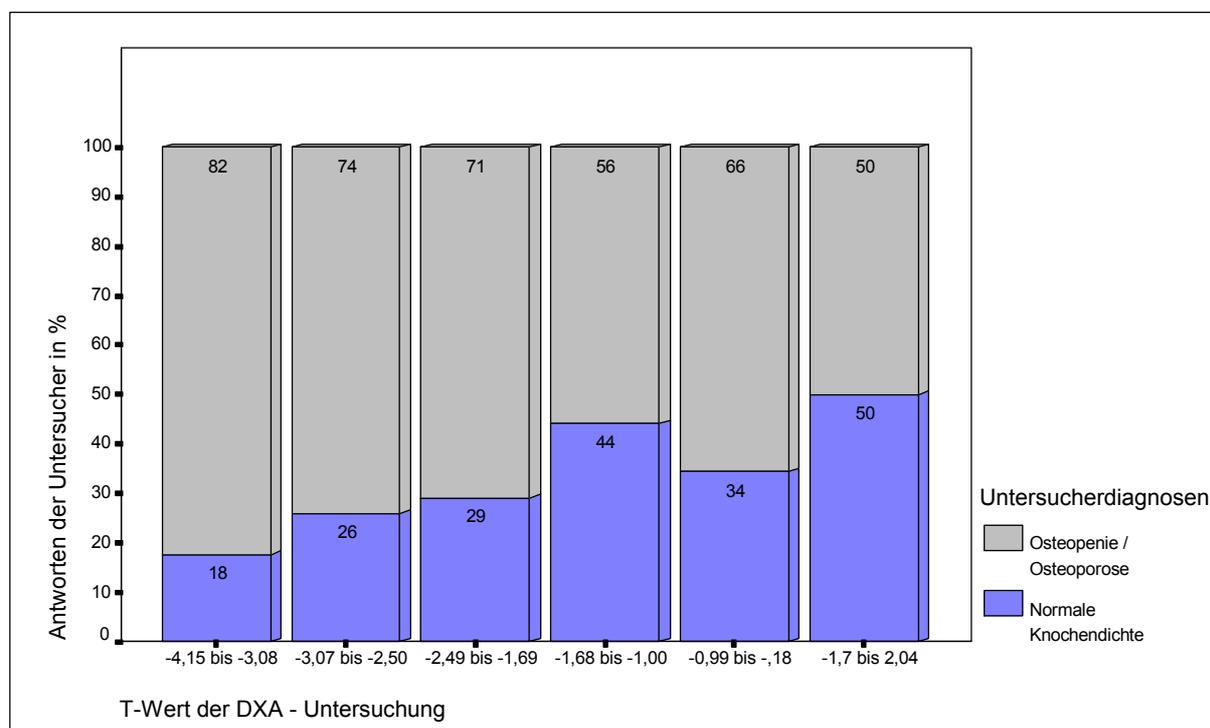


Abb. 3.3: Auf der Abszisse finden sich alle Antworten der Untersucher 1 bis 4 in den Kategorien „normal“ und „Osteopenie / Osteoporose“ in Prozent. Auf der Ordinate wurden die 158 digitalen Röntgenbilder zur besseren Veranschaulichung gemäß ihrem zugehörigen T-Wert der DXA- Messung der Größe nach angeordnet und in sechs gleich große Kategorien unterteilt. In den einzelnen Balkengraphiken werden die jeweiligen Prozentzahlen aufgeführt.

3 Ergebnisse

Auch nach Aufschlüsselung der diagnostizierten Röntgenbilder mit erniedrigter Knochendichte in „osteopenisch“ und „osteoporotisch“ bleibt die in Abb. 3.3 veranschaulichte Tendenz erhalten (Abb.3.4). Es zeigten sich in der Gruppe mit T-Werten $\geq -0,17$ SD bis einschließlich $+2,04$ SD gemittelt 50% der Fälle richtig negativ beurteilte Röntgenaufnahmen (Abb. 3.4). Bei Knochendichte-Werten $\leq -3,08$ SD bis einschließlich $-4,15$ wurden im Mittel 59% richtig als osteoporotisch beurteilt.

Im osteopenischen Bereich (mittlere zwei Balkengrafiken Abb.3.4) wurden 30% (T-Wert $-1,68$ SD bis einschließlich $-1,00$ SD) bzw. 38% (T-Wert $-1,69$ bis einschließlich $-2,49$) richtige Aussagen getroffen. Die Röntgenaufnahmen mit normaler Knochendichte wurden im Mittel in 28% der Fälle (T-Wert $-1,17$ bis einschließlich $2,04$) bzw. 32% der Fälle (T-Wert $-0,99$ bis einschließlich $-0,18$) als osteopenisch angesehen. Hingegen wurden die Patienten mit Röntgenbildern aus der Kategorie „Osteoporose“ in 23% der Fälle (T-Wert $-4,15$ bis einschließlich $-3,08$) bzw. 17% der Fälle (T-Wert $-3,07$ bis einschließlich $-2,50$) als osteopenisch beurteilt.

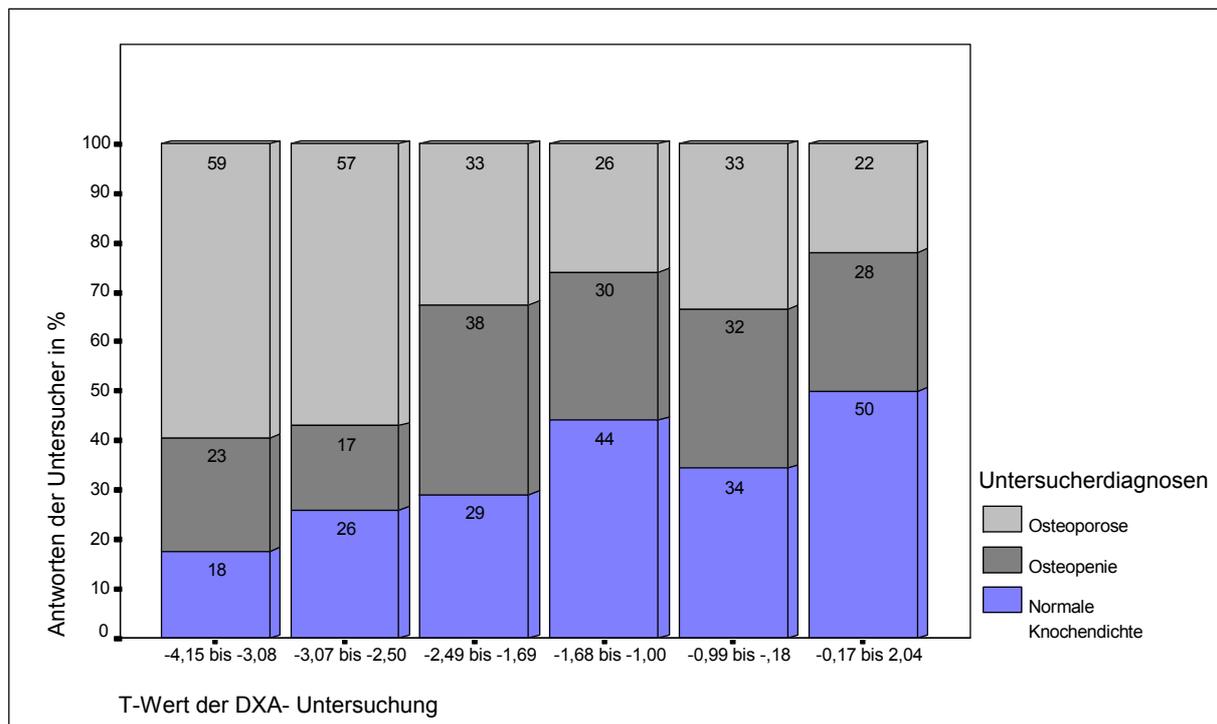


Abb. 3.4: Auf der Abszisse finden sich alle Antworten der Untersucher 1 bis 4 bezüglich der Kategorien „normal“, „Osteopenie“ und „Osteoporose“ in Prozent. Die 158 digitalen Röntgenbilder wurden zur besseren Veranschaulichung gemäß ihrem zugehörigen T-Wert der DXA-Messung der Größe nach angeordnet und in sechs gleich große Kategorien unterteilt. In den einzelnen Balkengraphiken sind die jeweiligen Prozentzahlen aufgeführt.

3.4 Vergleich zwischen konventionellen und digitalen Aufnahmen

Der Prozentsatz der Röntgenaufnahmen von Patienten mit „normaler“ Knochendichte, die tatsächlich als gesund erkannt wurden, beträgt bei den konventionellen Bildern gemittelt über die vier Untersucher 36,4 % und bei den digitalen 47,0% (s. Tab. 3.21). Die Untersucher erzielten bei den konventionellen Röntgenaufnahmen im Mittel eine Sensitivität von 85,7%, bei den digitalen eine Sensitivität von 72,0%. Als falsch negativ wurden gemittelt 14,4% (konventionell) bzw. 28,0% (digital) der Fälle beurteilt. Falsch positiv wurden 63,3% (konventionell) bzw. 53,1% (digital) beurteilt. Die Summe aller richtigen Aussagen in Prozent ergibt im Mittel 68 % (konventionell) bzw. 64,3% (digital). Des Weiteren beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass bei positivem Testergebnis tatsächlich eine Osteopenie/Osteoporose vorliegt (ppv) 70,7% für die konventionellen Röntgenaufnahmen und 74,2% für die digitalen Röntgenbilder. Umgekehrt ist der negativ prädiktive Wert, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass der Patient eine „normale“ Knochendichte hat, wenn der Test negativ ausfällt, bei der Auswertung der konventionellen Aufnahmen mit 58,2% höher als bei den digitalen mit 45,4%. Der Kappa-Koeffizient fällt bei beiden Untersuchungen ähnlich aus (im Mittel 0,24 bei den konventionellen Röntgenbildern und 0,19 bei den digitalen), hier ist kein wesentlicher Unterschied festzustellen.

	Mit den Ergebnissen der DXA verglichene Angaben in %					ppv	npv	Kappa
	richtig negativ (Spezifität)	richtig positiv (Sensitivität)	falsch negativ	falsch positiv	Gesamt**			
Untersucher 1 konventionell	47,8	89	11,0	52,2	74,2	75,3	71	0,40
Untersucher 1 digital	65,3	62,4	37,6	34,7	63,3	76,5	43,8	0,24
Untersucher 2 konventionell	39,1	80,5	19,5	60,9	65,6	70,2	52,9	0,21
Untersucher 2 digital	49	85,3	14,7	51,0	74,1	78,8	60	0,36
Untersucher 3 konventionell	21,7	84,1	15,9	78,3	61,7	65,7	43,5	0,07
Untersucher 3 digital	28,6	85,3	14,7	71,4	67,7	72,6	46,7	0,16
Untersucher 4 konventionell.	37	89	11,0	63,0	70,3	71,6	65,4	0,29
Untersucher 4 digital	44,9	55	45,0	55,1	51,9	69	31	-0,01
Mittelwert konventionell	36,4	85,7	14,4	63,3	68	70,7	58,2	0,24
Mittelwert digital	47,0	72	28,0	53,1	64,3	74,2	45,4	0,19

Tab. 3.21: Zusammenfassung der Kapitel 3.2 und 3.3. Es kommen jeweils die Ergebnisse der dichotomen Einteilung der statistischen Auswertung von konventionellen und digitalen Bildern zur Darstellung.

Untersucher 1 hat bezüglich der konventionellen Bilder mit 89,0% eine höhere Sensitivität als bei den digitalen Bildern mit 62,4%. Untersucher 4 hat ebenfalls eine höhere Sensitivität bei der Einstufung der konventionellen Röntgenaufnahmen mit 89,0%, welche um 34% über dem Ergebnis der digitalen Bilder liegt. Untersucher 2 und 3 erreichen Ergebnisse, die sich sowohl bezüglich der Sensitivität, als auch der Spezifität sowohl bei den konventionellen, als auch bei den digitalen Röntgenaufnahmen ähneln. Dementsprechend fallen die Ergebnisse der übrigen Berechnungen aus.

* Hiermit ist die (gemittelte) Summe aller Übereinstimmungen der Reader mit der DXA gemeint.

3.5 Interreadervariabilität: Übereinstimmung der Reader untereinander und mit der DXA

3.5.1 Vier Untersucher im Vergleich

Tabelle 3.22 stellt die Ergebnisse aus den Readings der digitalen und konventionellen LWS-Aufnahmen dar. Hierbei handelt es sich um die übereinstimmenden Aussagen der Untersucher 1 bis 4, sowie deren Richtigkeit verglichen mit der DXA.

Bei den konventionellen Röntgenaufnahmen kam es zu 94 von 128 (73,4%) übereinstimmenden Antworten, davon waren 65 von 128 (50,8%) in Korrelation mit der DXA richtig. Hinsichtlich der digitalen Bilder beurteilten die Untersucher die Bilder übereinstimmend in 56 von 158 Fällen (35,4%). 41 dieser Aussagen (bezogen auf 158: 25,9%) waren übereinstimmend mit der DXA. Folglich wurde bei den konventionellen Aufnahmen eine höhere Übereinstimmung der Reader untereinander, sowie auch eine höhere Übereinstimmung mit der DXA erreicht.

Einteilung in die Kategorien „normal“ versus „Osteopenie / Osteoporose“							
Konventionelle Aufnahmen				Digitale Aufnahmen			
Übereinst. der Untersucher 1-4 untereinander		Übereinst. der Untersucher 1-4 untereinander und mit der DXA		Übereinst. der Untersucher 1-4 untereinander		Übereinstimmung der Untersucher 1-4 untereinander und mit der DXA	
Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
94	73,4%	65	50,8%	56	35,4%	41	25,9%

Tab.3.22 Gegenüberstellung der Ergebnisse der Beurteilung von digitalen und konventionellen Röntgenaufnahmen. Dargestellt wird zum einen Übereinstimmung zwischen den Untersucher 1-4, d.h. in wie vielen Fällen alle dieselbe Antwort gegeben haben. Daneben findet sich der Prozentsatz der Fälle, in dem nicht nur die Untersucher sich untereinander einig waren, sondern zusätzlich auch das richtige Ergebnis lieferten.

3 Ergebnisse

Es folgen exemplarisch konventionelle und digitale Röntgenaufnahmen, bei denen alle Untersucher untereinander *und* mit der DXA übereinstimmten:

Abb. 3.5a und b, 3.6a und b: Alle Untersucher beurteilten den Patienten übereinstimmend mit der DXA-Messung als Knochendichte-, „normal“



Abb. 3.5a



Abb.3.5b

Abb.3.8a und b: richtig negative Beurteilung aller vier Untersucher der **konventionellen** Aufnahmen einer 38- jährigen Patientin (T-Wert: +1,83), a.p. und seitlich



Abb.3.6a



Abb.3.6b

Abb.3.6a und b: richtig negative Beurteilung aller vier Untersucher der **digitalen** Aufnahmen einer 40-jährigen Patientin (T-Wert: -0,11), a.p. und seitlich

Abb.3.7 bis 3.9: Alle Untersucher beurteilten die Röntgenaufnahme übereinstimmend mit der DXA-Messung als osteopenisch / osteoporotisch



Abb. 3.7a



Abb. 3.7b

Abb 3.7a und b: richtig positive Beurteilung aller vier Untersucher der **konventionellen** Aufnahmen einer 73-jährigen Patientin (T-Wert: -2,18), a.p. und seitlich



Abb. 3.8a



Abb. 3.8b

Abb 3.8a und b: richtig positive Beurteilung aller vier Untersucher der **konventionellen** Aufnahmen einer 54-jährigen Patientin (T-Wert: -1,81), a.p. und seitlich



Abb. 3.9a



Abb. 3.9b

Abb. 3.9a und b: richtig positive Beurteilung aller vier Untersucher der **digitalen** Aufnahmen einer 57-jährigen Patientin (T-Wert: -2,84), a.p. und seitlich

Im Folgenden exemplarisch konventionelle und digitale Röntgenaufnahmen, bei denen alle Untersucher untereinander, *nicht* aber mit der DXA übereinstimmten:

Abb. 3.10a und 3.10b:

Alle Reader beurteilten die Wirbelsäule als „osteopenisch / osteoporotisch“, es handelte sich jedoch gemessen an der DXA um einen hinsichtlich dieser Fragestellung gesunden Patienten.



Abb. 3.10a



Abb. 3.10b

Abb. 3.10a und 3.10b: falsch positive Beurteilung aller vier Untersucher der **digitalen** Aufnahme einer 57-jährigen Patientin (T-Wert: -0,86), a.p. und seitlich

Abb. 3.11a und b, 3.12a und b:

alle Untersucher beurteilten das Röntgenbild als „normal“, es handelte sich jedoch um eine osteopenische bzw. osteoporotische Wirbelsäule



Abb.3.11a



Abb. 3.11b

Abb.3.11a und 3.11b: falsch negative Beurteilung aller vier Untersucher der **konventionellen** Aufnahmen eines 61-jährigen Patienten (T-Wert: -1,82), a.p. und seitlich



Abb. 3.12a



Abb. 3.12b

Abb.3.12a und 3.12b: falsch negative Beurteilung aller vier Untersucher der **digitalen** Aufnahmen einer 53- jährigen Patientin (T-Wert: -1,54), a.p. und seitlich

3.5.2 Zwei Untersucher im Vergleich

Um die Interreadervariabilität noch präziser darzustellen, wurden einerseits die Readings mit den konventionellen sowie den digitalen Röntgenaufnahmen mit zwei Untersuchern (Untersucher 1 und 4) wiederholt. Daraus ergibt sich im Folgenden die Unterteilung in Reading 1 und 2. Andererseits konnte dadurch jeweils ein Kappa-Koeffizient errechnet werden, der ein standardisiertes Maß der Übereinstimmung darstellt. Im Folgenden werden lediglich die Ergebnisse der dichotomen Einteilung aufgeführt.

Konventionelle Bilder

Reading 1

Im Vergleich der Untersucher 1 und 4 wurden Übereinstimmungen zwischen den Untersuchern in 113 von 128 Fällen (88,3%) erreicht (Tab. 3.23). Bei 21 Röntgenaufnahmen entschieden sich beide Untersucher für die Diagnose „normale Knochendichte“, in 92 Fällen für „Osteopenie / Osteoporose“. 5 Röntgenaufnahmen wurden von Untersucher 4 als „normal“, von Untersucher 1 hingegen als osteopenisch / osteoporotisch befundet. In 10 Fällen beurteilte Untersucher 4 die Aufnahmen als osteopenisch / osteoporotisch, wohingegen Untersucher 1 diese der Kategorie „normale Knochendichte“ zuordnete.

Als Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung von Untersucher 1 mit Untersucher 4 ergibt sich ein Wert von 0,66 (Signifikanz $p < 0,001$), was nach **LANDIS** und **KOCH** (1977) einer Übereinstimmung entspricht, die als „gut bis sehr gut“ bzw. nach **FLEISS** (1971) als „gut bis ausreichend“ zu bewerten ist.

		Untersucher 4, Reading 1		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 1, Reading 1	Normal	N = 21	n = 10	$\Sigma n = 31$	24,2%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 5	n = 92	$\Sigma n = 97$	75,8%
TOTAL		$\Sigma n = 26$	$\Sigma n = 102$	$\Sigma n = 113$	
		20,3%	79,7%		128

Tab.3.23: Vierfeldertafel, in der die Antworten des 1. Readings von Untersucher 1 mit den Antworten von Untersucher 4 verglichen werden. Die hellgelb hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen Untersucher 1 und 4 an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Reading 2

Im Vergleich der Reader bei Wiederholung der Studie zeigten sich 88 von 128 möglichen Übereinstimmungen (68,8%). Im Einzelnen handelte es sich um 33 Übereinstimmungen in der Kategorie „normal“ und 55 Übereinstimmungen in der Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“ (s. Tab. 3.24). 40 Röntgenaufnahmen wurden von Untersucher 4 als „normal“, von Untersucher 1 hingegen als osteopenisch / osteoporotisch befundet. Es lag kein Fall vor, bei dem Untersucher 4 sagte, es handle sich um eine „Osteopenie / Osteoporose“, Untersucher 1 sich jedoch für die Diagnose „normal“ entschied. Der Kappa-Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 1 mit Untersucher 4 beträgt 0,42 mit einer Signifikanz $p < 0,001$.

		Untersucher 4, Reading 2		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 1, Reading 2	Normal	n = 33	n = 0	$\Sigma n = 33$	25,8%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 40	n = 55	$\Sigma n = 95$	74,2%
		$\Sigma n = 73$	$\Sigma n = 55$	$\Sigma n = 88$	
TOTAL		57,0%	43,0%		128

Tab.3.24: Vierfeldertafel, in der die Antworten des 2. Readings von Untersucher 1 mit den Antworten von Untersucher 4 verglichen werden. Die hellgelb hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen Untersucher 1 und 4 an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Digitale Bilder

Reading 1

In 98 von 158 (62,0%) Fällen erreichten Untersucher 1 und 4 übereinstimmende Antworten (s. Tab. 3.25). Im Einzelnen handelte es sich um 42 Röntgenaufnahmen in der Kategorie „normal“ und 56 Fälle der Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“. 29 Röntgenaufnahmen wurden von Untersucher 4 als „normal“, von Untersucher 1 hingegen als osteopenisch / osteoporotisch befundet. In 31 Fällen beurteilte Untersucher 4 die Aufnahmen als osteopenisch / osteoporotisch, wohingegen Untersucher 1 diese der Kategorie „normale Knochendichte“ zuordnete. Der zugehörige Kappa-Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 1 mit Untersucher 4 beträgt 0,24 mit einer Signifikanz $p=0,003$.

		Untersucher 4, Reading 1		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 1, Reading 1	Normal	n = 42	n = 31	$\Sigma n = 73$	46,2%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 29	n = 56	$\Sigma n = 85$	53,8%
		$\Sigma n = 71$	$\Sigma n = 87$	$\Sigma n = 98$	
TOTAL		44,9%	55,1%		158

Tab.3.25: Vierfeldertafel, in der die Antworten des 1. Readings von Untersucher 1 mit den Antworten von Untersucher 4 verglichen werden. Die hellgelb hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen Untersucher 1 und 4 an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Reading 2

Bei Wiederholung der Studie mit den digitalen Röntgenbildern kam es zu 114 von 158 (72,2%) möglichen übereinstimmenden Antworten. Im Einzelnen handelte es sich um 48 Übereinstimmungen in der Kategorie „normal“ und 66 Übereinstimmungen in der Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“ (s.Tab. 3.26). 37 Röntgenaufnahmen wurden von Untersucher 4 als „normal“, von Untersucher 1 hingegen als osteopenisch / osteoporotisch befundet. In 7 Fällen beurteilte Untersucher 4 die Aufnahmen als osteopenisch / osteoporotisch, wohingegen Untersucher 1 diese der Kategorie „normale Knochendichte“ zuordnete. Der Kappa-Wert für die Übereinstimmung von Untersucher 1 mit Untersucher 4 bei Zusammenfassung der Kategorien „Osteopenie“ und Osteoporose“ beträgt 0,46 mit einer Signifikanz $p < 0,001$.

		Untersucher 4, Reading 2		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 1, Reading 2	Normal	n = 48	n = 7	$\Sigma n = 55$	34,8%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 37	n = 66	$\Sigma n = 103$	65,2%
TOTAL		$\Sigma n = 85$	$\Sigma n = 73$	$\Sigma n = 114$	
		53,8%	46,2%		158

Tab. 3.26: Vierfeldertafel, in der die Antworten des 2. Readings von Untersucher 1 mit den Antworten von Untersucher 4 verglichen werden. Die hellgelb hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen Untersucher 1 und 4 an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Zusammenfassung Interreadervariabilität (Zwei Untersucher)

Tabelle 3.27 fasst die Tabellen des Kapitels 3.5.2 zusammen. Die 128 konventionellen Aufnahmen wurden gemittelt in 100,5 von 128 Fällen (78,6%) übereinstimmend beantwortet, in 77 der 128 Fällen (60,2%) lag zusätzlich eine Konkordanz mit der Knochendichtemessung vor. Von 158 digitalen Aufnahmen hatten Untersucher 1 und 4 gemittelt 106 (61,7%) konkordante Antworten. Bei im Mittel 74,5 von 158 Röntgenbildern (47,2%) stimmten die Untersucher sowohl untereinander, als auch mit der DXA- Messung überein.

dichotome Einteilung in „normal“ versus „Osteopenie/Osteoporose“				
Konventionelle Aufnahmen			Digitale Aufnahmen	
	Übereinstimmung der Untersucher 1 und 4 untereinander	Übereinstimmung der Untersucher 1 und 4 untereinander und mit der DXA	Übereinstimmung der Untersucher 1 und 4 untereinander	Übereinstimmung der Untersucher 1 und 4 untereinander und mit der DXA
1. Reading	113 (88,3 %)	86 (67,2%)	98 (62,0 %)	61 (38,6%)
2. Reading	88 (68,8 %)	68 (53,1%)	114 (72,2 %)	88 (55,7%)
Mittelwert	100,5 (78,6 %)	77 (60,2%)	106 (67,1 %)	74,5 (47,2%)

Tab. 3.27: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Tabellen 3.23 bis 3.26. Gegenüberstellung der Ergebnisse der Beurteilung von digitalen und konventionellen Röntgenaufnahmen. Dargestellt wird zum einen Übereinstimmung zwischen den Untersucher 1-4, d.h. in wie vielen Fällen alle dieselbe Antwort gegeben haben. Daneben findet sich der Prozentsatz der Fälle, in dem nicht nur die Untersucher sich untereinander einig waren, sondern zusätzlich auch das richtige Ergebnis lieferten.

3.6 Intrareadervariabilität

Um zu überprüfen, inwiefern sich die Untersucher bei der Wahl ihrer Antworten sicher waren bzw. inwiefern sie von ihren eigenen Antworten abwichen (*Intrareadervariabilität*), wurde exemplarisch mit zwei Untersuchern ein zweites Reading jeweils mit den konventionellen sowie den digitalen Röntgenbildern durchgeführt. Im Folgenden sind lediglich die Ergebnisse der dichotomen Einteilung („normale Knochendichte“ versus „Osteopenie / Osteoporose“) dargestellt.

3.6.1 Konventionelle Aufnahmen

Untersucher 1

Die Antworten von Untersucher 1 des ersten Readings stimmten in 122 von 128 Fällen (95,3%) mit jenen des 2. Readings überein (s. Tab. 3.28). Im Einzelnen handelte es sich um 29 Fälle der Kategorie „normale Knochendichte“ und 93 Fälle der Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“. Zwei Röntgenbilder wurden beim 1. Reading in die Kategorie „normale Knochendichte“, beim zweiten Reading jedoch in die Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“ eingeteilt. Vier Fälle wurden beim 1. Reading als osteopenisch / osteoporotisch beurteilt, beim zweiten Reading jedoch als Röntgenaufnahmen mit normaler Knochendichte angesehen. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Antworten von Untersucher 1 hinsichtlich des 1. und 2. Readings beträgt 0,88 mit einer Signifikanz $p < 0,001$.

		Untersucher 1, Reading 2		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 1, Reading 1	Normal	n = 29	n = 2	$\Sigma n = 31$	24,2%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 4	n = 93	$\Sigma n = 97$	75,8%
TOTAL		$\Sigma n = 33$	$\Sigma n = 95$	$\Sigma n = 122$	
		25,8%	74,2%		128

Tab. 3.28: Vierfeldertafel, in der die Antworten von Reading 1 des Untersuchers mit Antworten von Reading 2 verglichen werden. Die hellgelb hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen Reading 1 und 2 an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Abb. 3.13 a und b zeigen ein Beispiel für die unterschiedliche Beurteilung eines Röntgenbildes im ersten und zweiten Reading.



Abb. 3.13a



Abb. 3.13b

Abb. 3.13a und b: konventionelles Röntgenbild eines 62-jährigen Patienten mit normalem KMG (T-Wert 1,44), a.p. und seitlich. Der Untersucher entschied sich im ersten Reading für die Diagnose „Osteopenie / Osteoporose“, im zweiten Reading für die Diagnose „normal“.

Untersucher 4

Die Antworten von Untersucher 4 des ersten Readings stimmten in 79 von 128 Fällen (61,7%) mit jenen des 2. Readings überein (s. Tab. 3.29). Im Einzelnen handelte es sich um 25 Fälle der Kategorie „normale Knochendichte“ und 54 Fälle der Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“. Ein Röntgenbild wurde beim 1. Reading in die Kategorie „normale Knochendichte“, beim zweiten Reading jedoch in die Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“ eingeteilt. Eine auffallend hohe Zahl (48 Fälle) wurde beim 1. Reading als osteopenisch / osteoporotisch beurteilt, beim zweiten Reading jedoch als Röntgenaufnahmen mit normaler Knochendichte angesehen. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Antworten von Untersucher 4 hinsichtlich des 1. und 2. Readings beträgt 0,29 mit einer Signifikanz $p < 0,001$.

		Untersucher 4, Reading 2		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 4, Reading 1	Normal	n = 25	n = 1	Σn = 26	20,3%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 48	n = 54	Σn = 102	79,7%
		Σn = 73	Σn = 55	Σn = 79	
TOTAL		57,0%	43,0%		128

Tab. 3.29: Vierfeldertafel, in der die Antworten von Reading 1 des Untersuchers mit Antworten von Reading 2 verglichen wurden. Die hellgelb hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen Reading 1 und 2 an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Konventionelle Aufnahmen: Vergleich der Intrareadervariabilität

Während Untersucher 1 in 95,3% der Fälle (Kappa: 0,88) beim Vergleich beider Readings in seinen Antworten übereinstimmte, waren es bei Untersucher 4 nur 61,7% (Kappa: 0,29, s.Tab. 3.30).

Im Mittel handelte es sich um 78,5% übereinstimmende Antworten mit einem gemittelten Kappa-Wert von 0,59.

konventionell	Übereinstimmung 1./2. Reading in %	Kappa
Untersucher 1	95,3	0,88
Untersucher 4	61,7	0,29
Mittelwert	78,5	0,59

Tab. 3.30: Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Kapitel 3.6.1: dargestellt werden die Übereinstimmungen der Untersucher 1 und 4 mit ihren eigenen Aussagen in Reading 1 und 2.

3 Ergebnisse

Untersucher 1 und 4 unterschieden sich bezüglich Sensitivität, Spezifität, falsch negative wie falsch positive Werte nicht wesentlich voneinander (s. zusammenfassende Tabelle 3.30), mit Ausnahme des 2. Readings von Untersucher 4. Hier beträgt die Sensitivität lediglich 56,1%, entsprechend hoch ist die Spezifität mit 80,4%. Ebenso unterschied sich der falsch positive Wert dieses Readings mit 19,2% deutlich von den übrigen Readings. Insgesamt wurden zwischen 64,8% und 74,2% aller Röntgenaufnahmen richtig beurteilt. Die Kappa-Koeffizienten reichten von 0,32 bis 0,40.

konventionell	Richtig positiv (Sensitivität)	Richtig negativ (Spezifität)	Falsch negativ	Falsch positiv	Gesamt	Pos. präd. Wert	Neg. präd. Wert	Kappa - Koeffizient
Unters. 1/ Reading 1	89	47,8	11,0	52,2	74,2	75,3	71	0,40
Unters. 1/ Reading 2	86,6	47,8	13,4	52,2	72,6	74,7	66,7	0,37
Unters. 4/ Reading 1	89	37,0	11,0	63,0	70,3	71,6	65,4	0,29
Unters. 4/ Reading 2	56,1	80,4	43,9	19,2	64,8	83,6	50,7	0,32

Tab. 3.31: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kapitel 3.6: Darstellung der Ergebnisse aus den Readings 1 und 2 der Untersucher 1 und 4. In den Spalten finden sich die errechnete Spezifität, Sensitivität, die falsch positiven wie falsch negativen Aussagen, die Gesamtzahl der richtig beurteilten Aufnahmen in Prozent, der positive wie negative Vorhersagewert (ppv, npv), sowie der zugehörige Kappa- Koeffizient.

3.6.2 Digitale Aufnahmen

Untersucher 1

Die Auswertung des 1. und 2. digitalen Readings von Untersucher 1 zeigte eine Konkordanz in 126 von 158 Fällen (79,7%, Tab. 3.32). Im Einzelnen handelte es sich um 48 Fälle der Kategorie „normale Knochendichte“ und 78 Fälle der Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“. 25 Röntgenbilder wurden beim 1. Reading in die Kategorie „normale Knochendichte“, beim zweiten Reading jedoch in die Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“ eingeteilt. 7 Fälle wurden beim 1. Reading als osteopenisch / osteoporotisch beurteilt, beim zweiten Reading jedoch als Röntgenaufnahmen mit normaler Knochendichte angesehen. Der Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Antworten von Untersucher 1 hinsichtlich des 1. und 2. Readings beträgt 0,59 mit einer Signifikanz $p < 0,001$.

		Untersucher 1, Reading 2		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 1, Reading 1	Normal	n = 48	n = 25	$\Sigma n = 73$	46,2%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 7	n = 78	$\Sigma n = 85$	53,8%
TOTAL		$\Sigma n = 55$	$\Sigma n = 103$	$\Sigma n = 126$	
		43,8%	65,2%		158

Tab. 3.32: Vierfeldertafel, in der die Antworten von Reading 1 des Untersuchers mit Antworten von Reading 2 verglichen werden. Die hellgelb hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen Reading 1 und 2 an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Untersucher 4

Die Auswertung des 1. und 2. digitalen Readings von Untersucher 4 zeigte eine Konkordanz in 98 von 158 Fällen (62,0%, Tab. 3.33). Im Einzelnen handelte es sich um 48 Fälle der Kategorie „normale Knochendichte“ und 50 Fälle der Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“. 23 Röntgenbilder wurden beim 1. Reading in die Kategorie „normale Knochendichte“, beim zweiten Reading jedoch in die Kategorie „Osteopenie / Osteoporose“ eingeteilt. 37 Fälle

3 Ergebnisse

wurden beim 1. Reading als osteopenisch / osteoporotisch beurteilt, beim zweiten Reading jedoch als Röntgenaufnahmen mit normaler Knochendichte angesehen. Es resultierte ein Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung der Antworten von Untersucher 4 hinsichtlich des 1. und 2. Readings von 0,25 mit einer Signifikanz $p < 0,001$.

		Untersucher 4, Reading 2		TOTAL	
		Normal	Osteopenie / Osteoporose		
Untersucher 4, Reading 1	Normal	n = 48	n = 23	Σn = 71	44,9%
	Osteopenie / Osteoporose	n = 37	n = 50	Σn = 87	55,1%
		Σn = 85	Σn = 73	Σn = 98	
TOTAL		53,8%	46,2%		158

Tab. 3.33: Vierfeldertafel, in der die Antworten von Reading 1 des Untersuchers mit Antworten von Reading 2 verglichen werden. Die hellgelb hinterlegten Felder geben jeweils die Anzahl der Übereinstimmungen zwischen Reading 1 und 2 an. Am Rand der einzelnen Zeilen bzw. Spalten findet sich die Summe der Angaben (Σn) mit entsprechenden Prozentwerten.

Digitale Aufnahmen: Vergleich der Intrareadervariabilität

Die Tabellen 3.34 und 3.35 stellen Zusammenfassungen aus Kapitel 3.6.2 dar. Während Untersucher 1 in 79,7% der Fälle (Kappa: 0,59) übereinstimmende Antworten in beiden Readings gab, waren es bei Untersucher 4 62,0% (Kappa: 0,25, s. Tab. 3.34). Im Mittel handelte es sich um 70,9% übereinstimmende Antworten mit einem gemittelten Kappa-Wert von 0,42.

digital	Übereinstimmung 1./2. Reading in %	Kappa
Untersucher 1	79,7	0,59
Untersucher 4	62,0	0,25
Mittelwert	70,9	0,42

Tab. 3.33: Zusammenfassung der Kapitel 3.6.2.1 und 3.6.2.2: Übereinstimmung des 1. und 2. Readings der Untersucher 1 und 4 mit ihren zugehörigen Kappa-Werten

3 Ergebnisse

Bei Untersucher 1 fielen beim Vergleich des Reading 1 mit dem Reading 2 keine wesentlichen Unterschiede der Ergebnisse auf (s. Tab. 3.35), wohingegen Untersucher 4 deutliche Abweichungen aufweist: Während sich für die Spezifität im ersten Reading 44,9% errechnete, waren es im 2. Reading bereits 83,7%. Entsprechend unterschiedlich fiel die jeweilige Zahl der falsch positiven Antworten aus (55,1% im 1. Reading und 16,3% im 2. Reading). Der positiv prädiktive Wert betrug im 1. Reading 69%, im 2. Reading 89%.

Mit der DXA- Messung verglichene Angaben der Untersucher in %								
digital	Richtig negativ (Spezifität)	Richtig positiv (Sensitivität)	falsch negativ	falsch positiv	Richtige gesamt	ppv	npv	Kappa - Koeffizient
Unters. 1/ Reading 1	65,3	62,4	37,6	34,7	63,3	76,5	43,8	0,24
Unters. 1/ Reading 2	61,2	77,1	22,9	38,8	72,2	81,6	54,5	0,37
Unters. 4/ Reading 1	44,9	55,0	55,0	55,1	51,9	69	31	-0,01
Unters. 4/ Reading 2	83,7	59,6	40,4	16,3	67,0	89	48,2	0,36

Tab. 3.35: Darstellung der Ergebnisse aus den Readings 1 und 2 der Untersucher 1 und 4. In den Spalten finden sich die errechnete Spezifität, Sensitivität, die falsch positiven wie falsch negativen Aussagen, die Gesamtzahl der richtig eingeschätzten Aufnahmen, der positive wie negative Vorhersagewert (ppv, npv), sowie der zugehörige Kappa- Koeffizient.

3.6.3 Intra-readervariabilität: konventionell versus digital

Bei den konventionellen Röntgenaufnahmen erzielte Untersucher 1 in 122 von 128 Fällen (95,3%) übereinstimmende Ergebnisse, 91 der 128 Fälle (71,7%) korrelierten zusätzlich mit dem DXA-Ergebnis (s. Tab. 3.36). Im Gegensatz dazu wurden bei den digitalen Bildern 126 von 158 (79,7%) übereinstimmend befundet, 90 von 158 (57,0%) davon korrelierten zusätzlich mit dem DXA-Ergebnis.

Untersucher 1 und Untersucher 4				
	Konventionelle Aufnahmen		Digitale Aufnahmen	
Untersucher 1	Übereinst. 1./2. Reading	Übereinst. 1./2. Reading + DXA	Übereinst. 1./2. Reading	Übereinst. 1./2. Reading + DXA
Anzahl	122 / 128	91 / 128	126 / 158	90 / 158
Prozent	95,3	71,7	79,7	57,0
Untersucher 4	Übereinst. 1./2. Reading	Übereinst. 1./2. Reading + DXA	Übereinst. 1./2. Reading	Übereinst. 1./2. Reading + DXA
Anzahl	79 / 128	62 / 128	98 / 158	64 / 158
Prozent	61,7	48,4	62,0	40,1

Tab. 3.36: Vergleich der Ergebnisse aus den wiederholten Readings von Untersucher 1 und 4 zwischen konventionellen und digitalen Röntgenaufnahmen.

Bei Untersucher 4 hingegen zeigte sich kein wesentlicher Unterschied zwischen konventionellen und digitalen Röntgenbildern. Die konventionellen Fälle wurden in 79 von 128 (61,7%) übereinstimmend beurteilt, 62 der 128 (48,4%) korrelierten ebenfalls mit der DXA. Bei den digitalen Röntgenaufnahmen wurden 98 von 158 Fällen (62,0%) übereinstimmend diagnostiziert, in 64 der 158 Fälle (40,1%) lag zusätzlich eine Konkordanz mit dem DXA-Ergebnis vor.

4. Diskussion

Die Feststellung einer Osteopenie / Osteoporose spielt hinsichtlich der Reduktion der Morbidität, der Mortalität, sowie der Kosten, die auf Wirbelkörperfrakturen basieren, eine sehr wichtige Rolle (**GRAMPP et al.** 1993, **WHO** 2003). Effektive Therapien, allen voran die Behandlung mit Bisphosphonaten, sind seit einigen Jahren verfügbar.

Bereits sehr früh in der Geschichte der röntgenologischen Diagnostik existierten viele Studien, die sich mit der visuellen Erkennung von Knochendichteminderung aus dem Röntgenbild beschäftigen (**ALBRIGHT et al.** 1941, **BARNETT** und **NORDIN** 1960, **BOUKHRIS** und **BECKER** 1973, **DEQUEKER et al.** 1974, **DOYLE et al.** 1967, **KOVARIK et al.** 1981, **LACHMAN** und **WHELAN** 1955, **MRIST** 1960, **SINGH et al.** 1972, **SNAPPER** 1957). Diese wurden jedoch noch vor der Einführung quantitativer Messmethoden durchgeführt. 1990 stellten **WILLIAMSON et al.** zudem fest, dass zu diesem Zeitpunkt noch „inadäquate Standards“ galten, was zur Folge hatte, dass die Beurteilungsfähigkeit der entstandenen Bilder sehr eingeschränkt war.

ARDRAN (1951) leitete eine Studie, in der er experimentell osteoporoseähnliche Zustände des Knochens erzeugte. Dabei wurden in einzelne Wirbelkörper Löcher gebohrt, die anschließend mit Wasser wiederaufgefüllt und geröntgt wurden. Die entstandene Minderung des Knochendichtegehalts war mit dem menschlichen Auge auf dem Röntgenbild nicht zu erkennen.

Auch **VIRTAMA** (1960) kam zu dem Ergebnis, dass das menschliche Auge erst eine Dichteänderung auf dem Röntgenbild von etwa 3-4% zu sehen vermag, dies jedoch auch *nur*, wenn das absorbierende Material vollkommen gleich verteilt ist. Handelte es sich um ungleichmäßige Verteilung – wie es beim Knochen der Fall ist – konnte ein Dichteunterschied erst ab 13-14% festgestellt werden. Ein weiteres Hindernis stellte der „verschleiende Effekt“ des den Knochen umgebenden Gewebes dar. **VIRTAMA** (ebd.) folgert daraus, dass bei besten Bedingungen Veränderungen von etwa 20% entdeckt werden können, was einer tatsächlichen Knochendichteminderung in der LWS von 30-40% entspricht. Die Ergebnisse könnten möglicherweise durch bestimmte Röntgenzeichen, die ebenfalls auf eine Knochendichteminderung hinweisen, verbessert werden.

FINSEN und **ANDA** (1988), **GRAMPP et al.** (1993) und **GENANT et al.** (1996) zeigten in ihren Studien ebenfalls, dass eine Osteopenie an der Wirbelsäule erst ab einem Verlust von 20-40% des Knochenkalziums konventionell radiographisch erkennbar ist. **COCKSHOTT** (1983) begründet dies mit für das Auge nicht sichtbaren radiographischen Abnormitäten, die jedoch für die sichere Diagnose einer Osteopenie von Nöten wären.

FINSEN und **ANDA** (1988) diskutierten eine erhöhte Genauigkeit bei der Erkennung der Osteopenie bzw. Osteoporose, wenn nur eine lokale Stelle des Knochens betroffen ist, wie z. B. bei der rheumatoiden Arthritis, oder wenn Voraufnahmen des gleichen Patienten zum Vergleich zur Verfügung stünden. Letzteres wurde jedoch bereits durch die Studie von **EPSTEIN et al.** (1986) widerlegt, die eine größere Ungenauigkeit in der Diagnosestellung feststellten, wenn den Untersuchern Bildpaare der Patienten (d.h. jeweils zwei Röntgenaufnahmen der Patienten, die in 14-tätigem Abstand angefertigt wurden) vorlagen. Da **EPSTEIN et al.** (1986) jedoch nur 15 solcher Bildpaare einsetzten, ist die Aussagekraft dieser Ergebnisse eingeschränkt. **REIFENSTEIN** (1951) ergänzt diese Aussagen mit der gewonnenen Erkenntnis, dass es sich ebenso als äußerst schwierig erweist, eine Rekalzifizierung mittels Röntgenaufnahme ausfindig zu machen, da eine beträchtliche Menge an Kalzium wiedergewonnen werden muss, bevor ein Anstieg des Knochenmineralgehalts in den Aufnahmen festgestellt werden kann.

JERGAS et al. (1994) griffen mit moderneren Techniken die Thematik wieder auf und verglichen die visuelle Beurteilung konventioneller Röntgenbilder mit den Ergebnissen von DXA-Messungen.

Mit der Digitalisierung des Röntgenbildes kam ein weiterer Faktor hinzu, den es hinsichtlich der Diagnosestellung einer Knochendichteminderung zu untersuchen galt.

1994 legte die WHO zudem *neue* Richtlinien für die Einteilung eines KMG-Verlustes in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ fest (s. Einleitung), die erstmals in dieser Studie berücksichtigt wurden.

4.1 Diskussion des Patientenguts

Alter und Geschlecht

Ein die visuelle Beurteilung der Bilder erschwerender Faktor könnte in der - in dieser Studie bewusst gewählten - Vernachlässigung von Patientendaten wie Alter und Geschlecht liegen. Zwar setzten einige Autoren mit ähnlichem Studiendesign (**RINGE** und **BUURMANN** 1978, **KOVARIK et al.** 1981, **EPSTEIN et al.** 1986, **WILLIAMSON et al.** 1990 und **JERGAS et al.** 1994) ihre Untersucher ebenfalls nicht in Kenntnis von Alter und Geschlecht der Patienten, um „die völlige Subjektivität der Beurteilung nicht durch den Einfluss von objektiven Patientendaten zu beeinflussen“ (**RINGE** und **BUURMANN** 1978). In einer Studie von **ROSS et al.** (1996) mit hinsichtlich Filmsequenz und Patientenidentitäten geblindeten Röntgenbildern wurde jedoch andererseits eine erhöhte Fehlerquote bei der visuellen Erkennung von Wirbelkörperfrakturen beschrieben.

Zudem erschweren o.g. Bedingungen dem Untersucher die Beurteilung der Aufnahmen, denn der Mineralgehalt des Knochens schwankt in Abhängigkeit dieser Parameter stark (**RINGE** und **BUURMANN** 1978). So hat beispielsweise ein 20-jähriger Patient, welcher die gleiche Knochendichte aufweist wie ein 80-jähriger, möglicherweise eine schwere Osteoporose, wohingegen der Befund des 80-Jährigen noch im nichtpathologischen Bereich liegt. Dies könnte beispielsweise bedeuten, dass es sich in einigen der Fälle, die fälschlich als osteopenisch / osteoporotisch beurteilt wurden, gehäuft um ältere Frauen handelt. Umgekehrt würden in manchen Fällen mit objektiv erniedrigter Knochendichte, welche falsch negativ befundet wurden, eher junge Menschen betroffen sein. Tatsächlich ließ sich eine leichte derartige Tendenz finden. Auffallend war, dass es sich bei den falsch positiven wie falsch negativen Urteilen um überwiegend dieselben Aufnahmen handelte, d.h. eine überwiegende Übereinstimmung zwischen den Untersuchungen herrschte.

Dennoch war eine geblindetes Studiendesign notwendig, um auf Kenntnis von Alter und Geschlecht der Patienten basierende systematische Fehler zu vermeiden. Andererseits würde eine Beeinflussung stattfinden, da der Untersucher i.d.R. eher geneigt ist, einem älteren Patienten eine Osteoporose zu attestieren als einem jüngeren.

Wirbelkörperfrakturen

KOVARIK et al. (1981) berichteten über eine hohe Korrelation richtig positiv erkannter Röntgenaufnahmen mit solchen, auf denen Wirbelkörperdeformitäten zu sehen gewesen wären. Dies lässt darauf schließen, dass die Untersucher hinsichtlich derartiger Informationen in ihrer Diagnosestellung beeinflusst sind bzw. waren. Auch **COCKSHOTT** und **PARK** (1990) sprechen von einem irreführend hohen Ergebnis bei den richtig positiven Antworten, sowie auch bei der Übereinstimmung zwischen den Untersuchern (*Interreadervariabilität*) in diesem Bereich. Um die Untersucher hinsichtlich der Fragestellung möglichst vorurteilsfrei zu halten, wurden in vorliegender Studie keine Röntgenaufnahmen mit Wirbelkörperfrakturen zugelassen (wie auch bei **WILLIAMSON et al.** 1990). Wirbelsinterungen sind bei fehlendem Trauma praktisch beweisend für das Vorliegen einer Osteoporose und erleichtern so dem Betrachter eine Diagnosefindung, ohne dass dieser sich mit den Veränderungen der Trabekelrarefizierung, Fischwirbelbildung, Verdeutlichung der Konturen von Wirbelgrund und -deckplatten u. a. Osteoporosezeichen auseinander setzen muss. Aus diesem Grund lagen für die Untersucher in dieser Studie erschwerte Bedingungen vor. Ein Teil der falsch negativen Beurteilungen ist sicher dadurch zu erklären.

Degenerative Veränderungen

Auch Röntgenaufnahmen mit stark degenerativen Veränderungen wurden in dieser Studie nicht zugelassen (wie auch bei **WILLIAMSON et al.** 1990). Sie stellen zum einen für den Untersucher ebenfalls einen Hinweis auf eine möglicherweise vorliegende Osteoporose dar. Zum anderen liefert die DXA-Messung dieser Patienten meist falsch zu hoch gelegene T-Werte.

Osteoporose sekundärer Genese und / oder begonnene Therapie

RINGE und **BUURMANN** (1978) schließen in ihrer Studie über die visuelle Beurteilung von Skelettröntgenaufnahmen auch Patienten mit primärem, sekundärem renalen bzw. intestinalen Hyperparathyreoidismus, Osteomalazie und seltene Osteopathien ein. Studien an Patienten mit primärem Hyperparathyreoidismus, Lupus erythematoses und rheumatoider Arthritis haben jedoch ergeben, dass diese verglichen mit einem „gesunden“ Normalkollektiv eine erhebliche Verringerung der kortikalen Knochenstärke aufweisen (**GENANT et al.** 1973). Folglich ergibt sich zwar bei der DXA-Messung eine geringere Knochendichte, diese tritt

hingegen im Röntgenbild nicht mit ihren typischen Zeichen wie z.B. Trabekelrarefizierung in Erscheinung. **RINGE** und **BUURMANN** (1978) räumen ebenfalls ein, dass verschiedene Osteopathien eine in Einzelfällen starke Diskrepanz zwischen Kompaktastärke und Mineralgehalt sowie eine unterschiedliche Mineralisation der Kompakta verursachen können. Um Verfälschungen der Ergebnisse durch derartige Fehlerquellen zu vermeiden, wurden in dieser Studie sämtliche Patienten mit ebengenannten Krankheiten ausgeschlossen.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass auch Malignome durch Osteolysen und durch einen veränderten Knochenstoffwechsel zu einer Verfälschung der DXA-Messung sowie der visuellen Beurteilung führen können, wurden ebenfalls keine Patienten mit konsumierenden Erkrankungen in die Studie aufgenommen. Auch **KOVARIK et al.** (1981) schlossen retrospektiv elf Patienten ihrer Studie aus, da sich bei diesen Malignome, Störungen im Kalzium- Phosphat- Haushalt, chronische Leberleiden, renale Insuffizienzen oder ein inadäquates Trauma eines Wirbels herausstellten.

Es fanden sich jedoch auch Studien, die genannte Ausschlusskriterien zum Teil nicht anwendeten: **WILLIAMSON et al.** (1990) vernachlässigten o.g. Diagnosen ihrer Studienpatienten. Sie beschreiben lediglich, dass den Untersuchern keine Patientendaten bezüglich ihrer Krankheitsgeschichte vorlagen. Auch bei **JERGAS et al.** (1994) galten diese Ausschlusskriterien nicht. **EPSTEIN et al.** (1986) prüften die Röntgenbilder lediglich hinsichtlich Abwesenheit von Krankheiten, die die Wirbel überlagern würden (**EPSTEIN et al.** 1986). Inwiefern sich dies auf die Studienergebnisse auswirkte, ist im Nachhinein jedoch nicht näher nachvollziehbar.

Ein weiterer zu berücksichtigender Grund liegt in der Beurteilung der Aufnahmen von Patienten, die aufgrund ihres KMG-Verlustes beispielsweise bereits mit Bisphosphonaten therapiert wurden. Bei erfolgreicher Therapie könnte bereits eine Differenz zwischen Knochendichtemessung und Röntgenbild entstanden sein, sofern beide Untersuchungen über ein halbes Jahr auseinander gelegen haben. Auch dies würde eine Fehlerquelle bei der anschließenden Beurteilung der Bilder darstellen. Aus diesem Grund wurde bei der Auswahl der Röntgenbilder sowie der Knochendichtemessungen auf deren zeitlichen Abstand (unter 6 Monaten) geachtet.

4.2 Diskussion der Methoden

Konventionell und digital erzeugte Röntgenaufnahmen

Während konventionelle Röntgenaufnahmen den Film-Foliensystemen angehören, wird das digitale Röntgenbild mit Hilfe eines Siliziumfestkörperdetektors angefertigt.

Im Zuge fortwährender Modernisierungsmaßnahmen gewinnt das digitale Röntgenbild immer mehr an Bedeutung. Zu den Vorteilen der digitalen Verarbeitung der Röntgenaufnahmen gehören Reduktion der Strahlenbelastung, geringere Wartezeiten durch schnellere Aufnahmefolgen, einfache und schnelle Bildnachbearbeitung, Entlastung der Umwelt durch Wegfall der Chemikalien zur Filmentwicklung. Zudem ist ein rascher Zugriff auf aktuelle Aufnahmen sowie auf Voraufnahmen von jedem vernetzten Arbeitsplatz aus möglich, was bei konventionellen Aufnahmen nicht gegeben ist. Digitale Archive und Netzwerke ermöglichen eine effiziente Bildkommunikation. Selbst im eng begrenzten Raum des Krankenhauses ist die digitale Übertragung vorteilhaft: Beispielsweise können sich Chirurgen, Anästhesisten, Internisten und Radiologen gleichzeitig über die Behandlungsstrategie für einen Patienten beraten, ohne dass Bilder kopiert und/oder transportiert werden müssen. Mit der Digitalisierung entfallen unnötige Mehrfachuntersuchungen, denn auch schlechtere Aufnahmen können nachverarbeitet und damit brauchbar gemacht werden. Bildkopien entsprechen dem Original in ihrer Qualität, somit steht grundsätzlich eine Röntgenaufnahme hoher Qualität für die Diagnose vor Ort sowie für Fernkonsultationen zur Verfügung.

Die Digitalisierung birgt jedoch auch einige Nachteile: Eine große Röntgenabteilung muss mit zwei bis drei Terabyte Speicherkapazität pro Jahr rechnen (**PETER** 1999), was unter anderem immer wieder zu technischen Fehlern und Störungen des Systems führen kann. Ein weiterer Aspekt ist die etwas schlechtere Bildqualität des digital erzeugten Röntgenbildes, wenn auch dies mit wachsendem Fortschritt immer mehr an Bedeutung verlieren wird. Dennoch bestechen konventionelle Aufnahmen im Gegensatz zu ihren digitalen Pendanten gegenwärtig noch mit einer höheren Auflösung. Als Ursache ist folgendes anzusehen: Konventionelle Aufnahmen werden mit einem definierten absoluten Kontrast angefertigt. Digitale Aufnahmen hingegen werden durch die röntgenologisch-technologischen Assistentinnen (RTA) nachbearbeitet, um den Bildkontrast zu verbessern. Daraus resultiert, dass Objektdichte und optische Dichte des Films nicht mehr übereinstimmen, weshalb ein unrealistisches Erscheinungsbild der Wirbelkörperdichte im digitalen Röntgenbild entsteht. Die Erkennung von Knochendichteminderungen ist folglich auf konventionellen Aufnahmen

leichter, da die spezifische Knochendichte auch der spezifischen Dichte des Röntgenbildes entspricht.

Hinsichtlich unterschiedlicher technischer Parameter von konventionellen und digitalen Röntgenbildern und der Möglichkeit, die scheinbare Knochendichte durch Nachbearbeitung digitaler Aufnahmen zu manipulieren, können möglicherweise die Kriterien für die Diagnose einer Knochendichteminderung aus der konventionellen Röntgenaufnahme nicht auf die digitale Aufnahme übertragen werden. Es sind daher gegebenenfalls neue Kriterien für die Diagnose einer Osteopenie / Osteoporose aus dem **digitalen** Röntgenbild notwendig. Für die Entwicklung dieser Kriterien sind weitere Studien erforderlich, was sich jedoch als schwierig oder auch nicht mehr möglich erweisen könnte.

Aus diesen Gründen sollte beim Verdacht eines Knochendichteverlustes möglichst frühzeitig eine DXA-Messung erfolgen.

Ob konventionelles oder digitales Röntgenbild: Es existieren auch Fehlerquellen, die beide Methoden betreffen. Nicht zu unterschätzen sind in dieser Hinsicht potentielle Fehler in der Aufnahmetechnik, die beispielsweise durch falsche Belichtung mit unzureichender oder zu starker Filmschwärzung zu eventuellen Fehldiagnosen führen können. Dies betrifft das die Strahlenquelle beeinflussende Material wie Röhrenstrom, -spannung, Belichtungsdauer, Fokusgröße, Film-Fokus-Abstand und Anode, sowie auch das Film- und Folienmaterial (**HEUCK** 1960, **DAFFNER** 1983). Doch selbst bei optimalen physikalischen Aufnahmebedingungen kann die Qualität des Röntgenbildes durch individuelle Eigenschaften eingeschränkt sein. Eine Rolle spielen vor allem der Körperumfang des Patienten, Organgröße und -zusammensetzung, unterschiedlicher Weichteilmantel des Knochens, Knochenmarkzusammensetzung und Apatitgehalt des Wirbelkörpers (**WEISKE et al.** 1998, **DAFFNER** 1983). Ebenso kann falsche Lagerung des Patienten zur Entstehung von Fehlern führen. **EPSTEIN et al.** (1986) fertigten daher in ihrer Studie jeweils innerhalb von zwei Wochen ein weiteres Röntgenbild jedes Patienten an, um diesen Fehler auszumitteln. Der Untersucher sollte des Weiteren auf diese Weise einen präziseren Eindruck erhalten. Es ergab sich letztendlich jedoch ein geringerer Kappa-Koeffizient (0,47) für die Übereinstimmung des jeweiligen Untersuchers mit dem tatsächlichen Ergebnis bei Vorlage eines solchen Bild-Paares, als wenn dem Untersucher nur *ein* Bild zur Verfügung stand (Kappa 0,54). Deshalb

scheinen eben genannte Variabilitäten, die durch die Aufnahme der Röntgenbilder entstehen, von zu vernachlässigendem Wert zu sein.

In unserer Studie wurden stets Röntgenaufnahmen der LWS (a.p. und seitlich) vorgelegt. Nach **JERGAS et al.** (1994) ist die radiographische Aufnahme der LWS am ehesten für die Beurteilung des KMG-Gehalts der Wirbelsäule geeignet. **EPSTEIN et al.** (1986) verwendeten in ihrer Studie Thoraxaufnahmen in Hartstrahltechnik. Bezüglich der Interreadervariabilität (Übereinstimmung der Untersucher untereinander) erhielten sie sehr geringe Kappa-Werte (im Mittel 0,38), was **JERGAS et al.** (1994) darauf zurückführen, dass anhand dieser Aufnahmen die Wirbelsäule hinsichtlich ihrer knöchernen Strukturen nur bedingt beurteilt werden kann.

Knochendichtemessung (DXA)

Die DXA gilt heutzutage als Standardverfahren zur Messung der Knochendichte. Ihre Vorteile sind ein hohes Maß an Validität, hohe Messpräzision, niedrige Strahlenbelastung und kurze Scanzeiten. Die Messpräzision für die Lendenwirbelsäule ist 0,5(- 1)%, sowie 1(-1,5)% für die Schenkelhals-Messung. Die Strahlenbelastung pro Messung und Messort beträgt 10-50 μ Sv, die Scanzeit pro Messort ca. 5-10 Min.

Bereits **LACHMANN** und **WHELAN** publizierten 1936, dass nicht nur hervorragende Voraussetzungen für das visuelle Erkennen einer Knochendichteminderung aus dem Röntgenbild geschaffen sein müssen, sondern auch der Mineralgehalt des Knochens an verschiedenen Körperstellen variiert. Deshalb wird die DXA an den Stellen durchgeführt, an denen gehäuft Frakturen auftreten, also an Schenkelhals und Wirbelsäule. Zudem ist die Frakturrisikovorhersage am aussagekräftigsten am Messort selbst. Des Weiteren gilt die Wirbelsäule als geeignetster Ort für die Feststellung einer Knochendichteminderung i. S. einer Osteopenie oder Osteoporose, da die Wirbel aus metabolisch sehr aktivem trabekulärem Knochen bestehen (**SCHNEIDER** 1984, **CULLUM** 1989). Ebenso hat sich gezeigt, dass Messungen der Lendenwirbelregion am besten reproduzierbare Ergebnisse liefern (**MASUD et al.** 1993).

MASUD et al. (1993) beschrieben, dass Spondylophyten zu irreführend hohen Knochendichtewerten beitragen können, die eine zugrunde liegende Osteoporose

möglicherweise verschleiern. Ebenso können Rippen, eine sklerosierte Aorta, die Prozess transversi eines Wirbels, aber auch verschmälerte Zwischenwirbelräume und Wirbelsinterungen zur Verfälschung der bei der Knochendichtemessung errechneten Werte führen⁸ (ANDRESEN 1986, DRINKA et al. 1992). Daher wurden Bilder mit starker Arterienverkalkung bzw. auch solche mit hochgradig degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule nicht für diese Studie verwendet. Lag dennoch der T-Wert eines einzelnen Wirbels – verursacht beispielsweise durch Osteochondrose – deutlich über dem der übrigen, so wurde er bei der Mittelung der Wirbelkörper L1-L4 ausgeschlossen. Dies war in 18 Fällen notwendig, was in einem Fall zu einer Befundänderung von Osteopenie zu Osteoporose führte.

1992 bezeichneten JERGAS et al. die Reproduzierbarkeit der DXA in *Seitlagerung* als eher mäßig, da selbst mit einer Positionierungshilfe die Lagerung schlecht reproduzierbar ist. 1994 schlussfolgerten selbige jedoch nach weiteren Untersuchungen, dass densitometrische Verfahren objektive und reproduzierbare Ergebnisse liefern, zumindest in höherem Maß als die visuelle Beurteilung.

Dennoch birgt auch die DXA-Messung ihre Fehlermöglichkeiten, und die Diskrepanz zwischen visueller Beurteilung und DXA-Ergebnis muss letztlich nicht immer durch den Untersucher bedingt sein.

Berufliche Erfahrung des Untersuchers, Trainingseffekt

Nicht nur physikalische Variablen, auch subjektive Einschätzungen des Untersuchers und dessen berufliche Erfahrung beeinflussen die Diagnosestellung der Osteopenie / Osteoporose aus dem Röntgenbild (HEUCK et al. 1960, HEUCK 1970, FINSEN 1988, JERGAS et al. 1994). Zudem ist bekannt, dass erfahrene Reader eine höhere Präzision und Konsistenz bei der Beurteilung erlangen als unerfahrene (COCKSHOT 1983). Daher wurden in vorliegender Studie die die Untersucher betreffenden Variabilitäten weitgehend minimiert, indem nur erfahrene Radiologen mit Expertise auf dem Gebiet der Osteoporose als Reader eingesetzt wurden.

⁸ Der Kalksalzgehalt der Aorta und andere kalkhaltigen Strukturen bewirken hierbei *falsch positive* Werte in der p.a. DXA-Messung des jeweiligen dahinterliegenden Wirbelkörpers.

Einige Autoren stellten eine Verbesserung der Ergebnisse durch wiederholte Readings fest (**WILLIAMSON et al.** 1990, **EPSTEIN et al.** 1986, **BARNETT** und **NORDIN** 1960), was sich jedoch in vorliegender Studie nur für die Beurteilung der *digitalen* Röntgenbilder bestätigte: Bei wiederholtem Reading verbesserten sich die Untersucher um durchschnittlich 12,0% ⁹ (s. Tab. 3.35). Vor allem Untersucher 4 erzielte deutlich mehr Übereinstimmungen (67,0 % gegenüber 51,9% beim ersten Reading; s.Tab. 3.35). Auffallend waren die um 38,8% höhere Spezifität und der um 38,8% geringere Prozentsatz an falsch positiven Aussagen. Bezüglich der konventionellen Aufnahmen kam es allerdings sogar zu einer Verschlechterung der Ergebnisse um im Mittel 4,0% (s. Tab. 3.35). Der Trainingseffekt war daher insgesamt nicht deutlich.

KOVARIK et al. (1981) beschrieben wiederum, dass die Diagnose „Osteoporose“ weniger oft gestellt werden würde, wenn mehrere Untersucher zusammen eine Beurteilung vornähmen. Möglicherweise hängt dies mit unterschiedlichen Erfahrungswerten der Untersucher zusammen. Da **KOVARIK et al.** (1981) jedoch lediglich die Übereinstimmung der Reader untersuchten, die Ergebnisse jedoch nicht validierten, lässt sich nur schwer eine verlässliche Aussage machen.

Statistik

WU et al. (2000), die eine Methode zur visuellen Validierung von Wirbelfrakturen entwarfen, verglichen die Beurteilungsergebnisse von konventionellen Röntgenbildern mit denen von digitalen Bildern. Dabei verwendeten sie ein und dieselbe Testgruppe.

In vorliegender Studie stimmte das Patientenkollektiv mit konventionellen Röntgenaufnahmen *nicht* mit dem Patientenkollektiv, von dem digitalen Aufnahmen angefertigt wurden, überein. Dies liegt einerseits im retrospektiven Ansatz der Studie und ist andererseits in ethischen Gesichtspunkten begründet. Ein verändertes Studiendesign hätte eine wiederholte Strahlenbelastung des Patienten durch die Anfertigung eines zweiten Röntgenbildes erfordert.

⁹ Gemittelte Richtigaussagen der Untersucher in Prozent.

Daraus ergaben sich Einschränkungen bezüglich der statistischen Auswertungen:

1. Der Mc Nemar-Test – ein nichtparametrischer Test für zwei verwandte dichotome Variablen –, der für das Erkennen von Änderungen bei Antworten angewandt wird, die durch experimentelle Einflussnahme in so genannten „Vorher-und-nachher-Designs“ entstanden sind (**KRAMER** und **FEINSTEIN** 1981), konnte nicht herangezogen werden.
2. Eine Signifikanz bezüglich der unterschiedlichen Ergebnisse zwischen konventionellen und digitalen Röntgenbildern mittels des Chi-Quadrat-Tests konnte nicht errechnet werden. Es bleibt lediglich ein Vergleich in Prozentzahlen.

Möglicherweise wären auch die Unterschiede zwischen den Einschätzungen der konventionellen und digitalen Röntgenbildern geringer ausgefallen, da theoretisch ein unterschiedlicher Schwierigkeitsgrad zwischen den ausgewählten Patientengruppen bestanden haben könnte.

Kappa-Koeffizient

1960 wurde der Kappa-Koeffizient erstmals von **COHEN** als Messwert für die Interreader-Variabilität, den Grad der zwischen Begutachtern bestehenden Übereinstimmung, beschrieben. Er gilt als Maßstab für die Intra- und Interreader-Variabilität und wurde beispielsweise auch in den Studien von **EPSTEIN et al.** (1986) und **JERGAS et al.** (1994) herangezogen. Auch in vorliegender Studie war der Kappa-Koeffizient fester Bestandteil der Statistik, um eine generelle Aussage über die Übereinstimmungen zwischen den einzelnen Untersuchern mit der DXA, bzw. auch zwischen den wiederholten Readings der Untersucher 1 und 4 treffen zu können. Um eine aussagekräftige Interpretation für den Grad der Übereinstimmung zu ermöglichen, haben **FLEISS** (1971), sowie **LANDIS** und **KOCH** (1977) die Werte des Kappa-Koeffizienten in Gruppen eingeteilt (s. Tab 4.1 und 4.2):

Einteilung der Übereinstimmung	Wert des Kappa-Koeffizienten
Sehr gut	0,75 bis 1,0
Gut bis ausreichend	0,40 bis 0,75
Mangelhaft bis ungenügend	-1,0 bis 0,4

Tab. 4.1: Einteilung der Übereinstimmung nach **FLEISS**

Einteilung der Übereinstimmung	Wert des Kappa-Koeffizienten
Nahezu perfekt	0,81 bis 1,0
Gut bis sehr gut	0,61 bis 0,80
Zufriedenstellend	0,41 bis 0,60
Ausreichend	0,21 bis 0,40
Mangelhaft	0 bis 0,20

Tab. 4.3: Einteilung der Übereinstimmungen nach **LANDIS** und **KOCH**

Sensitivität und Spezifität

Sensitivität und Spezifität sind statistische Tests, die in vorliegender Studie unerlässlich sind. Die Aussagekraft der Antworten sowie eine Tendenz (z. B. zur „Überdiagnostizierung“) können nur dadurch ersichtlich werden. Nimmt man lediglich die Anzahl bzw. Prozent der insgesamt richtig gegebenen Antworten, so ist es nicht möglich, zu unterscheiden, in welcher der beiden Gruppen („normal“ versus „Osteopenie / Osteoporose“) die Reader größere Schwierigkeiten hatten. **WILLIAMSON et al.** (1990) stützen die Ergebnisse ihrer Studie¹⁰ sogar lediglich auf diese Tests (Sensitivität, Spezifität und accuracy) und zogen keine weiteren Tests hinzu.

Positiv prädiktiver Wert und negativ prädiktiver Wert

Der ppv und der npv sind Werte, die untrennbar mit Sensitivität und Spezifität verbunden sind und die Aussagen der Ergebnisse vervollständigen. Dadurch können also nicht nur Aussagen über die Fähigkeit des Tests gemacht werden, sondern auch darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmtes Ergebnis eintritt. Um alle Bereiche der Vierfeldertafel auf diese Art und Weise statistisch auswerten, interpretieren und in einen gegenseitigen Zusammenhang bringen zu können, wurden in vorliegender Arbeit zusätzlich die falsch positiven und falsch negativen Aussagen ermittelt.

Die Berechnung von Sensitivität und Spezifität, ppv und npv, falsch positiven und falsch negativen Ergebnisse konnte lediglich bei der dichotomen Einteilung der Röntgenaufnahmen („normale Knochendichte“ versus „erniedrigte Knochendichte“) zur Anwendung kommen.

¹⁰ **WILLIAMSON et al.** (1990) untersuchten die Genauigkeit von 9 Readern in der Osteoporoseerkennung. Es wurden konventionelle Röntgenaufnahmen des Thorax mit „dual photon“-Knochenmessungen verglichen.

Chi-Quadrat-Test zur Überprüfung der Signifikanz

In vorliegender Arbeit wurde der Chi-Quadrat-Test herangezogen, um die Signifikanz von Kappa und somit dessen Aussagekraft zu überprüfen. Diese Berechnung stellte lediglich einen Nebenaspekt für die Interpretation der Ergebnisse dar. Wichtiger wäre der Chi-Quadrat-Test beim Vergleich der Ergebnisse aus den Readings der digitalen und konventionellen Röntgenaufnahmen gewesen, was jedoch aus bereits genannten Gründen (unterschiedliches Patientenkollektiv) nicht möglich war.

JERGAS et al. (1994) verwendeten zusätzlich einen unabhängigen t-Test, um die Interreader-Kappa-Koeffizienten mit den Interreader-DXA-Kappa-Koeffizienten zu vergleichen. Dies ergäbe in unserer Studie jedoch keine wesentlichen neuen Erkenntnisse und würde angesichts der Fülle der Ergebnisse den Rahmen der Arbeit sprengen.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

Diagnostische Genauigkeit der visuellen Beurteilung der Osteoporose

Summe der Richtig Positiven und Richtig Negativen (Gesamt Richtige)

Bei der dichotomen Einteilung (normale Knochendichte versus erniedrigte Knochendichte) wurden in unserer Studie von den konventionellen Aufnahmen im Mittel 68%, sowie von den digitalen Röntgenbildern im Mittel 64% zutreffend diagnostiziert (s. Tab. 3.9). **JERGAS et al.** (1994) verzeichneten eine etwas höhere Übereinstimmung der Reader mit der DXA-Untersuchung, und zwar zwischen 68 % und 76% (gemittelt 72%). Sie beurteilten die Röntgenbilder jedoch nach anderen Kriterien: erst ein T-Score < -2 SD wurde als Osteopenie definiert, während in unserer Studie die Einteilung nach den neuen Kriterien der WHO 1994 berücksichtigt wurde (Osteopenie: T-Score \leq -1 SD bis -2,5 SD). Zudem waren in der Studie von **JERGAS et al.** (1994) Patienten mit bereits vorhandenen Wirbelkörperfrakturen *nicht* ausgeschlossen worden. Dies führt zu einer deutlichen Verfälschung des Ergebnisses hin zu einer höheren Übereinstimmung der visuellen Beurteilungen mit der Knochendichtemessung –und damit verbunden auch zu einer höheren Sensitivität (letztere wurde in der Studie von **JERGAS et al.** (1994) jedoch nicht berechnet).

Sensitivität

Die errechnete Sensitivität bei den konventionellen Readings war im Mittel 85,7% (s. Tab. 3.21), die Sensitivität für die Readings der digitalen Bilder war gemittelt 72,0% (s. Tab.3.21). Nach Untergliederung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ wurde deutlich, dass Untersucher 4 als Ausnahme nahezu alle *konventionellen* Röntgenbilder der Kategorie „Osteoporose“ (92,3%) richtig erkannte. Dies veranschaulicht einerseits die erleichterte Diagnosefindung mit abnehmendem KMG (zum Teil liegt dieses Ergebnis möglicherweise auch in der jahrelangen Berufserfahrung von Untersucher 4 in Zusammenhang mit konventionellen Röntgenbildern begründet. Untersucher 1 bis 3 hatten sich während ihrer beruflichen Laufbahn in dieser Klinik an die Umstellung auf digitale Bilder angepasst. Daraus resultiert ein Zuwachs an Erfahrung in der Interpretation digitaler Bilder, umgekehrt aber auch weniger Routine in der Diagnostik konventioneller Röntgenaufnahmen). Andererseits könnte die relativ hohe Sensitivität durch das Bewusstsein des Readers, an einer Osteoporose-Studie teilzunehmen, begründet sein.

Spezifität

Bei den konventionellen Röntgenaufnahmen errechneten sich Spezifitäten zwischen 21,7% und 47,8% (gemittelt 36,4%, s. Tab. 3.21), bzw. bei den digitalen Röntgenbildern zwischen 28,6% und 65,3% (im Mittel 47,0%). Im Vergleich zur hohen Sensitivität liegt die Spezifität folglich sehr niedrig. Dies lässt die Vermutung zu, dass eine Tendenz zur „Überdiagnostizierung“ vorlag. Es wurden deutlich mehr Röntgenaufnahmen als tatsächlich der Fall als osteopenisch / osteoporotisch eingeschätzt. Daraus resultiert eine hohe Sensitivität, jedoch auch eine niedrige Spezifität, da gleichzeitig deutlich weniger Röntgenbilder richtig- negativ diagnostiziert wurden. Zum einen könnte dies darin begründet sein, dass die Studie für die Untersucher eventuell einen Wettbewerbscharakter annahm. Wie bereits erwähnt, trug möglicherweise auch das Bewusstsein, an einer Studie teilzunehmen, die sich mit der Erkennung von Knochendichteverlusten aus dem Röntgenbild beschäftigt, zur niedrigen Zahl der richtig-negativ erkannten Befunde bei.

Falsch Negative

In 14,4% (konventionell) bzw. 28,0% (digital) der Fälle wurden falsch negative Aussagen getroffen. Dies bedeutet, dass vor allem hinsichtlich der konventionellen Röntgenaufnahmen nur in einem relativ geringen Prozentsatz Befunde mit erniedrigtem KMG falsch als gesund eingestuft wurden. Ein Teil dieser Falschbeurteilungen liegt ursächlich sicherlich daran, dass die Grenze zwischen normaler und pathologischer Knochendichte auf dem Röntgenbild fließend ist und daher gerade Röntgenaufnahmen in diesem Bereich sehr schwierig zu beurteilen sind.

Auch einige andere Autoren stellten fest, dass die Beurteiler die Patientenbilder häufiger als gesund eingeschätzt hatten, als dies tatsächlich der Fall war (**DISEN et al.** 1979, **WILLIAMSON et al.** 1990). Bei **DISEN et al.** (1990) erfolgte die Auswertung allerdings zum einen anhand anderer Kriterien, d.h. mittels SINGH- Index¹¹. Zum anderen wurden Messungen des kortikalen *Femur*knochens aus postmortem-Knochenpräparaten für die Studie verwendet.

¹¹ Beschrieben von **SINGH et al.** (1970), die die Knochendichte des trabekulären Knochen des Oberschenkelhalses in 6 Kategorien einteilten: Kategorie 6 korrelierte mit der Bezeichnung „normale“ Knochendichte, Kategorie 1 mit „schwere Osteoporose“.

Falsch Positive

Im Gegensatz zu den falsch negativen Beurteilungen wurden in vorliegende Studie deutlich mehr falsch positive Aussagen getroffen: Alle vier Untersucher diagnostizierten – sowohl bei den konventionellen (im Mittel 63,3%), als auch bei den digitalen Aufnahmen (im Mittel 53,1%) – wesentlich öfter eine Osteopenie bzw. Osteoporose als die DXA-Messung errechnete. Möglicherweise fixierten sich die Untersucher besonders auf die Detektion von Knochendichteverlusten. Da die Untersucher aus der gleichen Abteilung des Klinikums stammten, bekam die Studie – wie erwähnt – eventuell einen Wettbewerbscharakter. Zwar nahmen die Aussagen, es würde sich um Osteopenie / Osteoporose handeln, mit Zunahme der Knochendichte kontinuierlich ab, dennoch wurden bei den konventionellen Röntgenbildern in 65% der Fälle die Röntgenaufnahmen in der Gruppe mit einem T-Wert zwischen -0,21 bis einschließlich +2,42 (s. Abb. 3.1) falsch als osteopenisch / osteoporotisch eingeschätzt. Bezüglich der digitalen Radiographien ergibt sich ein ähnliches Bild: Patienten mit einem T-Wert zwischen -0,17 bis einschließlich +2,04 wurden immer noch zu 50% falsch positiv beurteilt (s. Abb. 3.3).

Wie aus Abb. 3.1 bis 3.4 ersichtlich, stieg jedoch mit zunehmender Erniedrigung des T-Wertes die Diagnosesicherheit. Dies veranschaulicht ebenfalls die Erleichterung der Diagnosefindung mit abnehmendem KMG. Besonders die Abb. 3.1 und 3.3 zeigen die zunehmende Tendenz, osteopenische / osteoporotische Röntgenbilder auch als solche einzustufen: während bei einer Knochendichte von $-1,0$ SD bis einschließlich $-1,49$ SD nur 41% (konventionell) bzw. 36% (digital) der Bilder richtig diagnostiziert wurden, waren es bei einer Knochendichte $\leq -2,5$ SD bereits 68% (konventionell) bzw. 60% (digital). Auch **WILLIAMSON et al.** (1990), die neun Untersuchern 45 Röntgenaufnahmen der BWS vorlegten, erreichten die größte Sensitivität (zwischen 59% und 89%) bei niedriger Knochendichte. Ebenso beschreiben **JERGAS et al.** (1994) in ihrer Studie größere Unstimmigkeiten zwischen den Untersuchern und dem DXA-Ergebnis korrelierend mit der Zunahme des Knochenmineralgehaltes mit größter Diskrepanz bei einer Knochendichte zwischen 80% und 89%. Diese Ergebnisse bestätigen wiederum die bereits 1960 von **VIRTAMA** erhobenen Erkenntnisse, dass eine Knochendichteminderung erst ab einem Verlust von etwa 30-40% zu erkennen ist. **GENANT et al.** (1996) stellten wiederum fest, dass eine Osteoporose in Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule erst ab einem Knochendichteverlust von 20-25% erkannt werden kann.

Die Studien von **EPSTEIN et al.** (1986) und **WILLIAMSON et al.** (1990) hingegen berichteten von einer *höheren* Präzision der Untersucher betreffend der Erkennung der Röntgenaufnahmen mit normalem KMG als bei erniedrigter Knochendichte. Gründe hierfür waren nicht ersichtlich.

Ppv und npv

Unterstützt werden die Aussagen über Sensitivität, Spezifität, falsch-positiven sowie falsch-negativen Diagnosen durch die errechneten Werte der positiven und negativen Prädiktion. Die *Wahrscheinlichkeit*, Röntgenaufnahmen von Patienten mit unphysiologischer Mineralsalzminderung (Osteopenie / Osteoporose) tatsächlich als „krank“ zu erkennen, liegt im Mittel bei 70,7% (konventionell) bzw. 74,2% (digital), wohingegen der negativ prädiktive Wert lediglich einen Mittelwert von 58,2% (konventionell) bzw. 45,4% (digital) ergibt (s. Tab. 3.9 und 3.19). Auch diese Ergebnisse verdeutlichen, dass es den Untersuchern offensichtlich besser gelang, die Röntgenbilder mit erniedrigtem Knochenmineralsalzgehalt richtig zu befunden, als solche Aufnahmen, auf denen ein altersentsprechend normaler Befund zu sehen war. Gründe stellen wiederum neben o.g. Ursachen u.a. die bei beginnendem Knochenmineralsalzverlust im Gegensatz zu massivem -verlust nur schwach zu entdeckenden Röntgenzeichen dar.

Im Gegensatz zu **JERGAS et al.** (1994) war ein deutlicher Vorteil vorliegender Studie jedoch auch der Verzicht auf Patienten mit Wirbelkörperfrakturen. Dies erklärt zum Teil die relativ schlechten Werte bei der Spezifität, den falsch-positiven Befunden sowie den negativ prädiktiven Werten. Die in unserer Studie ohnehin relativ hohe Sensitivität, sowie die guten Ergebnisse hinsichtlich der falsch-negativen Beurteilungen und der positiven Prädiktion *trotz* Verzicht auf Patienten mit Wirbelkörperfrakturen werten vorliegende Studie zusätzlich auf.

Vergleich konventionell – digital

In bisherigen Studien wurden zwar Aussagen über die visuelle Beurteilung von Röntgenaufnahmen hinsichtlich ihres KMG getroffen, es fand jedoch kein Vergleich zwischen den Ergebnissen der konventionellen und digitalen Röntgenbildern statt. Daher beschäftigte sich eine zentrale Fragestellung der Arbeit damit, ob es bedeutende Unterschiede in der Beurteilung konventioneller im Vergleich mit digitalen Röntgenaufnahmen gebe.

In den Mittelwerten der einzelnen statistischen Tests (s. Tab 3.27) zeigen sich mit wenigen Ausnahmen etwas bessere Ergebnisse bei den konventionellen Röntgenbildern im Vergleich mit den digitalen: Für die Befundung der konventionellen Aufnahmen errechnete sich eine höhere Sensitivität und geringere Spezifität. Entsprechend ergaben sich hinsichtlich der Diagnostizierung der konventionellen Bilder mehr falsch positive Aussagen und ein geringerer ppv. Von den digitalen Röntgenbildern wurden selbst in der Gruppe der Patienten mit einem T-Wert zwischen -3,08 bis einschließlich -4,15 immer noch 18% der Röntgenbilder als „normal“ eingestuft (s. Abb. 3.3). Unter den Beurteilungen der konventionellen Röntgenaufnahmen waren es hingegen nur noch 6%, die bei einem T-Score von -3,11 bis einschließlich -4,75 falsch als Patienten mit normalem KMG eingeschätzt wurden (s. Abb. 3.1).

Es bestätigt sich also die Vermutung, mit Hilfe der konventionellen Röntgenbilder eine Verringerung des Mineralsalzgehaltes des Knochens etwas eher zu erkennen, als dies bei den digitalen Bildern der Fall ist. Möglicherweise lassen sich auf den konventionellen Röntgenbildern aufgrund eines besseren Bildkontrasts und höherer Auflösung eher die für Osteopenie/Ostoporose typischen Röntgenzeichen erkennen. Das digitale Röntgenbild erscheint des Öfteren heller als eine konventionelle Röntgenaufnahme. Dadurch wird die Diagnosestellung des Untersuchers erschwert, da dieser nicht sicher sein kann, ob es sich um mangelnde Bildqualität, schlechte Nachbearbeitung oder tatsächlich geringeren Mineralgehalt des Knochens handelt. Dies würde zum Teil das schlechtere Abschneiden der digitalen Readings begründen.

Andererseits ergab sich im Mittel eine Wahrscheinlichkeit für die konventionellen Röntgenbilder von 70,7% (s. Tab. 3.9), für die digitalen Bilder hingegen von 74,2% (s. Tab. 3.19), dass bei positivem Testergebnis tatsächlich eine Osteopenie / Osteoporose vorliegt. Hier liegt das Ergebnis der konventionellen Aufnahmen unerwarteter Weise *unter* dem der

digitalen. Folglich könnte die höhere Sensitivität des Tests bei den konventionellen Radiographien auch damit zusammenhängen, dass insgesamt bei diesen Readings mehr Bilder für osteopenisch / osteoporotisch gehalten wurden. Dadurch ergab sich ebenso ein höherer Wert bei den falsch positiven Befunden und damit verbunden ein niedrigerer ppv hinsichtlich der konventionellen Aufnahmen. Umgekehrt ist auch der negativ prädiktive Wert, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass der Patient eine „normale“ Knochendichte hat, wenn der Test negativ ausfällt, bei der Auswertung der konventionellen Bilder mit 58,2% höher als bei den digitalen mit 45,4%. Dennoch scheint es für die Konsequenzen, welche sich hieraus für die Patienten ergeben wichtiger, dass bezüglich der konventionellen Gruppe mehr *richtig-positive* Ergebnisse erreicht wurden als bei den digitalen Röntgenaufnahmen, obwohl es den Untersucher gestattet war, digitale Bilder nachzubearbeiten.

Der Kappa-Koeffizient¹² war entsprechend bei den digitalen Aufnahmen unwesentlich niedriger als bei den konventionellen, beide Ergebnisse sind jedoch nach **FLEISS** (1971) bzw. **LANDIS** und **KOCH** (1977) nur als ausreichend bis mangelhaft zu bezeichnen. Er betrug im Mittel 0,19 (s. Tab. 3.21), wobei das Ergebnis von Untersucher 4 mit einem Kappa-Koeffizienten von -0,01 aus der Reihe fällt und nicht in die Mittelwertsberechnung eingegangen ist. Dieser Untersucher hat in seiner langjährigen Berufserfahrung zwar sehr viele konventionelle Röntgenbilder begutachtet, mit den digital erzeugten Bildern jedoch weniger Erfahrung als die übrigen Untersucher (s. Überschrift „berufliche Erfahrung des Untersuchers / Trainingseffekt“). Vor allem auch die unter der Überschrift „Alter und Geschlecht“ diskutierten Variablen spielten bei ihm eine Rolle. Der Kappa-Koeffizient¹³ der konventionellen Bilder betrug im Mittel 0,24. Auch hier stellt sich ein Untersucher als „Ausreißer“ mit einem Kappa-Koeffizienten von 0,07 dar. Grund ist möglicherweise die bei diesem Radiologen am größten ausgeprägte Tendenz zur Überinterpretation der Bilder. Möglicherweise wären seine Ergebnisse besser ausgefallen, wenn eine allgemeinere Fragestellung zugrunde gelegen wäre (wie im klinischen Alltag üblich).

¹² für die Übereinstimmung des jeweiligen Untersuchers mit dem DXA-Ergebnis.

¹³ für die Übereinstimmung des jeweiligen Untersuchers mit dem DXA-Ergebnis.

Interreadervariabilität

Der deutlichste Unterschied zwischen konventionellen und digitalen Aufnahmen zeichnete sich bei der Übereinstimmung der vier Untersucher ab, mit 73,4% (konventionell) im Gegensatz zu 35,4% (digital, s. Tab. 3.21). Die Übereinstimmungen aus den vier Vergleichs-Readings von Untersucher 1 und 4 (s. Tab. 3.26) betrachtet, errechneten sich höhere Prozentwerte: 78,6% (konventionell) und 67,1% (digital). Vergleichbare Werte fanden **JERGAS et al.** (1994): im Mittel 78,0% der Fälle (Kappa im Mittel 0,57) ergaben eine Übereinstimmung jeweils *zweier* Untersucher. Alle neun Untersucher beurteilten nur noch 43,0% der Bilder übereinstimmend.

Es liegt auf der Hand, dass die Zahl der Übereinstimmungen zwischen *zwei* Untersuchern höher liegt als zwischen *vier* Untersuchern. Dies wird auch deutlich beim Vergleich mit der in Kap. 3.6.6 errechneten Prozentwerten an Übereinstimmungen zwischen nur zwei Untersuchern, die höher liegen als bei der Auswertung der vier Untersucher (Kap. 3.4.1).

EPSTEIN et al. (1986) berichten über eine sehr geringe Übereinstimmung ihrer Reader bei der Beurteilung von konventionellen BWS-Aufnahmen mit einem Kappa von 0,38. **JERGAS et al.** (1994) begründeten diese geringe Übereinstimmung mit der noch schwierigeren Evaluation von Röntgenbildern der Brustwirbelsäule.

Sehr deutlich fiel in unserer Studie der Unterschied bei den Übereinstimmungen mit den DXA-Messungen auf: hinsichtlich der Übereinstimmungen der Untersucher *sowohl* untereinander *als auch* mit der DXA zeigten sich lediglich in 50,8% (Untersucher 1 *bis* 4) bzw. 60,2% (Untersucher 1 *und* 4) der Fälle bezüglich der konventionellen Bilder, und nur noch in 25,9% (Untersucher 1 *bis* 4) bzw. 47,2% (Untersucher 1 *und* 4) der digitalen Aufnahmen Übereinstimmungen. Dies veranschaulicht die große Diskrepanz der Antworten mit dem DXA-Ergebnis und zeigt, dass eine Diagnosestellung trotz festgesetzter Kriterien (wie z. B. Trabekelrarefizierung) und langjähriger Berufserfahrung stets subjektiv bleibt.

JERGAS et al. (1994) errechneten entsprechend einen Kappa-Wert im Mittel von 0,50. Dieser liegt im Gegensatz zu unserer Studie nur unwesentlich unter dem Kappa-Wert für die Übereinstimmungen der Untersucher. Die Gründe für diese deutlich besseren Ergebnisse im Vergleich zu vorliegender Studie liegen möglicherweise darin, dass bei **JERGAS et al.**

(1994) zum einen Patienten mit Wirbelkörperfrakturen miteinbezogen wurden, zum anderen bereits ein T-Wert ≤ -2 SD als Osteoporose definiert wurde.

Ebenso stimmten die Untersucher häufiger bezüglich der Anwesenheit einer Osteopenie / Osteoporose überein. Zu diesem Ergebnis kamen auch **JERGAS et al.** (1994), die in ihrer Studie „eine größere Übereinstimmung zwischen DXA- Ergebnis und Untersuchern für einen niedrigen KMG-Gehalt“ bestätigen. Ein Zusammenhang besteht wahrscheinlich in der ohnehin höheren Diagnosesicherheit in dieser Kategorie, was auch eine Übereinstimmung untereinander wahrscheinlicher macht. Patienten mit deutlichen Osteoporosezeichen im Röntgenbild sind leichter zu diagnostizieren. Sobald die Beurteilung in Grenzbereiche fällt, sind unterschiedliche Interpretationen und subjektive Wahrnehmungen, die sich voneinander unterscheiden wahrscheinlicher.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Übereinstimmungen in den Beurteilungen der konventionellen Bilder in jedem Vergleich deutlich besser als die der digitalen ausfallen. Dies zeigt eine erheblich unterschiedliche Befundinterpretation der Untersucher bei den digitalen Bildern, was wiederum die These erhärten dürfte, dass digitale Aufnahmen schwieriger zu beurteilen sind.

Intrareadervariabilität

Hinsichtlich der Übereinstimmungen zwischen erstem und zweitem Reading sind die Ergebnisse mit denen von **JERGAS et al.** (1994) vergleichbar. Sie legten ebenfalls einem Reader die Röntgenaufnahmen ein zweites Mal vor, woraufhin dieser in 78% der Fälle (Kappa-Koeffizient: 0,57) die gleichen Aussagen traf. In vorliegender Studie gelangte Untersucher 1 in 95,3% (Kappa-Koeffizient: 0,88) aller konventionellen Aufnahmen zum gleichen Ergebnis, Untersucher 4 nur in 61,7% (Kappa: 0,29). Gemittelt ergab dies eine Übereinstimmung in 78,5% der Fälle mit einem Kappa-Koeffizienten von 0,59 (s. Tab. 3.30), was in etwa dem Ergebnis von **JERGAS et al.** (1994) entspricht. Auch **EPSTEIN et al.** (1986) erzielten ähnliche Ergebnisse. Zwei ihrer Untersucher beurteilten die Bilder sogar dreimalig. Es errechneten sich Kappa-Werte zwischen 0,49 und 0,64 (im Mittel 0,54), vergleichbar mit unserer Studie sowie mit **JERGAS et al.** (1994). Nach **FLEISS** (1971) und **LANDIS** und **KOCH** (1977) entsprechen diese Ergebnisse einer „guten“ bzw. im Falle von Untersucher 1 unserer Studie einer „sehr guten“ bzw. „nahezu perfekten“ Übereinstimmung. Dies widerlegt die vielleicht nahe liegende Vermutung, dass die Diagnosestellung einer Willkürlichkeit unterliegt.

Die starken Schwankungen innerhalb der Ergebnisse von Untersucher 4 (im digitalen Reading wurden nur 62,0% übereinstimmende Aussagen erreicht, 40,1% korrelierten zusätzlich mit den Ergebnissen der DXA) sind möglicherweise darauf zurückzuführen, dass es dem Untersucher starke Probleme bereitete, die Bilder der Patienten unabhängig ihres Alters zu beurteilen.

Wie Tabelle 3.28 zu entnehmen ist, stimmten die Antworten von Untersucher 1 des 1. Readings in 122 von (95,3%) mit jenen des 2. Readings überein. Zwei Röntgenbilder wurden beim 1. Reading als „normal“, beim zweiten Reading jedoch als osteopenisch / osteoporotisch gesehen. Vier Aufnahmen erhielten beim 1. Reading die Bezeichnung „Osteopenie / Osteoporose“, beim zweiten jedoch „normal“. Diese wenn auch geringe Abweichung zeigt, dass Diagnoseunsicherheiten in bestimmten Fällen möglich sind.

Auch bezüglich der Intrareadervariabilität wird wiederum deutlich, dass unserer Ergebnisse zufolge digitale Röntgenbilder schwieriger zu beurteilen sind.

Diskriminierung Osteopenie - Osteoporose

Bisherige Studien (**WU et al.** 2000, **JERGAS et al.** 1994, **WILLIAMSON et al.** 1990, **EPSTEIN et al.** 1986, **RINGE** und **BUURMANN** 1978) nahmen für ihre Readings lediglich jeweils *eine* (dichotome) Einteilung vor und gliederten pathologische Befunde nicht in Osteopenie und Osteoporose auf.

Die Unterteilung der Kategorie „erniedrigte Knochendichte“ in „Osteopenie“ und „Osteoporose“ sollte zeigen, ob eine genauere visuelle Einschätzung pathologischer Befunde vorgenommen werden kann. Gemäß unserer Studie ist anzunehmen, dass die Unterscheidung zwischen „normal“ und „pathologisch“ leichter fällt, als eine zusätzliche Differenzierung der pathologischen Fälle in „Osteopenie“ und „Osteoporose“. Die Tab. 3.9 und 3.10 bzw. 3.19 und 3.20 veranschaulichen dies. Während bei den konventionellen Röntgenbildern im Mittel nur 29,5% der osteopenischen und 79,8% der osteoporotischen Fälle richtig erkannt wurden, waren es bei der dichotomen Einteilung 85%. Die Bewertung der digitalen Aufnahmen zeigten vergleichbare Ergebnisse (33,8% richtige Aussagen der Kategorie „Osteopenie“, 60,7% der Kategorie „Osteoporose“; hingegen 72% richtige Aussagen bei dichotomer Einteilung).

Zusätzlich gab die dreigeteilte Darstellung Auskunft über die Schwierigkeiten in der Beurteilung. Während Röntgenaufnahmen mit normaler Knochendichte bei den konventionellen Bildern im Mittel in 36,4%, bei den digitalen Bilder in 47,0% richtig erkannt wurden, waren es in der Kategorie „Osteopenie“ nur noch 29,5% (konventionell) bzw. 33,8% (digital, s. Tab. 3.10, 3.20). Als richtig osteoporotisch wurden hingegen 79,8% (konventionell) und 60,7% (digital) beurteilt. Dies macht einerseits die steigende Tendenz richtiger Beurteilungen mit abnehmendem KMG deutlich. Andererseits wird jedoch auch die Schwäche der Untersucher im mittleren Bereich des Knochendichteverlusts („Osteopenie“) deutlich. Scheinbar bereitete es den Untersuchern große Schwierigkeiten, sich zwischen „normal“ und „Osteopenie“ bzw. zwischen „Osteopenie“ und „Osteoporose“ zu unterscheiden.

Beim Vergleich der Ergebnisse der dichotomen Einteilung mit denen der dreigliedrigen Einteilung errechnete sich gemittelt über die vier Untersucher ein Unterschied in den richtig getroffenen Aussagen um 21,8% (konventionell) bzw. 18,1% (digitale, s. Tab. 3.9, 3.10, 3.19 und 3.20) zugunsten der dichotomen Einteilung. Entsprechend resultierten im Mittel höhere

Kappa-Werte (konventionell: 0,24 versus 0,17 ; digital: 0,25 versus 0,20), die jedoch nach der Skala von **LANDIS** und **KOCH** (1977) immer noch lediglich ein „ausreichendes“ bzw. nach **FLEISS** (1971) sogar „mangelhaft bis ungenügendes“ Ergebnis darstellen.

5. Zusammenfassung

Ziel unserer Studie war die Untersuchung der visuellen Erkennung einer Osteopenie / Osteoporose auf digitalen Röntgenbildern im Vergleich mit konventionellen Röntgenbildern.

In einer retrospektiven Analyse wurden die LWS-Aufnahmen von **286** Patienten ausgewertet. **158** Patienten erhielten eine **digitale**, **128** Patienten eine **konventionelle** Röntgenaufnahme der LWS. Als Gold-Standard diente die DXA-Messung der LWS. Als Schwellenwert für die Diagnose einer Osteopenie wurde in Anlehnung an die WHO-Klassifikation (1994) T-Werte ≤ -1 SD bis $-2,5$ SD, für die der Osteoporose ein T-Wert $> -2,5$ SD festgelegt. Vier erfahrene Radiologen mit Expertise auf dem Gebiet der Osteoporose beurteilten (DXA- geblindet, sowie ohne Kenntnis von Alter und Geschlecht des Patienten) getrennt voneinander, ob es sich auf dem jeweiligen Röntgenbild um einen normalen Knochenmineralsalzgehalt oder um eine erniedrigte Knochendichte handelte. Gleichzeitig sollten die Untersucher eine weitere Unterteilung der Aufnahmen, welche sie mit „erniedrigter Knochendichte“ bezeichnet hatten, in „Osteopenie“ oder „Osteoporose“ vornehmen. Patienten/Innen mit Malignomen, ausgeprägt degenerativen Veränderungen, Osteoporose sekundärer Genese, sowie bereits aufgrund einer Osteoporose anbehandelte Patienten wurden ausgeschlossen, um eine mögliche Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden. Damit es nicht zu einer Reader-Bias hinsichtlich der Diagnose „Osteoporose“ kam, wurden ebenso Patienten mit bereits vorhandenen Wirbelkörperfrakturen ausgeschlossen.

Die diagnostische Genauigkeit der visuellen Einschätzung der Röntgenbilder betrug hinsichtlich der dichotomen Einteilung im Mittel 68,0% für **konventionelle** Aufnahmen bzw. 64,3% für **digitale** Aufnahmen. Die Sensitivität betrug bei den **konventionellen** Aufnahmen im Mittel 85,6%, die Spezifität 36,4% (ppv: 70,7%, npv: 58,2%). Für die **digitalen** Röntgenbilder betrug die Sensitivität 72,0%, die Spezifität gemittelt 47,0%, (ppv: 74,2%, npv: 45,4%).

Bei der getrennten Erfassung von Osteopenie oder Osteoporose wurden von den **konventionellen** Aufnahmen 29,5% (Osteopenie) und 79,8% (Osteoporose) als richtig positiv und 14,4% falsch negativ eingeschätzt. Die **digitalen** Röntgenbilder wurden im Mittel mit 33,8% (Osteopenie) und 60,7% (Osteoporose) richtig positiv und 28,0% falsch negativ beurteilt.

Die *Interread*variabilität bei den **digitalen Röntgenaufnahmen** betrug 35,4%, d.h. in 35,4% der Fälle stimmten alle vier Untersucher im Ergebnis überein. In 25,9% der Fälle war die übereinstimmende Antwort richtig. Betreffend der **konventionellen Aufnahmen** stimmten die Untersucher in 73,4% der Fälle überein, in insgesamt 50,8% war die übereinstimmende Antwort richtig.

Die *Intraread*variabilität betrug bei den **digitalen Aufnahmen** 79,7% (Untersucher 1) und 62,0% (Untersucher 4), bei den **konventionellen Röntgenbildern** 95,3% (Untersucher 1) und 61,7% (Untersucher 4).

Zusammengefasst resultierte die Beurteilung der konventionellen Aufnahmen in geringfügig höherer Sensitivität und einer deutlich höheren Übereinstimmung der Untersucher untereinander, vereinbar mit einer „stabileren“ Interpretation der konventionellen Röntgenaufnahmen. Die niedrigere Sensitivität ging bei den digitalen Aufnahmen jedoch mit einer erhöhten Spezifität einher. Die diagnostische Genauigkeit war für beide Methoden (konventionell-digital) nicht unterschiedlich. Der Kontrastabgleich bei der Bildnachbearbeitung durch den Diagnosesteller ist vermutlich der Grund für die falsch normal erscheinende Knochendichte bei digitalen Aufnahmen.

Insgesamt war die Erkennung einer Osteopenie/Osteoporose anhand der Röntgenbilder eingeschränkt. Selbst bei deutlichem KMG-Verlust (T-Werte $\leq -2SD$) wurden noch im Mittel 12,3% der konventionellen und 24,3% der digitalen Aufnahmen falsch-negativ gewertet.

Die digitale Radiographie der LWS erschwert die visuelle Erkennung der Osteoporose. Eine DXA-Messung der LWS bzw. des Femurs ist deshalb bei klinischem Verdacht in jedem Fall angezeigt.

6. Glossar der Abkürzungen

A.p.	Röntgenaufnahme im anterior-posterioren Strahl
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
BMD	Bone mineral density = KMG
BWS	Brustwirbelsäule
DXA	Dual X-ray-absorptiometry
KMG	Knochenmineralgehalt
LWS	Lendenwirbelsäule
npv	negative predictive value (= negativ prädiktiver Wert = negativer Vorhersagewert)
ppv	positive predictive value (= positiv prädiktiver Wert = positiver Vorhersagewert)
SD	Standardabweichungen
WHO	Worlds Health Organization

7. Literaturverzeichnis

1. **Albright, F.; Smith, P.H.; Richardson, A.M.** Postmenopausal osteoporosis. JAMA 1941; 116: 2465ff
2. **Andresen, J.; Nielsen, H.E.** Assessment of bone mineral content and bone mass by non-invasive radiologic methods. Acta Radiologica 1986; 27: 609-617
3. **Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (Hrsg.).** Leitlinien der deutschen Gesellschaft für Osteologie. Diagnostik der Osteoporose. Osteologie 1996; 5(3): 162-173
4. **Ardran, G.M.** Bone destruction not demonstrable by radiography. British Journal of Radiology 1951; 24: 107- 109
5. **Barnett, E.; Nordin, B.E.C.** The radiology of osteoporosis. A new approach. Clinical Radiology 1960; 11: 166ff
6. **Benninghaus, H.** Einführung in die sozialwissenschaftliche Datenanalyse. Stuttgart, 1990
7. **Boukhris, R.; Becker, K.L.** The interrelationship between vertebral fractures and osteoporosis. Clinical Orthopaedics 1960; 90: 209ff
8. **Brosius, G.; Brosius, F.** SPSS Base System und Professional Statistics. 1. Aufl, Bonn, International Thomson Publishing, 1995
9. **Bühling, K.J.; Lepenies, J.; Witt, K.** Intensivkurs: Allgemeine und spezielle Pathologie. München, 2. Auflage, 2000
10. **Cockshott, W.P.; Park, W.M.** Observer variation in skeletal radiology. Skeletal Radiology 1983; 10: 86-90
11. **Cohen, J.** A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurement, 1960; 20:37-46
12. **Cullum, I.D.; Ell, P.J.; Ryder, P.J.** X-ray dual-photon absorptiometry: a new method for the measurement of bone density. British Journal of Radiology, 1989, 62: 587-592

13. **Cummings, SR; Black, D.M.; Nevitt, M.C.; Browner, W.; Cauley, J.; Ensrud, K.; Genant, H.K.; Hulley, S.B.; Palermo, L.; Scott, J.; Vogt, T.M.** Bone density at various sites for prediction of hip fractures: the study of osteoporotic fractures. *Lancet*, 1993; 341: 72-75
14. **Daffner, R.H.** Visual illusions affecting perception of the roentgen image. *CRC Crit Rev Diagn Imaging* 1983; 20: 79-119
15. **Davies, M.; Fleiss, J.L.** Measuring Agreement for Multinomial Data. *Biometrics*, 1982; 38: 1047-1051
16. **Dequeker, J.; Gautama, K.; Roh, Y.S.** Femoral trabecular patterns in asymptomatic spinal osteoporosis and femoral neck fracture. *Clinical Radiology* 1974; 25: 243ff
17. **Dirisamer, A.; Grampp, S.** Radiologische Diagnostik der Osteoporose. *J Miner Stoffwechs*, 2002; 9(4): 7-15
18. **Disen, A.; Frey, H.M.; Langholm, R.; Vagslid, T.** Appearance of trabecular bone in the femoral neck (Singh index). Relation to vertebral bone mass post mortem. *Acta Radiologica Diagn (Stockh)* 1979; 20(2): 372-378
19. **Doyle, F.H.; Gutteridge, D.H.; Joplin, G.F.; Fraser, R.** An assessment of radiological criteria used in the study of spinal osteoporosis. *British Journal of Radiology* 1967; 40: 241ff
20. **Drinka, P.J.; DeSmet, A.A.; Bauwens, S.F.; Rogot, A.** The effect of overlying calcification on lumbar bone densitometry. *Calcif. Tissue Int.* 1992; 50: 507-510
21. **Epstein, D.M.; Dalinka, M.K.; Kaplan, F.S.; Aronchick, J.M.; Marinelli, D.L.; Kundel, H.L.** Observer variation in the detection of osteopenia. *Skeletal Radiology* 1986; 15: 347-349
22. **Finsen, V.; Anda, S.** Accuracy of visually estimated bone mineralization in routine paragraphs of the lower extremity. *Skeletal Radiology* 1988; 192: 861-864

23. **Fischer, M; Kempers, B.** Messverfahren zur Knochendichtebestimmung. Sandorama, 1991; 4: 4-10
24. **Fleiss, J.** Measuring Nominal Scale Agreement among Many Raters. Psychological Bulletin, 1971; 76:378-382
25. **Genant, H.K., Engelke, K.; Fuerst, T.; Glüer, C.C.; Grampp, S., Harris S.T.; Jergas, M.; Lang, T.; Lu, Y., Majumdar, S.; Mathur, A.; Takada, M.** Noninvasive assessment of bone mineral and structure: state of the art. Journal of Bone Mineral Research 1996; 11: 707-730
26. **Genant, H.K.; Heck, L.L.; Lanzl, L.H.; Rossmann, K.; Vander, H.J., Paloyan, E.** Primary hyperparathyroidism. A comprehensive study of clinical, biochemical and radiographic manifestations. Radiology 1973; 109: 513- 519
27. **Glüer, C.-C.; Steiger, P.; Selvidge, R.; Elliesen-Kliefoth, K.; Hayashi, C.; Genant, H.-K.** Comparative assessment of dual-photon absorptiometry and dual-energy radiography. Radiology, 1990; 174: 223-228
28. **Grampp, S.; Jergas, M.; Glüer, C.C.; Lang, P.; Brastow, P.; Genant, H.K.** Radiological diagnosis of osteoporosis: current methods and perspectives. Radiol Clin North Am 1993; 31: 1133-1145
29. **Grote, HJ; Amling, M; Werner, M; Pösl, M; Hahn, M; Delling, G.** Die Osteoporose als Krankheitsbild mit ausgeprägter polyostotischer Heterogenität – Ergebnisse einer histomorphometrischen Analyse der vertebralen Spongiosastruktur. Verh Dtsch Ges Path, 1994; 78: 601
30. **Hahn, M; Vogel, M; Pompesius-Kempa, M; Delling, G.** Trabecular bone pattern factor – A new parameter for simple quantification of bone microarchitecture. Bone 1992; 13: 327-330

31. **Hansen, M.A.; Hassager, C.; Overgaard, K.; Merslew, U.; Riis, B.J.; Christiansen, C.** Dual energy x-ray absorptiometry: a precise method of measuring bone mineral density in the lumbar spine. *J Nucl Med* 1990; 31: 1156-1162
32. **Herold, G.** Innere Medizin. Eine vorlesungsorientierte Darstellung. Köln, 2001
33. **Heuck, F.** Die radiologische Erfassung des Mineralgehaltes des Knochens. In: Handbuch der medizinischen Radiologie, Band IV, Teil 1, 1970.
34. **Heuck, F.** Morphologische und biochemische Untersuchungen über den normalen Alterungsprozeß der Wirbelkörper. In: H. Junghans (ed.): Die wirbelsäule in Forschung und Praxis Bd. 60: Die Adoleszentenkyphose, die Wirbelsäule des Alternden, Stuttgart, 1976
35. **Heuck, F.** Radiologie des gesunden Skeletts. In: Schinz, H.R.; Baensch, W.E.; Frommhold, W.; Glauner, R.; Wellauer, J. (eds.): Lehrbuch der Röntgen-Diagnostik Bd. II/1. Stuttgart, 6. Auflage, 1978
36. **Heuck, F.; Schmidt, E.** Die quantitative Bestimmung des Mineralgehaltes des Knochens aus dem Röntgenbild. *Fortschr. Röntgenstrahlen* 1960; 93: 523-554
37. **Ho, C.P.; Kim, R.W.; Schaffler, M.B.; Sartoris, D.J.** Accuracy of dual energy radiographic absorptiometry of the lumbar spine: cadaver study. *Radiology* 1990; 176: 171-173
38. **Jergas, M.; Genant, H.K.** Current methods and recent advances in the diagnosis of osteoporosis. *Arthritis and Rheumatism*, 1993; 36: 1649-1662
39. **Jergas, M.; Glüer, C.; Grampp, S.; Köster, O.** Radiologische Diagnostik der Osteoporose. Aktuelle Methoden und Perspektiven. *Akt. Radiol.*, 1992; 2: 220-229

40. **Jergas, M.; Uffmann, M.; Escher, H.; Glüer, C.-C., Young, K.C.; Grampp, S.; Köster, O. ; Genant, H.K.** Interobserver variation in the detection of osteopenia by radiography and comparison with dual X-Ray absorptiometry of the lumbar spine. *Skeletal Radiology* 1994; 23: 195-199
41. **Jergas, M.; Schmid G.** Konventionelle Radiologie der Osteoporose und Röntgenabsorptiometrie. *Der Radiologe* 1999; 39 (3): 174-185
42. **Keck, E.** Das Ergebnispapier der „Consensus Development Conference 1993 über Diagnose, Prophylaxe und Behandlung der Osteoporose“. *Osteologie* 1993; 2:181-184
43. **Kovarik, J.; Küster, W.; Seidl, G.; Linkesch, W.; Dorda, W.; Willvonseder, R.; Kotscher, E.** Clinical Relevance of Radiologic Examination of the Skeleton and Bone Density Measurements in Osteoporosis of Old Age. *Skeletal Radiology* 1981; 7: 37-41
44. **Kramer, M.S.; Feinstein, A.R.** Clinical Biostatistics. LIV. The Biostatistics of Concordance. *Clinical Pharmacological Therapy*, 1981; 1:111-123
45. **Krokowski, E.; Polónyi, S.; Fricke, M.** Interpretation der Osteoporosezeichen im Röntgenbild als Teilaspekt der neuen hämodynamisch-biostatistischen Theorie der Osteoporose. *Fortschr. Röntgenstr.* 125, 1976; 4: 310-317
46. **Krølner, B.** Lumbar spine bone mineral content by photon beam absorptiometry. Methodology and application in osteoporosis. Thesis. Copenhagen, 1985
47. **Lachmann, E.; Whelan, M.** Osteoporosis and its limitations. *Radiology* 1936; 26: 165-177
48. **Landis, J.R., Koch, G.G.** The measurement of observer agreement for categorial data. *Biometrics*, 1977; 33: 159-174
49. **Lewis, M.K. ; Blake, G.M. ; Fogelman, I.** Patient dose in dual x-ray absorptiometry. *Osteoporosis International*, 1994; 4: 11-15

50. **Martin, T.J.; Ng, K.W.** Mechanisms by which cells of the osteoblast lineage control osteoclast formation and activity. *J Cell Biochem* 1994, 56: 357-366
51. **Masud, T.; Langley, S.; Wiltshire, P.; Doyle, D.V.; Spector, T.D.** Effect of spinal osteophytosis on bone mineral density measurements in vertebral osteoporosis. *BMJ* 1993; 307: 172
52. **Masud, T.; Spector, T.D.; Langley, S., Wiltshire, P.; Doyle, D.V.** Relationship between lumbar bone density measurements and spinal osteoarthritis. 4th International Symposium on Osteoporosis and Consensus Development Conference, 1993
53. **Minne, H.W.** Einsatz der konventionellen Röntgenuntersuchung bei der Diagnostik und der Therapie der Osteoporose. *Therap. Umschau*, 1991; 48: 120-126
54. **Mosekilde, Li.** Sex differences in age-related changes in vertebral trabecular bone, mass, and structure – biomechanical consequences. *Bone* 1989; 10: 425-432
55. **Mrist, M.R.** Bone as a tissue. In: Rodahl, K.; Nicholson, J.T.; Brown, E.M. (eds.). *Bone as a tissue*; 1960
56. **Mundy, Gr.** Regulation of bone formation by bone morphogenetic proteins and other growth factors. *Clin Orthop Rel Res* 1996; 323: 24-28
57. **Reed, G.W.; Atkinson, P.J.** Studies of boe mineralization. *Brit. Emp. Cancer Campaign Annual Rep*, 1965; 43: 465
58. **Reifenstein, E.C.** Definitions, Terminology and Classification of Metabolic Bone Disorders. *Clinical Orthopaedics* 1957; 9: 30-44
59. **Resnick, D.; Niwayama, G.** Osteoporosis. In: Resnick, D.; Niwayama, G. (eds.): *Diagnosis of bone and joint disorders*. Philadelphia, 2. Aufl. 1988
60. **Richardson, R.B.** Past and revised risk for cancer induced by irradiation and their influence on dose limits. *British Journal of Radiology*, 1990; 63: 235-245

61. **Ringe, J.-D.; Buurman, R.** Der Wert der visuellen Beurteilung des Kalksalzgehaltes an Skelettröntgenaufnahmen. Vergleichende röntgenologisch- densitometrische Untersuchung. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin 1978; 128: 546-550
62. **Ringe, J.D.; Fischer, H.M.; Wahner, H.W.** Diagnostik des Osteoporoserisikos. DMW 1994; 119: 1289-1295
63. **Ross, P.D.; Huang, C.; Karpf, D.; Lydick, E.; Coel, E.; Hirsch, L.; Wasnich, R.** Blinded reading of radiographs increases the frequency of errors in vertebral fracture detection. Journal of Bone Mineral Research 1996; 11 (1): 1793- 1800
64. **Schmidt, R.; Thews, G.; Lang, F.** Physiologie des Menschen. Heidelberg, New York, 28. Auflage 2000
65. **Schneider, R.** Radiologic methods of evaluating generalized osteopenia. Orthop Clin North Am 1986; 15: 631ff
66. **Singh, M.; Riggs, B.L.; Beabout, J.W.; Jowsey, J.** Femoral trabecular-pattern index for evaluation of spinal osteoporosis. Ann Intern Med 1972; 77: 63ff
67. **Snapper, I.** Bone diseases in medical practise. Grune and Stratton, 1957.
68. **Søgaard, C.H.; Hermann, A.P.; Hasling, C.; Mosekilde, Li.; Mosekilde, Le.** Spine deformity index in osteoporotic women: relations to forearm and vertebral bone mineral measurements and to iliac crest ash density. Osteoporosis Int, 1994; 4: 211-219
69. **Thurn, P.; Bücheler, E.; Lackner, K.-J.; Thelen, M.** Einführung in die radiologische Diagnostik. Stuttgart, New York, 10. völlig neubearbeitete Auflage, 1998
70. **Virtama, P.** Uneven Distribution of Bone Minerals and Covering Effect of Non-Mineralized Tissue as Reasons for Impaired Detectability of Bone Density from Roentgenograms. Annales Medicinæ Internæ Fenniae 1960; 49: 57-65

71. **Walter de Gruyter (Hrsg.)**. Pschyrembel. Klinisches Wörterbuch. 258., neu bearbeitete Auflage, 1998
72. **Weiske, R; Lingg, G.; Glüer, C.-C. (Hrsg.)**. Osteoporose. Atlas der radiologischen Diagnostik und Differentialdiagnose. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm, 1998
73. **Williamson, M.R.; Boyd, C.M.; Williamson, S.L.** Osteoporosis: diagnosis by plain chest film versus dual photon bone densitometry. *Skeletal Radiology*, 1990; 19: 27-30
74. **World Health Organisation**. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. WHO Technical Report Series 1994; 843
75. **World Health Organisation**. Prevention and Management of osteoporosis. WHO Technical Report Series 2003; 921: 1-164
76. **Wu, C.; van Kuijk, C.; Li, J.; Jiang, Y.; Chan, M; Countryman, P.; Genant, H.K.** Comparison of digitized images with original radiography for semiquantitative assessment of osteoporotic fractures. *Osteoporos Int* 2000; 11(1): 25-30

Dank

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Reiser für die Überlassung dieses sehr interessanten Themas. Mein besonderer Dank gilt auch Frau Dr. med. Andrea Baur, die mich während der gesamten Zeit stets freundlich und geduldig unterstützt hat.

Frau Aidemir, sowie den Herren Dr. Adelhart und Dirschedl möchte ich für die ausführliche und sehr hilfreiche Beratung bei der Erstellung der Statistiken danken.

Von Herzen danke ich meiner Familie für ihre langjährige Geduld und Fürsorge, ihren moralischen und finanziellen Beistand und Rückhalt. Dies gilt vor allem meinem Vater **Dr. jur. Johannes Laeverenz (†)**, meiner Mutter **Astrid Laeverenz**, meinem Bruder **Dipl.-Ing. Architekt Richard Laeverenz** – dessen Ermutigung mich dieses Studium wagen ließ – und insbesondere auch meiner Tante Dr. med. Doris Dobbstein.

Ohne die langjährige unvergleichlich wertvolle Unterstützung unserer lieben „Hausengel“ Maria und Veronika Valkaj wäre diese Arbeit nicht oder nur unter sehr erschwerten Umständen möglich gewesen, daher auch Ihnen von Herzen „DANKE“.

Auch meinen lieben Freunden möchte ich danken. Dafür, dass sie immer für mich da sind und mir über die Jahre sehr viel Rückhalt und Geborgenheit geschenkt haben. Erwähnen möchte ich hierbei **ohne Anspruch auf Vollständigkeit** Frau Sabine Freund, Frau Susanne Drews, Herrn Martin Remmele, Frau Anja Issle, Frau Astrid Farbmacher und Herrn Daniel Wachter.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meinem lieben Mann **Michael Foti**, für sein immer offenes Ohr bei allen kleineren und größeren Problemen, seine starke Schulter, wenn ich einmal nicht mehr weiter wusste, und seine einführende Liebe.

Für die Unterstützung bei meinen immer wieder neu aufgetauchten statistischen Problemchen möchte ich mich bei Herrn Martin Hillebrandt, und während meiner Korrekturarbeiten bei Frau Dr. med. Sabine Wagner bedanken.

Ebenso danke ich den Herren

Dr. med. Harald Sittek, Dr. med. Harald Bonel, PD Dr. med. Axel Stäbler, Dr. med. Jörg Schüler, die zum Gelingen der Arbeit beitrugen.

Erklärung gemäß §7, Absatz 1 Nr.4

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehenden Personen in der jeweils beschriebenen Weise unentgeltlich geholfen:

1. Frau Dr. Andrea Baur als Betreuerin der Dissertation
2. Frau Aidemir, Herr Dr. Adelhart, Herr Dirschedl standen zur statistischen Beratung zur Verfügung

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung vorliegender Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater/Innen oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Außer den Angegebenen hat niemand von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form in einem anderen Verfahren zur Erlangung des Doktorgrades einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Vor Aufnahme der vorstehenden Versicherung an Eides statt wurde ich über die Bedeutung einer eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung belehrt

Ort, Datum

Gerlinde Annette Foti (Promovierende)

Unterschrift der / des die Versicherung an Eides statt aufnehmenden Beamten /Beamtin

Lebenslauf

Name: **Foti**, geb. Laeverenz
Vorname: Gerlinde Annette
Geburtsdatum: 04.01.1977 in München
Familienstand: verheiratet, 1 Kind

Schulbildung

1983-1987 Grundschole Vaterstetten
1987-1990 Gymnasium Vaterstetten
1990-1993 Gymnasium Max-Josef-Stift, München
1993-1996 Theodolinden-Gymnasium, München

Hochschulbildung

1996-1999 Studium der **Germanistik**, Universität Regensburg
ab 1999 Studium der **Humanmedizin**, Ludwig-Maximilians Universität München
03/2001 ärztliche Vorprüfung
03/2002 erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung
03/2004 zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung
2004- 2005 Praktisches Jahr
April 2005 dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung, Erlangung der Approbation

ab 09/2004 Studium der **Osteopathie** an der „International Academy of Osteopathy“ (I.A.O.)