

Aus der Orthopädischen Universitätsklinik und Poliklinik
Stiftung Friedrichsheim
Frankfurt am Main

Ärztlicher Direktor: Professor Dr. med. L. Zichner

**Bestimmung der Knochenmineraldichte des
Handskelettes und der Körperzusammensetzung der
oberen Extremitäten der dominanten im Vergleich zur
nicht dominanten Seite bei Normalpersonen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Humanmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

vorgelegt von

Maria Parmentier
aus Frankfurt am Main

Frankfurt am Main 2003

Dekan: Prof. Dr. J. Pfeilschifter

Referent: Prof. Dr. L. Zichner

Korreferent: Prof. Dr. T. Vogl

Tag der mündlichen Prüfung: 21.07.2003

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	Seite
1.1.	Finger-/Handdensitometrie	
1.1.1.	Bisherige Erkenntnisse.....	1
1.2.	Total Body Densitometrie	
1.2.1.	Erfassung der "Body composition".....	5
1.3.	Fragestellung der Studie	8
2	Material und Methodik	
2.1.	Patientenkollektiv	9
2.2.	Osteodensitometrie	
2.2.1.	Meßtechniken.....	11
2.2.2.	Meßgerät.....	16
2.3.	Studienablauf	21
2.3.1.	Meßvorgang.....	22
2.3.2.	Auswertung.....	25
2.4.	Statistik	28
3	Ergebnisse	
3.1.	Reproduzierbarkeit	29
3.2.	Knochendichtemessung der Hand	33
3.2.1.	Altersbezogene Mittelwerte Hand gesamt.....	33
3.2.2.	Alters- und geschlechtsbezogene Mittelwerte Hand gesamt.....	48
3.2.3.	Seitenbezogene Mittelwerte Hand gesamt.....	65
3.3.	Ergebnisse der Ganzkörpermessung (whole body)	68
3.3.1.	Altersbezogene Mittelwerte des Arms	69

3.3.1.1.	BMD (g/cm ²) Arm gesamt.....	69
3.3.1.2.	BMC (g) Arm gesamt.....	71
3.3.1.3.	Muskelmasse (g)) Arm gesamt.....	72
3.3.1.4.	Fettmasse (g)) Arm gesamt.....	74
3.3.1.5.	Fettgehalt (%) Arm gesamt.....	75
3.3.1.6.	Totale Masse (g) Arm gesamt.....	76
3.3.2.	Seitenbezogene Mittelwerte des Armes.....	78
3.3.3.	Alters- und geschlechtsbezogene Mittelwerte des	
	Arms.....	80
3.3.3.1.	BMD (g/cm ²) Arm männlich/weiblich.....	80
3.3.3.2.	BMC (g) Arm männlich/weiblich.....	82
3.3.3.3.	Muskelmasse (g) Arm männlich/ weiblich.....	85
3.3.3.4.	Fettmasse (g) Arm männlich/ weiblich.....	87
3.3.3.5.	Fettgehalt (%) Arm männlich/ weiblich.....	89
3.3.3.6.	Totale Masse (g) Arm männlich/ weiblich.....	92
3.4.	Korrelation.....	94
4	Diskussion	
4.1.	DEXA.....	100
4.2.	Einfluß der Händigkeit auf die "body composition" der oberen Extremität.....	102
4.3.	Einfluß der Händigkeit auf die Knochendichte in verschiedenen Regionen der Hand.....	105
5	Zusammenfassung.....	111
6	Literaturverzeichnis.....	113
7	Anhang.....	124

8 Danksagung

9 Lebenslauf

10 Ehrenwörtliche Erklärung

1 Einleitung

1.1. Finger-/Handdensitometrie

1.1.1. Bisherige Erkenntnisse

Messungen an den Knochen der Hände (Phalangen und Handwurzelknochen) werden bereits seit über 50 Jahren zur Erhebung des Skelettstatus durchgeführt. Gerade in der Osteoporosediagnostik und zur Einschätzung des Frakturrisikos ist die Knochendichtemessung die zur Zeit gängigste Methode. Durch die gleichzeitige Präsenz von Kompakta und Spongiosa ist die Metaphyse der Phalangen eine geeignete Region zur Messung der Mineralisation und Struktur des Knochens. Voraussetzung für die Meßverfahren sind hinreichende Präzision, niedrige Kosten, einfache Handhabung der Geräte, leichte Zugängigkeit der zu messenden Regionen und niedrige Strahlenbelastung, so daß mit dieser Methode möglichst viele Personen gemessen, diagnostiziert und daraufhin auch behandelt werden können. Dabei sind periphere Körperregionen, z. B. Hände/Finger, einer Messung leichter zugänglich und auch mit einer geringeren Strahlenbelastung der inneren Organe verbunden als bei Messungen der Wirbelsäule. BMD-Messungen (=Knochendichtemessungen) der Finger gehen - im Vergleich zu Messungen des Vorderarmes - mit einer signifikanten Reduktion sowohl der Streustrahlung als auch der Aufhärtung der Strahlung ^[118] einher. Außerdem sind Messungen von peripheren Regionen mit nur wenig umgebendem Weichgewebe, wie bei Arm und Hand, mit geringeren Präzisionsfehlern verbunden ^[95].

Verschiedene Studien haben gezeigt, daß die diagnostische Sensitivität der Knochendichtemessungen an Händen/Fingern vergleichbar ist mit Messungen der BMD des Vorderarmes ^[10,46,97,107,109,118]. Sie können unter anderem herangezogen werden, um das Osteoporose- und Frakturrisiko abzuschätzen. So wurde nachgewiesen, daß Knochendichtemessungen peripherer

Skelettregionen, u.a. der Hände, zur Einschätzung des Wirbelsäulenfrakturrisikos geeignet sind ^[8,116]. Zudem besteht eine signifikante Beziehung zwischen der BMD der Finger und dem Hüftfrakturrisiko ^[79]. Desweiteren wurden BMD-Messungen der Phalangen durchgeführt, um den altersbedingten Knochenverlust zu quantifizieren ^[64,97,109], der in den Phalangen größer ist als in LWS und Femur.

Neben der Abschätzung des Frakturrisikos können BMD-Messungen der Hände jedoch auch zur Diagnose, Verlaufsbeobachtung und Therapiekontrolle unterschiedlicher Erkrankungen eingesetzt werden. Die Verlaufsbeobachtung mittels BMD-Messung ermöglicht die quantitative Bestimmung der Knochendichte und Lokalisation der frühesten bzw. stärksten Atrophie im Handskelett.

Insbesondere in der Diagnostik der chronischen Polyarthrit (cP) ist die Knochendichtemessung der Hände interessant, da hier der Knochenverlust insgesamt schneller voranschreitet und bereits früher nachweisbar ist als in anderen Skelettregionen ^[24,90]. Erster Manifestationsort der cP sind oft die Hände, wo es zu symmetrischen Schwellungen an den Metacarpophalangeal- und Interphalangealgelenken kommt. Eine der ersten röntgenologischen Veränderungen, die sich darstellen, ist daher der periartikuläre Knochenverlust in den Händen ^[2,12]. Man hat eine signifikant größere BMD-Abnahme der Hände/Finger in einem früheren Stadium nachweisen können als es mit einer Messung der BMD von LWS und Femur möglich ist, da die Hüfte nicht immer und die Wirbelsäule nur sehr selten in den Krankheitsprozeß involviert sind. Der durchschnittliche BMD-Verlust der Hände liegt bei der chronischen Polyarthrit bei 23% gegenüber 16% im Femur und jeweils 11% in der LWS (Lendenwirbelsäule) und "Total body" (Ganzkörper) ^[20,90]. Die Hand als ein Ort, wo somit die ersten faßbaren knöchernen Veränderungen bei der chronischen Polyarthrit auftreten ^[29], könnte sich daher besonders gut eignen, um die Schwere der Krankheit zu verifizieren und zu quantifizieren. Die BMD

der Hand korreliert nachgewiesenermaßen mit der Krankheitsschwere, der Progression und der Funktionalität und könnte so auch für das Krankheitsstaging eingesetzt werden [24,30,34,90,105].

Die meisten Studien, die Knochenveränderungen bei der chronischen Polyarthritits untersucht haben, sind jedoch durch die verfügbare Technik begrenzt gewesen und haben in der Regel die Knochenmasse in der LWS, dem Femur oder dem distalen Radius bestimmt und immer unterschiedliche Resultate gezeigt [17,43,93,99-100,102,117]. Aus diesem Grunde sind dies sicherlich keine idealen Regionen, um eine cP in ihrem Verlauf zu beobachten.

Um den Knochenmineralverlust zu verifizieren, war daher das konventionelle Röntgen der Hand der bisherige "Goldstandard" - allerdings verbunden mit geringer Sensitivität und Reproduzierbarkeit. Aber gerade die Quantifizierung der frühen periartikulären Osteoporose bei der cP hängt sehr von der Qualität des Röntgenapparates ab [21]. Mittlerweile sind jedoch densitometrische Verfahren entwickelt worden, die eine reproduzierbare, akkurate und präzise Messung erlauben und die so dazu in der Lage sind, eine chronische Polyarthritits rechtzeitig zu diagnostizieren, in ihrem Verlauf zu beobachten und therapeutische Erfolge zu messen.

Desweiteren ist die BMD-Messung der Hände auch sinnvoll im Hinblick auf die Früherkennung eines Morbus Sudeck. Dieser tritt anscheinend gehäuft nach brüskem oder wiederholten Repositionsmanövern, durch einschnürende Verbände oder langdauernde Frakturschmerzen insbesondere nach distalen Radiusfrakturen auf. Er ist gekennzeichnet durch eine lokale Perfusions- und Stoffwechselstörung aller Weichteilschichten und des Knochens der betroffenen Extremität und geht im Krankheitsverlauf mit einer zunehmenden Rarefizierung der Kortikalis und Demineralisation und im Endstadium mit einer ausgeprägten Osteopenie einher [78]. Bisher bieten für die Früherkennung einer Heilentgleisung im Stadium I lediglich die mehr oder weniger stark ausgeprägten klinischen Symptome einen Anhalt. Aber gerade im Frühstadium ist der M. Sudeck noch gut therapierbar und seine Früherkennung wäre äußerst wertvoll. Eine posttraumatische Messung der Hände könnte im Vergleich mit

dem "physiologischen" Abbau nach Radiusfrakturen einen M. Sudeck sehr früh aufdecken ^[6]. Es konnte gezeigt werden, daß der durchschnittliche Knochenverlust distal der Fraktur größer ist als proximal. Nach distalen Radiusfrakturen beträgt er im Bereich der Hand nach 6 Wochen insgesamt 9% und ist mit 18% in den Handwurzelknochen am größten. Erst nach ca. 4 Jahren kann die BMD der nicht frakturierten Seite wieder erreicht werden. Patienten mit einem M. Sudeck zeigen nach 6 Wochen einen vergleichsweise höheren Knochenverlust von insgesamt 15% ^[56].

In mehreren Querschnittsstudien ist der positive Effekt sportlicher Aktivität auf die Knochenmineraldichte bereits dokumentiert worden ^[47,57,82]. Personen mit regelmäßig sportlicher Bewegung haben signifikant höhere BMD-Werte verglichen mit nicht sportlichen Kontrollpersonen sowie eine höhere Griffstärke im Bereich der Hände ^[89]. Es existieren einige wenige Studien, die in Anlehnung daran den Einfluß der Händigkeit auf die physiologische Knochenmineraldichte der Hände und den Muskel-, Mineral- und Fettgehalt der Arme untersucht haben. Dabei zeigte sich, daß die Händigkeit angeblich keinen signifikanten Einfluß auf die BMD des Vorderarmes ^[83], die BMD der Hand ^[7,20] oder der Finger (Messungen wurden hierbei mit Ultraschall durchgeführt) ^[115] habe. Allerdings wurden verschiedene Meßtechniken mit unterschiedlicher und z. T. geringer Präzision verwendet, so daß allgemeine Schlußfolgerungen daraus nur sehr vorsichtig zu ziehen sind. Gleichzeitig wurde aber beschrieben, daß das gemessene Handvolumen in der dominanten Hand ^[20,110] signifikant größer ist als in der nicht dominanten Hand ^[20,110], bei gesunden Personen die BMD der Handwurzelknochen und des 3. Fingers signifikant größer ist als die BMD der anderen Finger ^[110] und Frauen eine durchschnittlich niedrigere BMD und BMC aufweisen als Männer ^[20,110].

1.2. Total Body Densitometrie

1.2.1. Erfassung der "body composition"

Neue Fortschritte in der Erfassung der Körpergewebszusammensetzung ("body composition") erlauben uns heute, deren Hauptkomponenten Knochenmineralmasse, Körperfettmasse und Muskelmasse hinreichend zu quantifizieren. Bisher wurden zur Untersuchung der "body composition" die Hydrodensitometrie ^[50-51,68,81], die Ganzkörperunterwassermessung ^[50,68,81], die Bestimmung des Knochencalciumgehalts mittels Neutronenanalyse ^[50,74], Messungen des Ganzkörperkaliumgehalts ^[9,32,50-51,68], des bioelektrischen Widerstandes ^[22-23,25,81,86], der bioelektrischen Leitfähigkeit ^[81,114] und die "Dual-Photon-Absorptiometry" ^[50-51,74] eingesetzt. Diesen Verfahren ist jedoch gemeinsam, daß sie letztendlich nicht in der Lage sind, alle drei Komponenten mit ausreichender Präzision zu ermitteln, insbesondere den Körperfettgehalt, der meist extrapoliert und nicht direkt gemessen wird ^[52]. Außerdem ist ihre Verfügbarkeit und Anwendung auf alle Bevölkerungsgruppen begrenzt.

Seit Beginn der 90er Jahre ermöglicht uns die neu entwickelte Methode DEXA (Dual X-ray Absorptiometry), die präzisere und schnellere Messung aller drei Komponenten. Mit DEXA können bereits frühzeitig Veränderungen der "body composition", z. B. eine Malnutrition, erfaßt werden, noch bevor andere Verfahren dazu überhaupt in der Lage sind ^[66-67]. Das Einsatzgebiet dieser Methode ist daher sehr vielseitig.

Deswegen haben sowohl in der klinischen Medizin als auch in der Forschung Messungen der Körpergewebszusammensetzung aufgrund der verbesserten Technik in den letzten Jahren an Bedeutung zugenommen. So werden heute Wachstumsstörungen, Veränderungen der "body composition" im Alter sowie bei neuromuskulären Erkrankungen und der Effekt sportlichen Trainings auf die Körpergewebszusammensetzung untersucht. Auch pharmazeutische Studien machen sich die DEXA-Technik zunutze, um den Effekt neuer Therapien, z.B. bei Fettleibigkeit, auf die "body composition" zu prüfen.

DEXA fand seine erste Anwendung im Rahmen der Ganzkörpermessung bei der Beobachtung von Veränderungen der Knochen- sowie Muskel- und Fettmasse bei fettleibigen Patienten, die sich einer Diät unterzogen haben. Dabei beobachtete man, daß DEXA in akkurater Weise Änderungen des Körpergewichtes anzeigt ^[3,31].

Studien, die Differenzen der "body composition" zwischen Männern und Frauen analysiert haben, demonstrierten, daß Männer einen durchschnittlich 50 % größeren Anteil an Muskelmasse und 13 % weniger Fettmasse als Frauen aufweisen. Desweiteren haben premenopausale Frauen signifikant weniger Fettmasse (ca. 4%) als postmenopausale Frauen. Der androide Fettanteil ist bei Männern deutlich größer als bei Frauen, für den gynoiden Fettanteil gilt das Gegenteil ^[70]. Der Ganzkörperknochenmineralgehalt (BMC_{TB}) ist bei Frauen signifikant niedriger als bei Männern und bei Personen, die älter als 60 Jahre sind, niedriger als bei jüngeren Männern und Frauen ^[65].

Einige Studien haben Veränderungen der "body composition" im höheren Lebensalter erörtert. Während bei jungen Erwachsenen die "body composition" relativ beständig ist und nur beeinflusst wird durch ethnische Zugehörigkeit ^[27,80], sportliche Betätigung ^[91], Schwangerschaft ^[11] und Krankheit, findet sich bei Frauen in der Postmenopause sowohl eine Reduktion der Muskelmasse als auch gleichzeitig eine Akkumulation von zentralem Fett ^[40-41,53,73,98]. Frontera et al. fanden heraus, daß sich die Muskelkraft in den Armen dabei wesentlich schneller reduziert als in den Beinen ^[35], wohingegen Madsen et al. gleiche Verluste in Armen und Beinen fanden ^[71]. In der Menopause kommt es außerdem zu einer durchschnittlichen Abnahme der Ganzkörperknochendichte (BMD_{TB}) um 15%. Dieser Knochenverlust kann durch sportliche Betätigung zwar nicht rückgängig, aber zumindest aufgehalten werden ^[109]. Bei einer Osteoporose dagegen beträgt der Verlust der BMD_{TB} über 25%, so daß diese mit einem einfachen "Total body"-Scan erfaßt werden kann. Osteoporosepatienten weisen T-Scores auf, die vom -3 bis zum -4fachen der

Standardabweichung (SD) reichen, und Z-Scores vom -1,5fachen der SD verglichen mit der gleichaltrigen Normalbevölkerung [5,14,44,75,85-87]. Gerade diese hohe Sensitivität und gleichzeitig niedrige Präzisionsfehler bei mit DEXA durchgeführten Messungen machen die BMD_{TB} im klinischen Alltag sehr attraktiv. Bei einer Osteoporose kommt es sowohl zu einer signifikanten Reduktion der Muskelmasse als auch der Fettmasse im Vergleich zu gleichaltrigen Kontrollpersonen [53,73].

Es wurde desweiteren beschrieben, daß das Körpergewicht (und der Fettgehalt) die "body composition" beeinflusst. So weisen schwere Individuen mit überdurchschnittlichem Body mass index (BMI) höhere Werte und einen geringeren Knochenverlust im Alter [84,88,94] auf. Die BMC_{TB} zeigt mit jedem zusätzlichen Kilogramm Körpergewicht eine Zunahme um 1% [94]. Übergewichtige weisen Werte auf, die um 0,5 bis 1 SD über den Normalwerten liegen, wohingegen untergewichtige Personen 0,5 bis 1 SD darunter liegen.

Es stellt sich nun die Frage, inwieweit Knochen-, Muskel- und Fettmasse der Arme durch die Händigkeit bestimmt werden. Bisher existieren nur sehr wenige Studien, die diese Fragestellung untersucht haben. Gerade im Hinblick auf das Gutachtenwesen jedoch ist die Kenntnis einer evtl. vorhandenen seitendifferenten Bemuskelung der Extremitäten extrem wichtig. Bisher haben Analysen der Gewebzusammensetzung der oberen Extremitäten im Hinblick auf den Einfluß der Händigkeit widersprüchliche Resultate ergeben. Einerseits sind signifikante Unterschiede - bezogen auf die Händigkeit und unabhängig von der sportlichen Aktivität - bei BMD , BMC und Muskelmasse zwischen linkem und rechtem Arm angegeben worden [49,108], andererseits weisen weitere Studien diese Unterschiede als signifikant nur bei Tennisspielern aus, die in der Regel eine deutliche Radiushypertrophie aufweisen und bei denen Differenzen bis zu 40 % bezüglich BMD , BMC und Muskelmasse zwischen dominantem und nicht dominanten Arm auftreten können [5,45,55,58]. Auch Baseballspieler zeigen neben einer Humerushypertrophie ähnliche Differenzen.

1.3. Fragestellung der Studie

Für die Früherkennung der rheumatoiden Arthritis sowie eines M. Sudeck wird die Kenntnis des "physiologischen" Knochenmineralsalzgehaltes entsprechend der Händigkeit vorausgesetzt. Um letzteres zu eruieren, soll die Studie dienen. Ferner soll ein objektives und sensitives Maß für die Beurteilung des Ausmaßes einer seitendifferenten Bemuskulung der oberen Extremitäten, z. B. im Gutachtenwesen, erarbeitet werden.

Die primären Zielvariablen sind die Knochenmineraldichte der Hände sowie die Muskel-, Mineral- und Fettmasse der oberen Extremitäten absolut und relativ zur dominanten Seite. Anhand dieser Variablen soll das Ausmaß der "physiologischen" Gewichtung durch die Händigkeit bestimmt werden und Berücksichtigung finden bei der Beurteilung fraglicher "pathologischer" Entmineralisierung, bzw. Muskelatrophie einer Seite.

Dabei wurden folgende Gesichtspunkte analysiert:

- Wie hoch ist die Reproduzierbarkeit der verwendeten Methode?
- Gibt es einen signifikanten Unterschied in Bezug auf BMD und BMC zwischen linker und rechter Hand, bzw. Muskel-, Mineral- und Fettmasse zwischen linkem und rechtem Arm, wo ist der größte prozentuale Unterschied und wie groß ist dieser in den verschiedenen Altersgruppen?
- Nimmt diese Diskrepanz - wenn vorhanden - mit steigendem Alter zu, bzw. ab?
- Gibt es eine signifikante Abweichung im Hinblick auf die genannten Zielvariablen zwischen männlichen und weiblichen Individuen und wie groß ist diese Abweichung?
- Besteht eine Korrelation zwischen BMD und BMC von Hand, Arm bzw. "whole body" einerseits und Muskelmasse, Alter, Größe oder Körpergewicht andererseits?

2 Material und Methodik

2.1. Patientenkollektiv

Insgesamt wurden 114 gesunde weiße Männer und Frauen in diese Studie einbezogen.

Die Personenauswahl erfolgte dabei rein zufällig über einen Zeitraum von 10 Monaten.

Bei den gemessenen Personen handelt es sich um freiwillige Normalpersonen, d.h. Frauen und Männer im Alter zwischen 20 und 82 Jahren, die aus dem Bekanntenkreis stammen, sowie um Studenten und Klinikpersonal. Alle haben eine Studieneinverständniserklärung unterschrieben.

Ausgeschlossen wurden Personen mit Verletzungen (Traumen aller Art) an den oberen Extremitäten mit Ruhigstellung über mehr als zwei Wochen Dauer nach dem 13. Lebensjahr oder/und trophischer Störung, mit ausgeprägten systemischen Knochenerkrankungen (z.B. rheumatische Erkrankungen, Hyperthyreose, sekundäre Osteoporose) oder mit Einnahme von Medikamenten, die den Knochenstoffwechsel beeinflussen (z.B. Steroide, Fluoride, Alendronate, Östrogene, Vit. D, Calcium oder Antikonvulsiva); desweiteren Personen mit nicht entfernbaren Fingerringen (da das Metall der Ringe die Meßergebnisse verfälscht) oder Personen, die nicht in der Lage waren, die Hand während der Messung flach zu halten (z.B. bei einer Dupuytren-Kontraktur oder einer rheumatoiden Arthritis) sowie schwangere Frauen.

Insgesamt wurden 71 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 50,3 Jahren (22-82 Jahre), davon 62 Rechts- und 9 Linkshänderinnen und 43 Männer mit einem Durchschnittsalter von 46 Jahren (20-78 Jahre), davon 33 Rechts- und 10 Linkshänder in die Studie eingeschlossen. Die folgende Tabelle (s. Tabelle 2.1.1.) gibt die Daten des Personenkollektivs wieder.

Die Studie wurde als Querschnittsstudie und hinsichtlich Auswertung des Zielkriteriums verblindet durchgeführt.

Geschlecht w / m	n Links-/ Rechtshänder	Durchschnittsalter(J.) ± 1 SD [Spannweite]	Größe (m) ± 1 SD [Spannweite]	Gewicht (kg) ± 1 SD [Spannweite]	BMI (kg/m ²) ± 1 SD [Spannweite]	BMD whole body (T-Score) ± 1 SD [Spannweite]
gesamt	114 19 / 95	48.7 ± 17.18 [20, 82]	1.69 ± 0.10 [1.52, 1.98]	70.3 ± 12.6 [47, 108]	24.6 ± 4.11 [17.47, 45.83]	-0.15 ± 1.18 [-3.34, 2.36]
20- 29 Jahre	22 7 / 15	23.9 ± 2.26 [20, 28]	1.7 ± 0.11 [1.52, 1.95]	66.3 ± 10.37 [48.5, 90]	22.3 ± 2.67 [17.78, 29.25]	0.27 ± 0.88 [-1.09, 2.36]
30- 39 Jahre	13 4 / 9	33.9 ± 3.36 [30, 39]	1.76 ± 0.10 [1.59, 1.98]	70.7 ± 13.94 [50.5, 98]	22.6 ± 2.34 [17.47, 25.75]	0.02 ± 0.9 [-1.91, 1.71]
40- 49 Jahre	18 2 / 16	44.6 ± 2.88 [40, 49]	1.66 ± 0.09 [1.54, 1.89]	66.6 ± 11.16 [52.5, 92]	23.8 ± 2.5 [19.55, 28.87]	0.26 ± 0.86 [-1.44, 2.16]
50- 59 Jahre	29 3 / 26	53.5 ± 2.52 [50, 59]	1.71 ± 0.07 [1.54, 1.83]	73.0 ± 11.87 [47, 98]	25.05 ± 3.7 [18.44, 37.04]	0.13 ± 0.83 [-1.44, 1.73]
60- 69 Jahre	16 2 / 14	63.4 ± 3.03 [60, 69]	1.67 ± 0.11 [1.52, 1.84]	75.9 ± 15.28 [49, 108]	27.3 ± 5.88 [19.54, 45.83]	-0.54 ± 1.46 [-2.71, 2.36]
70- 82 Jahre	16 1 / 15	75.7 ± 3.53 [70, 82]	1.60 ± 0.05 [1.53, 1.73]	68.7 ± 11.26 [52, 95]	26.8 ± 3.94 [18.74, 33.62]	-1.44 ± 1.20 [-3.34, 1.48]

Tabelle 2.1.1.: Daten des gesamten Personenkollektivs

SD = Standardabweichung

m = männlich

w = weiblich

2.2 Osteodensitometrie

2.2.1 Meßtechniken

Es gibt heute verschiedene Möglichkeiten, die Knochendichte zu bestimmen. Das älteste und bekannteste Verfahren ist die native Röntgenaufnahme, auf der Knochendichteveränderungen allerdings erst ab einem Knochenmineralverlust von ca. 30 % zu erkennen sind. In diesem Stadium sind meist schon klinische Symptome vorhanden und die Therapiemöglichkeiten deutlich begrenzt. Deswegen wurden Geräte entwickelt, die Dichteänderungen bereits in einem früheren Stadium anzeigen.

Die heute in der Osteoporosediagnostik eingesetzten Meßgeräte ermöglichen eine nichtinvasive Messung des Knochenmineralgehalts mit hoher Präzision und deutlich reduzierter Strahlenbelastung (bis 5 μSv) im Vergleich zum konventionellen Röntgenbild. Die Messung der Knochendichte mit diesen Geräten der ersten Generation beruht letztendlich immer auf demselben Prinzip: Die Schichtdicke, bzw. Masse des zu untersuchenden Knochens wird durch Messung der Absorption von Photonenstrahlung bestimmt. Dabei errechnet sich die Schichtdicke nach dem allgemeinen Schwächungsgesetz :

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot l}$$

I_0 = Strahlungsintensität

I = Strahlungsintensität nach Durchtritt durch Gewebe

μ = gewebe-, materialspezifischer Schwächungskoeffizient (cm^{-1})

l = Schichtdicke (cm)

Diese Gleichung geht allerdings davon aus, daß die Photonenstrahlung nur Gewebe mit gleichem Schwächungskoeffizienten durchdringt. In der Messung der Knochendichte muß allerdings auch das umgebende Weichteilgewebe berücksichtigt werden, das ebenfalls zu einer Schwächung der

Photonenstrahlung führt, d.h., Geräte zur Messung der Knochendichte müssen in der Lage sein, zwischen Knochen (mit anorganischen Bestandteilen) sowie fett- und wasserhaltigem Gewebe (rotes Knochenmark/ Muskulatur) zu differenzieren.

Dies führte zur Entwicklung von Geräten mit Einsatz von Photonenstrahlung zweier unterschiedlicher Energieniveaus, die es ermöglichen zwischen Knochen und Weichteilgewebe zu unterscheiden, da beide Gewebe entsprechend der verwendeten Photonenenergien unterschiedliche Absorptionsmaxima besitzen.

Auf diese Weise kann bei Bestimmung der Knochendichte der umgebende Weichteilmantel eliminiert werden. Die Berechnung der Knochendichte erfolgt nun wieder unter Verwendung obiger Gleichung, allerdings unter Einsatz sowohl zweier Schwächungskoeffizienten als auch zweier unterschiedlicher Schichtdicken - Knochen und Weichteilgewebe entsprechend :

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu_k \cdot l_k - \mu_w \cdot l_w}$$

k : Knochen

w : Weichteile

Zu den frühesten nichtinvasiven Methoden, die die Knochenmasse quantitativ erfassen, zählt man die Photodensitometrie (PD) sowie die Radiographische Absorptiometrie (RA). Bei beiden Verfahren erfolgt zunächst eine konventionelle Röntgenaufnahme der Hand zusammen mit einem aus einer Aluminiumlegierung bestehenden Keil, dessen Umfang und Dichte bekannt sind und dessen Werte als Referenzwerte herangezogen werden.

Bei der Photodensitometrie, die vor ca. 60 Jahren an der Pennsylvania State University entwickelt wurde, erfolgt anschließend eine optische Dichtemessung mit einem Spectrophotometer. Aufgrund geringer Präzision und Genauigkeit mit Fehlerraten von mehr als 50 %, insbesondere bei Messungen des Achsenskeletts, beschränkte sich der Einsatz auf Forscherlaboratorien in den 60er und 70er Jahren ^[1,54,77].

Die RA, entwickelt in den 70er Jahren von Colbert und Bachtell^[16], stellt nun einen erheblichen Fortschritt gegenüber der Photodensitometrie dar. Der belichtete Film wird von einer hochauflösenden Kamera abgetastet und die Werte werden an einen Computer übermittelt, der zunächst das Bild des Referenzkeils, dessen Dichte bekannt ist, analysiert. Anschließend wird die Knochendichte der Phalangen ermittelt, indem die optische Dichte (gemessen an der Schwärzung des Films) der Knochen mit der des Aluminiumkeils verglichen wird. Die wesentlich reduzierten Fehlerraten (Präzisionsfehler liegt bei 1 %) ^[79], die schnellere Messung, die geringen Kosten und die einfache Handhabung haben zu einem mannigfaltigen Einsatz der RA in der Klinik geführt ^[18,96]. Allerdings liegt die Strahlendosis bei einer Aufnahme der Hand mit 10 µSv höher als bei der neueren DEXA-Methode mit nur 0,05 µSv ^[118].

Die hohe Fehlerrate der älteren radiographischen Methoden führte 1963 zur Entwicklung der SPA (Single Photon Absorptiometry) durch Cameron und Seronson. Diese Methode beruht auf einer Schwächung der emittierten Strahlen im Gewebe und arbeitet mit einem exakt zielfokussierten Strahl (Pencil beam), so daß die Streustrahlung möglichst gering gehalten wird. Als Strahlenquelle dient ein Radionuklid, das I^{125} , das mit nur einem Energiemaximum arbeitet. Auf diese Weise werden die Unterschiede der Strahlenquellen und die Aufhärtungseffekte der polychromatischen Röntgenstrahlen eliminiert. Um die uneinheitliche Weichteilmantelung des Knochens zu kompensieren, muß die zu untersuchende Extremität ins Wasserbad gelegt werden, da Wasser und Weichteilgewebe bei richtiger Auswahl der Photonenenergie den gleichen Schwächungskoeffizienten haben. Dadurch ist das Einsatzgebiet dieser Technik auf Regionen mit wenig Weichgewebe beschränkt und findet deswegen seine Anwendung vornehmlich in der Knochendichtemessung peripherer Knochen wie dem distalen Radius und Kalkaneus.

Aber auch diese Methode ist in ihrer diagnostischen Sensitivität begrenzt. Um bei der Knochendichtemessung den um den Knochen befindlichen

Weichteilmantel eliminieren zu können, wurde SPA bald weiterentwickelt zur DPA (Dual Photon Absorptiometry). Die heute eingesetzten Techniken zur nichtinvasiven Knochendichtemessung, die mit Photonenstrahlung unterschiedlicher Energiemaxima arbeiten, sind die DPA (Dual Photon Absorptiometry) sowie DEXA (Dual-Energy X-Ray Absorptiometry).

Bei der DPA wird ein radioaktives Isotop (Gadolinium - 153) als Strahlenquelle eingesetzt, bei dessen Zerfall Photonen mit Energien von 44 keV und 100 keV emittiert werden. Diese Art der Messung wird allerdings zunehmend durch das sich seit Beginn der neunziger Jahre etablierte DEXA verdrängt: Hier werden von einer Röntgenröhre ausgehend - durch Umschalten der Röhrenspannung zwischen zwei Spannungen sowie durch Zwischenschalten von Spezialfiltern oder Detektorsystemen, die Photonen bestimmter Energien herausfiltern - Photonenstrahlungen verschiedener schmalbandiger Energieniveaus erzeugt. Die Dual-Energy X-Ray Absorptiometry zeichnet sich gegenüber der DPA aus durch verbesserte Präzision, kürzere Scanzeiten (DPA im Durchschnitt 10-15 Minuten, DEXA im Durchschnitt 3-5 Minuten), bessere Bildauflösung, erhöhte Reproduzierbarkeit sowie eine verminderte Strahlenbelastung^[76]. Da DEXA ein zweidimensionales Projektionsverfahren ist, wird die Knochendichte (Bone Mineral Density = BMD) nicht im herkömmlichen Sinne als Masse pro Volumen, sondern als Masse pro Fläche berechnet: Die Knochendichte errechnet sich als Gramm (Bone Mineral Content = BMC) eines Knochenäquivalents pro Quadratzentimeter gemessener Fläche, damit hat die Knochendichte die Einheit g/cm². DEXA kann aufgrund dieses Verfahrens bei der Messung der Dichte nicht zwischen Kortikalis und Spongiosa differenzieren, was insofern von Bedeutung ist, als daß die Spongiosa als Region höherer Stoffwechselaktivität von einem Knochenabbau früher betroffen ist als die Kortikalis und als empfindlicher Parameter zur Früherkennung von Knochenverlusten herangezogen werden kann.

Die einzige nichtinvasive Technik, die es uns heute ermöglicht, zwischen Kortikalis und Spongiosa zu differenzieren, ist die quantitative Computertomographie (qCT), die die Knochendichte in einem

dreidimensionalen Verfahren mißt - also im herkömmlichen Sinne als Masse pro Volumen - allerdings aufgrund der unvergleichlich höheren Strahlenbelastung ($>100\mu\text{Sv}$) und der größeren Kosten gegenüber DEXA eine untergeordnete Rolle spielt.

Die Weiterentwicklung von DEXA erlaubt uns neben den präzisen und schnellen Messungen von BMD und BMC - sowohl des gesamten Skeletts als auch einzelner klinisch relevanter Körperteile - zusätzlich noch die präzise Bestimmung von Komponenten des Weichteilgewebes (Muskel- und Fettmasse), so daß DEXA heute nicht nur in der Knochendichtemessung, sondern auch in der Messung der Körpergewebszusammensetzung ("body composition") eine zunehmende Rolle spielt. DEXA bietet uns die Möglichkeit, alle 3 Komponenten (Knochen-, Muskel-, Fettmasse) genau zu bestimmen, was mit herkömmlichen Methoden bisher nicht möglich war und geringste Veränderungen in der Körperzusammensetzung zu messen, so daß DEXA auch für Verlaufskontrollen gut geeignet ist ^[104]. Zudem werden die Ergebnisse nicht vom unterschiedlichen Wassergehalt der Gewebe beeinflusst ^[92] und aufgrund der schnelleren Scanzeiten kann es auch bei Kindern und älteren, immobilen Patienten eingesetzt werden.

2.2.2. Meßgerät

In der Messung der Knochendichte und der "body composition" wurde das Gerät Hologic QDR 4500 A ACCLAIM Dual-Energy X-Ray Absorptiometer (Fa. Hologic Inc., Waltham, MA/USA) eingesetzt (siehe Abbildung 2.2.2.1.).



Abbildung 2.2.2.1.: QDR 4500 ACCLAIM von HOLOGIC, USA

Das Gerät arbeitet mit Röntgenstrahlen (Dual X-Ray) und ist ein Mehrfachdetector-Fächerstrahl-Densitometer: Eine Strahlenquelle, bestehend aus einem Generator und einer Röntgenröhre in einem gewöhnlich abgeschirmten Gehäuse ist unter dem Patienten montiert. Sie generiert einen begrenzten fächerförmigen Röntgenstrahl (Fan Beam X-Ray-Technik), der mit einer Netzfrequenz von 60/s zwischen 100 kV und 140 kV umgeschaltet wird (gepulstes Zwei-Spektren-Verfahren). Der durchschnittliche Stromfluß liegt bei

4 mA. Die Strahlenquelle ist an einem Ende des C-Bogens ; am anderen Ende, über dem Patienten, befindet sich der Kristall/Halbleiterdetektor. Während des Scans bewegen sich der C-Arm und der Tisch computergesteuert und führen den Röntgenstrahl von distal nach proximal über die gewählte Körperregion.

Bevor der Strahl durch den Patienten dringt, wird er durch eine rotierende Trommel gefiltert, in der wechselnde Segmente Röntgeneigenschaften äquivalent zu Weichteilgewebe, Knochen und Luft besitzen. Wenn der Strahl schließlich vom Detektor aufgefangen wird, enthält er Informationen über die Röntgenstrahl-Abschwächungscharakteristik von beidem, dem Patienten und den Materialien in der Filtertrommel. Ein Analog/Digital-Wandler, der durch den Detektor Signale zugeführt bekommt, stellt dem Computer ein komplexes, digitales Signal zur Verfügung. Dieses Signal verwendet der Computer zum einen, um das Bild auf dem Monitor aufzubauen und zum anderen, um daraus BMC (=Knochenmineralgehalt) und BMD (=Knochenmineraldichte) zu berechnen.

Die bei diesem Gerät verwendete "Fan beam"-Technik (fächerförmiger Röntgenstrahl) hat gegenüber der bei den Vorgängermodellen verwendeten "Pencil beam"-Technik (senkrechte Einzelstrahltechnik, bei der ein nur schmaler Röntgenstrahl eine große Fläche abfahren muß) den Vorteil von verkürzten Untersuchungszeiten (Dauer des "Whole body"-Scans beim "Pencil beam"-Scan 20 Minuten, beim "Fan beam"-Scan 3 Minuten), verbesserter Bildauflösung, reduzierter Strahlenbelastung und verbesserter Präzision (siehe Tabelle 2.2.2.1. und Abbildung 2.2.2.2. und 2.2.2.3.) mit der Möglichkeit der Durchführung auch von Longitudinalstudien ^[62].

Bei dem Gerät Hologic QDR 4500 A ist auch das Scanfeld gegenüber den Vorgängermodellen um 4 cm verbreitert worden, so daß der weitaus größte Teil der Patienten (auch bei erheblicher Fettleibigkeit) gescannt werden kann.

	Mean Value	Standard Deviation	Coefficient of Variation
Total Body BMC (g)	2180 g	14.79 g	0.68%
Total Body BMD (g/cm^2)	1.069 g/cm^2	0.0062 g/cm^2	0.58%
Fat Mass (g)	16439 g	247 g	1.50%
Lean Mass (g)	47174 g	204 g	0.42%
Total Mass (g)	65613 g	135 g	0.21%
%Fat	24.7%	0.33%	1.32%

Tabelle 2.2.2.1.: Präzision der "Body Composition"-Messungen für das Gerät Hologic QDR 4500 A

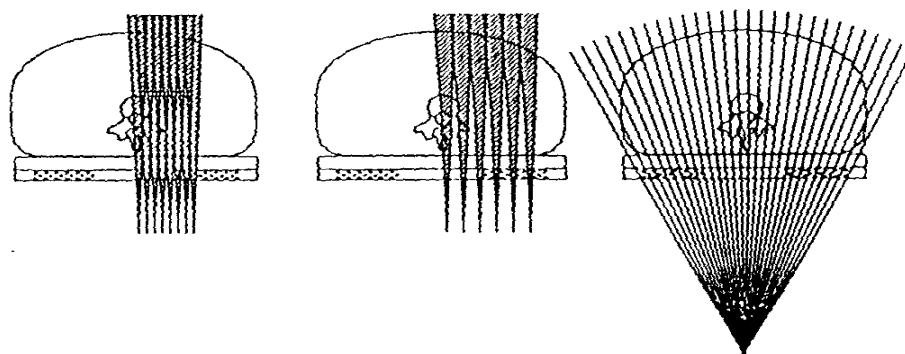


Abbildung 2.2.2.2.: Vergleich von "Pencil beam-"(links, mittig) und "Fan beam-" Meßtechnik (rechts)

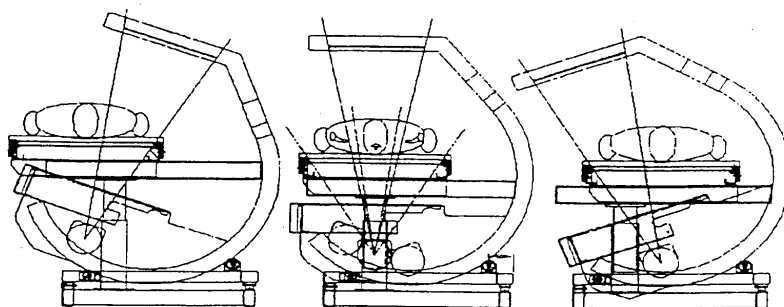


Abbildung 2.2.2.3.: Schema eines QDR 4500 A Scanners während des jeweils 3x 45 Sekunden dauernden Scanvorgangs

Die Reproduzierbarkeit bei Messungen der BMD der Hand liegt in älteren Studien bei 1 bis 1,5 %^[46,90].

Mit dem QDR 4500 A ist die Ermittlung des Knochenmineralgehalts (BMC) und der Knochenmineraldichte (BMD) in folgenden anatomischen Bereichen möglich: Lendenwirbelsäule (ap, lateral), proximaler Femur (ap), Gesamtskelett ("whole body") mit Messung der Körpergewebszusammensetzung ("body composition"), Unterarm, bzw. Handgelenk und Kleintiere. Zusätzlich sind zur Untersuchung des mit einem Metallimplantat versorgten Knochens Programme (metal-removal-Programm) entwickelt worden, die in der Lage sind, das Metall zu erkennen und in der Messung zu vernachlässigen.

Die Strahlenbelastung des Patienten ist insgesamt sehr gering: Die effektive Dosis pro Untersuchung der Hand liegt bei 0,05 µSv und bei 2,6 µSv bei Bestimmung der Körpergewebszusammensetzung (im Vergleich dazu beträgt die effektive Dosis bei einer nativen Röntgenaufnahme der LWS seitl. 820,0 µSv; die Dosis aus natürlichen Strahlenquellen liegt bei 8 µSv pro Tag). Die Strahlendosis in einer Entfernung von 1m vom Gerät liegt unter 1 mR/h, so daß für Patienten, Bedienpersonal und Nebenräume keine zusätzliche Abschirmung notwendig ist.

Täglich sollten zur Qualitätskontrolle Scans mit einem Phantom vor jeder ersten Patientenmessung durchgeführt werden, um zu überprüfen, ob das QDR 4500 A richtig arbeitet. Dabei erfolgt eine Kalibrierung des Gerätes mit einem von Hologic mitgelieferten Phantom, das aus Knochen- und Weichteilgewebe äquivalentem Material besteht. Beim "European Spine Phantom" wird als knochenäquivalentes Material das Hydroxylapatit eingesetzt, das im normalen Knochen zu ca. 85% enthalten ist. Vor jedem "Whole body"-Scan sollte außerdem eine Qualitätskontrolle (QC) mit dem "Body Composition Step Phantom" vorgenommen werden, das als Weichteilgewebe äquivalentes Material Plexiglas enthält. Anschließend wird der QC-Scan ausgewertet und das Ergebnis in die QC-Datenbank aufgenommen. Damit wird überprüft, ob die bei dieser Messung vom Gerät berechneten Daten innerhalb der Toleranz der vom Hersteller gegebenen BMD-Werte für das Spine Phantom liegen. Abbildung 2.2.2.4. zeigt die Ergebnisse der Kalibrierungsmessungen im

Studienzeitraum: Der Meßpunkt (Kreis) des aktuellen Scans (befindet sich ganz rechts auf dem Bildschirm) sollte sich innerhalb der beiden gestrichelten Linien befinden. Der Variationskoeffizient soll laut Hersteller unter 0,6 % liegen.

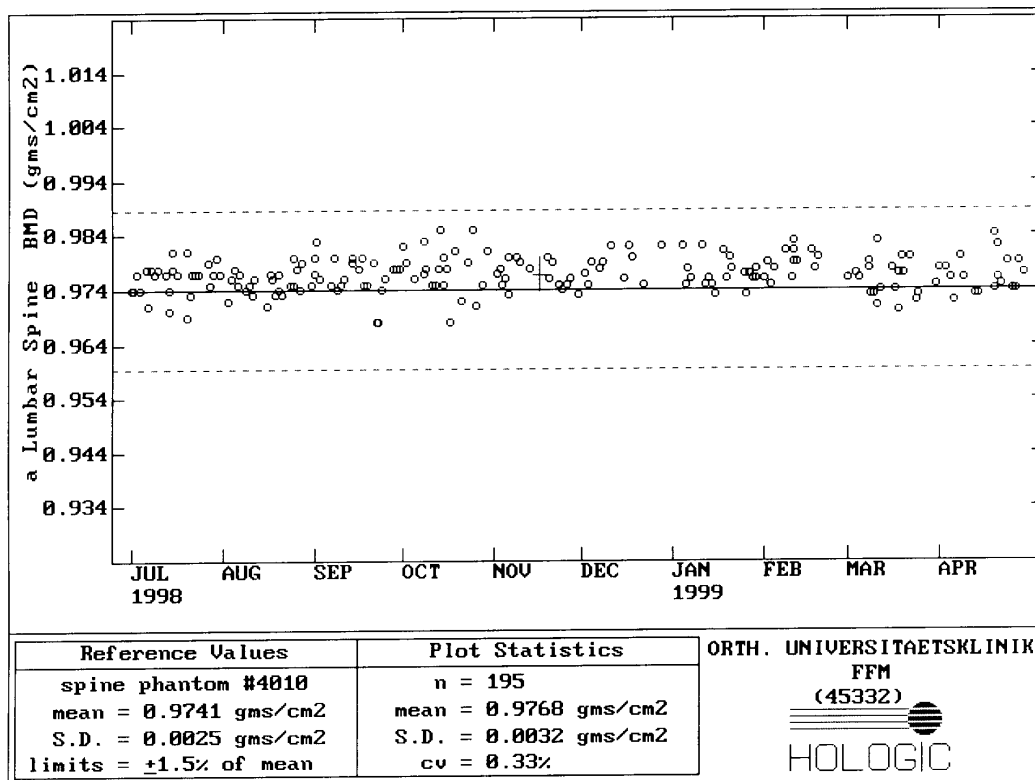


Abbildung 2.2.2.4.: Tägliche Präzisionskontrolle des Gerätes. "Mean" bei "Reference Value" stellt den Sollwert dar. Die erlaubte Abweichung von "mean" beträgt $\pm 1,5\%$ (limits). "Mean" bei "Plot Statistics" zeigt den Mittelwert der durchgeführten Kalibrierungen ($n = 195$) mit einem Variationskoeffizienten (cv) von 0,33 %.

Das System bietet außerdem die Möglichkeit des graphischen Vergleichs der Scans eines Patienten mit einer Referenzdatenbank, so daß die Meßwerte des Patienten bezüglich anderer Patienten seines Alters, Gewichts, Geschlechts und Größe eingestuft werden können. So kann eruiert werden, wie gut die Knochenmasse des Patienten in Bezug auf das altersspezifische Mittel liegt. Die Referenzdatenbanken beruhen auf breit angelegten Bevölkerungsscreenings^[60], bei denen die oben genannten Parameter ermittelt

und ins Verhältnis zu ihren jeweiligen BMD-Werten gesetzt wurden. Solche Referenzdatenbanken stehen bisher für Meßergebnisse an LWS, proximalem Femur, Unterarm und Ganzkörper ("whole body") zur Verfügung. Außerdem können neue Scans des Patienten mit älteren Scans desselben Patienten verglichen werden und so Änderungen der BMD, BMC und der Körpergewebszusammensetzung über einen größeren Zeitraum ermittelt werden.

2.3. Studienablauf

Nach schriftlicher Einwilligung in die Studie wurde an den freiwilligen Normalpersonen zunächst die Händigkeit durch Befragen und objektive Testaufgaben festgestellt: Dabei wurden eine Schreib- und Nähprobe durchgeführt sowie die Personen gebeten, mit einem Hammer einen Nagel in ein Holzbrett zu schlagen. Die Knochendichtemessung erfolgte dann im ap-Strahlengang von beiden Händen distal das proximalen Handgelenks - durchgeführt von einer in der DEXA-Messung geübten Person. Die anschließende Auswertung erfolgte unter Anwendung der Forearm-Software des Herstellers. Die Präzision des Gerätes, der Untersuchung, der Lagerung des Patienten und der Auswertung der Scans wurde zweifach ermittelt: Vor Beginn der Studie wurde die Knochendichte einer Hand bei einer freiwilligen Normalperson zwölfmal gemessen. Der zeitliche Abstand der Messungen betrug 10 Minuten. Die Lagerung des Probanden erfolgte vor jeder Messung neu. Um die Genauigkeit der Meßergebnisse zu erhöhen, wurde die Knochendichte an jeder Hand zweifach bestimmt und daraus das arithmetische Mittel gebildet, d.h. bei 114 Personen und zwei Messungen jeder Hand ergeben sich insgesamt 456 Doppelbestimmungen für die einzelnen ROIs (Region of Interest). Desweiteren erfolgte bei zwei freiwilligen Probanden eine zehnmahlige Knochendichtemessung einer Hand mit der LWS-Software, um die Reproduzierbarkeit der Messungen mit der LWS-Software zu bestimmen. In älteren Arbeiten, die unter anderem auch den Effekt der Handdominanz auf die

Knochendichte untersuchten, erfolgten Messungen der Hand in der Regel mit der LWS-Software [20-21,90], die im Gegensatz zur Forearm-Software nur zwischen Knochen und Weichgewebe, aber keine Luft differenzieren kann. Auch hier betrug der zeitliche Abstand der Messungen 10 Minuten und die Lagerung erfolgte vor jeder Messung neu.

Die Bestimmung der Körpergewebszusammensetzung der oberen Extremitäten erfolgte ebenfalls mit dem Gerät der Firma Hologic unter Verwendung der "Whole body "-Software.

2.3.1. Meßvorgang

Zur Messung von BMD und BMC der Hand wurde der Patient auf einen Stuhl am Fußende des Scantisches gesetzt, wobei der Patient zum Kopfende des Tisches schaute. Für die Messung wurde eine aus Kiefernholz gefertigte Schiene eingesetzt, in deren Mitte ein Rechteck von einer Länge von 25 cm, einer Breite von 10,5 cm und einer Tiefe von 2 cm ausgesägt wurde. In diese Vertiefung legte nun der Patient seine Hand. Der Unterarm des Patienten wurde dabei parallel zur Längsachse des Tisches gelagert. Bei Verlaufsuntersuchungen wurde, um optimale Ergebnisse zu erzielen, immer die gleiche Stuhlhöhe benutzt. Dadurch wurde gewährleistet, daß Schulter und Oberarmknochen immer die gleiche Lage zur Tischebene einnahmen. Außerdem wurde darauf geachtet, daß alle metallischen Gegenstände (Armbanduhr, Armband, Ringe usw.) aus dem Scanbereich entfernt wurden, da das Meßprogramm Metall nicht erkennt und dann in die Knochendichte miteinbezieht.

Die Hand wurde nun mit der Palmarseite nach unten in der Schiene positioniert. Dabei waren die Finger gestreckt (siehe Abbildung 2.3.1.1.).



Abbildung 2.3.1.1.: Verwendete Schiene und Lagerung der Hand während des Meßvorgangs

Wichtig ist, darauf zu achten, daß die Hand flach in der Schiene liegt, da bereits eine leichte Beugung der Finger die BMD-Werte nach oben verändert. Der Arm sollte exakt in der Mitte der Schiene liegen. Daumen und kleiner Finger sollten die seitlichen Begrenzungen der Schiene und der Mittelfinger als der längste Finger der Hand das obere Ende der Schiene nur leicht berühren. Mit Hilfe eines Laserstrahl, der im Detektorarm des Gerätes eingebaut ist, wurde der Startpunkt eingestellt. Die Längsachse des Laserkreuzes verlief dabei exakt durch die Mitte von Unterarm und Mittelfinger. Der horizontale Laserstrahl, der zur Einstellung des Startpunktes dient, wurde auf eine Entfernung von 22 cm vom oberen Ende des Rechtecks eingestellt. Der Startpunkt lag dabei immer distal des proximalen Handgelenks. Ebenfalls wurde darauf geachtet, daß genügend Luft innerhalb des Scanfildes vorhanden war. Der Patient durfte sich während des Scanvorgangs nicht bewegen. Die Meßdauer des Scans betrug insgesamt 30 Sekunden, die Länge des Scans lag bei 21,974 cm, die Breite bei 10,5 cm, die Punktauflösung bei 0,0426 cm und der Linienabstand bei 0,1008 cm.

Für die Bestimmung der Körpergewebszusammensetzung und der BMD und BMC der oberen Extremitäten wurde der Patient nach Zentrierung der Tischplatte in Rückenlage auf dem Untersuchungstisch so gelagert, daß der Kopf unmittelbar unterhalb der Querlinie am Kopfende der Lagerungsmatte lag. Es wurde zusätzlich darauf geachtet, daß der Patient immer parallel zur Mittellinie lag. Die Füße des Patienten lagen innerhalb der Fußbegrenzungslinie am Fußende des Tisches (siehe Abbildung 2.3.1.2.). Um Bewegungen zu reduzieren und die gleiche Positionierung für zukünftige Scans wiederherstellen zu können, wurden die Füße des Patienten fixiert. Die Arme wurden mit der Handfläche nach unten neben den Körper gelegt, ohne die Oberschenkel zu berühren. Darüberhinaus sind Metallobjekte wie Kleiderverschlüsse, Gürtelschnallen, Schmuckstücke usw. vor dem Scan entfernt worden. Die Dauer des Scans betrug exakt 3 Minuten.

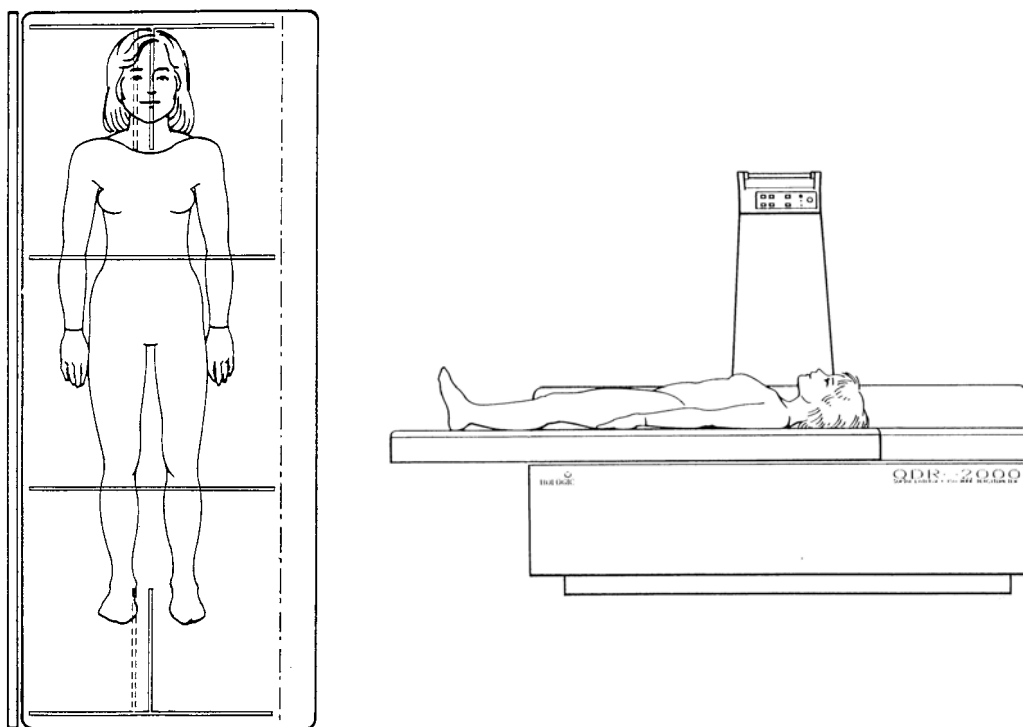


Abbildung 2.3.1.2.: Lagerung während des Ganzkörperscans

2.3.2. Auswertung

Die Auswahl der Regionen, in denen die Knochendichte im Bereich der Hand bestimmt wird, sollte methodischen und klinischen Richtlinien folgen. Außerdem sollten diese Regionen eine ausreichende Pixelanzahl erreichen und so positioniert werden, daß auch in Verlaufsbeobachtungen eine befriedigende Präzision erreicht wird.

Die Auswertung der gesamten Hand erfolgte mit der Subregion-Analyse der Forearm-Software, die es ermöglicht, sieben verschiedene ROIs (= Region of Interest) individuell über der Hand zu plazieren (siehe Abbildung 2.3.2.1.): Dabei wird ROI 1 unter Ausschluß der Ulna- und Radiusgelenkfläche über den Handwurzelknochen plaziert. ROI 2 umfaßt die gesamte Hand - ohne Radius und Ulna. Diese Methode wurde bereits in vorangegangenen Arbeiten angewendet ^[20-21,56,90]. Desweiteren wird jeweils ein ROI über dem gesamten Mittelfinger einschließlich des Mittelhandknochens (ROI 3) sowie über dem Metacarpophalangealgelenk (ROI 4) und dem proximalen Interphalangealgelenk (ROI 5) des Mittelfingers und jeweils über den Metacarpophalangealgelenken des 2. (ROI 7) und 4. (ROI 6) Fingers plaziert. Obere und untere Begrenzung der ROI liegen dabei jeweils in der Mitte der Phalanx.

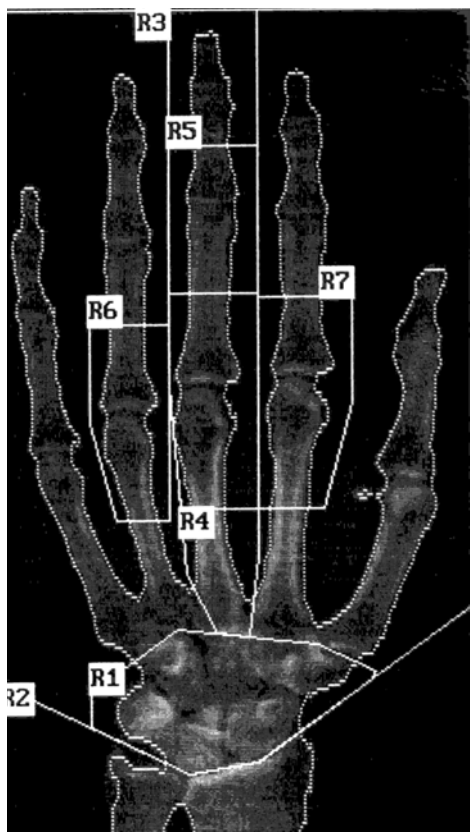


Abbildung 2.3.2.1. : Subregion-Analyse der Hand mit der Forearm-Software

Die Auswahl der ROIs erfolgte erstens insbesondere im Hinblick auf eine frühzeitige Diagnostik der rheumatoiden Arthritis, bei der die periartikuläre Osteopenie, bzw. Osteoporose eine der ersten Veränderungen darstellt ^[20]. Um diese zu quantifizieren, wurden mehrere ROIs über die Interphalangealgelenke gelegt. Desweiteren erfolgt nach distalen Radiusfrakturen eine durchschnittliche BMD-Abnahme von insgesamt 9 %, die im Bereich der Handwurzelknochen mit 18 % am größten ist und bei überdurchschnittlicher Abnahme erster Hinweis auf einen M. Sudeck sein kann ^[56]. Für die Analyse des zweiten Scans einer Hand wurde die "Compare"-Funktion verwendet, die es ermöglicht, die zu Anfang festgelegten "Regions of interest" in die nachfolgenden Bilder zu übertragen. Diese Funktion eignet sich insbesondere auch für Verlaufsbeobachtungen, da hierdurch sicher gestellt wird, daß Größe und Lage der ROI über den gesamten Studienzeitraum immer exakt gleich bleiben.

Die Auswertung des "Whole body"-Scans geschieht folgendermaßen (siehe auch Abbildung 2.3.2.2.).

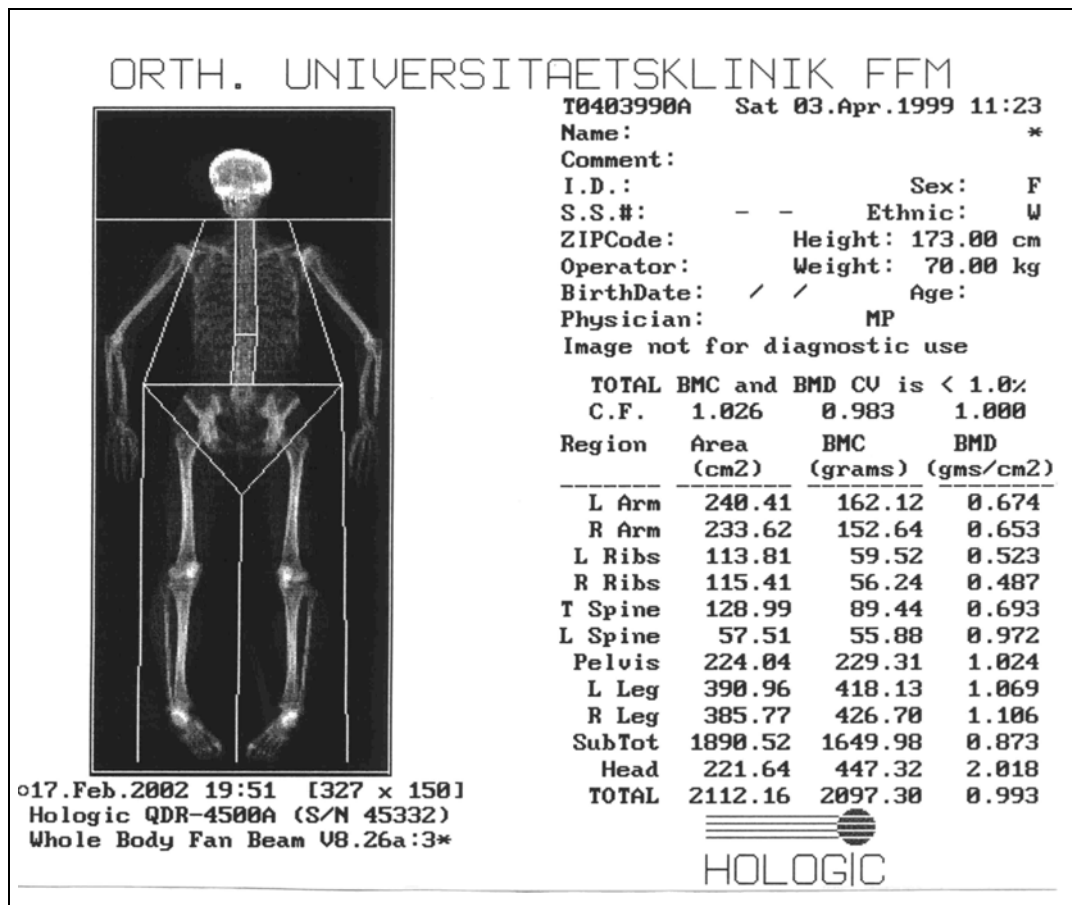


Abbildung 2.3.2.2.: Auswertung des "Whole body"- Scans

Die horizontale Linie über den Schultern sollte unmittelbar unter dem Kinn verlaufen ohne die Schultern zu berühren. Die senkrechten Linien an den Schultern verlaufen zwischen Oberarmkopf und Schulterblatt an der Schultergelenkpfanne. Die senkrechten Linien auf beiden Seiten der Wirbelsäule werden eng an die Wirbelsäule herangeschoben und gegebenenfalls an die natürliche Krümmung angepaßt. Die kurze waagrechte Linie sollte in Höhe Th12 bis L1 liegen. Die horizontale Linie über dem Becken sollte unmittelbar über dem Darmbeinkamm verlaufen.

Die abgewinkelten Linien unterhalb des Beckens sollten auf beiden Seiten den Schenkelhals schneiden. Die vertikale Linie zwischen den Beinen ist so zu justieren, daß sie zwischen den Füßen verläuft. Die vertikalen Seitenlinien

außerhalb der Beine sollten möglichst viel des Weichgewebes der Oberschenkel einschließen.

2.4. Statistik

Für die statistische Auswertung wurden die arithmetischen Mittelwerte (MW), die Standardabweichung (SD) sowie der Variationskoeffizient (VC) der Meßergebnisse berechnet.

Zur Prüfung der Signifikanz der BMD- und BMC- Unterschiede zwischen linker und rechter Hand, bzw. linkem und rechtem Arm sowie der Muskel- und Fettmassenunterschiede zwischen linkem und rechtem Arm wurde - nach Durchführung einer Varianzanalyse - der Student t-Test für gebundene Paare angewandt. Zur Prüfung der Signifikanz der BMD- und BMC-Unterschiede zwischen Frauen und Männern wurde der Student t-Test für ungebundene Paare angewandt. Die dabei berechneten p-Werte können folgendermaßen interpretiert werden:

$p < 0,05$	schwach signifikant
$p < 0,01$	signifikant
$p < 0,001$	hoch signifikant

3 Ergebnisse

3.1. Reproduzierbarkeit

Die folgenden Diagramme zeigen die Ergebnisse der Präzisionskontrollen aus den Serienmessungen (Forearm- und LWS-Software) sowie den Doppelbestimmungen (Forearm- Software) bei 114 Probanden.

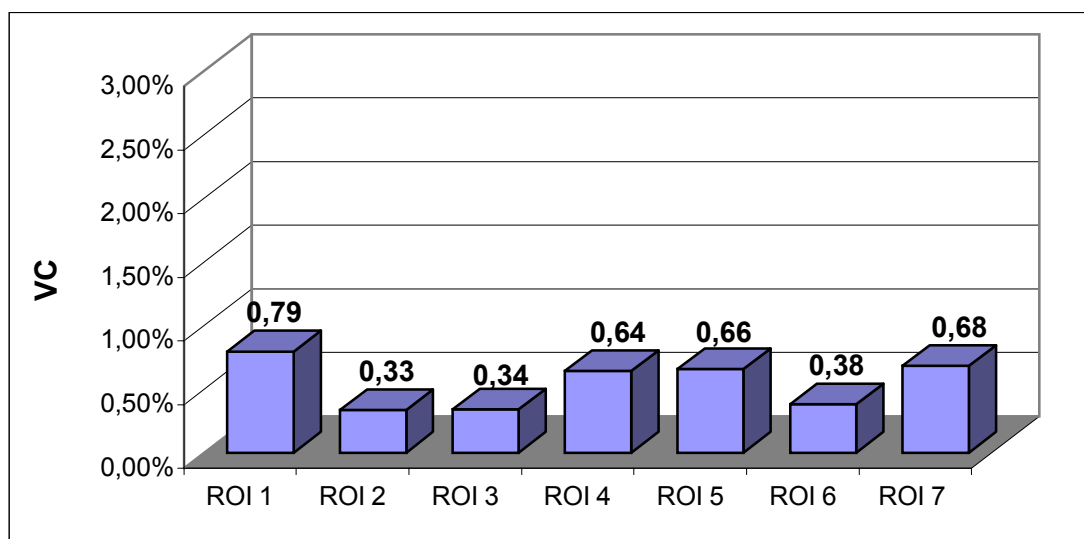


Abbildung 3.1.1.: Variationskoeffizient (VC) der BMD-Werte aus 12 hintereinander erfolgten Messungen (Forearm-Software) in %

Die Variationskoeffizienten für die mit der Forearm-Software durchgeführten BMD-Messungen (g/cm^2) liegen zwischen 0,33 % in ROI 2 - dem flächenmäßig größten ROI - und 0,79 % in ROI 1. Für die BMC (g), dem Knochengewicht, ergeben sich in Abhängigkeit von der ROI bis zu zweifach höhere Variationskoeffizienten (siehe Abbildung 3.1.2.): Die Werte liegen hier zwischen 0,5 % für ROI 2, ROI 3, ROI 5 und 1,7 % für ROI 1. Diese Zahlen bringen jeweils den Anteil der einfachen Standardabweichung vom Mittelwert der ermittelten Ergebnisse in Prozent zum Ausdruck.

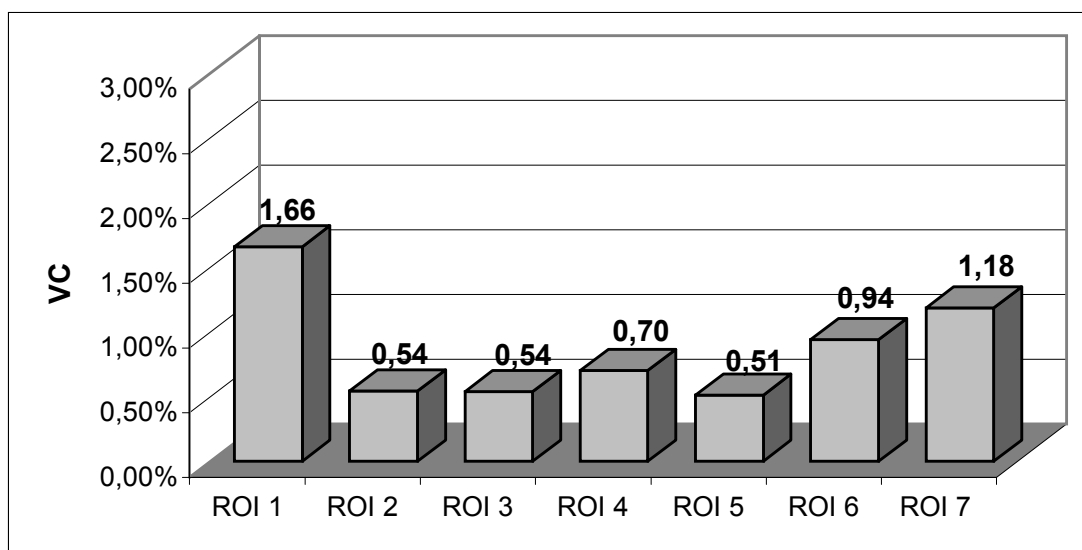


Abbildung 3.1.2.: Variationskoeffizient (VC) der BMC-Werte aus 12 hintereinander erfolgten Messungen (Forearm-Software) in %

Die Variationskoeffizienten der BMD-Werte aus den Serienmessungen, die mit der LWS-Software durchgeführt wurden, sind deutlich höher als bei den mit der Forearm-Software durchgeführten Messungen (siehe Abbildung 3.1.3.). Die Werte schwanken zwischen 0,9 % in ROI 1 und 2,6 % in ROI 7 und liegen - mit Ausnahme von ROI 1 - damit mehr als doppelt so hoch wie bei den mit der Forearm-Software durchgeführten Messungen.

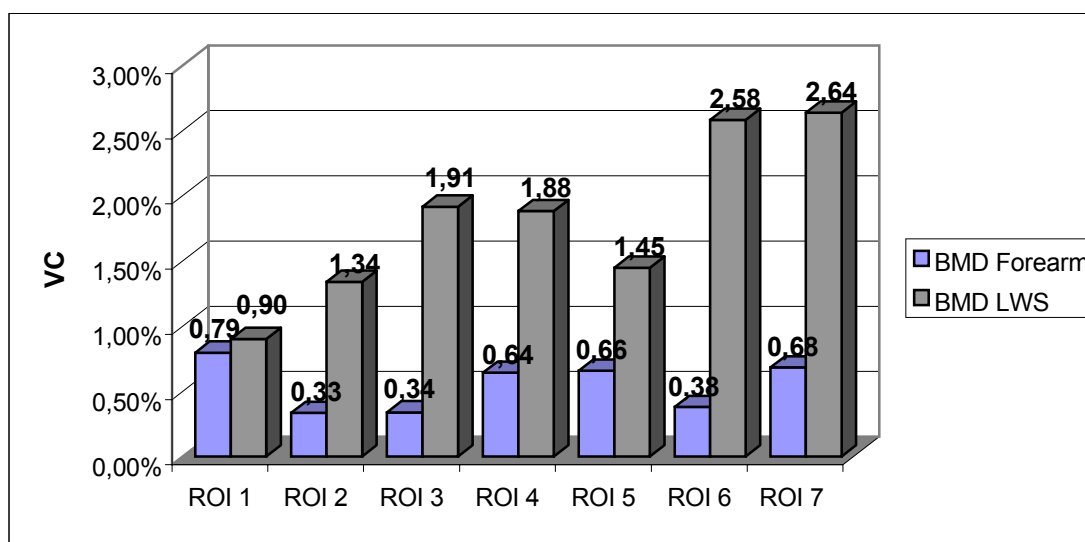


Abbildung 3.1.3.: Variationskoeffizient (VC) der ermittelten BMD-Werte(Forearm- und LWS-Software) aus 12 hintereinander erfolgten Messungen

Das Gleiche zeigt sich bei den mit der LWS-Software durchgeführten Serienmessungen zur Bestimmung der Variationskoeffizienten für die BMC-Werte (siehe Abbildung 3.1.4.). Hier schwanken die Werte zwischen 1,29 % in ROI 2 und 2,34 % in ROI 6 und liegen somit auch hier teilweise mehr als doppelt so hoch wie bei den mit der Forearm-Software durchgeführten Messungen.

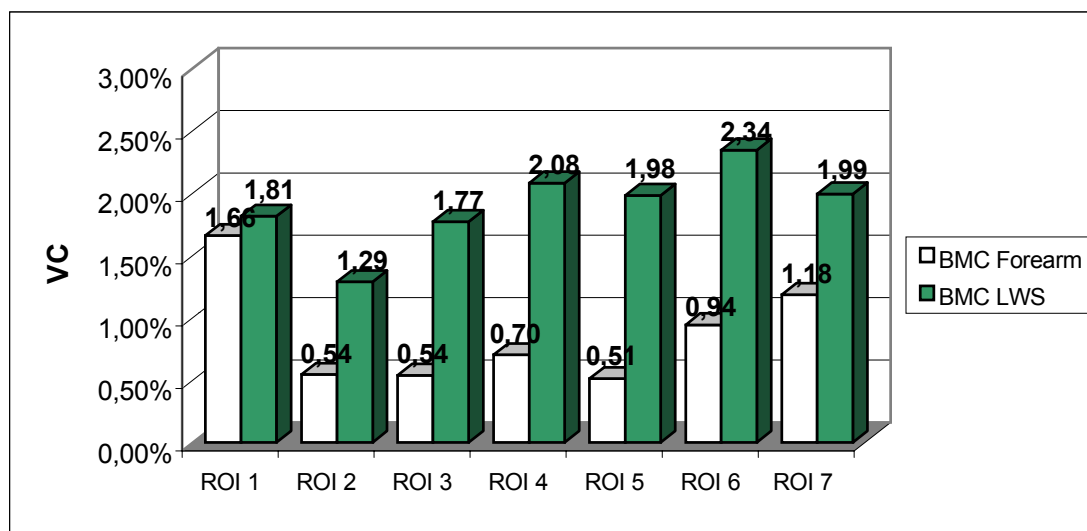


Abbildung 3.1.4.: Variationskoeffizient (VC) der ermittelten BMC-Werte (Forearm- und LWS-Software) aus 12 hintereinander erfolgten Messungen

Die beiden folgenden Diagramme (Abbildung 3.1.5. und 3.1.6.) geben die Schwankungsbreite innerhalb eines jeden ROI um den Mittelwert in % wieder. Die Werte errechnen sich aus den Doppelbestimmungen von BMD und BMC mit der Forearm-Software. Die Werte schwanken für die BMD zwischen 0,24% in ROI 2 und 0,53% in ROI 1. Für die BMC ergeben sich Werte zwischen 0,31% und 0,91%. Der errechnete Präzisionsfehler ist in den Doppelbestimmungen also insgesamt geringer als in den Serienmessungen.

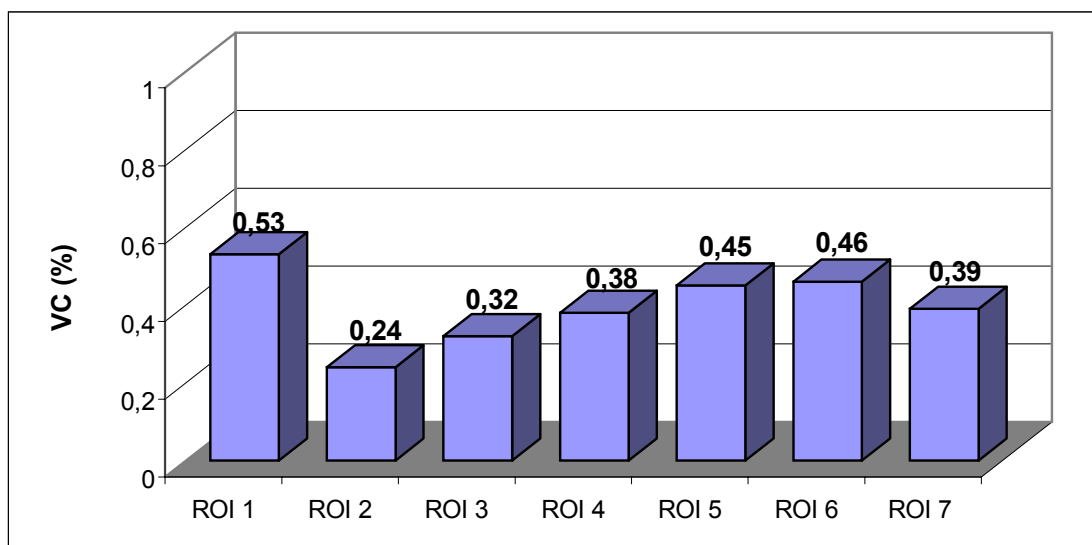


Abbildung 3.1.5.: Abweichung vom Mittelwert der BMD-Doppelbestimmungen in %

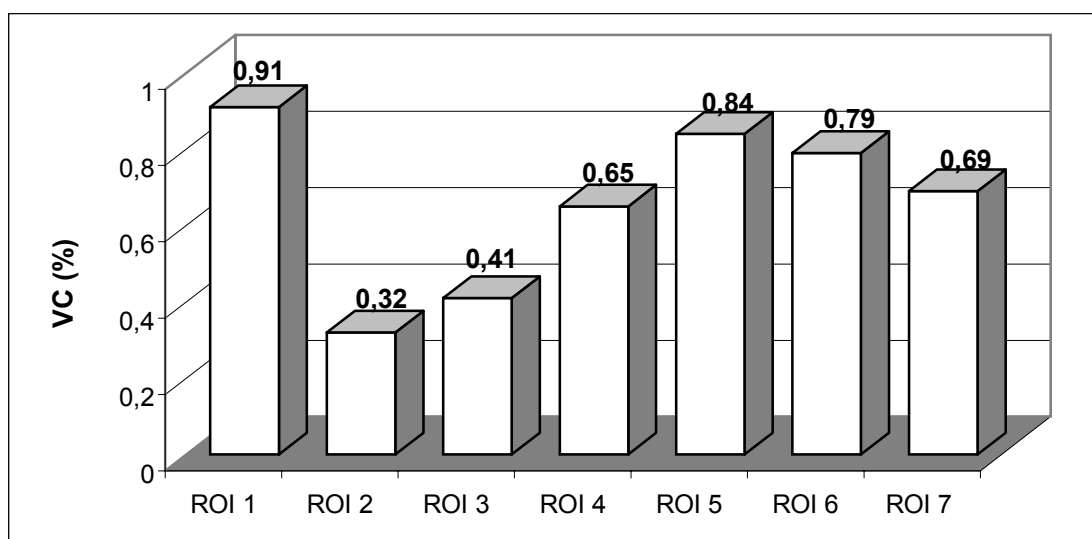


Abbildung 3.1.6.: Abweichung vom Mittelwert der BMC-Doppelbestimmungen in %

Betrachtet man die Werte in ihrer Gesamtheit, so sind die Variationskoeffizienten für die kleineren ROIs (ROI 4 bis ROI 7) und für ROI 1 - und damit der Präzisionsfehler - am größten.

3.2. Knochendichtemessung der Hand

Im Folgenden werden die BMD- und BMC-Werte der DEXA-Messungen der rechten und linken Hand für die einzelnen ROIs dargestellt. In den zu den Grafiken gezeigten Tabellen finden sich die entsprechenden Mittelwerte (MW) für die einzelnen Untergruppen, die Standardabweichung vom Mittelwert (SD), die Spannweite, der prozentuale Unterschied sowie die absolute Differenz zwischen dominanter und nicht dominanter Hand und p zur Angabe der Signifikanz.

3.2.1. Altersbezogene Mittelwerte der Hand

ROI 1

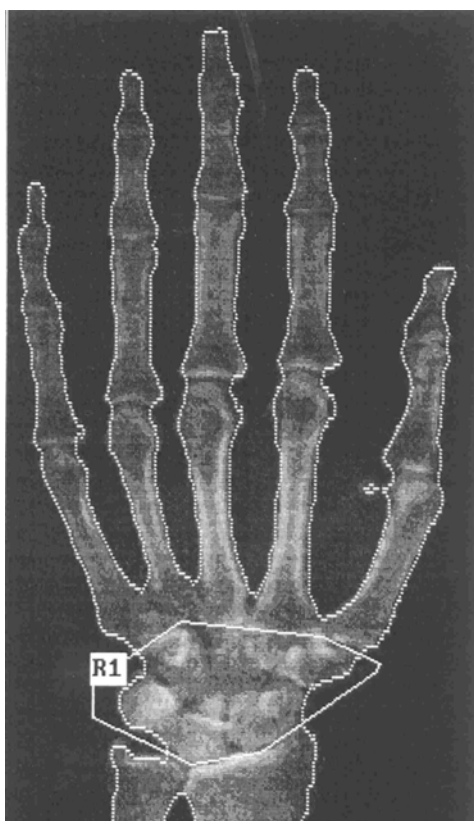


Abbildung 3.2.1.1. Darstellung ROI 1

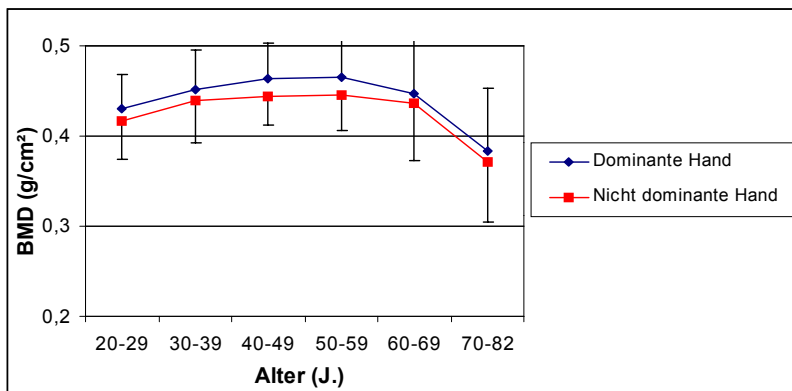


Abbildung 3.2.1.2. Reference database Hand ROI 1 BMD

ROI 1 BMD (g/cm²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	
alle	0,443 [0,262;0,588]	± 0,057	0,427 [0,276;0,562]	± 0,054	4,31 [0,00;19,72]	± 3,38	0,019 [0,00;0,112]	± 0,016	< 0,0001
20-29 J.	0,430 [0,369;0,500]	± 0,038	0,416 [0,332;0,498]	± 0,042	3,96 [0,00;12,20]	± 3,15	0,017 [0,00;0,061]	± 0,014	0,008
30-39 J.	0,451 [0,368;0,519]	± 0,044	0,439 [0,349;0,521]	± 0,047	5,20 [0,38;11,26]	± 3,47	0,023 [0,002;0,051]	± 0,015	0,0004
40-49 J.	0,464 [0,397;0,542]	± 0,039	0,444 [0,387;0,495]	± 0,032	4,22 [0,11; 9,16]	± 2,84	0,020 [0,001;0,047]	± 0,014	0,003
50-59 J.	0,465 [0,360;0,566]	± 0,047	0,445 [0,354;0,532]	± 0,039	4,56 [0,00;19,72]	± 4,02	0,022 [0,00;0,112]	± 0,022	0,0007
60-69 J.	0,447 [0,349;0,588]	± 0,068	0,437 [0,341;0,562]	± 0,064	3,57 [0,35;8,37]	± 2,49	0,016 [0,002;0,041]	± 0,012	< 0,0001
70-82 J.	0,384 [0,262;0,549]	± 0,069	0,372 [0,276;0,550]	± 0,067	4,45 [0,00;12,41]	± 3,46	0,017 [0,00;0,046]	± 0,013	0,04

Tabelle 3.2.1.1. Reference database ROI 1 BMD

do = dominante Hand
 ni do = nicht dominante Hand
 MW = Mittelwert
 SD = Standardabweichung
 m = männlich

ROI 1 BMC (g)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	
alle	5,79 [3,18;9,95]	± 1,48	5,51 [3,3;8,95]	± 1,35	5,92 [0,08;16,43]	± 3,80	0,356 [0,01;1,635]	± 0,286	< 0,0001
20-29 J.	5,49 [3,66;7,43]	± 1,34	5,30 [3,49;7,25]	± 1,30	4,55 [0,08;10,03]	± 2,49	0,252 [0,01;0,745]	± 0,174	0,001
30-39 J.	6,18 [4,28;8,72]	± 1,41	5,83 [3,91;8,05]	± 1,34	6,9 [0,36;15,99]	± 4,25	0,414 [0,03;1,14]	± 0,285	0,03
40-49 J.	5,74 [4,09;8,83]	± 1,08	5,44 [3,59;8,09]	± 0,92	5,51 [0,60;12,24]	± 3,74	0,30 [0,04;0,77]	± 0,245	0,02
50-59 J.	6,32 [4,18;9,95]	± 1,37	5,94 [3,93;8,75]	± 1,17	6,46 [0,40;16,43]	± 4,69	0,442 [0,02;1,635]	± 0,395	0,0007
60-69 J.	5,99 [3,82;9,64]	± 1,98	5,73 [3,69;8,95]	± 1,84	6,71 [1,86;10,36]	± 2,78	0,414 [0,12;0,92]	± 0,238	0,0003
70-82 J.	4,77 [3,18;7,40]	± 1,04	4,64 [3,3;7,6]	± 1,07	5,69 [1,82;14,45]	± 3,44	0,268 [0,09;0,65]	± 0,158	0,07

Tabelle 3.2.1.2. Reference database ROI 1 BMC

ROI 2 (Gesamte Hand)



Abbildung 3.2.1.3. Darstellung ROI 2

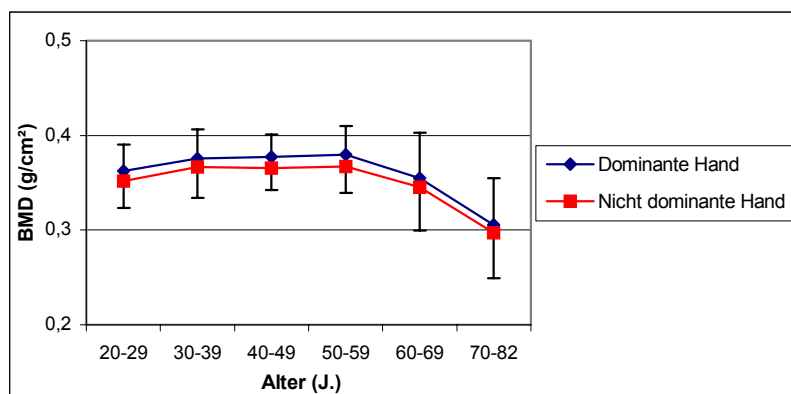


Abbildung 3.2.1.4. Reference database ROI 2 BMD

ROI 2 BMD (g/cm ²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm ²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	
alle	0,362 [0,216;0,446]	± 0,043	0,351 [0,212;0,439]	± 0,041	3,31 [0,00;9,25]	± 2,19	0,012 [0,00;0,038]	± 0,008	< 0,0001
20-29 J.	0,362 [0,32;0,435]	± 0,028	0,352 [0,294;0,407]	± 0,028	3,02 [0,00;8,13]	± 2,43	0,011 [0,00;0,028]	± 0,009	0,0005
30-39 J.	0,376 [0,312;0,431]	± 0,031	0,366 [0,311;0,432]	± 0,033	3,68 [0,12;7,02]	± 2,48	0,013 [0,001;0,026]	± 0,009	0,0003
40-49 J.	0,378 [0,345;0,425]	± 0,024	0,365 [0,326;0,412]	± 0,023	3,22 [0,52;7,07]	± 1,67	0,012 [0,002;0,028]	± 0,006	0,0003
50-59 J.	0,380 [0,314;0,442]	± 0,030	0,367 [0,303;0,423]	± 0,028	3,51 [0,00;9,25]	± 2,19	0,014 [0,00;0,038]	± 0,009	< 0,0001
60-69 J.	0,355 [0,280;0,446]	± 0,048	0,346 [0,275;0,439]	± 0,046	3,13 [0,00;5,88]	± 1,54	0,011 [0,00;0,020]	± 0,006	0,0005
70-82 J.	0,306 [0,216;0,429]	± 0,049	0,297 [0,212;0,423]	± 0,048	3,35 [0,17;7,59]	± 2,56	0,010 [0,001;0,024]	± 0,008	0,001

Tabelle 3.2.1.3. Reference database ROI 2 BMD Hand

ROI 2 BMC (g)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	
alle	27,72 [14,11;41,92]	± 6,25	26,42 [13,51;41,13]	± 5,99	5,16 [0,02;13,13]	± 3,28	1,434 [0,01;4,58]	± 1,003	< 0,0001
20-29 J.	27,00 [19,46;39,41]	± 5,69	25,86 [16,94;35,81]	± 5,56	4,67 [0,44;13,13]	± 3,63	1,25 [0,12;3,61]	± 1,02	0,002
30-39 J.	29,80 [20,4;41,92]	± 6,13	28,58 [19,16;40,97]	± 6,10	5,46 [0,05;10,33]	± 3,46	1,541 [0,02;3,39]	± 1,036	0,002
40-49 J.	27,92 [20,12;36,6]	± 4,48	26,47 [18,15;35,07]	± 4,12	5,10 [0,02;10,45]	± 3,11	1,454 [0,01;3,39]	± 0,934	0,0003
50-59 J.	29,91 [21,52;40,79]	± 5,14	28,30 [19,77;39,71]	± 4,94	5,71 [0,12;12,00]	± 3,32	1,758 [0,03;4,58]	± 1,128	< 0,0001
60-69 J.	28,40 [19,76;41,70]	± 7,89	27,23 [18,18;41,13]	± 7,57	4,87 [1,36;9,60]	± 2,53	1,349 [0,3;2,88]	± 0,765	0,0002
70-82 J.	22,12 [14,11;33,85]	± 5,04	21,20 [13,51;33,53]	± 4,93	4,97 [0,45;12,92]	± 3,27	1,072 [0,11;3,40]	± 0,779	0,0003

Tabelle 3.2.1.4. Reference database ROI 2 BMC

ROI 3

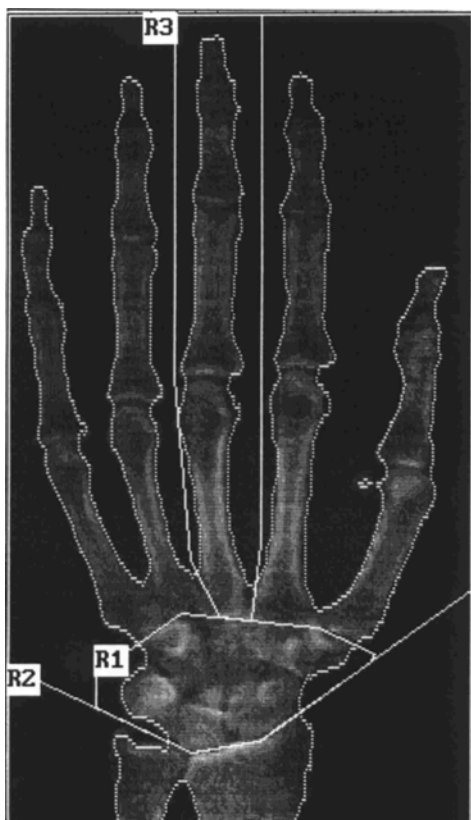


Abbildung 3.2.1.5. Darstellung ROI 3

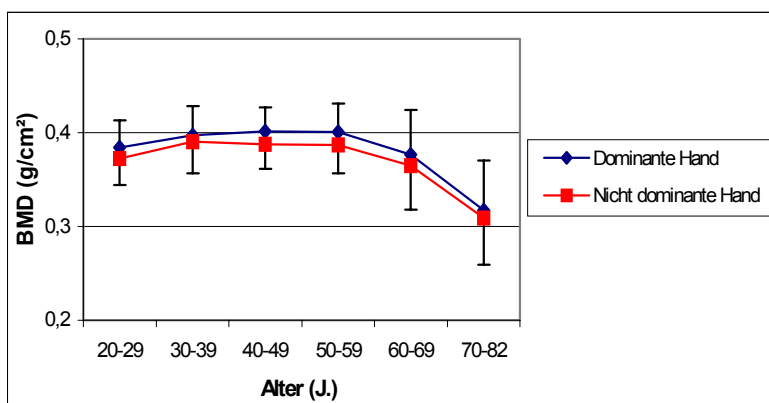


Abbildung 3.2.1.6. Reference database ROI 3 BMD

ROI 3 BMD (g/cm ²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenzabsolut (g/cm ²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
alle	0,382	± 0,046	0,371	± 0,044	3,56	± 2,38	0,014	± 0,009	< 0,0001
20-29 J.	0,384	± 0,029	0,373	± 0,028	3,14	± 2,45	0,012	± 0,009	0,005
30-39 J.	0,397	± 0,031	0,390	± 0,033	3,54	± 2,49	0,014	± 0,009	0,0002
40-49 J.	0,402	± 0,025	0,388	± 0,026	3,63	± 2,11	0,015	± 0,008	0,007
50-59 J.	0,401	± 0,030	0,387	± 0,030	3,92	± 2,39	0,016	± 0,009	< 0,0001
60-69 J.	0,377	± 0,048	0,364	± 0,047	3,28	± 1,83	0,012	± 0,007	< 0,0001
70-82 J.	0,318	± 0,052	0,309	± 0,049	3,72	± 2,76	0,012	± 0,010	0,005

Tabelle 3.2.1.5. Reference database ROI 3 BMD

ROI 3 BMC (g)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
alle	5,99	± 1,29	5,71	± 1,27	5,29	± 3,70	0,314	± 0,231	< 0,0001
20-29 J.	5,85	± 1,18	5,6	± 1,14	4,83	± 4,04	0,283	± 0,254	0,0007
30-39 J.	6,45	± 1,21	6,24	± 1,26	5,36	± 3,13	0,339	± 0,216	0,05
40-49 J.	6,12	± 0,91	5,78	± 0,92	5,77	± 3,89	0,347	± 0,220	< 0,0001
50-59 J.	6,41	± 1,02	6,11	± 1,02	5,47	± 3,50	0,352	± 0,238	< 0,0001
60-69 J.	6,15	± 1,55	5,89	± 1,48	4,48	± 3,02	0,275	± 0,183	0,0003
70-82 J.	4,70	± 1,10	4,46	± 1,08	5,79	± 4,15	0,268	± 0,232	0,004

Tabelle 3.2.1.6. Reference database ROI 3 BMC

ROI 4

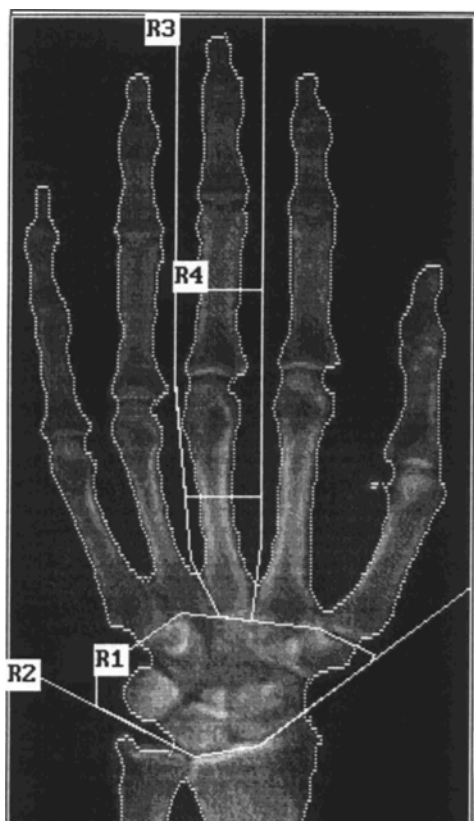


Abbildung 3.2.1.7. Darstellung ROI 4

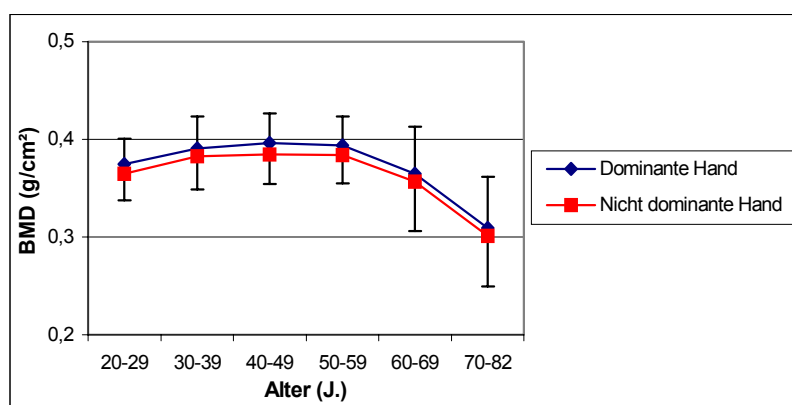


Abbildung 3.2.1.8. Reference database ROI 4 BMD

ROI 4 BMD (g/cm ²)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g/cm ²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	P (dominante zu nicht dominante Hand)
alle	0,374 ± 0,046 [0,220;0,472]	0,365 ± 0,046 [0,206;0,455]	3,28 ± 2,53 [0,00;12,53]	0,012 ± 0,009 [0,00;0,05]	< 0,0001
20-29 J.	0,375 ± 0,026 [0,336;0,449]	0,365 ± 0,026 [0,321;0,419]	3,68 ± 2,86 [0,14;12,53]	0,014 ± 0,011 [0,001;0,05]	0,07
30-39 J.	0,391 ± 0,032 [0,320;0,443]	0,382 ± 0,033 [0,332;0,444]	2,78 ± 2,65 [0,23;10,46]	0,011 ± 0,009 [0,001;0,04]	0,01
40-49 J.	0,396 ± 0,030 [0,342;0,472]	0,384 ± 0,030 [0,333;0,451]	3,13 ± 2,12 [0,12;7,26]	0,012 ± 0,008 [0,001;0,03]	0,05
50-59 J.	0,394 ± 0,029 [0,335;0,459]	0,383 ± 0,029 [0,326;0,455]	3,27 ± 2,45 [0,24;10,54]	0,013 ± 0,009 [0,001;0,04]	0,0001
60-69 J.	0,365 ± 0,048 [0,297;0,449]	0,356 ± 0,050 [0,286;0,449]	2,65 ± 1,81 [0,11;5,74]	0,009 ± 0,006 [0,001;0,02]	< 0,0001
70-82 J.	0,309 ± 0,052 [0,220;0,444]	0,301 ± 0,051 [0,206;0,434]	3,96 ± 2,86 [0,00;12,12]	0,012 ± 0,009 [0,00;0,04]	0,03

Tabelle 3.2.1.7. Reference database ROI 4 BMD

ROI 4 BMC (g)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	P (dominante zu nicht dominante Hand)
alle	2,38 ± 0,50 [1,14;3,56]	2,27 ± 0,49 [1,00;3,50]	5,45 ± 4,38 [0,00;20,90]	0,129 ± 0,106 [0,00;0,49]	< 0,0001
20-29 J.	2,34 ± 0,45 [1,72;3,55]	2,22 ± 0,42 [1,40;3,19]	5,49 ± 4,74 [0,00;20,90]	0,132 ± 0,139 [0,00;0,49]	0,001
30-39 J.	2,55 ± 0,48 [1,70;3,56]	2,46 ± 0,46 [1,64;3,50]	5,14 ± 3,13 [1,45;10,28]	0,134 ± 0,090 [0,03;0,295]	0,05
40-49 J.	2,44 ± 0,35 [1,89;3,00]	2,30 ± 0,34 [1,66;2,89]	5,48 ± 3,86 [0,42;11,94]	0,133 ± 0,093 [0,01;0,295]	< 0,0001
50-59 J.	2,57 ± 0,40 [1,98;3,42]	2,47 ± 0,40 [1,84;3,43]	5,39 ± 3,35 [0,29;14,45]	0,138 ± 0,089 [0,01;0,385]	0,001
60-69 J.	2,44 ± 0,60 [1,71;3,42]	2,34 ± 0,59 [1,61;3,40]	4,49 ± 3,45 [0,58;14,35]	0,105 ± 0,082 [0,02;0,31]	0,001
70-82 J.	1,87 ± 0,42 [1,14;2,78]	1,74 ± 0,41 [1,00;2,76]	6,69 ± 5,66 [0,32;20,68]	0,125 ± 0,120 [0,01;0,49]	0,002

Tabelle 3.2.1.8. Reference database ROI 4 BMC

ROI 5

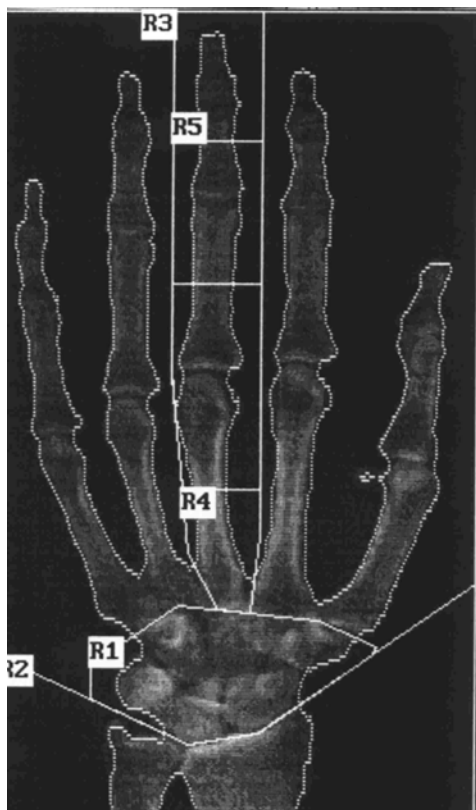


Abbildung 3.2.1.9. Darstellung ROI 5

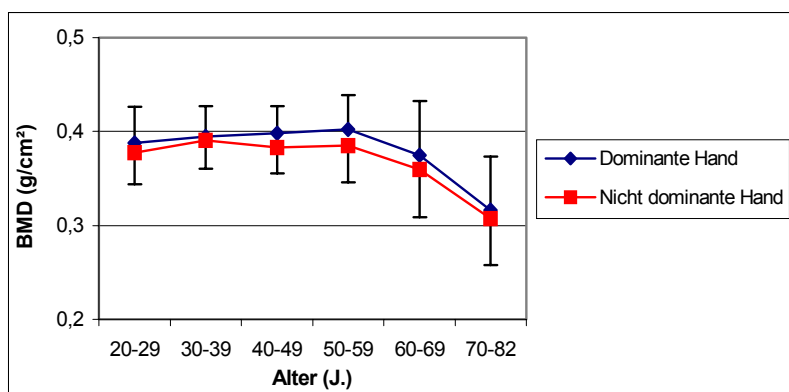


Abbildung 3.2.1.10. Reference database ROI 5 BMD

ROI 5 BMD (g/cm ²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm ²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
alle	0,382	± 0,050	0,369	± 0,047	4,15	± 2,94	0,016	± 0,011	< 0,0001
20-29 J.	0,388	± 0,038	0,377	± 0,034	3,28	± 2,37	0,013	± 0,010	0,0009
30-39 J.	0,395	± 0,031	0,390	± 0,030	4,14	± 3,33	0,016	± 0,012	n. s.
40-49 J.	0,398	± 0,029	0,383	± 0,028	3,70	± 2,08	0,015	± 0,008	< 0,0001
50-59 J.	0,402	± 0,036	0,385	± 0,039	4,38	± 3,20	0,017	± 0,012	< 0,0001
60-69 J.	0,375	± 0,057	0,359	± 0,050	4,65	± 2,41	0,018	± 0,010	0,002
70-82 J.	0,317	± 0,056	0,307	± 0,050	4,97	± 3,67	0,016	± 0,012	0,06

Tabelle 3.2.1.9. Reference database ROI 5 BMD

n. s. = nicht signifikant

ROI 5 BMC (g)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
alle	1,53	± 0,35	1,47	± 0,35	5,97	± 4,23	0,091	± 0,068	< 0,0001
20-29 J.	1,49	± 0,33	1,45	± 0,31	5,28	± 3,27	0,083	± 0,065	0,01
30-39 J.	1,66	± 0,31	1,63	± 0,35	6,19	± 3,91	0,102	± 0,070	n. s.
40-49 J.	1,56	± 0,27	1,49	± 0,28	5,38	± 3,22	0,084	± 0,045	0,007
50-59 J.	1,64	± 0,30	1,56	± 0,30	5,40	± 4,56	0,088	± 0,076	0,0004
60-69 J.	1,57	± 0,44	1,50	± 0,40	6,39	± 4,18	0,100	± 0,076	0,03
70-82 J.	1,22	± 0,30	1,16	± 0,30	8,05	± 5,21	0,098	± 0,063	0,04

Tabelle 3.2.1.10. Reference database ROI 5 BMC

ROI 6

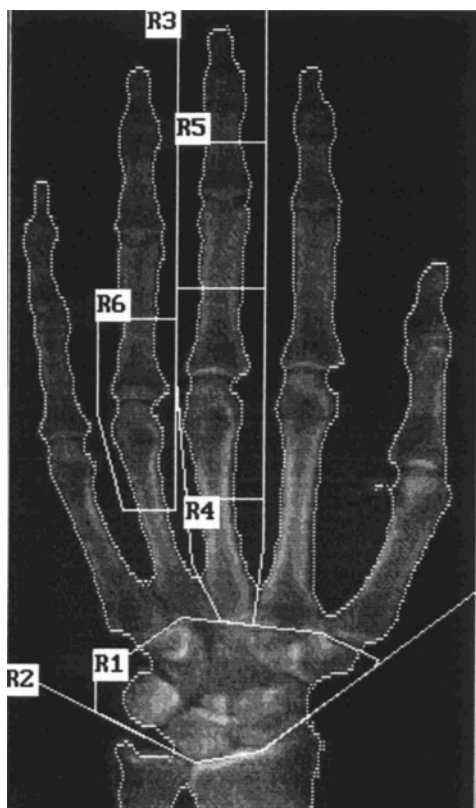


Abbildung 3.2.1.11. Darstellung ROI 6

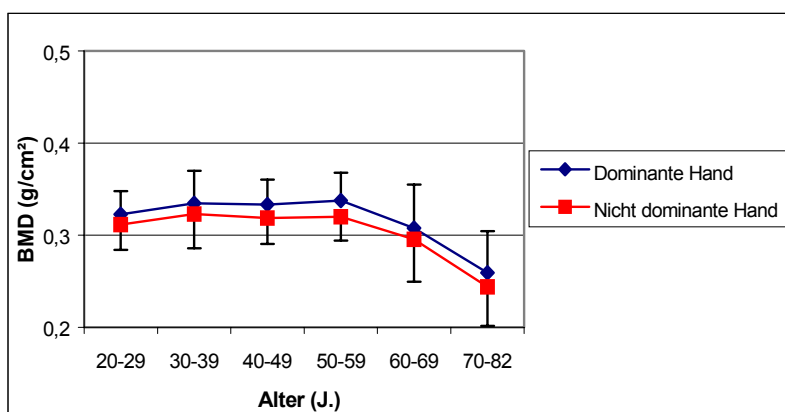


Abbildung 3.2.1.12. Reference database ROI 6 BMD

ROI 6 BMD (g/cm ²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm ²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
alle	0,319	± 0,043	0,304	± 0,043	5,47	± 3,22	0,018	± 0,011	< 0,0001
20-29 J.	0,323	± 0,025	0,311	± 0,028	4,83	± 2,44	0,016	± 0,008	0,001
30-39 J.	0,335	± 0,035	0,323	± 0,037	5,65	± 3,20	0,019	± 0,010	0,03
40-49 J.	0,333	± 0,027	0,319	± 0,028	4,90	± 3,27	0,016	± 0,011	0,0003
50-59 J.	0,338	± 0,030	0,319	± 0,026	6,14	± 3,19	0,021	± 0,012	< 0,0001
60-69 J.	0,308	± 0,047	0,295	± 0,046	5,17	± 3,15	0,016	± 0,010	0,004
70-82 J.	0,259	± 0,045	0,244	± 0,042	5,96	± 3,88	0,016	± 0,011	0,0001

Tabelle 3.2.1.11. Reference database ROI 6 BMD

ROI 6 BMC (g)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
alle	1,58	± 0,38	1,46	± 0,36	8,69	± 5,63	0,140	± 0,102	< 0,0001
20-29 J.	1,56	± 0,32	1,47	± 0,32	7,44	± 4,72	0,119	± 0,081	0,002
30-39 J.	1,70	± 0,40	1,60	± 0,39	7,89	± 4,96	0,131	± 0,088	0,01
40-49 J.	1,56	± 0,26	1,46	± 0,24	7,28	± 5,39	0,116	± 0,100	0,002
50-59 J.	1,73	± 0,31	1,58	± 0,29	10,09	± 5,79	0,183	± 0,121	< 0,0001
60-69 J.	1,62	± 0,47	1,50	± 0,43	8,89	± 4,99	0,142	± 0,079	0,0009
70-82 J.	1,21	± 0,30	1,09	± 0,27	9,94	± 6,80	0,124	± 0,097	0,0009

Tabelle 3.2.1.12. Reference database ROI 6 BMC

ROI 7

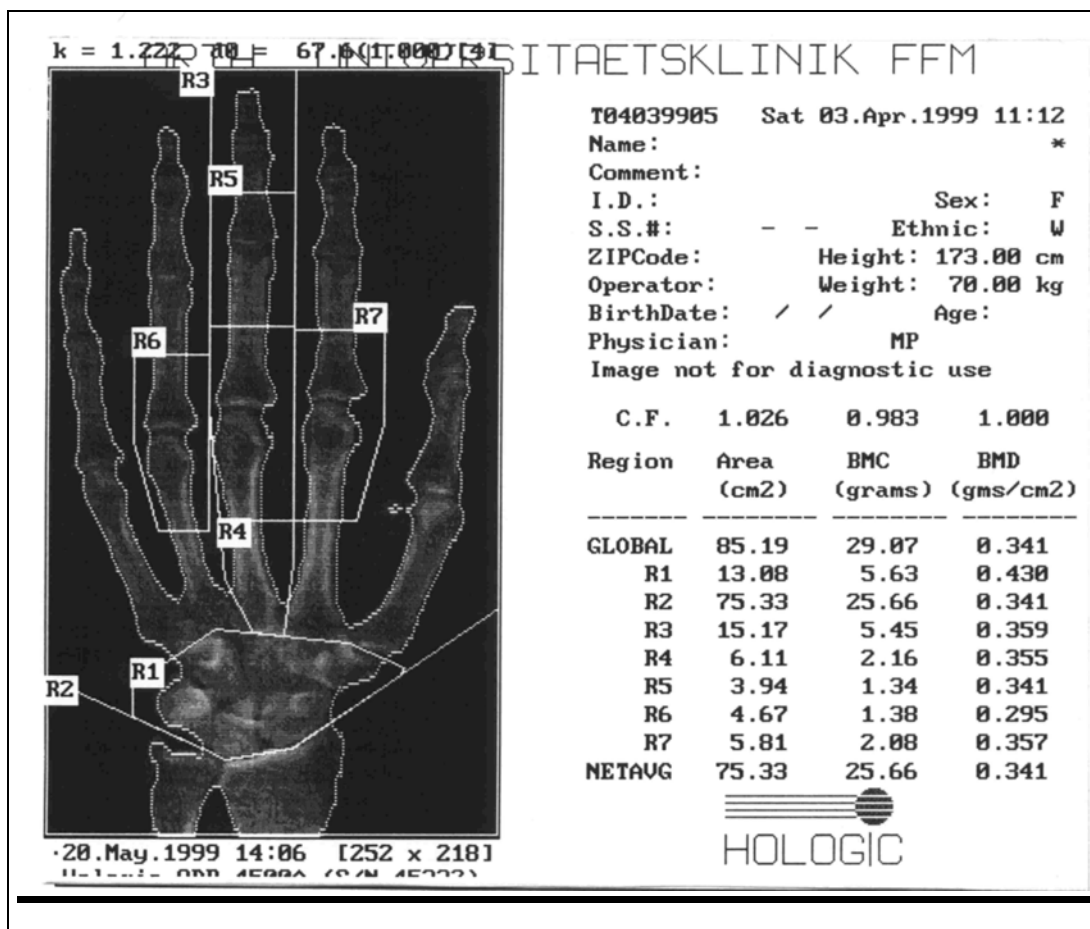


Abbildung 3.2.1.13. Darstellung ROI 7

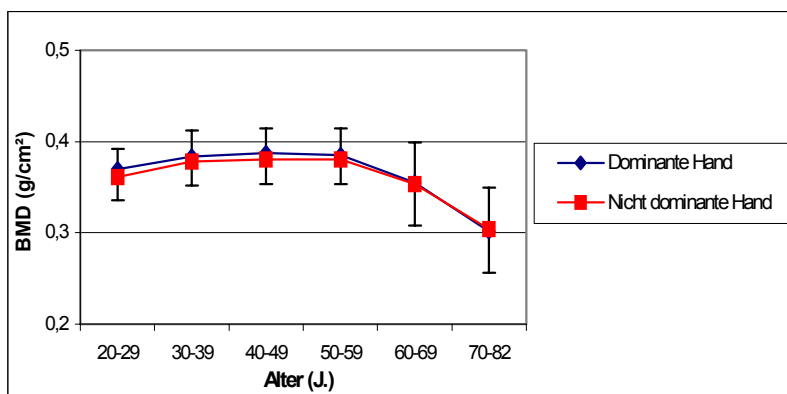


Abbildung 3.2.1.14. Reference database ROI 7 BMD

ROI 7 BMD (g/cm ²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm ²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	
alle	0,366 ± 0,044 [0,220;0,444]		0,361 ± 0,042 [0,221;0,439]		2,66 ± 1,95 [0,12;9,10]		0,010 ± 0,007 [0,001;0,03]		< 0,0001
20-29 J.	0,370 ± 0,023 [0,330;0,420]		0,361 ± 0,025 [0,323;0,411]		3,14 ± 2,24 [0,27;7,71]		0,012 ± 0,008 [0,001;0,028]		0,003
30-39 J.	0,384 ± 0,028 [0,332;0,422]		0,378 ± 0,026 [0,340;0,421]		2,48 ± 1,81 [0,12;6,21]		0,010 ± 0,007 [0,001;0,026]		n. s.
40-49 J.	0,387 ± 0,027 [0,333;0,444]		0,380 ± 0,027 [0,320;0,439]		2,23 ± 1,73 [0,26;7,51]		0,009 ± 0,007 [0,001;0,03]		0,002
50-59 J.	0,389 ± 0,029 [0,310;0,439]		0,380 ± 0,026 [0,330;0,425]		2,28 ± 1,61 [0,12;6,06]		0,009 ± 0,006 [0,001;0,02]		0,007
60-69 J.	0,355 ± 0,044 [0,289;0,434]		0,353 ± 0,045 [0,279;0,438]		3,13 ± 1,67 [0,90;6,18]		0,011 ± 0,006 [0,003;0,027]		n. s.
70-82 J.	0,302 ± 0,047 [0,220;0,419]		0,304 ± 0,048 [0,221;0,415]		2,80 ± 2,37 [0,32;9,10]		0,009 ± 0,008 [0,001;0,03]		n. s.

Tabelle 3.2.1.13. Reference database ROI 7 BMD

ROI 7 BMC (g)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand		P (dominante zu nicht dominante Hand)
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	
alle	2,27 ± 0,46 [1,09;3,31]		2,22 ± 0,43 [1,09;3,24]		4,53 ± 3,42 [0,18;19,18]		0,107 ± 0,087 [0,01;0,445]		< 0,0001
20-29 J.	2,22 ± 0,38 [1,62;3,12]		2,15 ± 0,37 [1,57;2,98]		4,99 ± 3,87 [0,24;13,74]		0,111 ± 0,090 [0,01;0,380]		0,01
30-39 J.	2,43 ± 0,41 [1,82;3,14]		2,39 ± 0,37 [1,78;2,97]		4,62 ± 2,63 [0,18;9,24]		0,114 ± 0,067 [0,01;0,205]		n. s.
40-49 J.	2,34 ± 0,35 [1,75;2,89]		2,26 ± 0,30 [1,73;2,72]		3,82 ± 2,57 [1,39;11,30]		0,094 ± 0,074 [0,03;0,305]		0,002
50-59 J.	2,46 ± 0,36 [1,91;3,22]		2,37 ± 0,34 [1,89;3,16]		4,03 ± 2,95 [0,38;9,64]		0,100 ± 0,077 [0,01;0,275]		0,0002
60-69 J.	2,28 ± 0,53 [1,67;3,31]		2,26 ± 0,54 [1,65;3,24]		5,46 ± 2,86 [0,28;11,15]		0,135 ± 0,089 [0,01;0,355]		n. s.
70-82 J.	1,78 ± 0,41 [1,09;2,61]		1,77 ± 0,38 [1,09;2,46]		4,59 ± 4,00 [0,33;19,18]		0,094 ± 0,090 [0,01;0,445]		n. s.

Tabelle 3.2.1.14. Reference database ROI 7 BMC

Altersdekadenabhängiger Knochendichte bzw. -massenwert der Hand

Betrachtet man alle ermittelten Werte in ihrer Gesamtheit, so zeigt sich, daß bis zum 40. Lebensjahr ein Anstieg sowohl der BMD = Bone Mineral Density (Knochendichte; g/cm^2) als auch der BMC = Bone Mineral Content (Knochenmineralgehalt; g) zu verzeichnen ist. Bis zum 60. Lebensjahr bleiben diese Werte konstant und erfahren dann eine Abnahme, die ab dem 70. Lebensjahr besonders stark ausgeprägt ist. Dabei beträgt die durchschnittliche BMD-Abnahme mit dem Alter (Vergleich der Mittelwerte der Gruppe der 50-59-jährigen (mit den höchsten Werten) mit der der 70-82-jährigen) 20,3 % und ist in ROI 6 mit 23,5 % am größten. Die durchschnittliche BMC-Abnahme liegt bei 26,5 % und ist ebenfalls in ROI 6 (Metacarpophalangealgelenk Dig. IV = MCP D IV) mit 30,7 % am höchsten. Die größten BMD- und BMC-Werte finden sich in der Gruppe der 30-39- und 50-59-jährigen. Diese sind für die BMD mit $0,465 \text{ g}/\text{cm}^2$ ($\pm 0,047 \text{ g}/\text{cm}^2$) für die dominante Hand und $0,445 \text{ g}/\text{cm}^2$ ($\pm 0,039 \text{ g}/\text{cm}^2$) für die nicht dominante Hand in ROI 1 und für die BMC mit 29,91 g ($\pm 5,14 \text{ g}$) für die dominante Hand und 28,58 g ($\pm 6,10 \text{ g}$) für die nicht dominante Hand jeweils in ROI 2 am größten. Die niedrigsten BMD- und BMC-Werte finden sich in der Gruppe der 70-82-jährigen, wobei diese in ROI 6 mit $0,259$ ($\pm 0,045$) g/cm^2 , bzw. 1,21 ($\pm 0,30$) g für die dominante und $0,244$ ($\pm 0,042$) g/cm^2 , bzw. 1,1 ($\pm 0,27$) g für die nicht dominante Hand am niedrigsten sind.

Die Unterschiede zwischen dominanter und nicht dominanter Hand (ermittelt mit dem gepaarten Student-t-Test) sind in der Regel signifikant ($p < 0,01$) bis hochsignifikant ($p < 0,001$) mit folgenden Ausnahmen: Keine signifikante Differenz findet sich für die BMD-Werte in ROI 4 in der Gruppe der 20-29-jährigen, in ROI 5 bei den 70-82-jährigen sowie in ROI 7 in der Gruppe der 30-39-, 60-69- und 70-82-jährigen. Die BMC betreffend läßt sich kein Unterschied in ROI 1 für die Gruppe der 70-82-jährigen, in ROI 5 für die 30-39- sowie in ROI 7 für die 30-39-, die 60-69- und die 70-82-jährigen feststellen.

Die relative Abweichung zwischen dominanter und nicht dominanter Hand ist für die BMC immer größer als für die BMD und liegt bei durchschnittlich 3,8 % für die BMD (mit 5,5 % in ROI 6 am höchsten) sowie 5,9 % für die BMC (mit 8,7 % ebenfalls in ROI 6 am größten).

Die absoluten Differenzen (Mittelwert dominante Hand minus Mittelwert nicht dominante Hand) schwanken für alle gemessenen Personen zwischen 0,010 ($\pm 0,007$) g/cm² (in ROI 7) bis maximal 0,019 ($\pm 0,016$) g/cm² (in ROI 1), bzw. 0,091 ($\pm 0,068$) g (in ROI 5) bis 1,51 ($\pm 1,44$) g (in ROI Gesamt) und betragen im Mittel für die BMD 0,015 g/cm² sowie für die BMC 0,370 g. Die größten Unterschiede finden sich dabei in der Gruppe der 50-59 jährigen.

3.2.2. Alters- und geschlechtsbezogene Mittelwerte Hand gesamt

ROI 1

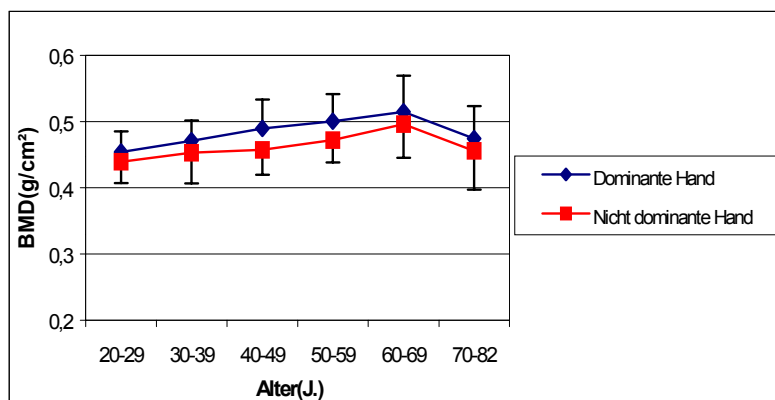


Abbildung 3.2.2.1. Reference database ROI 1 BMD männlich

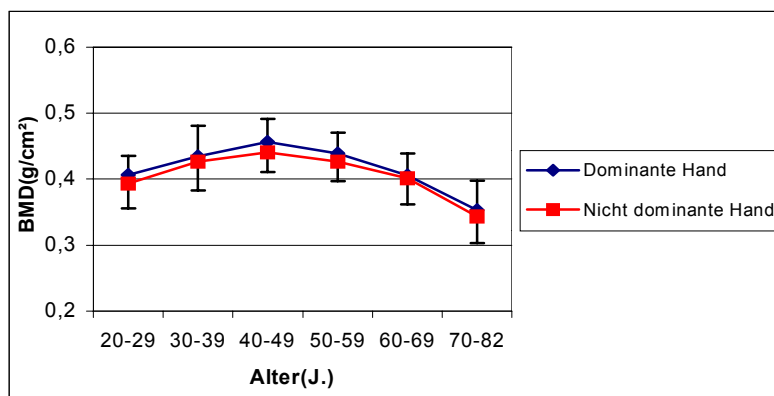


Abbildung 3.2.2.2. Reference database ROI 1 BMD weiblich

ROI 1 BMD (g/cm ²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm ²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand	
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD
weiblich pre	0,436 [0,368;0,516]	± 0,039	0,423 [0,332;0,505]	± 0,039	3,89 [0,11;11,94]	± 2,80	0,017 [0,00;0,046]	± 0,012
weiblich post	0,397 [0,262;0,498]	± 0,052	0,386 [0,276;0,469]	± 0,050	4,11 [0,00;12,41]	± 3,10	0,017 [0,00;0,046]	± 0,013
weiblich gesamt	0,418 [0,262;0,516]	± 0,050	0,407 [0,276;0,505]	± 0,048	3,99 [0,00;12,41]	± 2,95	0,017 [0,00;0,046]	± 0,012
männlich gesamt	0,483 [0,406;0,588]	± 0,046	0,462 [0,385;0,562]	± 0,045	4,83 [0,00;19,72]	± 3,94	0,024 [0,00;0,112]	± 0,02

Tabelle 3.2.2.1a. Reference database ROI 1 BMD männlich/weiblich *pre* = premenopausal
post = postmenopausal

ROI 1 BMD (g/cm ²)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	0,0001	- 9,76	- 8,19	<0,0001	<0,0001
weiblich post	0,002	-17,79	-16,23	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-13,49	-11,93	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	- / -	- / -	- / -	- / -

Tabelle 3.2.2.1b. Reference database ROI 1 BMD männlich/weiblich

ROI 1 BMC (g)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]
weiblich pre	4,99 ± 0,79 [3,66;6,61]	4,80 ± 0,76 [3,49;6,27]	5,00 ± 3,05 [0,60;12,24]	0,249 ± 0,155 [0,04;0,57]
weiblich post	4,79 ± 0,77 [3,18;6,7]	4,61 ± 0,75 [3,30;6,55]	5,94 ± 3,59 [0,40;14,45]	0,287 ± 0,180 [0,02;0,73]
weiblich gesamt	4,90 ± 0,789 [3,18;6,70]	4,71 ± 0,762 [3,30;6,55]	5,44 ± 3,34 [0,40;14,45]	0,266 ± 0,168 [0,02;0,73]
männlich gesamt	7,25 ± 1,15 [5,50;9,95]	6,83 ± 1,04 [5,05;8,95]	6,72 ± 4,35 [0,08;16,43]	0,504 ± 0,367 [0,01;1,635]

Tabelle 3.2.2.2a. Reference database ROI 1 BMC männlich/weiblich

ROI 1 BMC (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante Hand	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	-31,16	-29,70	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	0,001	-33,94	-32,52	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-32,45	-31,01	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	·/·	·/·	·/·	·/·

Tabelle 3.2.2.2b. Reference database ROI 1 BMC männlich/weiblich

ROI 2

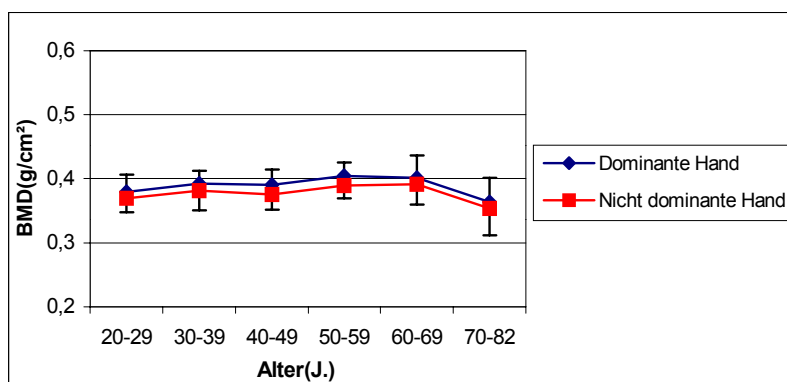


Abbildung 3.2.2.3. Reference database ROI 2 BMD männlich

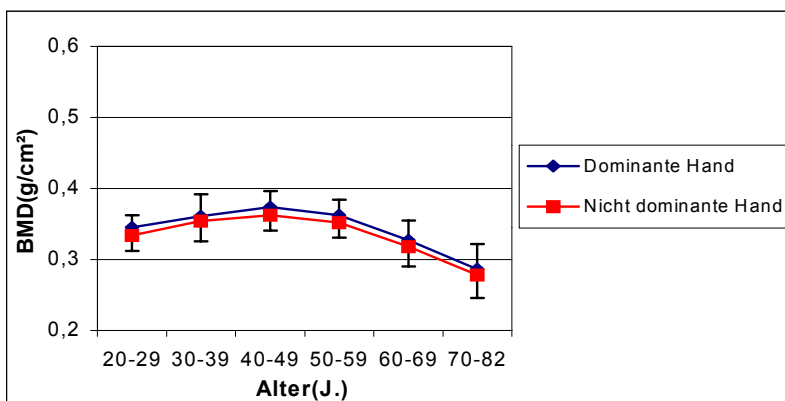


Abbildung 3.2.2.4. Reference database ROI 2 BMD weiblich

ROI 2 BMD (g/cm²)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g/cm²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]
weiblich pre	0,361 ± 0,025 [0,312;0,425]	0,351 ± 0,025 [0,294;0,412]	3,26 ± 1,99 [0,00;8,13]	0,012 ± 0,007 [0,00;0,028]
weiblich post	0,324 ± 0,044 [0,216;0,393]	0,315 ± 0,042 [0,212;0,379]	3,41 ± 2,18 [0,00;7,77]	0,011 ± 0,007 [0,00;0,027]
weiblich gesamt	0,344 ± 0,040 [0,216;0,425]	0,334 ± 0,038 [0,212;0,412]	3,33 ± 2,08 [0,00;8,13]	0,011 ± 0,007 [0,00;0,028]
männlich gesamt	0,391 ± 0,030 [0,334;0,446]	0,379 ± 0,029 [0,311;0,439]	3,29 ± 2,36 [0,00;9,25]	0,013 ± 0,01 [0,00;0,038]

Tabelle 3.2.2.3a. Reference database ROI 2 BMD männlich/weiblich

ROI 2 BMD (g/cm²)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante Hand	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	-7,60	-7,38	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	< 0,0001	-17,15	-17,03	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-12,04	-11,87	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	-	-	-	-

Tabelle 3.2.2.3b. Reference database ROI 2 BMD männlich/weiblich

ROI 2 BMC (g)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g) minus nicht dominante Hand	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
weiblich pre	24,72 [19,46;32,53]	± 3,49	23,60 [16,94;32,63]	± 3,45	5,04 [0,02;13,13]	± 3,25	1,234 [0,01;3,39]	± 0,804
weiblich post	23,10 [14,11;31,98]	± 4,14	22,02 [13,51;29,75]	± 3,81	5,31 [0,12;11,46]	± 3,06	1,241 [0,03;3,23]	± 0,802
weiblich gesamt	23,97 [14,11;32,53]	± 3,89	22,87 [13,51;32,63]	± 3,71	5,16 [0,02;13,13]	± 3,16	1,237 [0,01;3,39]	± 0,803
männlich gesamt	33,91 [26,11;41,92]	± 4,11	32,30 [22,89;41,13]	± 4,15	5,16 [0,05;12,92]	± 3,47	1,758 [0,02;4,58]	± 1,197

Tabelle 3.2.2.4a. Reference database ROI 2 BMC männlich/weiblich

ROI 2 BMC (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	-27,09	-26,93	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	< 0,0001	-31,87	-31,81	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-29,31	-29,20	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	-	-	-	-

Tabelle 3.2.2.4b. Reference database ROI 2 BMC männlich/weiblich

ROI3

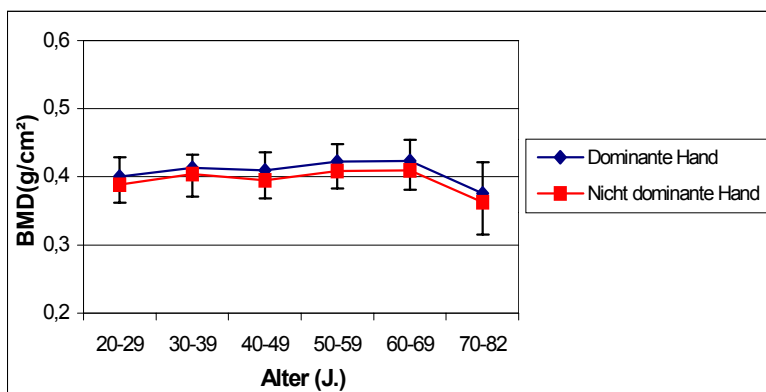


Abbildung 3.2.2.5. Reference database ROI 3 BMD männlich

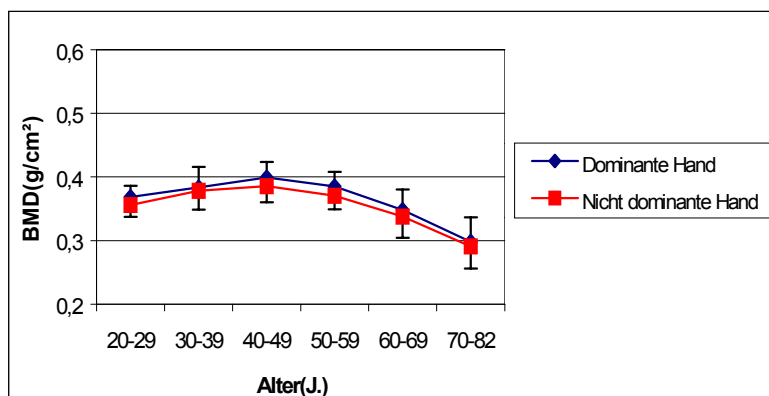


Abbildung 3.2.2.6. Reference database ROI 3 BMD weiblich

ROI 3 BMD (g/cm²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand	
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD
weiblich pre	0,385 [0,331;0,459]	± 0,027	0,373 [0,316;0,436]	± 0,027	3,61 [0,14;8,93]	± 2,23	0,014 [0,001;0,033]	± 0,008
weiblich post	0,342 [0,231;0,419]	± 0,049	0,331 [0,220;0,411]	± 0,045	3,70 [0,42;9,83]	± 2,35	0,013 [0,002;0,038]	± 0,009
weiblich gesamt	0,365 [0,231;0,459]	± 0,044	0,354 [0,220;0,436]	± 0,042	3,65 [0,14;9,83]	± 2,29	0,013 [0,001;0,038]	± 0,009
männlich gesamt	0,410 [0,334;0,467]	± 0,032	0,397 [0,326;0,454]	± 0,033	3,41 [0,00;12,26]	± 2,51	0,014 [0,00;0,046]	± 0,010

Tabelle 3.2.2.5a. Reference database ROI 3 BMD männlich/weiblich

ROI 3 BMD (g/cm²)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	- 6,06	- 6,07	< 0,0001	0,0006
weiblich post	< 0,0001	-16,51	-16,58	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-10,92	-10,95	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	- / -	- / -	- / -	- / -

Tabelle 3.2.2.5b. Reference database ROI 3 BMD männlich/weiblich

ROI 3 BMC (g)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g) minus nicht dominante Hand	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
weiblich pre	5,48 [4,22;7,45]	± 0,80	5,19 [3,65;7,31]	± 0,80	5,79 [0,94;15,94]	± 3,68	0,315 [0,05;0,75]	± 0,198
weiblich post	5,03 [2,89;7,07]	± 0,98	4,79 [2,63;6,57]	± 0,93	5,48 [0,38;13,37]	± 3,58	0,277 [0,02;0,86]	± 0,204
weiblich gesamt	5,27 [2,89;7,45]	± 0,92	5,00 [2,63;7,31]	± 0,88	5,64 [0,38;15,94]	± 3,63	0,298 [0,02;0,86]	± 0,202
männlich gesamt	7,17 [5,38;9,11]	± 0,87	6,89 [4,91;9,07]	± 0,87	4,69 [0,30;17,34]	± 3,73	0,340 [0,02;1,04]	± 0,270

Tabelle 3.2.2.6a. Reference database ROI 3 BMC männlich/weiblich

ROI 3 BMC (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	-23,61	-24,65	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	< 0,0001	-29,88	-30,45	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-26,52	-27,34	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	-	-	-	-

Tabelle 3.2.2.6b. Reference database ROI 3 BMC männlich/weiblich

ROI 4

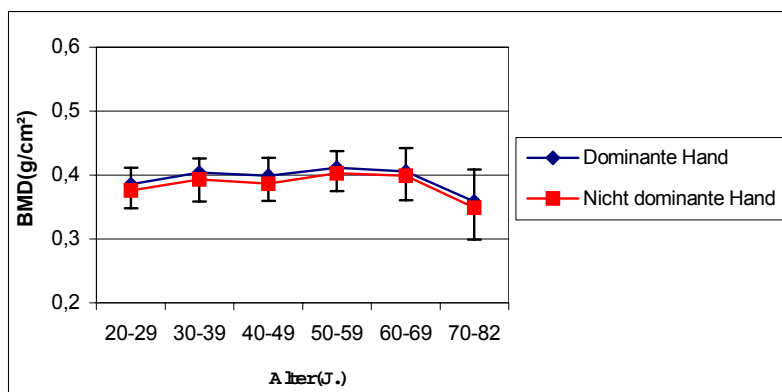


Abbildung 3.2.2.7. Reference database ROI 4 BMD männlich

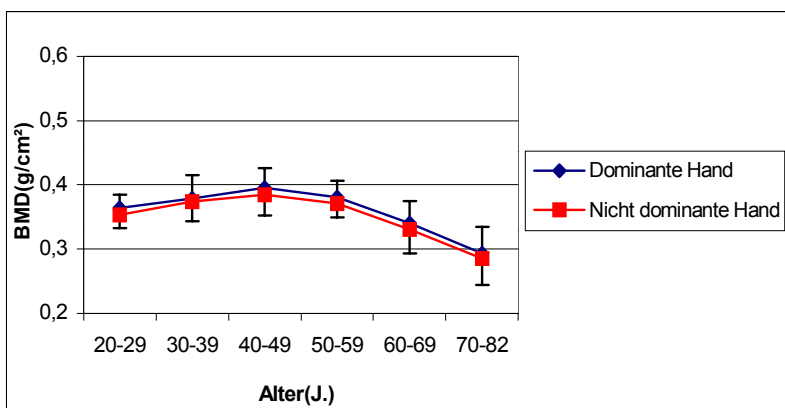


Abbildung 3.2.2.8. Reference database ROI 4 BMD weiblich

ROI 4 BMD (g/cm²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
weiblich pre	0,381 [0,320;0,472]	± 0,030	0,371 [0,321;0,451]	± 0,030	3,28 [0,12;12,53]	± 2,33	0,012 [0,001;0,05]	± 0,009
weiblich post	0,336 [0,220;0,420]	± 0,050	0,327 [0,206;0,406]	± 0,049	3,67 [0,00;10,54]	± 2,44	0,012 [0,00;0,04]	± 0,009
weiblich gesamt	0,360 [0,220;0,472]	± 0,047	0,351 [0,206;0,451]	± 0,045	3,46 [0,00;0,13]	± 2,39	0,012 [0,00;0,05]	± 0,009
männlich gesamt	0,397 [0,312;0,459]	± 0,034	0,387 [0,305;0,455]	± 0,036	2,98 [0,11;12,12]	± 2,72	0,012 [0,001;0,04]	± 0,010

Tabelle 3.2.2.7a. Reference database ROI 4 BMD männlich/weiblich

ROI 4 BMD (g/cm²)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	- 3,90	- 4,09	0,037	0,038
weiblich post	0,0008	-15,40	-15,42	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-9,24	-9,36	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	- / -	- / -	- / -	- / -

Tabelle 3.2.2.7b. Reference database ROI 4 BMD männlich/weiblich

ROI 4 BMC (g)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]
weiblich pre	2,20 ± 0,32 [1,70;3,00]	2,08 ± 0,30 [1,40;2,74]	5,47 ± 4,60 [0,00;20,90]	0,121 ± 0,098 [0,00;0,370]
weiblich post	2,01 ± 0,39 [1,14;2,71]	1,91 ± 0,39 [1,00;2,72]	6,29 ± 4,05 [0,32;14,45]	0,130 ± 0,091 [0,01;0,385]
weiblich gesamt	2,11 ± 0,36 [1,14;3,00]	2,00 ± 0,36 [1,00;2,74]	5,85 ± 4,37 [0,00;20,90]	0,125 ± 0,095 [0,00;0,385]
männlich gesamt	2,84 ± 0,35 [2,17;3,56]	2,72 ± 0,36 [1,88;3,50]	4,79 ± 4,32 [0,00;20,68]	0,136 ± 0,120 [0,00;0,49]

Tabelle 3.2.2.8a. Reference database ROI 4 BMC männlich/weiblich

ROI 4 BMC (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	-22,44	-23,20	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	0,0002	-29,06	-29,52	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-25,52	-26,14	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	· / ·	· / ·	· / ·	· / ·

Tabelle 3.2.2.8b. Reference database ROI 4 BMC männlich/weiblich

ROI 5

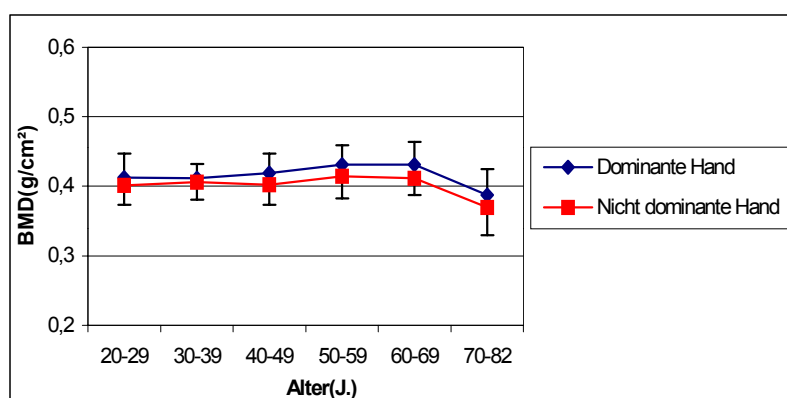


Abbildung 3.2.2.9. Reference database ROI 5 BMD männlich

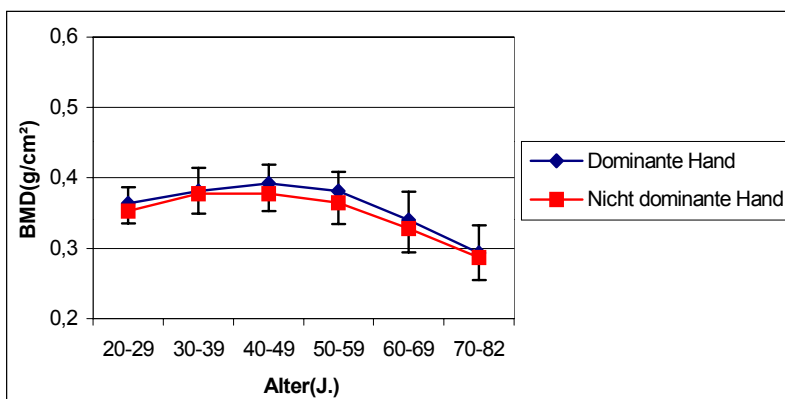


Abbildung 3.2.2.10. Reference database ROI 5 BMD weiblich

ROI 5 BMD (g/cm²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand	
	MW	SD [Spannweite]	MW	SD [Spannweite]	MW	SD	MW	SD
weiblich pre	0,380	± 0,029 [0,318;0,454]	0,368	± 0,028 [0,301;0,433]	3,92	± 2,81 [0,00;12,16]	0,015	± 0,010 [0,00;0,045]
weiblich post	0,337	± 0,051 [0,231;0,433]	0,326	± 0,046 [0,220;0,407]	4,65	± 3,31 [0,00;12,96]	0,016	± 0,011 [0,00;0,04]
weiblich gesamt	0,360	± 0,047 [0,231;0,454]	0,348	± 0,043 [0,220;0,433]	4,26	± 3,08 [0,00;12,96]	0,015	± 0,010 [0,00;0,045]
männlich gesamt	0,418	± 0,033 [0,352;0,487]	0,404	± 0,032 [0,336;0,478]	3,98	± 2,69 [0,56;11,24]	0,017	± 0,011 [0,003;0,052]

Tabelle 3.2.2.9a. Reference database ROI 5 BMD männlich/weiblich

ROI 5 BMD (g/cm²)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	-9,13	-8,98	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	0,0004	-19,44	-19,40	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-13,92	-13,82	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	·/·	·/·	·/·	·/·

Tabelle 3.2.2.9b. Reference database ROI 5 BMD männlich/weiblich

ROI 5 BMC (g)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]
weiblich pre	1,38 ± 0,22 [1,04;1,95]	1,33 ± 0,24 [0,96;2,11]	6,14 ± 3,75 [0,36;13,27]	0,086 ± 0,058 [0,01;0,28]
weiblich post	1,27 ± 0,24 [0,77;1,85]	1,22 ± 0,24 [0,68;1,71]	6,68 ± 5,11 [0,45;18,78]	0,083 ± 0,064 [0,01;0,23]
weiblich gesamt	1,33 ± 0,24 [0,77;1,95]	1,28 ± 0,25 [0,68;2,11]	6,39 ± 4,44 [0,36;18,78]	0,085 ± 0,060 [0,01;0,28]
männlich gesamt	1,87 ± 0,24 [1,38;2,46]	1,80 ± 0,23 [1,31;2,41]	5,28 ± 3,74 [0,27;14,75]	0,101 ± 0,077 [0,01;0,31]

Tabelle 3.2.2.10a. Reference database ROI 5 BMC männlich/weiblich

ROI 5 BMC (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante Hand	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	0,003	-26,01	-26,06	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	0,008	-32,18	-32,34	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	0,0001	-28,88	-28,98	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	0,0004	/		/	

Tabelle 3.2.2.10b. Reference database ROI 5 BMC männlich/weiblich

ROI 6

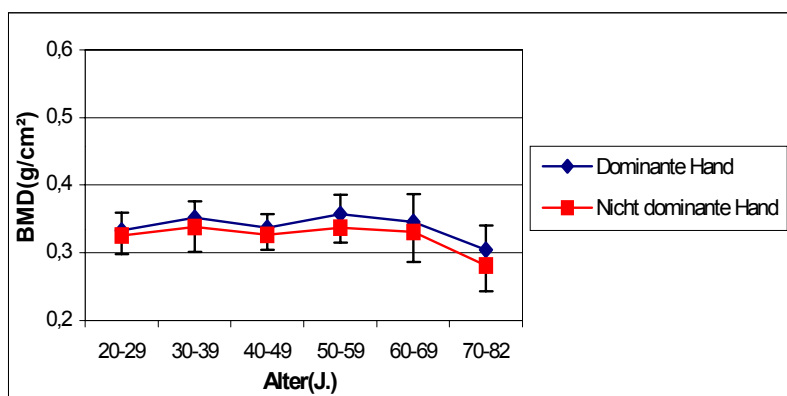


Abbildung 3.2.2.11. Reference database ROI 6 BMD männlich

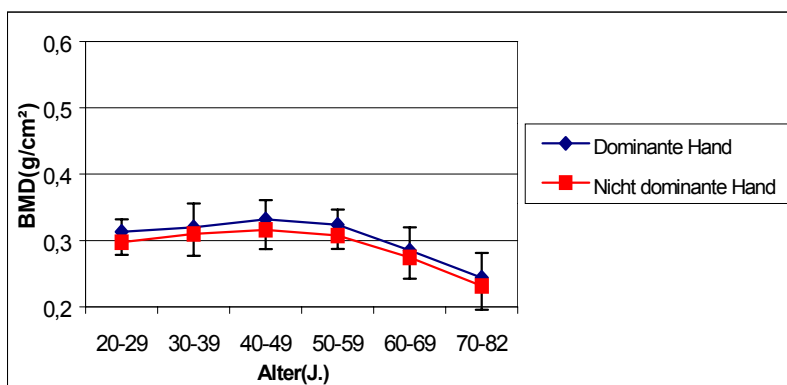


Abbildung 3.2.2.12. Reference database ROI 6 BMD weiblich

ROI 6 BMD (g/cm ²)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g/cm ²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
weiblich pre	0,322	± 0,028	0,307	± 0,027	5,39	± 3,05	0,017	± 0,010
	[0,258;0,391]		[0,269;0,383]		[0,29;214,04]		[0,001;0,05]	
weiblich post	0,284	± 0,047	0,272	± 0,046	5,55	± 3,72	0,016	± 0,012
	[0,172;0,363]		[0,159;0,337]		[0,00;14,31]		[0,00;0,044]	
weiblich gesamt	0,304	± 0,043	0,290	± 0,041	5,46	± 3,38	0,017	± 0,011
	[0,172;0,391]		[0,159;0,383]		[0,00;14,31]		[0,00;0,05]	
männlich gesamt	0,342	± 0,034	0,327	± 0,035	5,48	± 2,97	0,019	± 0,010
	[0,272;0,412]		[0,235;0,407]		[0,29;13,63]		[0,001;0,044]	

Tabelle 3.2.2.11a. Reference database ROI 6 BMD männlich/weiblich

ROI 6 BMD (g/cm ²)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	-5,72	-6,22	0,006	0,004
weiblich post	< 0,0001	-16,86	-17,04	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-10,90	-11,25	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	< 0,0001	-	-	-	-

Tabelle 3.2.2.11b. Reference database ROI 6 BMD männlich/weiblich

ROI 6 BMC (g)	Dominante Hand		Nicht dominante Hand		Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand		Differenz absolut (g)	
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW [Spannweite]	SD
weiblich pre	1,41 [1,02;1,98]	± 0,21	1,31 [0,95;1,93]	± 0,19	7,98 [1,04;22,73]	± 5,15	0,114 [0,02;0,45]	± 0,086
weiblich post	1,32 [0,69;1,97]	± 0,30	1,22 [0,60;1,75]	± 0,27	9,14 [0,35;20,61]	± 6,16	0,125 [0,01;0,37]	± 0,098
weiblich gesamt	1,37 [0,69;1,98]	± 0,26	1,27 [0,60;1,93]	± 0,24	8,52 [0,35;22,73]	± 5,67	0,119 [0,01;0,45]	± 0,092
männlich gesamt	1,93 [1,42;2,56]	± 0,28	1,79 [1,06;2,50]	± 0,29	8,99 [1,11;26,22]	± 5,54	0,174 [0,02;0,435]	± 0,108

Tabelle 3.2.2.12a. Reference database ROI 6 BMC männlich/weiblich

ROI 6 BMC (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	< 0,0001	-26,92	-26,98	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	< 0,0001	-31,48	-31,79	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	< 0,0001	-29,04	-29,22	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	0,0004	/		/	

Tabelle 3.2.2.12b. Reference database ROI 6 BMC männlich/weiblich

ROI 7

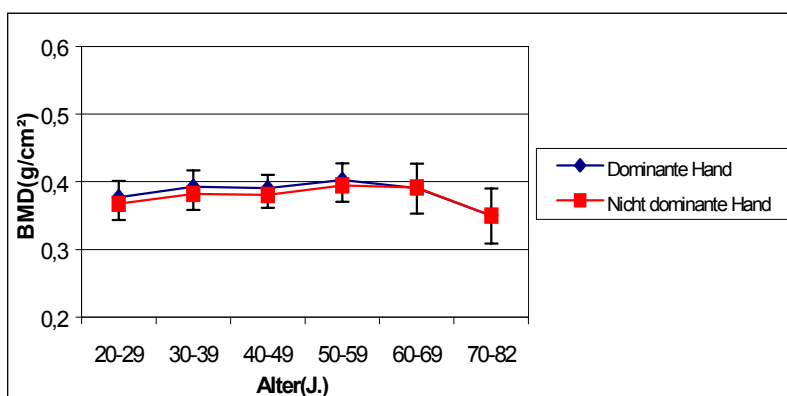


Abbildung 3.2.2.13. Reference database ROI 7 BMD männlich

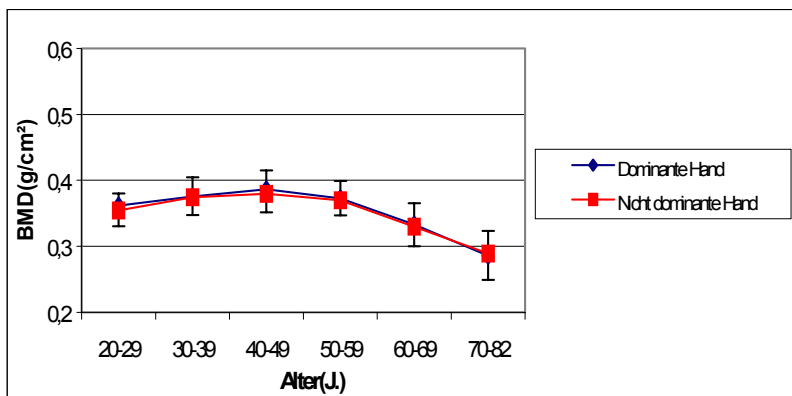


Abbildung 3.2.2.14. Reference database ROI 7 BMD weiblich

ROI 7 BMD (g/cm²)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g/cm²) minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]
weiblich pre	0,376 ± 0,026 [0,332;0,444]	0,370 ± 0,027 [0,320;0,439]	2,32 ± 1,83 [0,12;7,71]	0,009 ± 0,006 [0,001;0,027]
weiblich post	0,328 ± 0,048 [0,220;0,415]	0,328 ± 0,047 [0,221;0,418]	2,44 ± 1,54 [0,13;6,06]	0,008 ± 0,005 [0,001;0,02]
weiblich gesamt	0,354 ± 0,045 [0,220;0,444]	0,350 ± 0,043 [0,221;0,439]	2,38 ± 1,71 [0,12;7,71]	0,008 ± 0,006 [0,001;0,027]
männlich gesamt	0,387 ± 0,031 [0,321;0,439]	0,380 ± 0,031 [0,300;0,438]	3,11 ± 2,23 [0,12;9,10]	0,012 ± 0,008 [0,001;0,03]

Tabelle 3.2.2.13a. Reference database ROI 7 BMD männlich/weiblich

ROI 7 BMD (g/cm²)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante Hand	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	0,0005	- 2,78	- 2,50	n. s.	n. s.
weiblich post	0,931	-15,28	- 13,75	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	0,009	- 8,59	- 7,73	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	0,0009	·/·	·/·	·/·	·/·

Tabelle 3.2.2.13b. Reference database ROI 7 BMD männlich/weiblich

ROI 7 BMC (g)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]
weiblich pre	2,12 ± 0,29 [1,62;2,86]	2,07 ± 0,28 [1,57;2,75]	4,12 ± 3,09 [0,18;13,74]	0,086 ± 0,063 [0,01;0,250]
weiblich post	1,92 ± 0,36 [1,09;2,71]	1,89 ± 0,34 [1,09;2,76]	3,79 ± 2,73 [0,28;9,64]	0,076 ± 0,058 [0,01;0,225]
weiblich gesamt	2,03 ± 0,34 [1,09;2,86]	1,99 ± 0,32 [1,09;2,76]	3,96 ± 2,93 [0,18;13,74]	0,082 ± 0,061 [0,01;0,250]
männlich gesamt	2,67 ± 0,31 [1,93;3,31]	2,59 ± 0,31 [1,88;3,24]	5,47 ± 3,93 [0,38;19,18]	0,149 ± 0,105 [0,01;0,445]

Tabelle 3.2.2.14a. Reference database ROI 7 BMC

ROI 7 BMC (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante Hand	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
weiblich pre	0,004	-20,58	-19,79	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	0,227	-28,40	-26,77	< 0,0001	< 0,0001
weiblich gesamt	0,003	-24,22	- 23,04	< 0,0001	< 0,0001
männlich gesamt	0,001	·/·	·/·	·/·	·/·

Tabelle 3.2.2.14b. Reference database ROI 7 BMC

Alters- und geschlechtsbezogene Mittelwerte Hand gesamt

Bei Betrachtung des BMD- und BMC-Verlaufs von Männern und Frauen ist auffällig, daß bei Frauen bis zum 50. Lebensjahr zunächst eine BMD- und BMC-Zunahme zu verzeichnen ist. Die höchsten BMD-Werte finden sich dabei in ROI 1 und betragen 0,418 g/cm² für die dominante und 0,407 g/cm² für die nicht dominante Hand. Die höchsten BMC-Werte findet man in ROI 2 mit knapp 24 g. Danach kommt es zu einem drastischen Abfall der Werte, die in der Gruppe der 70-82-jährigen ihren tiefsten Punkt erreichen. Die niedrigsten BMD- und BMC-Werte sind in ROI 6 zu verzeichnen mit 0,304 g/cm², bzw. 1,37 g für die dominante und 0,290 g/cm², bzw. 1,27 g für die nicht dominante Hand. Der durchschnittliche prozentuale BMD-Unterschied zwischen der Gruppe der

40-49- (mit den höchsten Werten) und 70-82-jährigen (mit den niedrigsten Werten) beträgt dabei über alle ROIs gemittelt 24,5 % ($p < 0,001$) und ist in ROI 6 mit 26,6 % ($p < 0,001$) am größten. Die höchste prozentuale BMC-Differenz über sämtliche ROIs gemittelt liegt bei 25,8 % ($p < 0,001$) und ist in ROI 4 mit 28,8 % ($p < 0,001$) am ausgeprägtesten.

Bei den gemessenen männlichen Personen ist anders als bei den Frauen bis zum 70. Lebensjahr ein Anstieg der Werte zu beobachten, so daß sich die höchsten Werte in der Gruppe der 60-69-jährigen finden. Erst dann kommt es zu einer leichten Abnahme. Eine Ausnahme stellt ROI 6 dar, wo es bereits ab dem 60. Lebensjahr zu einer BMD-Regression kommt. Die höchsten BMD-Werte finden sich ebenso wie bei den weiblichen Personen in ROI 1 mit 0,483g/cm² für die dominante und 0,462 g/cm² für die nicht dominante Hand, die größten BMC-Werte in ROI 2 mit 33,91 g und 32,30 g und die niedrigsten Werte in ROI 6 mit 0,342 g/cm², bzw. 1,87 g (allerdings in ROI 5) und 0,327 g/cm², bzw. 1,79 g.

Die durchschnittliche relative Differenz zwischen dominanter und nicht dominanter Hand liegt für die Männerhand bei 3,8 % (BMD) und 5,9 % (BMC), für die Frauenhand bei 3,7 % (BMD) und 5,8 % (BMC). Dabei sind in beiden Geschlechtern die ausgeprägtesten Unterschiede in ROI 6 zu finden mit 5,5 % (BMD) und 8,5 % (BMC) für die Frauenhand und 5,5 % (BMD) und 9,0 % (BMC) für die Männerhand. Die prozentuale Abweichung für die BMC-Werte liegt damit im Schnitt 2 % höher als für die BMD-Werte.

Die prozentualen Unterschiede für Männer und Frauen sind also in etwa gleich groß, wobei sich die absoluten Differenzen mit insgesamt 0,013 g/cm² (BMD), bzw. 0,432 g (BMC) für die Frauenhand und 0,016 g/cm², bzw. 0,640 g für die Männerhand jedoch leicht unterscheiden. Die höchsten absoluten BMD-Differenzen findet man in ROI 1. Die gemessenen Unterschiede zwischen dominanter und nicht dominanter Hand waren in der Regel für beide Geschlechter signifikant ($p < 0,01$) bis hochsignifikant ($p < 0,001$) mit Ausnahme von ROI 7 (Metacarpophalangealgelenk Zeigefinger), wo sich in der Gruppe der postmenopausalen Frauen sowohl für die BMD ($p = 0,931$) als auch die BMC ($p = 0,227$) kein Unterschied feststellen ließ.

Der prozentuale Unterschied zwischen Männern_{gesamt} und Frauen_{gesamt} liegt, über sämtliche ROIs gemittelt, für die BMD bei 11,3 % bezogen auf die Männerhand.

Unterteilt man die gemessenen weiblichen Personen in pre- und postmenopausal und vergleicht deren Werte dann mit denen der männlichen Personen, so ergeben sich unterschiedliche Differenzen: Während premenopausale Frauen zu den männlichen Personen die BMD betreffend einen durchschnittlichen Unterschied von -6,5 % (in ROI 1 mit -9,8 % für die dominante Hand ($p < 0,001$) und in ROI 5 mit -9,0 % für die nicht dominante Hand ($p < 0,001$) am höchsten) und die BMC betreffend von -25,5 % (in ROI 2 mit -31,2 % ($p < 0,001$) und -29,7 % ($p < 0,001$) am größten) aufweisen, zeigen postmenopausale Frauen für die BMD einen Unterschied von -16,8 % (in ROI 5 mit -19,4 % für dominante Hand und nicht dominante Hand am größten) und für die BMC von -31,0 % (in ROI 2 mit -33,9 % für die dominante und -32,5 % für die nicht dominante Hand am größten).

Bei postmenopausalen Frauen sind die Unterschiede zu den Männern immer hochsignifikant ($p < 0,001$), wohingegen bei premenopausalen Frauen in ROI 7 die BMD betreffend kein Unterschied zu den männlichen Personen besteht. Postmenopausale Frauen haben eine durchschnittlich 11 % niedrigere Knochendichte (in ROI 7 mit insgesamt -12,2 % am größten) und einen 7,2 % niedrigeren Knochenmineralgehalt (ebenfalls in ROI 7 mit -9,3 % am höchsten) als premenopausale Frauen. Die Knochendichte betreffend sind die Unterschiede zwischen pre- und postmenopausalen Frauen immer hochsignifikant ($p < 0,001$), den Knochenmineralgehalt betreffend bestehen signifikante Unterschiede nur für die dominante Hand in ROI 3, in ROI 5 und für beide Hände in ROI 4 und in ROI 7.

3.2.3. Seitenbezogene Mittelwerte Hand gesamt

BMD (g/cm ²)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g/cm ²) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand SD [Spannweite]	P (dominante zu nicht dominante Hand)
Alle Rechtshänder ROI 1	0,442 ± 0,059 [0,262;0,588]	0,423 ± 0,054 [0,276;0,562]	4,59 ± 3,45 [0,00;19,72]	0,021 ± 0,017 [0,00;0,112]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 1	0,446 ± 0,053 [0,311;0,525]	0,448 ± 0,052 [0,310;0,532]	2,90 ± 2,62 [0,00;10,44]	0,013 ± 0,011 [0,00;0,044]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 2	0,362 ± 0,043 [0,216;0,446]	0,349 ± 0,041 [0,212;0,439]	3,62 ± 2,13 [0,00;9,25]	0,013 ± 0,008 [0,00;0,038]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 2	0,363 ± 0,043 [0,243;0,431]	0,363 ± 0,042 [0,248;0,432]	1,78 ± 1,81 [0,00;7,01]	0,006 ± 0,006 [0,00;0,024]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 3	0,382 ± 0,045 [0,231;0,467]	0,368 ± 0,044 [0,220;0,453]	3,85 ± 2,34 [0,00;12,26]	0,015 ± 0,009 [0,00;0,046]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 3	0,382 ± 0,046 [0,248;0,449]	0,382 ± 0,043 [0,261;0,454]	2,15 ± 1,80 [0,14;7,55]	0,008 ± 0,007 [0,001;0,027]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 4	0,375 ± 0,046 [0,220;0,472]	0,363 ± 0,046 [0,206;0,455]	3,47 ± 2,51 [0,11;12,53]	0,013 ± 0,009 [0,001;0,04]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 4	0,372 ± 0,046 [0,243;0,443]	0,368 ± 0,046 [0,243;0,444]	2,36 ± 1,46 [0,00;7,82]	0,008 ± 0,008 [0,00;0,03]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 5	0,383 ± 0,050 [0,231;0,487]	0,366 ± 0,047 [0,220;0,478]	4,37 ± 2,74 [0,00;11,24]	0,017 ± 0,011 [0,00;0,05]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 5	0,380 ± 0,053 [0,235;0,451]	0,384 ± 0,046 [0,270;0,447]	3,09 ± 3,62 [0,00;12,96]	0,011 ± 0,011 [0,00;0,05]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 6	0,320 ± 0,043 [0,172;0,412]	0,301 ± 0,041 [0,159;0,397]	5,90 ± 3,19 [0,00;14,31]	0,019 ± 0,011 [0,00;0,05]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 6	0,311 ± 0,045 [0,197;0,401]	0,319 ± 0,046 [0,196;0,407]	3,34 ± 2,44 [0,00;8,83]	0,011 ± 0,008 [0,00;0,025]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 7	0,367 ± 0,044 [0,220;0,444]	0,361 ± 0,042 [0,221;0,439]	2,58 ± 1,91 [0,12;9,10]	0,009 ± 0,007 [0,001;0,03]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 7	0,366 ± 0,043 [0,249;0,426]	0,362 ± 0,041 [0,244;0,425]	3,05 ± 2,08 [0,12;7,51]	0,011 ± 0,008 [0,001;0,03]	n. s.

Tabelle 3.2.3.1. Reference database ROI 1 bis ROI 7 BMD Hand gesamt

BMC (g)	Dominante Hand MW SD [Spannweite]	Nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz [%] (do zu ni do Hand) bezogen auf dominante Hand MW SD [Spannweite]	Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	P (dominante zu nicht dominante Hand)
Alle Rechtshänder ROI 1	5,69 ± 1,48 [3,18;9,95]	5,37 ± 1,33 [3,3;8,95]	6,25 ± 3,80 [0,40;16,43]	0,372 ± 0,293 [0,02;1,635]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 1	6,29 ± 1,37 [4,09;8,83]	6,25 ± 1,21 [4,19;8,75]	4,30 ± 3,37 [0,08;10,43]	0,276 ± 0,231 [0,01;0,75]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 2	27,41 ± 6,22 [14,11;41,70]	25,86 ± 5,86 [13,51;41,13]	5,65 ± 3,20 [0,02;13,13]	1,564 ± 1,003 [0,01;4,58]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 2	29,22 ± 6,14 [17,46;41,92]	29,23 ± 5,86 [18,19;40,97]	2,71 ± 2,48 [0,02;8,21]	0,784 ± 0,711 [0,01;2,16]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 3	5,94 ± 1,28 [2,89;9,11]	5,61 ± 1,24 [2,63;8,36]	5,73 ± 3,72 [0,34;17,34]	0,338 ± 0,233 [0,02;1,04]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 3	6,19 ± 1,29 [3,38;8,93]	6,21 ± 1,28 [3,56;9,07B]	3,05 ± 2,60 [0,30;11,28]	0,191 ± 0,176 [0,02;0,79]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 4	2,37 ± 0,50 [1,14;3,55]	2,25 ± 0,49 [1,00;3,43]	5,70 ± 4,38 [0,00;20,90]	0,133 ± 0,101 [0,00;0,49]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 4	2,48 ± 0,51 [1,39;3,56]	2,43 ± 0,48 [1,36;3,50]	2,10 ± 2,00 [0,00;16,42]	0,111 ± 0,100 [0,00;0,49]	n. s.
Alle Rechtshänder ROI 5	1,53 ± 0,35 [0,77;2,46]	1,45 ± 0,34 [0,68;2,35]	6,17 ± 4,28 [0,27;18,78]	0,093 ± 0,068 [0,01;0,31]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 5	1,57 ± 0,36 [0,82;2,35]	1,61 ± 0,37 [0,93;2,41]	4,99 ± 3,81 [0,59;13,27]	0,080 ± 0,065 [0,01;0,28]	0,06
Alle Rechtshänder ROI 6	1,57 ± 0,38 [0,69;2,50]	1,42 ± 0,34 [0,60;2,36]	9,48 ± 5,58 [0,35;26,22]	0,152 ± 0,102 [0,01;0,45]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 6	1,61 ± 0,37 [0,95;2,56]	1,67 ± 0,37 [0,94;2,50]	4,77 ± 3,93 [0,70;15,15]	0,081 ± 0,078 [0,01;0,35]	0,02
Alle Rechtshänder ROI 7	2,25 ± 0,45 [1,09;3,31]	2,19 ± 0,43 [1,09;3,24]	4,60 ± 3,41 [0,28;19,18]	0,108 ± 0,086 [0,01;0,445]	< 0,0001
Alle Linkshänder ROI 7	2,37 ± 0,45 [1,36;3,14]	2,33 ± 0,40 [1,38;3,15]	4,20 ± 3,45 [0,18;11,30]	0,102 ± 0,087 [0,01;0,305]	n. s.

Tabelle 3.2.3.2. Reference database ROI 1 bis ROI 7 BMC Hand gesamt

Seitenbezogene Mittelwerte der Hand

Bei isolierter Betrachtung von Links- und Rechtshändern ist p in sämtlichen ROIs sowohl für die BMD als auch für die BMC nur für Rechtshänder $< 0,001$ und damit hochsignifikant, während bei Linkshändern, mit Ausnahme von ROI 6 (hier $p < 0,05$), kein Unterschied zwischen dominanter und nicht dominanter Hand besteht (p stets größer $0,05$).

Der Mittelwert für die dominante Hand entspricht bei den Linkshändern dem der nicht dominanten Hand und beträgt in ROI 2 $0,363 \text{ g/cm}^2$ (BMD), bzw. $29,22 \text{ g}$ (BMC) für die dominante und $0,363 \text{ g/cm}^2$, bzw. $29,23 \text{ g}$ für die nicht dominante Hand. Bei Rechtshändern liegen die Mittelwerte in ROI 2 bei $0,362 \text{ g/cm}^2$, bzw. $27,41 \text{ g}$ für die dominante Hand und bei $0,349 \text{ g/cm}^2$, bzw. $25,86 \text{ g}$ für die nicht dominante Hand. Die relative Differenz (%) zwischen dominanter und nicht dominanter Hand (bezogen auf die dominante Hand) ist bei Rechtshändern für die BMD und BMC in ROI 1-3 und ROI 6 in etwa doppelt so hoch wie bei Linkshändern. Über sämtliche ROIs gemittelt beträgt der prozentuale Unterschied für die BMD bei Rechtshändern 4% , bei Linkshändern $2,5 \%$. Für die BMC ergibt sich ein Unterschied von durchschnittlich $6,2 \%$ bei Rechts- und von $3,6 \%$ bei Linkshändern. Der größte prozentuale Unterschied findet sich bei Rechtshändern in ROI 6 mit $5,9 \%$ (BMD) und $9,5 \%$ (BMC), bei Linkshändern in ROI 6 mit $3,3 \%$ (BMD) und ROI 5 mit $5,0 \%$ (BMC).

Ähnliches gilt für die absoluten Differenzen, die bei Rechtshändern in ROI 2 und ROI 3 doppelt so hoch sind wie bei Linkshändern und bei Rechtshändern insgesamt im Mittel $0,015 \text{ g/cm}^2$ (BMD) und $0,551 \text{ g}$ (BMC), bei Linkshändern $0,009 \text{ g/cm}^2$ (BMD) und $0,300 \text{ g}$ (BMC) betragen.

Untersucht man Links- und Rechtshänder auf den prozentualen Anteil derjenigen, die in der linken Hand absolut höhere Werte als in der rechten Hand aufweisen, so liegt dieser Anteil bei den Rechtshändern in Bezug auf die BMD bei durchschnittlich 8% , in Bezug auf die BMC etwas höher mit 10% . Bei Linkshändern liegt dieser Anteil für BMD und BMC gleichermaßen bei insgesamt $42,1 \%$ und damit wesentlich höher als bei Rechtshändern.

3.3. Ergebnisse der Ganzkörpermessung (whole body)

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Ganzkörpermessung mit Diagrammen und entsprechenden BMD-, BMC-, Muskelmasse- und Fettmassewerten für die einzelnen Untergruppen dargestellt.

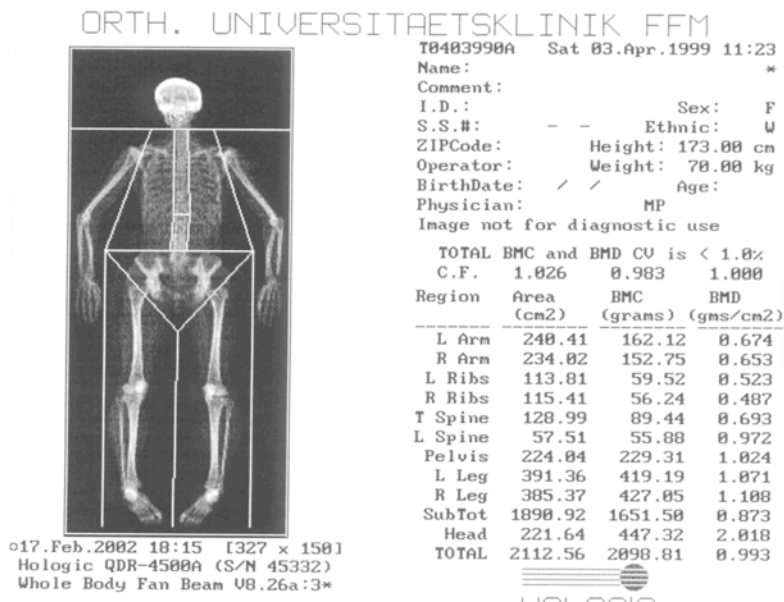


Abbildung 3.3.1.: Analyse des „Whole body“ - Scans

ORTH. UNIVERSITÄETSKLINIK FFM

T0403990A Sat 03.Apr.1999 11:23

Hologic QDR-4500A (S/N 45332)
Whole Body Fan Beam V8.26a:3*
017.Feb.2002 18:15

TBAR1171 - 1
F.S. 68.00% 0(10.00)%

Name: *
Comment:
I.D.: Sex: F
S.S.#: - - Ethnic: W
ZIPCode: Height: 173.00 cm
Operator: Weight: 70.00 kg
BirthDate: / / Age:
Physician: MP

Region	BMC (grams)	Fat (grams)	Lean (grams)	Lean+BMC (grams)	Total (grams)	% Fat (%)
L Arm	162.1	1550.7	2444.3	2606.5	4157.2	37.3
R Arm	152.8	1360.4	2357.5	2510.2	3870.6	35.1
Trunk	490.4	7679.4	24095.8	24586.2	32265.6	23.8
L Leg	419.2	4684.8	7850.0	8269.2	12954.0	36.2
R Leg	427.0	4662.9	7973.4	8400.4	13063.3	35.7
SubTot	1651.5	19938.2	44721.0	46372.5	66310.7	30.1
~ Head	447.3	909.1	3138.3	3585.7	4494.7	20.2
TOTAL	2098.8	20847.3	47859.3	49958.1	70805.4	29.4

~assumes 17.0% brain fat
LBM 73.2% water


 HOLOGIC

Abbildung 3.3.2.: Daten zum „Whole body“ - Scan aus Abbildung 3.3.1.

3.3.1. Altersbezogene Mittelwerte des Armes

3.3.1.1. Verlauf BMD (g/cm^2) Arm gesamt

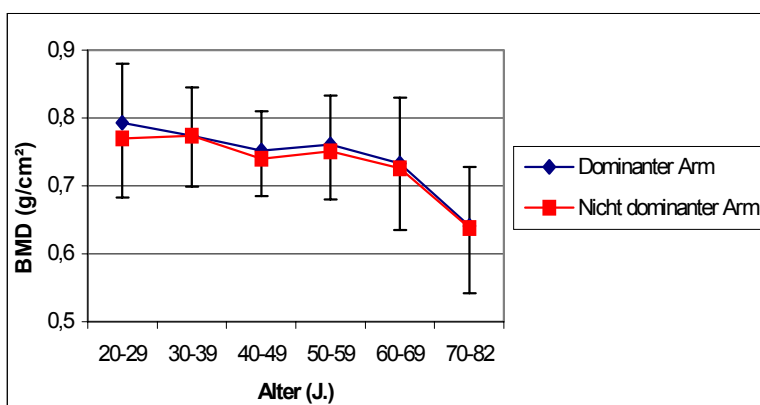


Abbildung 3.3.1.1.1. Reference database BMD (g/cm^2) Arm gesamt

Arm BMD (g/cm ²)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut		P
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW [Spannweite]	SD	
alle	0,746 [0,518;0,961]	± 0,092	0,736 [0,515;0,927]	± 0,090	2,70 [-8,08;9,25]	± 2,10	0,016 [-0,068;0,066]	± 0,021	< 0,0001
20-29 J.	0,793 [0,663;0,961]	± 0,087	0,770 [0,618;0,927]	± 0,087	2,91 [-4,84;9,25]	± 1,74	0,022 [-0,037;0,063]	± 0,022	0,0002
30-39 J.	0,774 [0,639;0,876]	± 0,072	0,774 [0,658;0,924]	± 0,076	0,36 [-5,96;2,97]	± 2,21	0,018 [-0,052;0,024]	± 0,020	n. s.
40-49 J.	0,752 [0,670;0,910]	± 0,058	0,740 [0,639;0,867]	± 0,055	3,20 [-0,66;4,73]	± 2,70	0,016 [-0,005;0,043]	± 0,013	0,01
50-59 J.	0,761 [0,629;0,896]	± 0,072	0,750 [0,623;0,910]	± 0,071	2,77 [-8,08;7,37]	± 2,27	0,017 [-0,068;0,066]	± 0,013	0,005
60-69 J.	0,733 [0,604;0,895]	± 0,097	0,725 [0,603;0,888]	± 0,090	2,99 [-6,18;7,23]	± 2,24	0,019 [-0,042;0,047]	± 0,014	0,04
70-82 J.	0,641 [0,518;0,845]	± 0,087	0,637 [0,515;0,894]	± 0,095	2,71 [-4,98;6,26]	± 2,08	0,020 [-0,027;0,049]	± 0,018	n. s.

Tabelle 3.3.1.1.1. Reference database BMD (g/cm²) Arm gesamt

Die BMD-Werte erfahren zunächst von der Gruppe der 20-29-jährigen eine leichte Abnahme bis zur Gruppe der 40-49-jährigen, bleiben dann bis Ende des 59. Lebensjahres relativ konstant und sinken dann bis zum 69. Lebensjahr dezent, ab dem 70. Lebensjahr drastisch ab. Die Werte betragen durchschnittlich für den dominanten Arm 0,746 g/cm² und sind in der Gruppe der 20-29-jährigen mit 0,793 g/cm² am höchsten, für den nicht dominanten Arm liegen sie bei 0,736 g/cm², wobei sich der höchste Wert bei den 30-39-jährigen mit 0,774 g/cm² findet. Die BMD-Abnahme von der Gruppe der 20-29-jährigen mit den höchsten Werten hin zu den 70-82-jährigen mit der niedrigsten Knochendichte beträgt insgesamt 19,1 % für den dominanten und 17,6 % für den nicht dominanten Arm.

Die prozentuale Differenz zwischen beiden Armen liegt im Durchschnitt bei 2,7 % und ist für die 40-49-jährigen mit 3,2 % am stärksten ausgeprägt. Diese Unterschiede sind bis auf die Gruppe der 30-39- (hier entspricht der Wert für den dominanten Arm mit 0,774 g/cm² dem des nicht dominanten Arms) und 40-49-jährigen alle signifikant.

Die absoluten Differenzen nehmen Werte von 0,016 bis 0,022 g/cm² an, wobei sie in der Gruppe 20-29 Jahre am höchsten sind.

3.3.1.2. Verlauf BMC (g) Arm gesamt

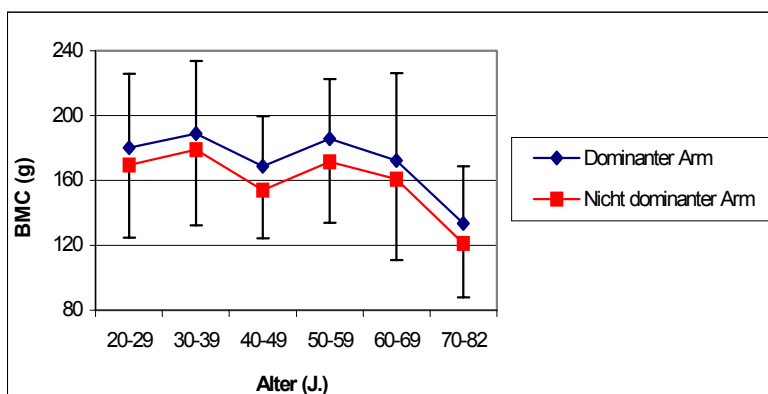


Abbildung 3.3.1.2.1. Reference database BMC (g) Arm gesamt

Arm BMC(g)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)		P
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand	SD	
alle	173	± 44,8	160	± 44,3	7,40	± 7,16	12,8	± 11,9	< 0,0001
20-29 J.	180	± 45,5	169	± 44,9	6,43	± 6,06	11,1	± 11,0	0,0006
30-39 J.	189	± 44,6	179	± 46,9	5,35	± 8,63	9,9	± 11,2	0,05
40-49 J.	169	± 30,6	154	± 29,8	8,87	± 4,48	14,8	± 7,3	< 0,0001
50-59 J.	186	± 36,7	172	± 37,8	7,88	± 6,40	14,3	± 12,9	< 0,0001
60-69 J.	172	± 53,6	160	± 49,5	8,51	± 8,22	14,4	± 11,8	0,006
70-82 J.	133	± 35,2	121	± 33,4	9,06	± 6,78	13,5	± 5,2	< 0,0001

Tabelle 3.3.1.2.1. Reference database BMC (g) Arm gesamt

Der Verlauf der BMC (g) entspricht in etwa dem der BMD (g/cm²): Zunächst kommt es zur Altersgruppe der 30-39-jährigen hin zu einem leichten Anstieg der Werte, um danach wieder abzufallen, so daß die Werte für die Gruppe 40-49 Jahre unter denen der 20-29-jährigen liegen. Zu den 50-59-jährigen hin steigt die BMC wieder an und auch hier findet sich typischerweise mit dem 60. Lebensjahr beginnend eine Abnahme, die vor allem ab dem 70. Lebensjahr sehr stark ausgeprägt ist. Die prozentuale BMC-Abnahme von der Gruppe der 30-39-jährigen mit dem höchsten Knochenmineralgehalt hin zu den

70-82-jährigen beträgt dabei durchschnittlich 29,4 % im dominanten und 32,3 % im nicht dominanten Arm. Die Abstände zwischen dominantem und nicht dominantem Arm verlaufen über die gesamte Altersspanne sehr parallel zueinander.

Die durchschnittliche BMC beträgt 173 g für den dominanten Arm (für die 30-39-jährigen mit 189 g am höchsten) und 160 g für den nicht dominanten Arm (ebenfalls für die 30-39-jährigen mit 179 g am größten). Der relative Unterschied liegt für alle gemessenen Personen bei 7,40 % und ist bei den 70-82-jährigen mit 9,1 % am größten. Allerdings lässt sich keine kontinuierliche Zunahme mit dem Alter verzeichnen. Es kommt im Gegenteil zunächst zu einer Abnahme bis auf 5,4 % bei den 30-39-jährigen und erst dann steigen die Unterschiede wieder an, die für alle Gruppen übrigens hochsignifikant sind mit Ausnahme der 30-39-jährigen, wo sich nur eine schwach signifikante Differenz findet.

Die absoluten Differenzen liegen zwischen 9,9 (30-39 Jahre) und 14,8 (40-49 Jahre) g, insgesamt bei 12,8 g.

3.3.1.3. Verlauf Muskelmasse (g) Arm gesamt

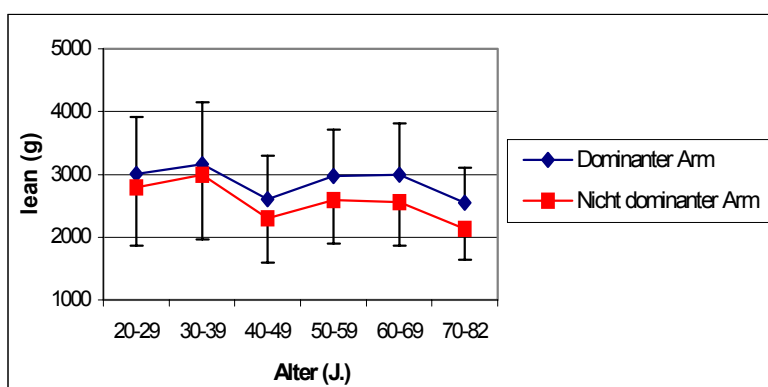


Abbildung 3.3.1.3.1. Reference database Muskelmasse Arm gesamt

Arm Muskel- masse(g)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)		P
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW [Spannweite]	SD	
alle	2889 [1664;4882]	± 814,9	2565 [1236;5297]	± 815,4	11,49 [-25,59;28,39]	± 9,91	324 [-643;945]	± 281,7	< 0,0001
20-29 J.	3011 [1849;4509]	± 896,7	2792 [1719;4224]	± 930,1	8,05 [-6,71;20,96]	± 6,67	219 [-159;945]	± 200,0	0,0008
30-39 J.	3157 [1872;4882]	± 989,2	2996 [1624;5297]	± 1030,4	5,19 [-18,94;18,98]	± 12,31	161 [-415;582]	± 352,0	n. s.
40-49 J.	2602 [1987;4132]	± 690,1	2296 [1643;3754]	± 699,8	12,35 [-2,47;19,89]	± 6,38	307 [-52;491]	± 157,6	< 0,0001
50-59 J.	2972 [1664;4256]	± 740,2	2596 [1236;4036]	± 703,6	12,67 [-20,34;25,73]	± 9,45	376 [-643;932]	± 295,2	< 0,0001
60-69 J.	2993 [1747;4090]	± 820,5	2563 [1493;3633]	± 699,8	13,47 [-25,59;24,79]	± 12,31	430 [-452;839]	± 303,9	< 0,0001
70-82 J.	2551 [1998;4034]	± 559,8	2135 [1674;3582]	± 500,7	16,27 [-1,85;28,39]	± 6,38	416 [-40;748]	± 176	< 0,0001

Tabelle 3.3.1.3.1. Reference database Muskelmasse (g) Arm gesamt

Der allgemeine Verlauf der Werte für die Muskelmasse (lean;g) ist zunächst ähnlich dem der BMC mit der Ausnahme, daß nicht bereits nach dem 59., sondern erst ab dem 70. Lebensjahr eine Abnahme zu verzeichnen ist, wobei die Werte vom 50. bis zum 69. Lebensjahr konstant bleiben. Auffällig ist, daß sich die Abstände zwischen beiden Armen mit zunehmendem Alter vergrößern. Die durchschnittliche Muskelmasse beträgt für den dominanten Arm 2889 g und für den nicht dominanten Arm 2565 g. Die höchsten Werte finden sich bei den 30-39-jährigen mit 3157 g, bzw. 2996 g. Damit ist die absolute Differenz zwischen beiden Armen 324 g und in der Gruppe 60-69 Jahre mit 430 g am höchsten. Dies entspricht einem relativen Unterschied von insgesamt 11,5 % für alle gemessenen Personen, der in der ältesten Gruppe mit 16,3 % am ausgeprägtesten ist. Die gemessenen Unterschiede sind in Bezug auf den dominanten Arm alle hochsignifikant. Nur für die 30-39-jährigen läßt sich kein Unterschied feststellen. Hier liegen die gemessenen Differenzen auch mit Abstand am niedrigsten. Sie betragen im Schnitt nur 5,2 % (relativer Unterschied), bzw. 161 g (absolute Differenz). Die prozentuale Abnahme von der Gruppe der 30-39-jährigen mit den höchsten Werten bis zu den 70-82-jährigen liegt für den dominanten Arm bei 19,2 % (mit $p = 0,056$ nur fast signifikant) und für den nicht dominanten Arm fast 10 % höher bei 28,7 % ($p = 0,02$).

3.3.1.4. Verlauf Fettmasse (g) Arm gesamt

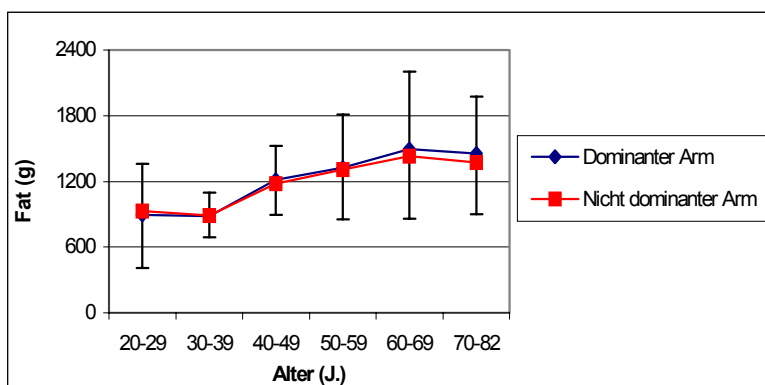


Abbildung 3.3.1.4.1. Reference database Fettmasse (g) Arm gesamt

Arm Fat(g)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)		P
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW [Spannweite]	SD	
alle	1217 [360;3550]	± 535,0	1193 [355;3150]	± 490,9	8,44 [-6,00;27,48]	± 6,56	72,1 [-228,1;416,8]	± 111,3	0,06
20-29 J.	894 [360;2204]	± 467,3	931 [355;2334]	± 519	10,64 [1,39;21,77]	± 5,72	38,9 [-146,9;200,4]	± 93,8	0,09
30-39 J.	884 [404;1266]	± 215,0	890 [484;1294]	± 200,8	6,56 [-5,27;19,72]	± 6,70	25,9 [-132,6;88,5]	± 62,9	n. s.
40-49 J.	1212 [792;1806]	± 312,5	1181 [727;1669]	± 286,6	6,65 [0,34;19,67]	± 5,53	39,8 [-228,1;203,5]	± 94,5	n. s.
50-59 J.	1327 [705;2759]	± 481,9	1306 [773;2587]	± 454,8	7,89 [0,08;27,48]	± 7,21	74,5 [-156,4;349,3]	± 108,7	n. s.
60-69 J.	1467 [806;3550]	± 707,5	1428 [739;3150]	± 572,1	8,33 [-6,00;16,45]	± 6,41	138,7 [-67,3;416,8]	± 135,0	n. s.
70-82 J.	1455 [642;2351]	± 517,3	1374 [519;2267]	± 477,6	9,98 [1,13;26,14]	± 6,28	118,8 [-162,9;315,2]	± 110,5	0,04

Tabelle 3.3.1.4.1. Reference database Fettmasse (g) Arm gesamt

Betrachtet man den Verlauf des Fettgehalts der Arme mit dem Alter, so fällt als erstes auf, daß nach dem 39. Lebensjahr ein stetiger Zuwachs zu verzeichnen ist, der bei den 60-69-jährigen seinen Höhepunkt erreicht und danach relativ konstant bleibt. Dabei beträgt die Zunahme von der Gruppe 30-39 Jahre mit den niedrigsten Werten bis zur Gruppe 60-69 Jahre insgesamt 41 % ($p = 0,005$) im dominanten und 37,7 % im nicht dominanten Arm ($p = 0,003$). Der durchschnittliche Fettgehalt im dominanten Arm beträgt 1217 g und 1193 g für den nicht dominanten Arm, was einer absoluten Differenz von im Mittel nur

72,1 g entspricht. Der Fettgehalt ist somit insgesamt im dominanten Arm minimal höher als im nicht dominanten Arm. Der prozentuale Unterschied liegt dabei im Schnitt bei 8,44 % (am größten ist er für die 20-29-jährigen mit 10,6 %), ist aber für alle gemessenen Normalpersonen mit $p = 0,06$ nicht mehr signifikant. Der einzige, jedoch schwach signifikante Unterschied findet sich bei den 70-82-jährigen ($p = 0,04$).

3.3.1.5. Verlauf Fettgehalt (%) Arm gesamt

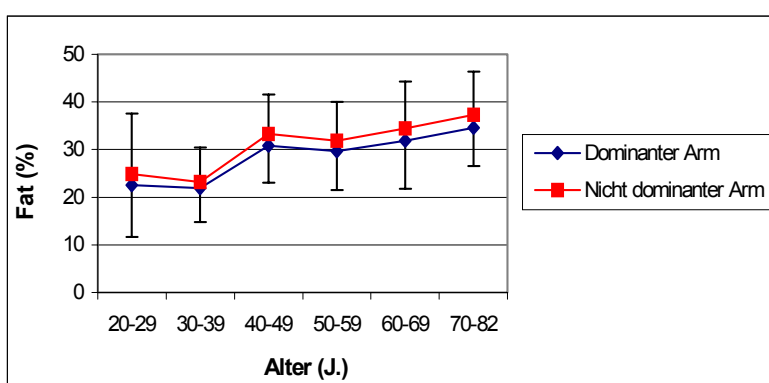


Abbildung 3.3.1.5.1. Reference database Fettgehalt (%) Arm gesamt

Arm Fat(%)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)		P
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand	SD	
alle	28,6	± 9,98	30,9	± 10,6	13,12	± 8,32	-2,3	± 3,3	< 0,0001
20-29 J.	[8,7;50,8]		[8,6;53,0]		[-0,25;42,08]		[-9,3;13,2]		0,003
30-39 J.	22,5	± 10,9	24,9	± 12,7	16,12	± 7,36	-2,4	± 3,2	
	[8,7;47,6]		[8,6;50,3]		[1,15;31,16]		[-7,0;4,4]		n. s.
40-49 J.	21,9	± 7,1	23,1	± 7,3	14,06	± 6,50	-1,2	± 2,9	
	[14,1;35,7]		[14,1;39,3]		[2,08;24,11]		[-4,4;5,4]		0,003
50-59 J.	30,9	± 7,9	33,2	± 8,3	11,50	± 6,41	-2,4	± 2,7	
	[19,1;45,2]		[19,0;48,4]		[2,05;30,29]		[-7,3;3,8]		0,007
60-69 J.	29,7	± 8,1	31,9	± 8,1	13,54	± 10,44	-2,2	± 4,0	
	[16,6;50,8]		[19,3;52,3]		[0,27;42,08]		[-9,3;13,2]		0,005
70-82 J.	31,9	± 10,2	34,5	± 9,9	12,25	± 8,68	-2,5	± 2,9	
	[18,6;50,7]		[22,4;52,4]		[-0,25;26,57]		[-5,5;6,2]		0,003
	34,6	± 8,1	37,4	± 9,0	10,10	± 6,11	-2,7	± 2,9	
	[21,2;46,2]		[21,7;53,0]		[0,00;19,29]		[-7,1;3,1]		

Tabelle 3.3.1.5.1. Reference database Fettgehalt (%) Arm gesamt

Der prozentuale Fettgehalt der Arme unterscheidet sich zwischen den Gruppen 20-29 und 30-39 Jahre nicht wesentlich. Danach kommt es jedoch zu einer

sprunghaften Zunahme nach dem 39. Lebensjahr zur Gruppe der 40-49-jährigen hin und einem nochmals diskreten Anstieg zur Gruppe 70-82 Jahre. Diese prozentuale Zunahme beträgt insgesamt in beiden Armen jeweils 37,5 % ($p < 0,001$). Der Fettgehalt des dominanten Armes (im Schnitt 28,6 %) liegt dabei immer unter dem des nicht dominanten Armes (durchschnittlich 30,9 %), so daß die absolute Differenz zwischen beiden Extremitäten -2,3 % beträgt. Den höchsten Fettanteil weist die älteste Gruppe mit 34,6 % im dominanten Arm und 37,4 % im nicht dominanten Arm auf. Diese Unterschiede sind im Gegensatz zum absoluten Fettgehalt der Arme (g) (siehe Tabelle 3.3.1.4.1.) mit Ausnahme der Gruppe 30-39 Jahre alle signifikant bis hochsignifikant.

3.3.1.6. Verlauf Totale Masse (g) Arm gesamt

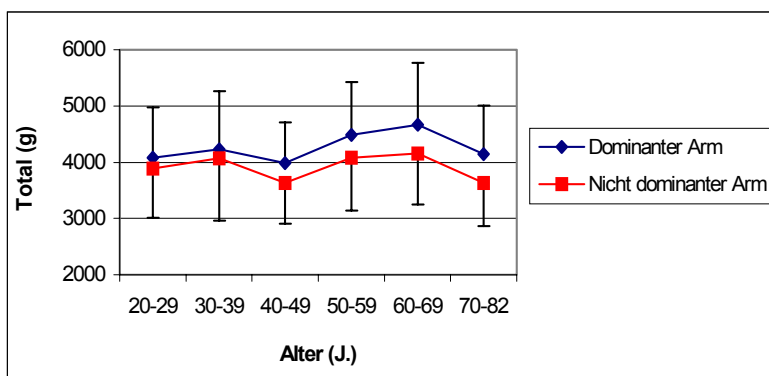


Abbildung 3.3.1.6.1. Reference database Totale Masse (g) Arm gesamt

Arm Total (g)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)		P
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW [Spannweite]	SD	
alle	4278 [2520;7055]	± 958,1	3919 [2205;6621]	± 910,3	8,28 [-15,04;20,75]	± 7,02	359 [-6,6;991]	± 314	< 0,0001
20-29 J.	4085 [2520;5701]	± 894,3	3892 [2471;5128]	± 876,9	4,86 [-0,50;17,38]	± 4,84	195 [-21;991]	± 222	0,0007
30-39 J.	4230 [2723;6015]	± 1039,6	4065 [2618;6492]	± 1100,9	4,01 [-10,40;13,85]	± 8,51	165 [-477;535]	± 351	n. s.
40-49 J.	3983 [2915;5388]	± 726,3	3630 [2590;5006]	± 726,7	9,06 [1,74;13,87]	± 3,37	353 [54;555]	± 124	< 0,0001
50-59 J.	4485 [2609;7055]	± 934,1	4075 [2205;6621]	± 928,5	9,24 [-13,66;20,75]	± 6,84	410 [-606;944]	± 314	< 0,0001
60-69 J.	4662 [2682;6996]	± 1102,2	4152 [2548;6016]	± 904,1	10,06 [-15,04;17,63]	± 8,96	510 [-403;980]	± 389	0,0001
70-82 J.	4140 [2765;6303]	± 870,8	3630 [2307;5659]	± 761,6	12,12 [2,43;20,75]	± 5,35	509 [94;972]	± 251	< 0,0001

Tabelle 3.3.1.6.1. Reference database Totale Masse (g) Arm gesamt

Das Absolutgewicht der Arme (errechnet sich aus BMC plus Muskelmasse plus Fettmasse) in g zeigt zunächst einen kleinen Anstieg zu den 30-39-jährigen hin und fällt dann wieder leicht ab zur Gruppe der 40-49-jährigen. Danach kommt es wieder zu einem kontinuierlichen Anstieg, wobei sich die höchsten Werte bei den 60-69-jährigen finden. Ab dem 70. Lebensjahr zeigt sich dann wieder eine Abnahme.

Auffallend ist die Tatsache, daß sich die Unterschiede zwischen dominantem und nicht dominantem Arm mit zunehmendem Alter stetig vergrößern. So ist die prozentuale Differenz zwischen beiden Armen für die 20-29-jährigen nur 4,9 %, wohingegen sie in der Gruppe der 70-82-jährigen 12,1 % beträgt. Das durchschnittliche Gewicht des dominanten Armes liegt bei 4278 g und des nicht dominanten Armes bei 3919 g, was einer absoluten Differenz von insgesamt 359 g entspricht, wobei der prozentuale Unterschied für alle Altersgruppen bei 8,3 % liegt. Die höchsten Werte finden sich bei den 60-69-jährigen mit 4662 g, bzw. 4152 g. Die prozentuale Abnahme von dieser Gruppe bis zur Gruppe der 70-82-jährigen beträgt für beide Arme durchschnittlich 11,9 % und ist mit einem $p = 0,035$ auch noch signifikant. Die Differenzen zwischen beiden Armen sind mit Ausnahme der 30-39-jährigen immer hochsignifikant.

3.3.2. Seitenbezogene Mittelwerte des Armes

Arm alle Rechts- händer	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)		P
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW [Spannweite]	SD	
BMD (g/cm ²)	0,737 [0,518;0,929]	± 0,087	0,724 [0,515;0,894]	± 0,084	2,69 [0,00;9,25]	± 2,09	0,020 [0,00;0,066]	± 0,016	< 0,0001
BMC (g)	171,1 [88,6;279,8]	± 43,7	154,6 [76,4;255,0]	± 41,0	9,86 [0,53;18,67]	± 4,03	16,6 [1,00;37,10]	± 7,6	< 0,0001
Lean (g)	2859 [1664;4821]	± 792,0	2435 [1236;4239]	± 730,0	15,15 [3,16;28,39]	± 5,21	424,4 [58,50;945,00]	± 169,3	< 0,0001
Fat (g)	1277 [404;3550]	± 545,0	1265 [484;3150]	± 483,2	8,26 [0,08;27,48]	± 6,42	102,7 [0,80;416,80]	± 90,4	n. s.
Fat (%)	29,7 [12,0;50,8]	± 9,6	33,0 [13,9;53,0]	± 9,6	13,1 [0,00;42,08]	± 8,41	-3,4 [-9,30;1,60]	± 2,1	< 0,0001
Total (g)	4307 [2520;7055]	± 976,3	3854 [2205;6621]	± 904,5	10,51 [0,22;20,75]	± 4,80	453 [14;991]	± 238,5	< 0,0001

Tabelle 3.3.2.1. Reference database Rechtshänder Arm

Arm alle Links- händer	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)		P
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW Spannweite]	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW [Spannweite]	SD	
BMD (g/cm ²)	0,791 [0,542;0,961]	± 0,102	0,795 [0,569;0,927]	± 0,097	-0,67 [-8,08;5,55]	± 3,70	-0,004 [-0,068;0,045]	± 0,030	n. s.
BMC (g)	183,8 [87,2;266,5]	± 48,3	191,0 [98,1;283]	± 47,6	-4,76 [-17,32;4,89]	± 6,86	-6,05 [-34,10;11,20]	± 11,8	0,01
Lean (g)	3034 [1765;4882]	± 905,8	3209 [2173;5297]	± 904,9	-6,65 [-25,59;0,16]	± 7,36	-175 [-643;6]	± 176,9	0,0005
Fat (g)	918 [360;1575]	± 354,8	839 [355;1670]	± 356,8	9,36 [-6,00;19,67]	± 7,15	-79 [-228;95]	± 76,0	0,0003
Fat (%)	23,3 [8,7;40,7]	± 10,0	20,1 [8,6;40,8]	± 9,0	13,07 [-0,25;34,55]	± 7,87	3,2 [-0,1;13,2]	± 2,8	0,0002
Total (g)	4137 [2682;6015]	± 848,3	4239 [3006;6492]	± 870,2	-2,75 [-15,04;3,80]	± 5,70	-103 [-606;193]	± 221,1	0,06

Tabelle 3.3.2.2. Reference database Linkshänder Arm

Beim Vergleich der Werte von Links- und Rechtshändern ist auffällig, daß Linkshänder konstant höhere Werte aufweisen als Rechtshänder mit Ausnahme der Fettmasse (g) und des prozentualen Fettgehalts (%). Hier liegen die Werte für Linkshänder niedriger. Diese Unterschiede sind signifikant für die BMD mit 0,737 g/cm² für Rechts- und 0,791 g/cm² für Linkshänder im dominanten Arm, was einem prozentualen Unterschied von 7,3 % ($p < 0,05$) entspricht. Im nicht dominanten Arm haben Rechtshänder eine BMD von 0,724 g/cm² und

Linkshänder von $0,795 \text{ g/cm}^2$, was einer prozentualen Differenz von $9,7 \%$ ($p = 0,008$) entspricht. Ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten von Links- und Rechtshändern bestehen für die Fettmasse (g) mit $28,1 \%$ ($p = 0,001$) sowie für den prozentualen Fettanteil mit $21,5 \%$ ($p = 0,02$) Unterschied im dominanten und $33,7 \%$ ($p < 0,001$) (Fettmasse;g) und $39,2 \%$ ($p < 0,001$) (Fettanteil;%) Unterschied im nicht dominanten Arm. Für den nicht dominanten Arm finden sich zusätzlich auch noch signifikante Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern in der Muskelmasse mit $31,8 \%$ ($p = 0,002$) sowie bei der BMC mit $23,5 \%$ ($p = 0,005$) Differenz. Keine signifikanten Abweichungen zwischen beiden bestehen für die BMC, die Muskelmasse und das Gesamtgewicht im dominanten sowie das Gesamtgewicht im nicht dominanten Arm. Für Rechtshänder sind die Mittelwerte des dominanten Arms immer höher als die des nicht dominanten Arms mit Ausnahme des prozentualen Fettanteils, der im nicht dominanten Arm größer ist. Den größten Unterschied findet man in Bezug auf die Muskelmasse, die im dominanten Arm durchschnittlich 15% höher ist als im nicht dominanten Arm. Alle diese Unterschiede sind für Rechtshänder mit Ausnahme des Fettgehalts (g) immer hochsignifikant ($p < 0,001$).

Betrachtet man die Werte der Linkshänder, so fällt einem ins Auge, daß diese im Gegensatz zu denen der Rechtshänder im nicht dominanten Arm in der Regel höher sind als im dominanten Arm - wiederum mit Ausnahme von Fettmasse (g) und Fettanteil (%), wo das Umgekehrte der Fall ist. Dabei findet sich ein signifikanter Unterschied für die BMC (g), die Muskelmasse, die Fettmasse (g) und für den Fettanteil (%). Für BMD (g/cm^2) und Gesamtgewicht (g) der Arme besteht keine signifikante Abweichung. Die größte prozentuale Differenz zwischen beiden Armen findet man bei den Linkshändern beim Fettgehalt (g) mit $9,4 \%$, der aber im dominanten Arm insgesamt höher ist als im anderen Arm. Auffällig auch der wesentlich niedrigere Fettgehalt der Linkshänder mit 918 g im dominanten und 839 g im nicht dominanten Arm, was einem prozentualen Fettanteil von $23,3 \%$, bzw. $20,1 \%$ entspricht, gegenüber den Rechtshändern mit 1277 g im dominanten und 1265 g im nicht dominanten Arm, was einem prozentualen Fettanteil von $29,7 \%$, bzw. $33,0 \%$ entspricht.

Bei Linkshändern sind bis auf die BMD und das Gesamtgewicht der Arme immer signifikante Unterschiede zwischen beiden Armen zu verzeichnen.

3.3.3. Alters- und geschlechtsbezogene Mittelwerte des Armes

3.3.3.1. Verlauf BMD (g/cm^2) Arm männlich/weiblich

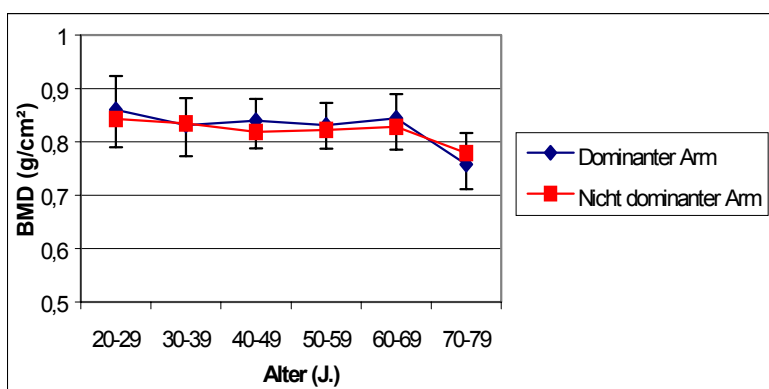


Abbildung 3.3.3.1.1. Reference database BMD (g/cm^2) Arm männlich

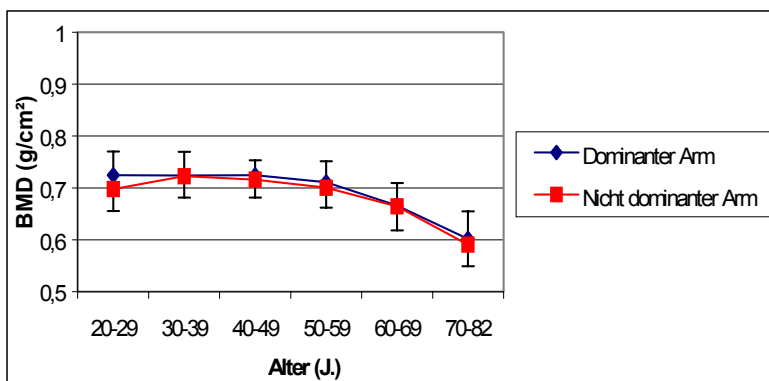


Abbildung 3.3.3.1.2. Reference database BMD (g/cm^2) Arm weiblich

Arm BMD (g/cm ²)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g/cm ²)	
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW [Spannweite]	SD
männlich gesamt	0,835 [0,683;0,961]	± 0,058	0,826 [0,724;0,927]	± 0,051	2,62 [-8,08;7,37]	± 2,03	0,015 [-0,068;0,066]	± 0,025
weiblich gesamt	0,692 [0,518;0,811]	± 0,062	0,681 [0,515;0,790]	± 0,060	2,74 [-6,18;9,25]	± 2,14	0,016 [-0,042;0,063]	± 0,018
weiblich pre	0,722 [0,639;0,811]	± 0,037	0,711 [0,618;0,790]	± 0,038	2,92 [-1,02;9,25]	± 2,20	0,017 [-0,008;0,063]	± 0,016
weiblich post	0,658 [0,518;0,776]	± 0,067	0,648 [0,515;0,759]	± 0,063	2,54 [-6,18;7,23]	± 2,04	0,015 [-0,042;0,047]	± 0,019

Tabelle 3.3.3.1a. Reference database BMD (g/cm²) Arm männlich/weiblich

Arm BMD (g/cm ²)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
männlich gesamt	0,04				
weiblich gesamt	0,0001	-17,1	-17,6	< 0,0001	< 0,0001
weiblich pre	0,003	-13,5	-13,9	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	0,01	-21,2	-21,5	< 0,0001	< 0,0001

Tabelle 3.3.3.1b. Reference database BMD (g/cm²) Arm männlich/weiblich

Vergleicht man den BMD-Verlauf für beide Arme von weiblichen und männlichen Testpersonen, so fällt auf, daß die Werte für die männlichen Personen bis zum 69. Lebensjahr auf einem Niveau relativ konstant bleiben und erst dann einen drastischeren Abfall erfahren, wohingegen bei den gemessenen weiblichen Personen die Werte bereits nach dem 49. Lebensjahr abzufallen beginnen. Die Abnahme ist dabei nach dem 59. bis zum 70. Lebensjahr besonders stark ausgeprägt.

Die höchsten BMD-Werte finden sich in beiden Geschlechtern in der Gruppe der 20-29-jährigen und betragen im Durchschnitt für alle gemessenen männlichen Personen 0,835 g/cm², für alle weiblichen Personen 0,692 g/cm² im dominanten Arm, bzw. 0,826 g/cm² (männlich) und 0,681 g/cm² (weiblich) im nicht dominanten Arm. Dies entspricht einem prozentualen Unterschied von

2,62 % (männlich_{gesamt}) und 2,74 % (weiblich_{gesamt}), bzw. einer absoluten Differenz von 0,015 g/cm² (männlich_{gesamt}) und 0,016 g/cm² (weiblich_{gesamt}) zwischen beiden Armen.

Der prozentuale Unterschied zwischen Frauen und Männern beläuft sich auf 17,1 % für den dominanten und 17,6 % für den nicht dominanten Arm. Unterteilt man die weiblichen Individuen in pre- und postmenopausal, so zeigt sich noch einmal eine andere Differenz zu den männlichen Personen. Die gemessene Knochendichte bei den premenopausalen Frauen liegt im Schnitt nur 13,5 % für den dominanten, bzw. 13,9 % für den nicht dominanten Arm niedriger, bei den gemessenen postmenopausalen Frauen dagegen um noch einmal durchschnittlich 8 % mehr, nämlich bei 21,2 % für den dominanten und 21,5 % für den nicht dominanten Arm. Postmenopausale Frauen weisen eine 9,8 % niedrigere Knochendichte auf als premenopausale Frauen. Die gemessenen Unterschiede zwischen beiden Armen sind für beide Geschlechter signifikant, bei den männlichen Personen allerdings schwachsignifikant ($p = 0,04$).

3.3.3.2. Verlauf BMC (g) Arm männlich/weiblich

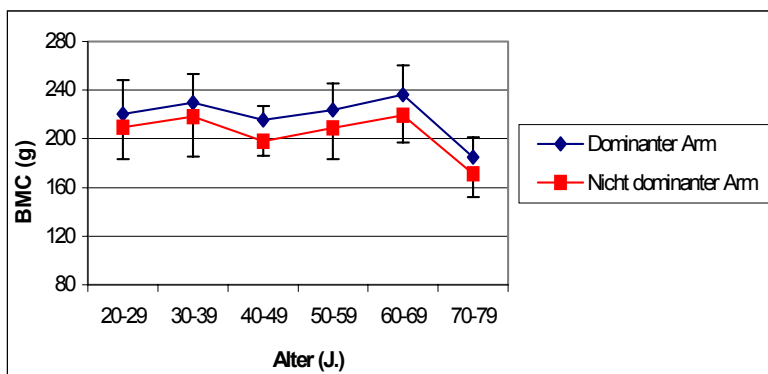


Abbildung 3.3.3.2.1. Reference database BMC (g) Arm männlich

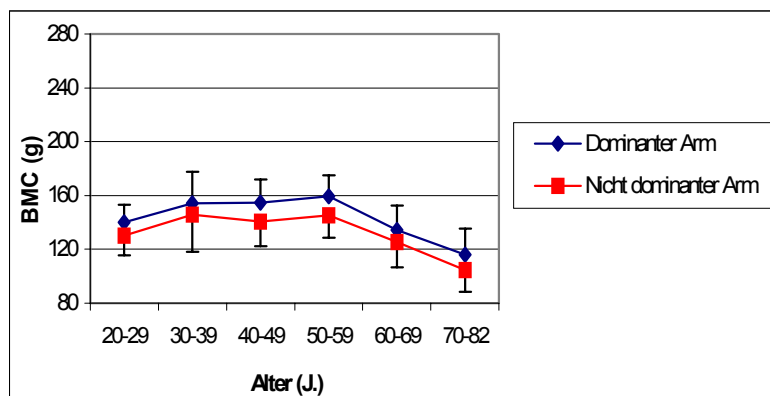


Abbildung 3.3.3.2.2. Reference database BMC (g) Arm weiblich

Arm BMC (g)	Dominanter Arm MW SD [Spannweite]		Nicht dominanter Arm MW SD [Spannweite]		Differenz [%] MW SD [Spannweite]		Differenz absolut (g) MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW SD [Spannweite]	
	männlich gesamt	221,1	± 26,4 [169,9;279,8]	207,2	± 28,0 [149,5;283,0]	6,25	± 6,24 [-14,98;14,45]	13,8
weiblich gesamt	143,8	± 23,4 [87,2;194,3]	132,2	± 23,3 [76,4;207,2]	8,11	± 7,59 [-17,32;18,67]	12,1	± 10,1 [-23,9;32,3]
weiblich pre	149,3	± 17,8 [115,7;194,3]	137,7	± 19,5 [101,1;207,2]	7,94	± 5,98 [-12,34;16,62]	11,8	± 8,9 [-15,5;28,0]
weiblich post	137,8	± 27,0 [87,2;187,9]	125,9	± 25,5 [76,4;174,6]	8,31	± 9,06 [-17,32;18,67]	12,5	± 11,4 [-23,9;32,3]

Tabelle 3.3.3.2a. Reference database BMC (g) Arm männlich/weiblich

Arm BMC (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
männlich gesamt	< 0,0001	-	-	-	-
weiblich gesamt	< 0,0001	-35	-36,2	< 0,0001	< 0,0001
weiblich pre	< 0,0001	-32,5	-33,5	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	< 0,0001	-37,7	-39,2	< 0,0001	< 0,0001

Tabelle 3.3.3.2b. Reference database BMC (g) Arm männlich/weiblich

Der BMC-Verlauf ist dem BMD-Verlauf sehr ähnlich. Bei den männlichen Individuen bleiben die Werte bis auf einen kurzen Abfall von den 30-39- zu den 40-49-jährigen relativ konstant. Die Spitzen-BMC wird mit 60 Jahren erreicht nach einer ersten Spitze mit 30 Jahren. Nach dem 69. Lebensjahr kommt es zu einer größeren Abnahme.

Bei den weiblichen Personen verlaufen die Werte nach einem ersten Anstieg von den 20-29- zu den 30-39-jährigen hin konstant. Nach dem 59. Lebensjahr kommt es zu dem üblichen Abfall der Werte, die ihren Tiefstpunkt in der Gruppe der 70-82-jährigen erreichen.

Der gemessene Knochenmineralgehalt beträgt für die männlichen Personen 221 g im dominanten Arm, bzw. 207 g im nicht dominanten Arm, was einer absoluten Differenz von 13,8 g und einem prozentualen Unterschied von 6,25 % zwischen beiden Armen entspricht. Für die weiblichen Individuen liegen die Werte bei 144 g, bzw. 132 g mit einer absoluten Differenz von 12,1g und einem prozentualen Unterschied von 8,1 %. Diese Differenzen sind für beide Geschlechter immer hochsignifikant.

Was die Unterschiede zwischen Männern und Frauen betrifft, so sind diese für die BMC noch wesentlich höher als für die BMD. Der Unterschied Männer- zu Frauenarm beträgt im dominanten Arm 35 % und im nicht dominanten Arm 36,2 %. Differenziert man die weiblichen Personen wieder in pre- und postmenopausal, so sind die Unterschiede zwischen premenopausalen Frauen und Männer_{gesamt} mit -32,5 % für den dominanten, bzw. -33,5 % für den nicht dominanten Arm insgesamt nicht so groß wie zwischen postmenopausalen Frauen und Männer_{gesamt} mit -37,7 % und -39,2 %. Postmenopausale Frauen haben dabei eine 8,4 % niedrigere BMC im dominanten Arm und 9,4 % weniger im nicht dominanten Arm als premenopausale Frauen.

3.3.3.3. Verlauf Muskelmasse (g) Arm männlich/weiblich

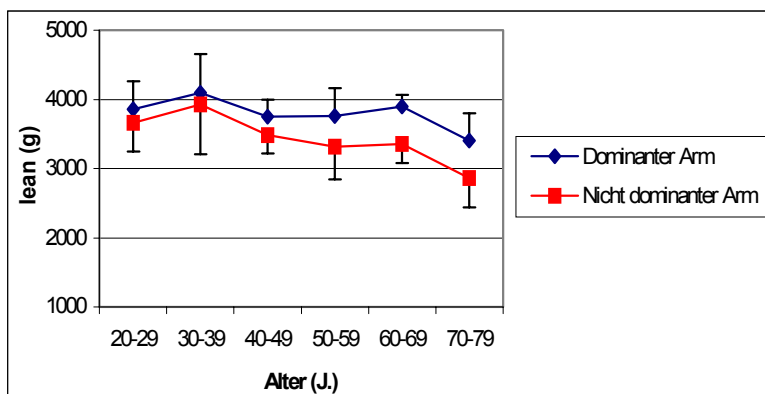


Abbildung 3.3.3.3.1. Reference database Muskelmasse (g) Arm männlich

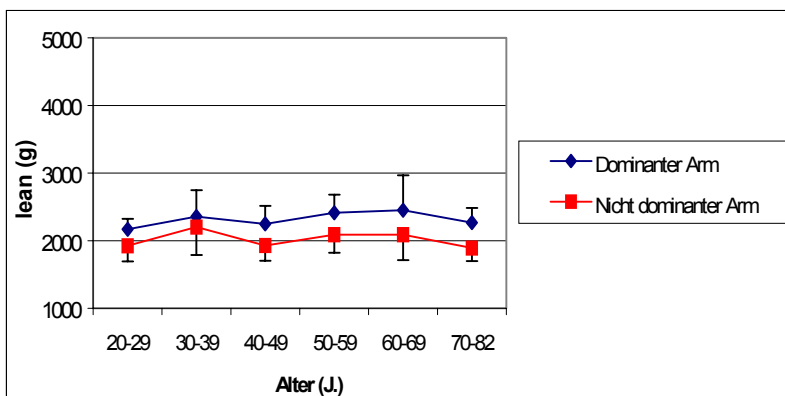


Abbildung 3.3.3.3.2. Reference database Muskelmasse (g) Arm weiblich

Arm Muskelmasse (g)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW dominante Hand	SD
	[Spannweite]		[Spannweite]		[Spannweite]		minus nicht dominante Hand	
							[Spannweite]	
männlich gesamt	3816	± 430,9	3466	± 537,9	9,21	± 9,15	349	± 341,8
	[2965;4882]		[2473;5297]		[-20,34;22,48]		[-643;945]	
weiblich gesamt	2319	± 325,2	2011	± 299,7	12,89	± 10,09	308	± 235,9
	[1664;3323]		[1236;2870]		[-25,59;28,39]		[-452;748]	
weiblich pre	2267	± 302,4	1995	± 316,1	11,9	± 9,29	272	± 210,6
	[1664;3121]		[1236;2870]		[-18,94;25,73]		[-364;579]	
weiblich post	2378	± 339	2030	± 279,1	14,00	± 10,82	348	± 255,5
	[1747;3323]		[1493;2750]		[-25,59;28,39]		[-452;748]	

Tabelle 3.3.3.3a. Reference database Muskelmasse (g) Arm männlich/weiblich

Arm Muskel- masse (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
männlich gesamt	< 0,0001	-/·		-/·	
weiblich gesamt	< 0,0001	-39,2	-42,0	< 0,0001	< 0,0001
weiblich pre	< 0,0001	-40,6	-42,4	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	< 0,0001	-38,0	-41,4	< 0,0001	< 0,0001

Tabelle 3.3.3.3b. Reference database Muskelmasse (g) Arm männlich/weiblich

Während sich bei den Frauen die Muskelmasse mit dem Alter nicht wesentlich ändert - es ist allenfalls eine geringe Zunahme von der 3. bis zur 4. Dekade zu verzeichnen - findet sich bei den Männern nach einem anfänglichen Zuwachs von der 3. bis zur 4. Dekade auch wieder ein Verlust zu den 40-49-jährigen hin. Danach bleibt der Verlauf zunächst relativ konstant. Erst nach dem 69. Lebensjahr kommt es hier zu einer auffälligen Abnahme der Werte, die so bei den weiblichen Personen nicht zu finden ist.

Diese Abnahme liegt bei 12,9 % im dominanten Arm ($p = 0,04$) und bei 14,5 % im nicht dominanten Arm, wobei dieser Unterschied mit $p = 0,08$ nicht mehr signifikant ist. Bei den männlichen Personen werden die Muskelmassenabstände zwischen dominantem und nicht dominantem Arm mit zunehmendem Alter größer. Dieses Phänomen läßt sich bei den Frauen nicht beobachten.

Das männliche Geschlecht hat im Schnitt ca. 1500 g mehr Muskelmasse als das weibliche Geschlecht, d. h. 3816 g (Männerarme) gegenüber 2319 g (Frauenarme) im dominanten Arm, bzw. 3466 g (Männerarme) gegenüber 2011 g (Frauenarme) im nicht dominanten Arm. Dies entspricht einer absoluten Differenz von 349 g (Männerarme), bzw. 308 g (Frauenarme) zwischen beiden Armen, wobei der prozentuale Unterschied 9,2 % für das männliche und 12,9 % für das weibliche Geschlecht beträgt. Diese Unterschiede sind allesamt hochsignifikant ($p < 0,001$).

Frauen haben insgesamt 39,2 % weniger Muskelmasse im dominanten und 42 % weniger Muskelmasse im nicht dominanten Arm, wobei diesmal - im

Gegensatz zu BMD und BMC - die postmenopausalen Frauen mit 38 % und 41,4 % einen geringeren Unterschied zu den Männern aufweisen als premenopausale Frauen mit 40,6 % und 42,4 %. Postmenopausale Frauen haben durchschnittlich 4,7 % mehr Muskelmasse im dominanten und 1,7 % mehr Muskelmasse im nicht dominanten Arm als premenopausale Frauen, was jedoch keinen signifikanten Unterschied darstellt ($p > 0,05$).

3.3.3.4. Verlauf Fettmasse (g) Arm männlich/weiblich

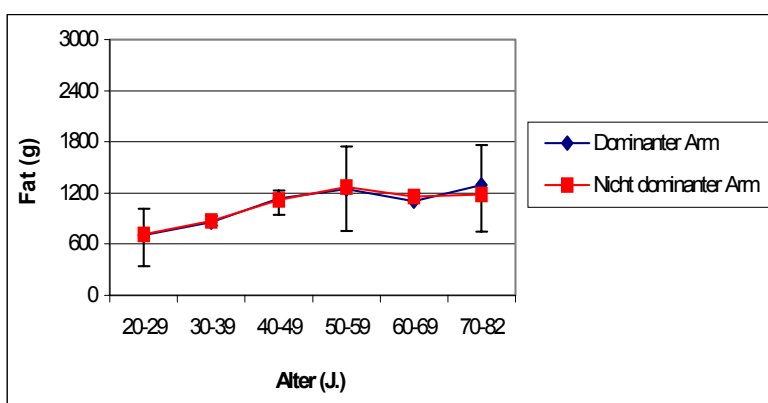


Abbildung 3.3.3.4.1. Reference database Fettmasse (g) Arm männlich

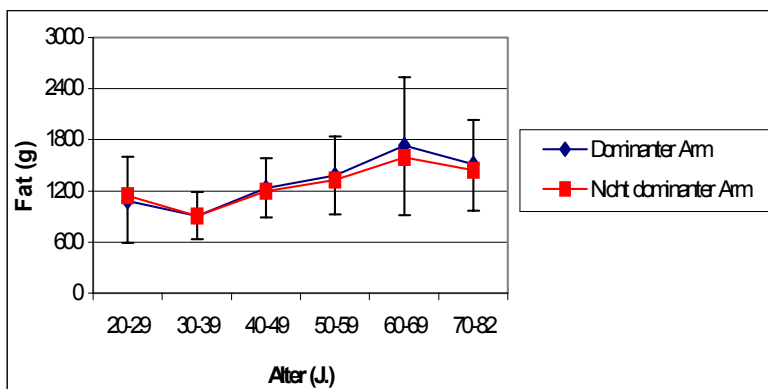


Abbildung 3.3.3.4.2. Reference database Fettmasse (g) Arm weiblich

Arm Fettmasse (g)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)	
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand MW [Spannweite]	SD
männlich gesamt	1029 [360;2632]	± 411,8	1036 [355;2587]	± 425,8	9,04 [-5,27;26,14]	± 9,04	51 [-228;286]	± 102,6
weiblich gesamt	1332 [404;3550]	± 568,2	1290 [484;3150]	± 503,0	8,08 [-6,00;27,48]	± 6,13	85 [-163;417]	± 114,6
weiblich pre	1133 [404;2204]	± 411,9	1127 [484;2334]	± 396,4	7,15 [-2,16;20,39]	± 5,72	58 [-147;349]	± 83
weiblich post	1555 [642;3550]	± 633,1	1472 [519;3150]	± 545,6	9,12 [-6,00;27,48]	± 6,40	114 [-163;417]	± 136,3

Tabelle 3.3.3.4a. Reference database Fettmasse (g) Arm männlich/weiblich

Arm Fett- masse (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
männlich gesamt	n. s.		/ ·		/ ·
weiblich gesamt	0,013	22,8	19,7	0,001	0,005
weiblich pre	n. s.	9,2	8,1	n. s.	n. s.
weiblich post	0,006	33,8	29,6	0,0001	0,0003

Tabelle 3.3.3.4b. Reference database Fettmasse (g) Arm männlich/weiblich

Betrachtet man den Fettgehalt beider Arme, so fällt auf, daß es - insbesondere bei den männlichen Personen - zu keinem Zeitpunkt einen Unterschied gibt. Auffällig ist beim männlichen Geschlecht nur, daß der Fettgehalt zunächst stetig bis zur 6. Dekade ansteigt und danach auf einem Niveau verläuft. Beim weiblichen Geschlecht gestaltet sich der Verlauf insgesamt etwas unruhiger. Hier ist zuerst eine Abnahme von der Gruppe der 20-29-jährigen hin zu den 30-39-jährigen zu verzeichnen. Danach steigen die Werte kontinuierlich bis zum 69. Lebensjahr an, um dann noch einmal leicht abzufallen. Nach dem 59. Lebensjahr kommt es zu einer sichtbaren Separation des Fettgehalts von dominantem und nicht dominantem Arm wie es beim männlichen Geschlecht nicht zu finden ist.

Die Werte zwischen beiden Armen unterscheiden sich bei den gemessenen männlichen Personen mit 1029 g und 1036 g nicht wesentlich, so daß auch hier

kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen ist. Für alle gemessenen weiblichen Personen betragen die Werte 1332 g und 1290 g und sind mit $p = 0,01$ auch noch signifikant unterschiedlich. Frauen haben also insgesamt ca. 300 g mehr Fettmasse im dominanten Arm und ca. 250 g mehr Fettmasse im nicht dominanten Arm als Männer.

Bei isolierter Betrachtung von pre- und postmenopausalen Frauen fällt auf, daß ein signifikanter Unterschied zwischen dominantem und nicht dominanten Arm nur in der Gruppe der postmenopausalen Frauen zu verzeichnen ist bei einer absoluten Differenz von 114 g, wohingegen bei den premenopausalen Frauen keine signifikante Differenz zu finden ist. Ebenfalls kein Unterschied besteht zwischen der Fettmasse der premenopausalen Frauen und dem der männlichen Personen mit 9,2 % (dominanter Arm) und 8,1 % (nicht dominanter Arm), wohingegen postmenopausale Frauen mit 33,8 % ($p < 0,001$) im dominanten und 29,6 % ($p < 0,001$) mehr Fettmasse im nicht dominanten Arm einen signifikanten Unterschied aufweisen.

Postmenopausale Frauen haben dabei durchschnittlich 27 % im dominanten ($p = 0,002$) und 23 % mehr Fettmasse im nicht dominanten Arm ($p = 0,005$) als premenopausale Frauen.

3.3.3.5. Verlauf Fettgehalt (%) Arm männlich/weiblich

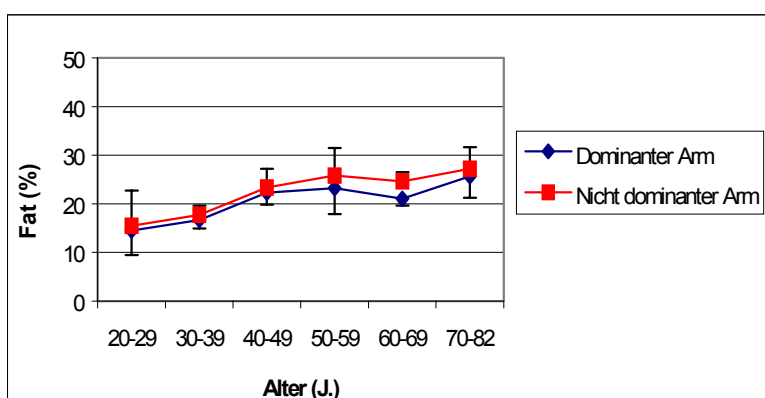


Abbildung 3.3.3.5.1. Reference database Fettgehalt (%) Arm männlich

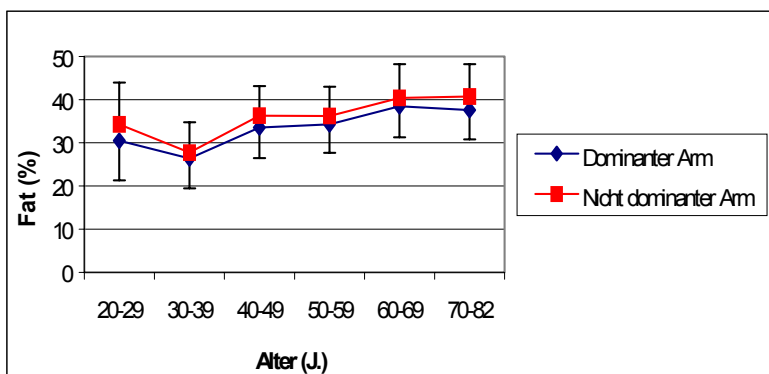


Abbildung 3.3.3.5.2. Reference database Fettgehalt (%) Arm weiblich

Arm Fettgehalt (%)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (%)	
	MW [Spannweite]	SD	MW [Spannweite]	SD	MW {Spannweite}	SD	MW dominante Hand minus nicht dominante Hand	SD
männlich gesamt	19,9 [8,7;37,3]	± 5,8	21,8 [8,6;39,1]	± 6,9	14,5 [0,44;31,16]	± 7,3	-1,8 [-5,9;4,3]	± 2,6
weiblich gesamt	33,9 [14,1;50,8]	± 8,1	36,4 [17,5;53]	± 8,4	12,3 [-0,25;42,08]	± 8,8	-2,5 [-9,3;13,2]	± 3,6
weiblich pre	31,2 [14,1;47,6]	± 7,8	34,0 [17,5;50,3]	± 8,1	13,0 [0,27;30,29]	± 7,7	-2,8 [-7,4;5,4]	± 2,9
weiblich post	36,9 [22,1;50,8]	± 7,4	39,2 [22,5;53]	± 8,0	11,4 [-0,25;42,08]	± 9,7	-2,3 [-9,3;13,2]	± 4,3

Tabelle 3.3.3.5a. Reference database Fettgehalt (%) Arm männlich/weiblich

Arm Fettgehalt (%)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante Hand	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
männlich gesamt	< 0,0001	-	-	-	-
weiblich gesamt	< 0,0001	41,2	40,3	< 0,0001	< 0,0001
weiblich pre	< 0,0001	36,2	36,0	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	0,005	46,1	44,5	< 0,0001	< 0,0001

Tabelle 3.3.3.5b. Reference database Fettgehalt (%) Arm männlich/weiblich

Der prozentuale Anteil der Fettmasse am Gesamtgewicht des Armes zeigt bei den männlichen Individuen zunächst eine Zunahme von der Gruppe der 20-29-jährigen bis hin zu den 50-59-jährigen, danach verläuft er konstant auf einem Niveau, wobei es nach dem 49. Lebensjahr zu einer Abstandszunahme zwischen beiden Armen kommt. Beim weiblichen Geschlecht steigt der prozentuale Fettgehalt nach einer anfänglichen Abnahme von der 3. zur 4. Dekade bis Ende des 69. Lebensjahres langsam an und bleibt danach konstant. Die Verläufe der Mittelwerte des dominanten, bzw. nicht dominanten Armes sind dabei über die gesamte Altersspanne relativ parallel zueinander.

Der Fettanteil im dominanten Arm liegt für das männliche Geschlecht bei 19,9 %, für das weibliche Geschlecht bei insgesamt 33,9 %, wobei premenopausale Frauen mit 31,2 % gegenüber postmenopausalen Frauen mit 36,9 % einen geringeren Fettanteil haben. Der Fettanteil im nicht dominanten Arm liegt höher als im dominanten Arm und beträgt für männliche Personen 21,8 %, was einer absoluten Differenz von 1,8 % entspricht, und für weibliche Personen 36,4 %, was einer absoluten Differenz von 2,5 % entspricht. Auch hier findet man wieder einen Unterschied zwischen pre- und postmenopausalen Frauen mit 34,0 % gegenüber 39,2 %. Die Unterschiede zwischen dominantem und nicht dominantem Arm sind für beide Geschlechter immer signifikant.

Die prozentualen Differenzen zwischen männlichen und weiblichen Individuen belaufen sich auf insgesamt 41,2 % ($p < 0,001$) für den dominanten und 40,3 % ($p < 0,001$) für den nicht dominanten Arm, wobei wiederum premenopausale Frauen mit 36,1 % ($p < 0,001$) für beide Arme einen geringeren Unterschied zu den männlichen Personen aufweisen als postmenopausale Frauen mit insgesamt 45,3 % ($p < 0,001$).

3.3.3.6. Verlauf Totale Masse (g) Arm männlich/weiblich

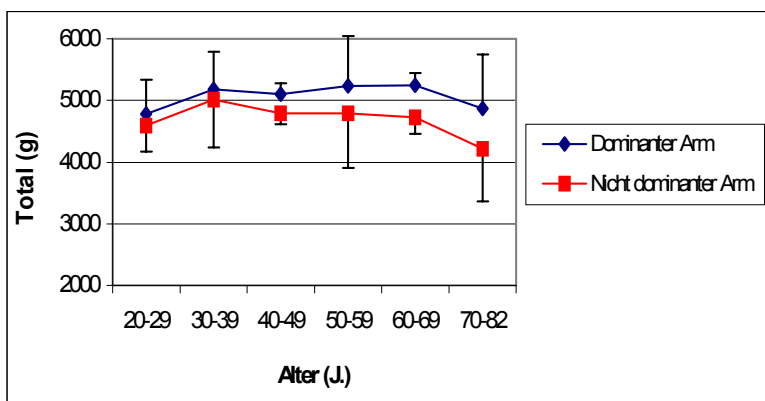


Abbildung 3.3.3.6.1. Reference database Totale Masse (g) Arm männlich

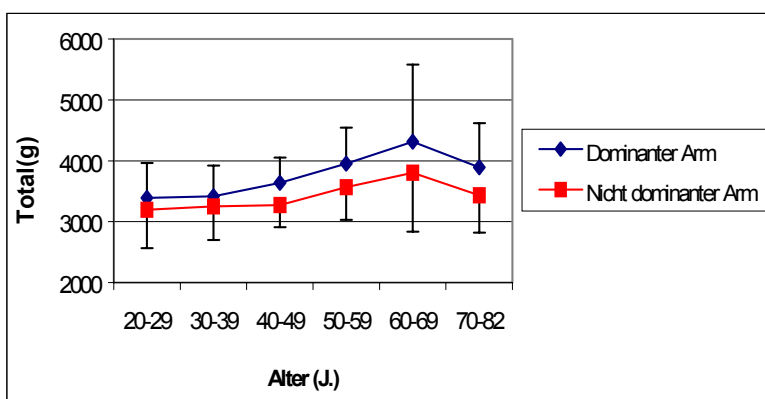


Abbildung 3.3.3.6.2. Reference database Totale Masse (g) Arm weiblich

Arm Totale Masse(g)	Dominanter Arm		Nicht dominanter Arm		Differenz [%]		Differenz absolut (g)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW dominante Hand	SD
	[Spannweite]		[Spannweite]		[Spannweite]		minus nicht dominante Hand	
							[Spannweite]	
männlich gesamt	5066	± 657,2	4709	± 685,2	6,96	± 6,95	356	± 351,5
	[3920;7055]		[3480;6621]		[-13,66;20,75]		[-606;991]	
weiblich gesamt	3795	± 775,9	3434	± 655,5	9,10	± 6,94	361	± 288,8
	[2520;6996]		[2205;6016]		[-15,04;20,24]		[-405;980]	
weiblich pre	3549	± 542,1	3260	± 522,6	8,04	± 6,14	290	± 230,2
	[2520;4662]		[2205;4643]		[-10,40;20,24]		[-405;944]	
weiblich post	4071	± 896,6	3628	± 730,4	10,28	± 7,56	442	± 324,4
	[2682;6996]		[2307;6016]		[-15,04;19,32]		[-403;980]	

Tabelle 3.3.3.6a. Reference database Totale Masse (g) Arm männlich/weiblich

Arm Totale Masse (g)	P (Dominante zu nicht dominante Hand)	Differenz (%) zu m		P (zu m)	
		Dominante	Nicht dominante Hand	Dominante Hand	Nicht dominante Hand
männlich gesamt	< 0,0001	·/·		·/·	
weiblich gesamt	< 0,0001	-25,1	-27,1	< 0,0001	< 0,0001
weiblich pre	< 0,0001	-30,0	-30,8	< 0,0001	< 0,0001
weiblich post	< 0,0001	-19,6	-23,0	< 0,0001	< 0,0001

Tabelle 3.3.3.6b. Reference database Totale Masse (g) Arm männlich/weiblich

Addiert man Muskel-, Fettmasse und Knochenmineralgehalt (BMC) so erhält man das Gesamtgewicht des Armes (Totale Masse), das für männliche und weibliche Individuen einen unterschiedlichen Verlauf zeigt.

Bei den männlichen Personen hat man nach einer anfänglichen Zunahme von der Gruppe der 20-29-jährigen hin zu den 30-39-jährigen zunächst einen auf einem Niveau gleichbleibenden Verlauf, erst nach dem 69. Lebensjahr ist eine Abnahme zu verzeichnen. Der Gewichtsverlauf der weiblichen Individuen zeigt dagegen von Anfang an eine kontinuierliche Steigung bis zur Gruppe der 60-69-jährigen. Auch hier kommt es dann zu einem Gewichtsverlust, der etwas deutlicher ausgeprägt ist als bei den männlichen Personen. Beiden Geschlechtern gemeinsam ist der mit steigendem Alter sich vergrößernde Abstand zwischen dominantem und nicht dominantem Arm. Der dominante männliche Arm wiegt durchschnittlich 5066 g, der nicht dominante Arm 4709 g, was einer absoluten Differenz von 357 g und einem prozentualen Unterschied von knapp 7 % entspricht.

Die weiblichen Individuen haben insgesamt betrachtet durchschnittlich 25,1 % weniger Gewicht im dominanten Arm mit 3795 g, im nicht dominanten Arm sind es sogar 27,1 % mit 3434 g. Hier liegt die absolute Differenz bei 361 g und der prozentuale Unterschied bei 9,1 % zwischen beiden Armen und damit höher als bei den gemessenen männlichen Individuen. Die Unterschiede sind in beiden Geschlechtern immer hochsignifikant ($p < 0,001$). Premenopausale Frauen haben mit 3549 g im dominanten und 3260 g im nicht dominanten Arm ein niedrigeres Gesamtgewicht als postmenopausale Frauen mit 4071 g im

dominanten und 3628 g im nicht dominanten Arm. Dies entspricht einer Differenz von 12,8 % im dominanten ($p = 0,006$) und von 10,2 % im nicht dominanten Arm ($p = 0,02$).

Der Unterschied zu den männlichen Personen beträgt für die weiblichen premenopausalen Personen im dominanten Arm -30 % ($p < 0,001$) und im nicht dominanten Arm -30,8 % ($p < 0,001$), für die postmenopausalen Frauen dagegen nur -19,6 % ($p < 0,001$) und -23 % ($p < 0,001$).

Den größten prozentualen Unterschied zwischen beiden Armen weisen die postmenopausalen Frauen auf mit 10,3 %.

3.4. Korrelation

Der Einfluß der Variablen Größe, Alter und Gewicht auf BMD (g/cm^2) und BMC (g) von Hand und Arm sowie die gegenseitige Abhängigkeit von BMD, BMC und Muskelmasse der Hand, des Armes und des ganzen Körpers wurden mittels des Korrelationskoeffizienten "r" untersucht, der die Beziehung zwischen zwei Eigenschaften überprüft.

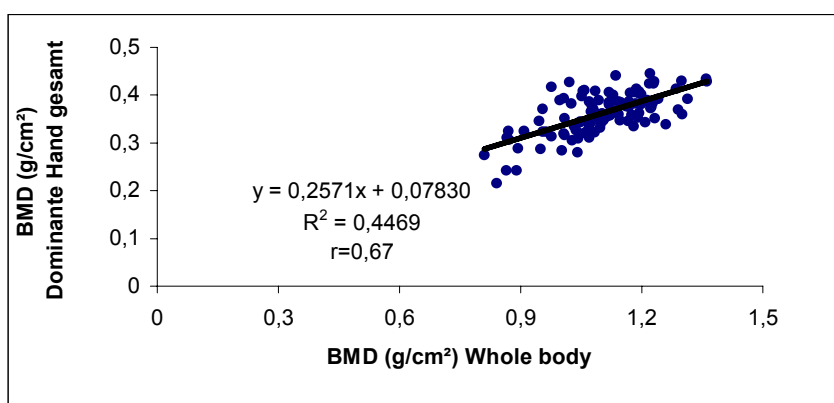


Abbildung 3.4.1. Korrelation BMD Hand gesamt zu BMD Whole body

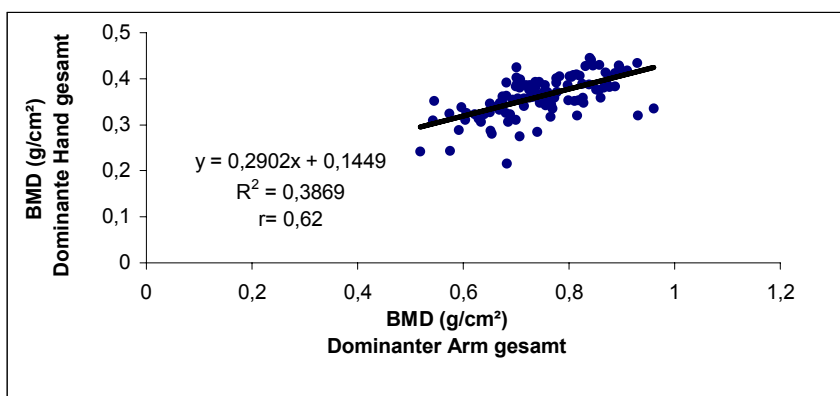


Abbildung 3.4.2. Korrelation BMD Hand gesamt zu BMD Arm gesamt

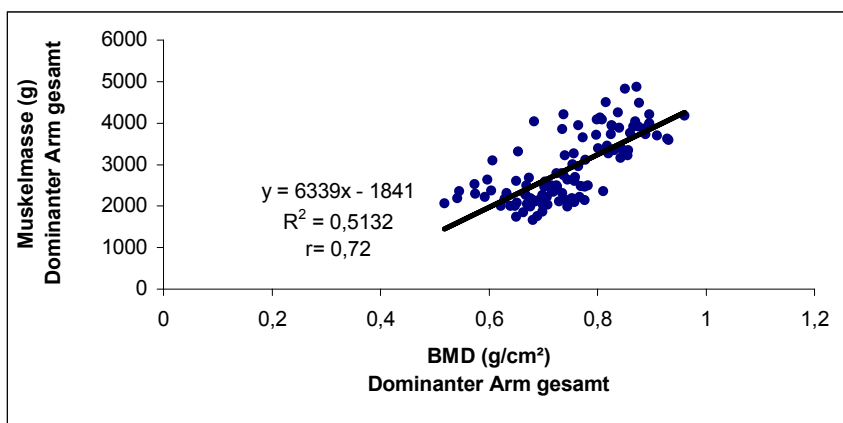


Abbildung 3.4.3. Korrelation Muskelmasse Arm gesamt zu BMD Arm gesamt

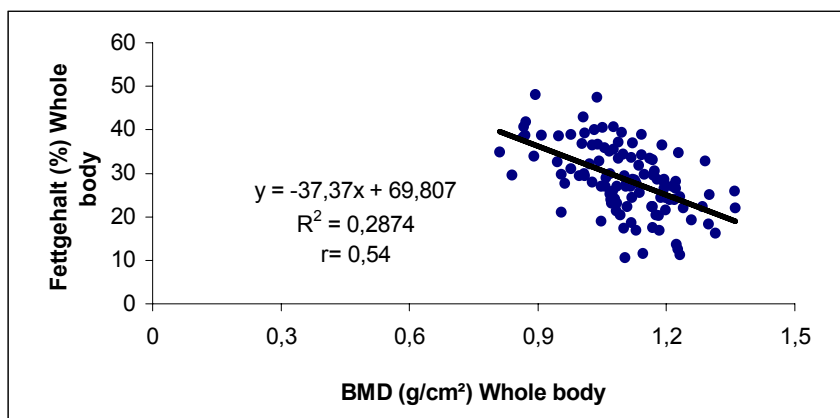


Abbildung 3.4.4. Korrelation Fettgehalt (%) Whole body zu BMD Whole body

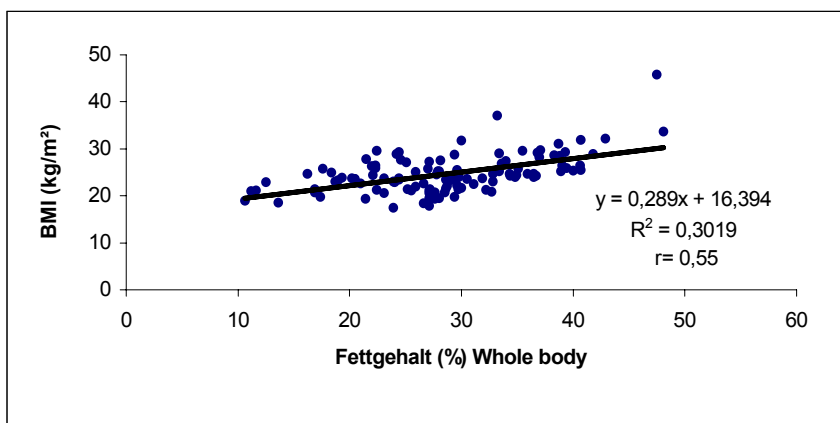


Abbildung 3.4.5. Korrelation BMI (kg/m²) zu Fettgehalt (% Whole body) gesamt

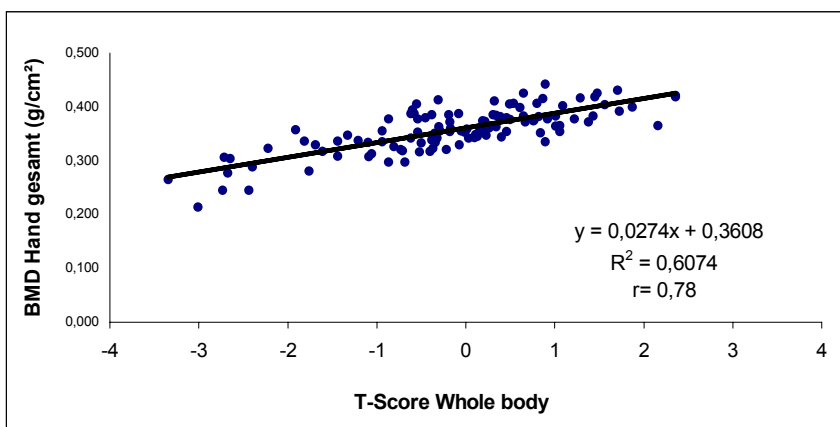


Abbildung 3.4.6. Korrelation T-score Whole body zu BMD (g/cm²) Hand gesamt

Variablen	Dominante(r) Hand/Arm		Nicht dominante(r) Hand/Arm	
	Korrelationskoeffizient r	P	Korrelationskoeffizient r	P
BMD Hand gesamt/BMD whole body gesamt	0,67	< 0,0001	0,67	< 0,0001
BMC Hand gesamt/BMC whole body gesamt	0,71	< 0,0001	0,68	< 0,0001
BMD Hand gesamt/ BMD Arm gesamt	0,72	< 0,0001	0,68	< 0,0001
BMC Hand gesamt/BMC Arm gesamt	0,78	< 0,0001	0,71	< 0,0001

Tabelle 3.4.1. Korrelationskoeffizienten

Variablen	Dominante(r) Hand/Arm		Nicht dominante(r) Hand/Arm	
	Korrelationskoeffizient r	P	Korrelationskoeffizient r	P
BMD Hand gesamt/ Muskelmasse Arm gesamt	0,40	< 0,0001	0,37	< 0,0001
BMC Hand gesamt/ Muskelmasse Arm gesamt	0,78	< 0,0001	0,54	< 0,0001
BMD Hand gesamt/ Fettgehalt (%) Arm gesamt	-0,36	< 0,0001	-0,34	< 0,0001
BMC Hand gesamt/ Fettgehalt (%) Arm gesamt	-0,43	0,474	-0,40	0,0009
BMD Hand gesamt/ Alter	-0,32	< 0,0001	-0,33	< 0,0001
BMC Hand gesamt/ Alter	-0,14	< 0,0001	-0,12	< 0,0001
BMD Hand gesamt/ Körpergewicht	0,26	< 0,0001	-0,32	< 0,0001
BMC Hand gesamt/ Körpergewicht	0,42	< 0,0001	0,40	< 0,0001
BMD Hand gesamt/ Körpergröße	0,43	< 0,0001	0,44	< 0,0001
BMC Hand gesamt/ Körpergröße	0,59	< 0,0001	0,57	< 0,0001
BMD Arm gesamt/ Muskelmasse Arm gesamt	0,72	< 0,0001	0,77	< 0,0001
BMC Arm gesamt/ Muskelmasse Arm gesamt	0,86	< 0,0001	0,88	< 0,0001
BMD Arm gesamt/ Fettgehalt (%) Arm gesamt	-0,71	< 0,0001	-0,70	< 0,0001
BMC Arm gesamt/ Fettgehalt (%) Arm gesamt	-0,61	< 0,0001	-0,63	< 0,0001
BMD Arm gesamt/ Alter	-0,44	< 0,0001	-0,40	< 0,0001
BMC Arm gesamt/ Alter	-0,25	< 0,0001	-0,27	< 0,0001
BMD Arm gesamt/ Körpergewicht	0,49	< 0,0001	0,54	< 0,0001
BMC Arm gesamt/ Körpergewicht	0,23	< 0,0001	0,38	< 0,0001

Tabelle 3.4.2. Korrelationskoeffizienten

Variablen	Dominante(r) Hand/Arm		Nicht dominante(r) Hand/Arm	
	Korrelationskoeffizient r	P	Korrelationskoeffizient r	P
BMD Arm gesamt/ Körpergröße	0,54	< 0,0001	0,60	< 0,0001
BMC Arm gesamt/ Körpergröße	0,53	< 0,0001	0,58	< 0,0001
BMD whole body gesamt/ Fettgehalt (%) whole body	-0,54	< 0,0001	·/·	·/·
BMC whole body gesamt/ Körpergewicht	0,53	< 0,0001	·/·	·/·
BMI (kg/m ²)/ Fettgehalt (%) whole body gesamt	0,55	< 0,0001	·/·	·/·

Tabelle 3.4.3. Korrelationskoeffizienten

Eine signifikante, sehr ausgeprägte Korrelation konnte gefunden werden zwischen der Knochendichte (g/cm²) der Hand einerseits und der des ganzen Körpers ($p < 0,001$), des gleichseitigen Armes ($p < 0,001$) und dem T-Score "Whole body" ($p < 0,001$) andererseits. Eine weniger starke Beziehung wurde nachgewiesen zwischen der BMD der Hand und der Muskelmasse ($r = 0,40$; $p < 0,001$) sowie dem Fettgehalt (%) des gleichseitigen Armes ($r = -0,36$; $p < 0,001$), dem Alter, dem Körpergewicht und der Körpergröße. Die BMC (Knochenmineralgehalt) der Hand korreliert gut mit der des ganzen Körpers ($p < 0,001$) sowie der BMC und der Muskelmasse der gleichseitigen oberen Extremität ($p < 0,001$) und der Körpergröße ($p < 0,001$). Keine ausgeprägte Abhängigkeit besteht zwischen der BMC der Hand, dem Alter, dem Körpergewicht oder dem Fettgehalt (%) des gleichseitigen Armes.

BMD und BMC der Arme korrelieren insgesamt häufiger mit anderen Faktoren als BMD und BMC der Hand. So konnte eine signifikante Beziehung zwischen der BMD oder BMC des Armes einerseits und dessen Muskelmasse oder Fettgehalt oder der Körpergröße andererseits nachgewiesen werden ($p < 0,001$), ebenso wie zwischen der BMD der Arme und dem Körpergewicht ($p < 0,001$). Entsprechend der Hand konnte auch bei den Armen eine geringere Abhängigkeit zwischen BMD oder BMC auf der einen und dem Alter ($r = -0,44$, bzw. $r = -0,25$; $p < 0,001$) auf der anderen Seite gezeigt werden. Die BMD des gesamten Körpers korreliert insgesamt sehr gut mit dessen prozentualen

Fettgehalt ($p < 0,001$), wobei eine negative Abhängigkeit besteht, d. h. je höher die BMD (g/cm^2), desto geringer der Fettgehalt. Die Ganzkörper-BMC korreliert mit dem Körpergewicht und der Body mass index (BMI) mit dem Gesamtfettgehalt (%) des Körpers ($p < 0,001$).

4 Diskussion

4.1. DEXA

In unserer Studie haben wir durch Modifikation der Software zur Messung der Knochendichte des Unterarmskeletts eine reproduzierbare und akkurate Methode entwickelt, die Knochendichte und den Knochenmineralgehalt auch der Hand mittels DEXA zu messen. Es handelt sich hierbei um eine nicht invasive Technik, die mit einer nur geringen Strahlenbelastung einhergeht und auch für den Patienten ein akzeptables Meßverfahren darstellt. Die Entwicklung von DEXA ermöglicht es uns heute, Änderungen der Knochenqualität in nahezu jeder Körperregion mit hoher Präzision zu erfassen. Die in dieser Studie durchgeführten Präzisionskontrollen zeigten für die Serienmessungen einen Variationskoeffizienten von 0,3 % bis 0,8 % und für die Doppelbestimmungen eine Streuung bis 0,5 % um den berechneten Mittelwert. Der Variationskoeffizient in ROI 1 ist mit 0,8 % mit Abstand am höchsten, wobei sicherlich eine Ursache die kleine Fläche dieser Region ist, wo bereits kleinste Lageveränderungen der ROI zu Veränderungen der Werte führen können. Der Variationskoeffizient der ROIs 4-7 lag dabei mit 0,6 % bis 0,7 % etwas höher als der der flächenmäßig größeren ROIs 2 und 3. Dies läßt sich folgendermaßen erklären: Je kleiner ein ROI ist, desto weniger Meßeinheiten stehen zur Verfügung. Das bedeutet, daß bereits eine kleine Verschiebung der ROIs in den Folgemessungen eine relativ große Umverteilung der Meßeinheiten unterschiedlicher Dichte in den ROIs nach sich ziehen würde. Ebenso beeinflusst die Größe der Global ROI die Präzision. Mit zunehmender Größe erhält der Rechner mehr Daten über das Weichteilgewebe und die Knochenkontur kann genauer analysiert werden.

In die oben genannten Variationskoeffizienten gehen die Fehler ein, die aus dem Meßgerät, der Lagerung der Probanden und der Auswertung der Scans resultieren. Unsere Präzisionskontrollen zeigen im Vergleich zu den Angaben in der Literatur um bis zu 50 % niedrigere Werte ^[20,21,90]. In älteren Vergleichsstudien wurde die LWS-Software verwendet. Im Gegensatz zur

Forearm-Software wird hier zur Erfassung von Weichgewebe und Errechnung der Knochendichte keine Luft einkalkuliert, was zu einer geringeren Genauigkeit führt, da sich in der Regel sowohl um die Hand als auch zwischen den Fingern das Medium Luft befindet und daher in jedem Scan Knochen nicht erkannt und nachgezeichnet werden muß. Ursache ist eine Verkennung der Regionen niedrigerer Knochendichte als Weichteilgewebe. Diese Fehlinterpretationen führen zu falsch hohen, bzw. niedrigen Meßergebnissen, weshalb die Auswertung der mit der LWS-Software erstellten Scans einiges an Erfahrung voraussetzt. Peel et al. konnten zudem demonstrieren, daß unter Verwendung der LWS-Software sowohl BMD als auch BMC zu niedrig errechnet werden ^[90].

Die gute Reproduzierbarkeit unserer Methode läßt sich unter anderem zusätzlich durch unsere relativ einfache und standardisierte Lagerung der Hand erklären, zu der wir eigens eine Lagerungsschiene entwickelten.

Allerdings ist eine Voraussetzung bei Ermittlung der BMD als Relation von Mineralgehalt zur Fläche die flache Lagerung der Hand, da ansonsten höhere Werte ermittelt werden ^[20]. Diese Voraussetzung ist allerdings oft nicht gegeben (z. B. bei Patienten mit rheumatoider Arthritis der Hände oder einer Dupuytrenkontraktur), so daß in Studien unter Einbeziehung oben genannter Patienten die BMC für Verlaufsbeobachtungen besser geeignet ist.

DEXA wird heute nicht nur zur Bestimmung von BMD und BMC einzelner Körperregionen eingesetzt, sondern findet auch aufgrund hoher Präzision und einfacher Handhabung in der Ganzkörpermessung (body composition) zunehmende Verbreitung. In der klinischen Medizin sowie in der medizinischen Forschung ist die Ermittlung der drei Komponenten Knochen-, Muskel- und Fettmasse von steigender Bedeutung, um zum Beispiel Ernährungsstatus, Krankheitsrisiken, sportliche Fitness und die Effektivität therapeutischer Eingriffe zu untersuchen ^[33]. Die Messungen der "body composition" mit DEXA sind eigenen Vorstudien und der Literatur zufolge extrem präzise mit Variationskoeffizienten von weniger als 1 % für BMD und BMC ^[76] und nahezu 1 % für die Fettmasse ^[39].

4.2. Einfluß der Händigkeit auf die "body composition" der oberen Extremität

Es ist allgemein bekannt, daß regelmäßige (sportliche) Betätigung das Knochenwachstum stimuliert^[42]. So konnte in verschiedenen Querschnitts- und Longitudinalstudien, die Athleten mit nicht sportlichen Personen verglichen haben, der positive Effekt sportlicher Aktivität demonstriert werden [19,47-48,57,72,82]. In Untersuchungen, die bei Tennisspielern Spielarm und nicht dominanten Arm miteinander verglichen haben, sind BMD-Differenzen von 2 % bis zu 40 % zwischen beiden Armen festgestellt worden^[45,55,58-59]. Haapasalo et al. wiesen zusätzlich auch in einer Kontrollgruppe BMD-Differenzen von -0,2 % bis 4,6 % im Bereich des proximalen Humerus und des Humerusschafts zwischen beiden Armen nach^[45]. Eine andere Gruppe um Calbet et al. fand bei Tennisspielern ein bis zu 20 % höheres Absolutgewicht im dominanten verglichen mit dem kontralateralen Arm aufgrund einer wesentlich höheren Muskelmasse und eines höheren Knochenmineralgehaltes (BMC), wohingegen in der Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede bei BMD und BMC gefunden wurden^[13].

In unserer Studie, die unter anderem dazu diente, Referenzwerte für die Normalbevölkerung zu ermitteln, haben wir signifikante Differenzen zwischen beiden Armen in Bezug auf die Händigkeit auch bei Normalpersonen gefunden. Dabei liegen die prozentualen Unterschiede zwischen dominantem und nicht dominanten Arm für die BMD bei nahezu 3 %, für die BMC bei ca. 7 %, für die Muskelmasse bei knapp 12 % und für das Absolutgewicht beider Arme bei 8 %. Der prozentuale Fettgehalt war dabei im dominanten Arm 2 % niedriger als im kontralateralen Arm.

Wir haben zudem eine signifikante positive Korrelation nachweisen können zwischen der Knochendichte der Arme einerseits und der Muskelmasse ($r = 0,72$) des gleichseitigen Armes sowie dem Körpergewicht ($r = 0,49$) und der Körpergröße ($r = 0,54$) andererseits. Die gefundenen Korrelationen stimmen somit überein mit den Ergebnissen anderer Studien^[4,49,111-112]. Eine negative

signifikante Beziehung wurde unter anderem festgestellt zwischen der BMD der Arme und ihrem prozentualen Fettgehalt ($r = -0,71$). Auch die Ganzkörperknochendichte korreliert negativ mit dem prozentualen Ganzkörperfettgehalt ($r = -0,54$).

Bei Unterteilung der gemessenen Personen nach dem Geschlecht hat das männliche Geschlecht in den Armen eine knapp 17 % höhere BMD als das weibliche Geschlecht. Postmenopausale Frauen weisen eine ca. 10 % niedrigere Knochendichte auf als premenopausale Frauen. Diese Ergebnisse stimmen in etwa mit den von Taaffe et al. ^[108] und Herd et al. ^[49] gefundenen Werten überein, die Unterschiede in der "Composition" der Arme bei Frauen untersucht haben.

Frauen verlieren bereits nach dem 59. Lebensjahr kontinuierlich an BMD und BMC, wohingegen es bei den männlichen Personen erst nach dem 69. Lebensjahr zu einem stärkeren Abfall kommt, der insgesamt jedoch geringer ausgeprägt ist als bei den weiblichen Individuen. Ursächlich für die bei Frauen bereits früher eintretende Abnahme ist sicherlich der mit der Menopause eintretende Östrogenmangel ^[101], während es bei Männern erst mit Eintritt ins Rentenalter und der daraufhin geringer ausgeprägten körperlichen Belastung zu einer Abnahme kommt. Die männlichen Personen zeigen einen im höheren Alter zunehmenden Verlust an Muskelmasse im dominanten Arm. Bei den weiblichen Individuen fehlt dieser Verlust an Muskelmasse, deren Verlauf über alle Dekaden relativ gleichbleibend ist. Damit stimmen unsere Ergebnisse nicht mit denen von Madsen et al. ^[71] und Svendsen et al. ^[106] gefundenen Werten überein, die einen bei weiblichen Individuen mit zunehmendem Alter fortschreitenden signifikanten Verlust an Muskelmasse in mehreren Körperregionen (Arme, Beine, Körperstamm) feststellen konnten. Postmenopausale Frauen weisen durchschnittlich 25 % mehr Fettmasse in jedem Arm auf als premenopausale Frauen, so daß davon ausgegangen werden kann, daß der Fettgehalt der Arme genau wie der Ganzkörperfettgehalt mit dem Alter ansteigt ^[106]. Männliche Individuen haben jeweils ca. 21 % weniger Fettmasse in den Armen als weibliche Individuen. Unsere Werte liegen damit geringfügig höher als die von Ley et al. in ihrer Studie ermittelten Werte

für die "body composition" des gesamten Körpers ^[70]. Der sich vergrößernde Abstand bei Männern zwischen dominantem und nicht dominantem Arm die Muskelmasse betreffend, könnte auf den zunehmenden Gebrauch des dominanten Armes mit dem Alter und einer geringeren Flexibilität im Gebrauch des anderen Armes zurückzuführen sein. Auch beim Gesamtgewicht des Armes, das sich aus Knochenmineralgehalt, Muskel- und Fettmasse errechnet, findet sich eine zunehmende Abstandsvergrößerung zwischen beiden Armen mit steigendem Alter. Dieses Phänomen ist bei den männlichen Personen stärker ausgeprägt als bei den weiblichen Individuen.

Beim Verlauf des Gesamtgewichts des Armes fällt auf, daß für alle gemessenen Personen erst ab dem 70. Lebensjahr eine signifikante Abnahme zu verzeichnen ist. Der spät auftretende Abfall dürfte so zu erklären sein, daß zunächst die im Alter steigende Zunahme an Fettmasse den Verlust an Knochenmasse übersteigt. Dieser Verlust an Knochenmasse ist jedoch in der Gruppe der 70-82-jährigen stärker ausgeprägt als die Zunahme an Fettmasse. Außerdem ist nach dem 69. Lebensjahr für alle gemessenen Personen auch ein leichter Verlust an Muskelmasse zu verzeichnen, der sich ebenfalls negativ auf das Absolutgewicht des Armes auswirkt.

Bei Rechtshändern sind mit Ausnahme der Fettmasse alle gefundenen Differenzen zwischen beiden Armen hochsignifikant und liegen etwas höher als im Gesamtdurchschnitt. Bei Linkshändern sind im Gegensatz zu Rechtshändern mit Ausnahme des absoluten und prozentualen Fettgehaltes alle Werte im nicht dominanten, rechten Arm höher als im dominanten, linken Arm. Diese Unterschiede sind jedoch nur in Bezug auf die BMC, die Muskelmasse und den absoluten sowie prozentualen Fettgehalt signifikant. Diese Ergebnisse sprechen dafür, daß bei Linkshändern keine reine Linkshändigkeit vorliegt, sondern im Gegenteil die rechte Seite in unserer Alltagswelt stärker genutzt und auch gefördert wird. Dies geht sogar soweit, daß sich bei Linkshändern, trotz subjektiver Bevorzugung der linken Hand, die höhere Muskelmasse mit einem prozentualen Unterschied von knapp 7 % und der niedrigere Fettgehalt mit einer Differenz von ca. 9 % im rechten Arm finden.

Es kann also davon ausgegangen werden, daß bei "Linkshändern" eine beidseitige Belastung vorliegt.

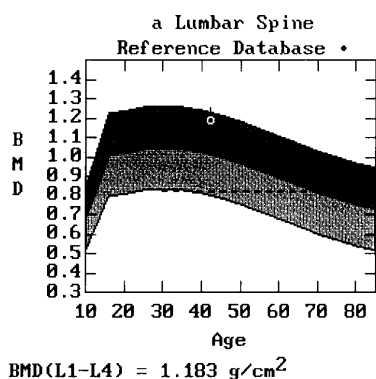
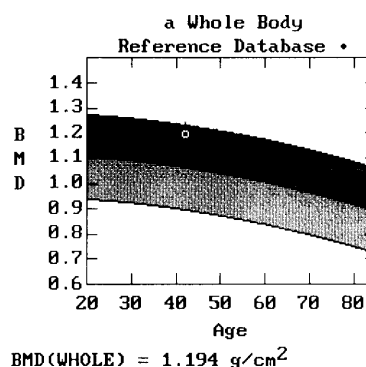
4.3. Einfluß der Handdominanz auf die Knochendichte in verschiedenen Regionen der Hand

Im Hinblick auf Studien, die Knochendichteverluste bei der rheumatoiden Arthritis oder beim M. Sudeck untersuchen, ist es von eminenter Wichtigkeit, die physiologischen Unterschiede zwischen linker und rechter Hand zu kennen.

In unserer Studie konnten wir nun eine signifikante Differenz zwischen dominanter und nicht dominanter Hand feststellen. Unser Resultat liegt somit im Widerspruch zu den wenigen Studien, die bisher dazu veröffentlicht wurden. Es wurde behauptet, die Dominanz habe keinen Einfluß auf die BMD des Vorderarmes ^[83], der Hand ^[7,20] oder der Finger ^[115] bei postmenopausalen Frauen. Allerdings haben Deodhar et al., deren Studiendesign am ehesten dem unseren entspricht, für ihre Messungen die LWS-Software verwendet ^[20], die mit einer geringeren Präzision einhergeht als die von uns verwendete Forearm-Software. Die von ihm für die LWS-Software ermittelten Variationskoeffizienten liegen nahezu doppelt so hoch wie die von uns ermittelten für die Forearm-Software ^[20]. Die LWS-Software ist außerdem nicht in der Lage neben Knochen- und Weichgewebe zusätzlich Luft als drittes Medium zu differenzieren, so daß, wie Deodhar selbst berichtet, die kleineren Knochen, wie die distalen Phalangen, häufig nicht als Knochen erkannt werden und vom Untersucher per Hand nachgezeichnet werden müssen, was den Ungenauigkeitsfaktor erhöht. Das von ihm verwendete Gerät Hologic QDR 1000 ist ein "Pencil beam Scanner", der eine wesentlich schlechtere Auflösung hat als das von uns eingesetzte neuere Gerät Hologic QDR 4500 A, das mit Fächerstrahlung (Fan beam) arbeitet. Wie Kelly et al. gezeigt haben, ist die "Pencil beam"-Technik aufgrund des geringeren Auflösungsvermögen auch mit einer schlechteren Trennung von Knochen und Weichgewebe verbunden ^[63], so daß unsere Ergebnisse sicherlich präziser und auch nicht unbedingt mit

denen von Deodhar et al. vergleichbar sind. Zudem sollte man bedenken, daß es sich bei denen in seiner Studie gemessenen Normalpersonen in erster Linie um Krankenhauspersonal handelte. Handwerker und andere vornehmlich handwerklich tätige Leute befanden sich nicht unter den rekrutierten Personen. In unsere Studie ist dagegen ein großes Spektrum an Berufen berücksichtigt worden. Ventura et al., die keinen Unterschied die BMD betreffend zwischen den Fingern beider Hände bei postmenopausalen Frauen gefunden haben ^[115], benutzten für ihre Messungen ein Ultraschallgerät, so daß zwischen deren und unseren Ergebnissen ebenfalls keine Vergleiche gezogen werden können. Andererseits konnten Osei-Hyiaman et al. ^[89] sowie Sinaki et al. ^[103] zeigen, daß es eine positive Korrelation gibt zwischen BMD und Griffstärke einer Hand. Tsuji et al. ^[111] haben zusätzlich nachgewiesen, daß die BMD des Radius im dominanten Arm signifikant höher ist als im nicht dominanten Arm und die Griffstärke der dominanten höher ist als die der nicht dominanten Hand, was logischerweise eine höhere BMD in der dominanten Hand erklären würde. Tsuda ^[110] sowie Deodhar et al. ^[20] konnten eine positive Korrelation zwischen dem Volumen der Hand und der BMD, bzw. der BMC verifizieren und letzterer konnte zusätzlich ein signifikant höheres Volumen in der dominanten Hand nachweisen.

Der in unserer Studie ermittelte BMD- und BMC-Verlauf der Hand entspricht in etwa dem allgemein üblichen Verlauf für die Knochendichte, wie er sich ähnlich für die LWS (Lendenwirbelsäule) (siehe Abbildung 4.3.1.), den ganzen Körper (siehe Abbildung 4.3.2.) und, wie zuvor demonstriert, für den gesamten Arm findet.

Abbildung 4.3.1.: BMD-Verlauf LWS weiblich_{gesamt}Abbildung 4.3.2.: BMD-Verlauf whole body weiblich_{gesamt}

Die gefundenen intraindividuellen Unterschiede zwischen beiden Händen sind meist signifikant bis hochsignifikant und betragen im Mittel für die Knochendichte 4 % und für den Knochenmineralgehalt 6 %. Da uns aus der Literatur keine Werte vorliegen, die Gültigkeit für die Hand besitzen, können wir die in dieser Studie ermittelten Werte nur mit denen von Haapasalo et al. ^[45] für den Arm festgestellten Ergebnissen vergleichen, der BMD-Differenzen von -0,2 % bis 4,6 % zwischen beiden Armen gefunden hat, und damit ähnlich hohe Werte präsentiert wie die von uns für die Hand ermittelten Werte.

Trennt man die gemessenen Personen in männlich und weiblich, so offenbaren sich, abhängig vom Geschlecht, verschiedene BMD- und BMC-Verläufe, die jedoch denen für den Arm gefundenen Verläufen entsprechen. Während es bei den Frauen mit Eintreten der Menopause aufgrund des Östrogenmangels ^[101] zu einem signifikanten Verlust an Knochenmasse kommt, ist bei den männlichen Personen erst im hohen Alter ein Verlust an Knochenmasse zu beobachten, der mit der im Durchschnitt mit dem 65. Lebensjahr eingetretenen Berentung und der damit wegfallenden üblichen Arbeitsbelastung der Arme im Zusammenhang stehen könnte. Ebenfalls nicht außer acht lassen sollte man die bei Männern im höheren Alter sinkenden Testosteron- sowie Östradiol- und Östrogenspiegel ^[15,28,113], die, wie van den Beld et al. ^[113] zeigen konnten, mit einer Abnahme der Muskelstärke sowie der Ganzkörperknochendichte assoziiert sind.

Postmenopausale Frauen haben eine durchschnittlich 11 % niedrigere Knochendichte als premenopausale Frauen. Diese ermittelten Diskrepanzen stimmen in etwa mit denen in unserer Studie für die Arme ermittelten Abweichungen sowie mit denen von Taafe et al. ^[108] und Herd et al. ^[49] ebenfalls für die obere Extremität präsentierten Unterschiede überein.

Bei isolierter Betrachtung von Links- und Rechtshändern sind die für Rechtshänder ermittelten BMD-Unterschiede zwischen dominanter und nicht dominanter Hand immer hochsignifikant und belaufen sich auf durchschnittlich 4%, wohingegen sich bei Linkshändern keine signifikante Differenz zeigt mit Ausnahme von ROI 6 (Metacarpophalangealgelenk Dig. IV). Allerdings ist in ROI 6 auch der Anteil der Rechtshänder, die in der linken Hand höhere Mittelwerte aufweisen als in der rechten Hand, am größten. Der prozentuale Anteil der Rechtshänder, die in der linken Hand höhere Mittelwerte aufweisen als in der rechten Hand, liegt bei durchschnittlich 8 % die BMD und bei 10 % die BMC betreffend, so daß davon ausgegangen werden kann, daß es unter den vermeintlichen "Rechtshändern" einen kleinen Anteil gibt, der eher beidhändig geprägt ist oder mit beiden Händen gleichmäßig arbeitet. Bei Linkshändern ist dieser Anteil, mit 42 % für BMD und BMC gleichermaßen, zwischen 4-5x so hoch, so daß sich wohl die Beidhändigkeit der Linkshänder auch in Bezug auf die Knochendichte der Hand bestätigt. Die Mittelwerte der dominanten Hand sind für Links- und Rechtshänder in etwa gleich groß. Bei den Linkshändern entspricht der Mittelwert der dominanten Hand auch dem der nicht dominanten Hand, so daß kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen ist. Bei Rechtshändern dagegen sind die Werte der nicht dominanten Hand mit durchschnittlich 4 % Unterschied signifikant geringer als in der dominanten Hand. Allerdings muß angeführt werden, daß die Gruppe der untersuchten Linkshänder mit 19 Personen relativ klein ist, was Ursache einer evtl. fehlenden Signifikanz sein könnte. Es gilt jedoch zu beachten, daß bei den Rechtshändern bei Vergleich von dominanter und nicht dominanter Hand in den einzelnen Altersdekaden, die durchschnittlich nicht mehr als 10-15 Personen umfassen, trotz kleiner Fallzahl in der Regel signifikante Unterschiede bestehen.

Die Knochendichte der Hände kann auch herangezogen werden zur Abschätzung der systemischen Mineralisierung. So konnten wir eine positive signifikante Korrelation nachweisen zwischen der BMD der Hand einerseits und der des gesamten Körpers (whole body) ($r = 0,62$) sowie dem T-Score whole body ($r = 0,78$). Auch die BMD von Hand und gleichzeitigem Arm korrelieren gut miteinander ($r = 0,72$).

Fazit:

1. Knochendichtemessungen des Armes und der Hand mit der Unterarm-Software stellen eine akkurate, reproduzierbare und sensitive Methode zur Erfassung der BMD und der Körpergewebszusammensetzung der oberen Extremität dar.
2. In der Regel besteht für Rechtshänder ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Armen, bzw. Händen, der für die BMD durchschnittlich 4 % beträgt. Für Linkshänder konnte kein signifikanter Unterschied gefunden werden.
3. Der in dieser Studie ermittelte Unterschied zwischen beiden Händen sollte in die Abschätzung des Knochenverlustes im Bereich der Hände sowohl nach Radiusfrakturen, wo er bei insgesamt 9 % liegt, als auch zur Diagnose eines M. Sudeck, der mit Knochendichteverlusten der Hände von insgesamt mehr als 15 %^[56] einhergeht, berücksichtigt werden. Da der Knochendichteverlust im Bereich der Handwurzelknochen mit 18 % nach Radiusfrakturen und > 18% bei einem M. Sudeck höher ist als in den Metacarpalknochen und den proximalen Phalangen^[56], eignet sich hier ROI 1 (Handwurzelknochen) besonders gut, um posttraumatisch einen über das "normale Maß" hinausgehenden Knochenabbau nach Radiusfrakturen zu verifizieren. Ebenso zu berücksichtigen ist dieser Unterschied bei der Diagnose einer chronischen Polyarthritits (cP), bei der Patienten durchschnittlich 7,6 % weniger Knochenmasse in der Hand aufweisen als Kontrollgruppen^[21]. Hier kommt jedoch erschwerend hinzu, daß in der Regel beide Hände in den Krankheitsprozeß involviert sind, so daß ein intraindividueller Vergleich von beiden Händen zur Diagnosestellung letztendlich nicht herangezogen

werden kann, sondern hier ein Vergleich mit Referenzwerten aus der Normalbevölkerung erfolgen muß. Da erster Manifestationsort der cP die Hände mit symmetrischen Schwellungen und periartikulärem Knochenverlust im Bereich der Metacarpophalangeal (MCP)- und Interphalangeal (IP)-Gelenke sind ^[2,12], eignen sich hier insbesondere ROI 4-7 zur Bestimmung des Knochenverlustes, die die Knochendichte über den MCP-Gelenken des 2. (ROI 7), 3. (ROI 4) und 4. (ROI 6) Fingers sowie über dem proximalen IP-Gelenk (ROI 5) des 3. Fingers messen.

5 Zusammenfassung

Die Immobilisierung ist eine wichtige Ursache von Knochenverlusten. Viele Autoren haben über eine erhebliche Abnahme der Knochenmasse nach Frakturen der langen Röhrenknochen berichtet, die nicht nur die Frakturstelle, sondern auch deren Nachbarschaft betrifft. Angegeben wurden Substanzverluste von bis zu 50 % sowohl proximal als auch distal der Frakturstelle. Im Erwachsenenalter kommt es über einen Zeitraum von mehreren Jahren zu einer partiellen Wiederherstellung der Knochenmasse, die allerdings auch ausbleiben kann. Untersuchungen nach Radiusfrakturen wurden bisher qualitativ mittels nativer Röntgendiagnostik durchgeführt. Die Verlaufsbeobachtung mittels DEXA ermöglicht die quantitative Bestimmung der Knochendichte und Lokalisation der ersten, bzw. stärksten Atrophie im Handskelett. Da bisher für die Früherkennung einer Heilentgleisung im Stadium I lediglich die mehr oder weniger stark ausgeprägten klinischen Symptome einen Anhalt bieten, wäre die Feststellung eines quantitativen Schwellenwertes mit einer hohen Genauigkeit eine Bereicherung für Definition, Früherkennung und Therapiekontrolle einer Heilentgleisung, bzw. Algodystrophie. Um einen vergleichenden Bezug herstellen zu können, wird die Kenntnis des "physiologischen" Knochenmineralsalzgehaltes entsprechend der Händigkeit vorausgesetzt. Um letzteres zu eruieren soll die Studie dienen. Ferner soll ein objektives und sensitives Maß für die Beurteilung des Ausmaßes einer seitendifferenten Bemuskelung, z. B. im Gutachtenwesen, erarbeitet werden. Die primären Zielvariablen sind die Knochendichte der Hände sowie die Muskel-, Mineral- und Fettmasse der oberen Extremitäten absolut und relativ zur dominanten Seite. Anhand dieser Variablen soll das Ausmaß der "physiologischen" Gewichtung durch die Händigkeit bestimmt werden und Berücksichtigung finden bei der Beurteilung fraglicher "pathologischer" Entmineralisierung, bzw. Muskelatrophie einer Seite.

Die Knochendichte und der Knochenmineralgehalt der Hand sowie die Ganzkörpergewebszusammensetzung wurden mittels DEXA (Dual X-Ray Absorptiometry) ermittelt. 114 gesunde weiße Frauen und Männer ohne Verletzungen der oberen Extremität nach der Pubertät im Alter zwischen 20 und 82 Jahren, davon 19 Links- und 95 Rechtshänder, erhielten Scans beider Hände sowie des ganzen Körpers.

Durch Serien- und Doppelbestimmungen wurde die Präzision der Knochendichtemessungen kontrolliert. Es zeigte sich ein Variationskoeffizient von 0,3 % bis 0,8 % in Abhängigkeit von der ROI-Position. Das verwendete DEXA-Gerät ist also in der Lage, die Knochendichte mit hoher Präzision zu bestimmen.

Wir konnten in unserer Studie signifikante Differenzen zwischen beiden Armen, bzw. Händen bei Normalpersonen nachweisen. Die prozentualen Unterschiede zwischen dominantem und nicht dominantem Arm liegen für die BMD (Knochendichte) bei insgesamt 2,7%, für die BMC (Knochenmineralgehalt) bei 7,4%, für die Muskelmasse bei 11,5% und für das Absolutgewicht (BMC + Muskelmasse + Fettmasse) beider Arme bei 8,3%. Der prozentuale Fettgehalt

war dabei im dominanten Arm durchschnittlich 2,3% niedriger als im kontralateralen Arm. Kein Unterschied zwischen beiden Armen konnte beim absoluten Fettgehalt gefunden werden. Ebenfalls signifikante Abweichungen bestehen für BMD und BMC beider Hände. Der mittlere prozentuale Unterschied liegt hierbei für die BMD bei 3,8% und für die BMC bei 5,9% .

Bei Linkshändern sind jedoch im Unterschied zu Rechtshändern alle Mittelwerte im nicht dominanten, rechten Arm höher als im dominanten Arm - mit Ausnahme des absoluten und prozentualen Fettgehalts, wo das Gegenteil gilt. Diese Unterschiede sind für die BMC mit 4,8 %, die Muskelmasse mit 6,7 % sowie den absoluten und prozentualen Fettgehalt mit 9,4 % und 3,2 % signifikant. Keine signifikante Differenz bei Linkshändern besteht für die BMD und das Gesamtgewicht des Armes. Die Hände betreffend zeigen Linkshänder im Gegensatz zu Rechtshändern keinerlei signifikante Abweichung.

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede betrachtend, verlieren Frauen bereits mit Eintritt in die Menopause kontinuierlich an Knochenmasse in Armen und Händen, wohingegen bei den männlichen Individuen ein Anstieg von BMD und BMC bis zum 69. Lebensjahr zu verzeichnen ist. Erst danach kommt es zu einer signifikanten Abnahme, die jedoch geringer ausgeprägt ist als bei den weiblichen Personen.

Der Unterschied zwischen beiden Geschlechtern beläuft sich für die BMD der Arme auf insgesamt 17% und für die BMC auf 36%. Die Hände betreffend sind die Differenzen zwischen männlichen und weiblichen Personen etwa um ein Drittel niedriger und betragen 11% für die Knochendichte und 28% für den Knochenmineralgehalt. Postmenopausale Frauen haben im Durchschnitt in den Armen und in den Händen ca. 10% weniger Knochenmasse als premenopausale Frauen. Männliche Personen haben im dominanten Arm insgesamt 39% und im nicht dominanten Arm 42% mehr Muskelmasse als Frauen. Der Fettgehalt in beiden Armen ist bei Männern ca. 21% niedriger als bei Frauen.

Die Knochendichte der Hände kann auch zur Abschätzung der systemischen Mineralisierung herangezogen werden. So besteht eine positive signifikante Korrelation zwischen der BMD der Hand einerseits und der des gesamten Körpers ($r = 0,62$) sowie dem T-Score whole body ($r = 0,78$) als Maß der systemischen Mineralisierung. Auch BMD von Hand und gleichseitigem Arm korrelieren gut miteinander ($r = 0,72$), ebenso die Knochendichte der Arme einerseits und die Muskelmasse ($r = 0,72$) des gleichseitigen Armes, das Körpergewicht ($r = 0,49$) und die Körpergröße ($r = 0,54$) andererseits. Eine negative signifikante Korrelation konnte unter anderem nachgewiesen werden zwischen der BMD der Arme und ihrem prozentualen Fettgehalt ($r = -0,71$).

Diesen Ergebnissen zufolge ist also von einem geringen, aber signifikanten Unterschied bei der Knochendichte, dem Knochenmineralgehalt und der "body composition" (Gewebszusammensetzung) zwischen beiden Armen und Händen - mit Ausnahme des absoluten Fettgehalts - bei Rechtshändern auszugehen. Bei Linkshändern dagegen liegt keine reine Linkshändigkeit vor.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Albanese AA, Edelson AH, Lorenze EJ, Wein EH.
Quantitative radiography survey technique for detection of bone loss.
J Am Geriatr Soc 1969; 17:142-154
- [2] Alenfeld FE, Diessel E, Brezger M, Sieper J, Felsenberg D, Braun J.
Detailed analyses of periarticular osteoporosis in rheumatoid arthritis.
Osteoporosis Int 2000;11(5): 400-7
- [3] Andersen RE, Wadden TA, Herzog RJ.
Changes in bone mineral content in obese dieting women.
Metabolism 1997; 46:857-861
- [4] Arden NK, Spector TD.
Genetic influences on muscle strength, lean body mass, and bone mineral density: a twin study.
J Bone Miner Res Dec 1997; 12(12): 2076-81
- [5] Bagur A, Vega E, Mautalen C.
Discrimination of total body bone mineral density measured by DEXA in vertebral osteoporosis.
Calcif Tissue Int 1995; 56: 263-267
- [6] Bickerstaff DR, Charlesworth D, Kanis JA.
Changes in cortical and trabecular bone in algodystrophy.
Br J Rheumatol 1993; 32: 46-51
- [7] Bickerstaff DR, Kanis JA.
Algodystrophy: an under-recognized complication of minor trauma.
Br J Rheumatol 1994; 33: 240-8
- [8] Black DM, Cummings SR, Genant HK, Nevitt MC, Palermo L, Browner W.
Axial and appendicular bone density predict fractures in older women.
J Bone Miner Res 1992; 7:663-638
- [9] Boddy K, King PC, Hume R, Weyers E.
The relation of total body potassium to height, weight, and age in normal adults.
J Clin Pathol 1972; 25: 512-517
- [10] Bouxsein ML, Michaeli DA, Plass DB, Schick DA, Melton ME.
Precision and accuracy of computed digital absorptiometry for assessment of bone density of the hand.
Osteoporosis Int 1997; 7: 444-449
- [11] Butte NF, Hopkinson JM, Ellis KJ, Wong WW, Smith EO.
Changes in fat-free mass and fat mass in postpartum women: a comparison of body composition models.
Int J Obes 1997; 21:874-880

- [12] Bywaters EGL.
The early radiological signs of rheumatoid arthritis.
Bull Rheum Dis 1960; 11: 231-234
- [13] Calbet JA, Moysi JS, Dorado C, Rodriguez LP.
Bone mineral content and density in professional tennis players.
Calcif Tissue Int 1998; 62(6): 491-6
- [14] Cardenas JL, Revilla M, Hernandez ER, Aguado F, Villa LF, Rico H.
Comparison of three bone densitometry methods in osteoprotic women.
Calcif Tissue Int 1997; 61:358-361
- [15] Carlsen CG, Soerensen TH, Eriksen EF.
Prevalence of low serum estradiol levels in male osteoporosis.
Osteoporosis Int 2000; 11(8):697-701
- [16] Colbert C, Bachtell RS. Radiographic absorptiometry. In: Cohn SH, ed.
Noninvasive measurement of bone mass and their clinical application.
Boca Raton, Fla: CRC, 1981; 52-84
- [17] Compston JE, Crawley EO, Evans C, O'Sullivan MM.
Spinal trabecular bone mineral content in patients with non-steroid treated rheumatoid arthritis.
Ann Rheum Dis 1988; 47: 660-664
- [18] Cosman F, Herrington B, Himmelstein S, Lindsay R.
Radiographic absorptiometry: a simple method for determination of bone mass.
Osteoporosis Int 1991; 2: 34-38
- [19] Dalsky GP, Stocke KS, Eshani AA, Slatopolsky E, Lee WC, Birge SJ.
Weight-bearing exercise training and lumbar bone mineral content in postmenopausal women.
Ann Intern Med 1988; 108: 824-828
- [20] Deodhar A, Brabyn J, Jones P, Davis M, Woolf A.
Measurement of hand bone mineral content by dual energy x-ray absorptiometry: development of the method, and its application in normal volunteers and in patients with rheumatoid arthritis.
Ann Rheum Dis 1994; 53: 685- 690
- [21] Deodhar A, Brabyn J, Jones P, Davis M, Woolf A.
Longitudinal study of hand bone densitometry in rheumatoid arthritis.
Arthritis Rheum 1995; 38: 1204- 1210
- [22] Deurenberg P, Smit HE, Kusters CS.
Is the bioelectrical impedance method suitable for epidemiological field studies?
Eur J Clin Nutr 1989; 43:647-654
- [23] Deurenberg P, Kusters CS, Smit HE.
Assessment of body composition by bioelectrical impedance in children and young adults is strongly age-dependent.
Eur J Clin Nutr 1990; 44:261-268

- [24] Devlin J, Lilley J, Gough A, Huissoon A, Holder R, Reece R, Perkins P, Emery P.
Clinical associations of dual-energy X-ray absorptiometry measurement of hand bone mass in rheumatoid arthritis.
Br J Rheumatol 1996; 35(12): 1256-62
- [25] Diaz EO, Villar J, Immink M, Gonzales T.
Bioimpedance or anthropometry?
Eur J Clin Nutr 1989; 43:129-137
- [26] Ebrahim S, Thompson PW, Baskaran V, Evans K.
Randomized placebo-controlled trial of brisk walking in the prevention of postmenopausal osteoporosis.
Age Ageing 1997; 26:253-260
- [27] Ellis KJ.
Body composition of a young, multiethnic, male population.
Am J Clin Nutr 1997; 66:1323-31
- [28] Ferrini RL, Barrett-Connor E.
Sex hormones and age: a cross-sectional study of testosterone and estradiol and their bioavailable fractions in community-dwelling men.
Am J Epidemiol 1998 Apr 15; 147(8):750-4
- [29] Flemming A, Crown JM, Corbett M.
Early rheumatoid disease.
I.Onset. Ann Rheum Dis 1976; 35: 357-360
- [30] Florescu A, Podenphant J, Thamsborg G, Hansen M, Leffers AM, Andersen V.
Distal metacarpal bone mineral density by dual energy X-ray Absorptiometry (DEXA) scan. Methodological investigation and application in rheumatoid arthritis.
Clin Exp Rheumatol 1993; 11(6): 635-8
- [31] Fogelholm GM, Sievanen HT, van Marken Lichtenbelt WD, Westerterp KR.
Assessment of fat-mass loss during weight reduction in obese women.
Metabolism 1997; 46:968-975
- [32] Forbes GB, Gallup J, Hursh JB.
Estimation of total body fat from potassium-40 content.
Science 1961; 133:101-102
- [33] Forbes, G. B.
Human Body Composition. Growth, Aging, Nutrition, and Activity.
London: Springer-Verlag 1987; p. 153-195
- [34] Fries JF, Bloch DA, Sharp JT et al.
Assessment of radiological progression in rheumatoid arthritis: A randomised controlled trial.
Arthritis Rheum 1986; 29: 1
- [35] Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, Evans WJ.
A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78yr- old men and women.
J Appl Physiol 1991; 71:644-650

- [36] Fuerst T, Genant H.
Evaluation of body composition and total bone mass with the Hologic QDR 4500.
Osteoporosis Int 1996; 6 (s1): 203
- [37] Fuerst T, Glüer C, Genant H.
Performance evaluation of a new bone densitometer: Hologic QDR 4500.
N.N.
- [38] Fuller NJ, Elia M.
Potential use of bioelectrical impedance of the whole body and of body segments for the assessment of body composition: comparison with densitometry and anthropometry.
Eur J Clin Nutr 1989; 43:779-791
- [39] Fuller NJ, Laskey MA, Elia M.
Assessment of the composition of major body regions by dual energy X ray absorptiometry (DEXA) with special reference to limb muscle mass.
Clin Physiol 1992; 12: 1-15
- [40] Gallagher D, Visser M, De Meersman RE, Sepulveda D, Baumgartner RN, Pierson RN, Harris T, Heymsfield SB.
Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity.
J Appl Physiol 1997; 83:229-239
- [41] Gambacciani M, Ciaponi M, Cappagli B, Piaggese L, De Simone L, Orlandi R, Genazzani AR.
Body weight, body fat distribution, and hormonal replacement therapy in early postmenopausal women.
J Clin Endocrinol Metab 1997; 82:414-417
- [42] Gerber NJ, Rey B.
Can exercise prevent osteoporosis?
Br J Rheum 1991; 30: 2
- [43] Gough AKS, Lilley J, Eyre S, Holder RL, Emery P.
Generalised bone loss in patients with early rheumatoid arthritis.
Lancet 1994; 344: 23-27
- [44] Greenfield DM, Greenfield AA, Eastell R.
Femoral neck and total body bone mineral density predict incident non spine fractures.
J Bone Miner Res 1997;12(Suppl 1):S363
- [45] Haapasalo H, Kannus P, Sievänen H, Pasanen M, Uusi-Rasi K, Heinonen A, Oja P, Vuori I.
Effect of long-term unilateral activity on bone mineral density of female junior tennis players.
J Bone Miner Res 1998; 13(2): 310-9
- [46] Hagiwara S, Engelke K, Yang S, Dhillon MS, Guglielmi G, Nelson DL, Genant HK.
Dual x-ray absorptiometry forearm software: accuracy and intermachine relationship.
J Bone Miner Res 1994; 9: 1425-1427

- [47] Heinonen A, Oja P, Kannus P, Sievänen H, Haapasalo H, Mänttari A, Vuori I.
Bone mineral density in female athletes representing sports with different loading characteristics of the skeleton.
Bone 1995; 17: 197-203
- [48] Heinonen A, Kannus P, Sievänen H, Oja P, Pasanen M, Rinne M, Uusi Rasi K, Vuori I.
Randomised controlled trial of effect of high-impact exercise on selected risk-factors for osteoporotic fractures.
Lancet 1996; 348: 1343-1347
- [49] Herd RJ, Blake GM, Parker JC, Ryan PJ, Fogelman I.
Total body studies in normal British women using dual energy X-ray absorptiometry.
Br J Radiol 1993 Apr; 66(784):303-8
- [50] Heymsfield SB, Wang J, Heshka S, Kehayias JJ, Pierson RN.
Dual-photon absorptiometry: comparison of bone mineral and soft tissue mass measurements in vivo with established methods.
Am J Clin Nutr 1989; 49: 1283-1289
- [51] Heymsfield SB, Smith R, Aulet M, et al.
Appendicular skeletal mass: measurement by dual-photon absorptiometry.
Am J Clin Nutr 1990; 52: 214-218
- [52] Himes JH, Bouchard C.
Validity of anthropometry in classifying youths as obese.
Int J Obes 1989; 13:183-193
- [53] Horber FF, Gruber B, Thomi F, Jensen EX, Jaeger P.
Effect of sex and age on bone mass, body composition and fuel metabolism in humans.
Nutrition 1997; 13:524-534
- [54] Horsman A, Simpson M.
Measurement of sequential changes in cortical bone geometry.
Br J Radiol 1975; 48:471-476
- [55] Huddleston AL, Rockwell D, Kulund DN, Harrison RB.
Bone mass in lifetime tennis athletes.
JAMA 1980; 244: 1107-1109
- [56] Ingle B, Hay S, Bottjer H, Eastell R.
Changes in bone mass and bone turnover following distal forearm fracture.
Osteoporosis Int (1999) 10: 399- 407
- [57] Jacobson PC, Beaver W, Grubbs SA, Taft TN, Talmage RV.
Bone density in women: College athletes and older athletic women.
J Orthop Res 1984; 2: 328-332
- [58] Jones HH, Priest JD, Hayes WC, Tichenor CC, Nagel DA.
Humeral hypertrophy in response to exercise.
J Bone Joint Surg 1977; 59A: 204-208

- [59] Kannus P, Haapasalo H, Sievänen H, Oja P, Vuori I.
The site-specific effects of long-term unilateral activity on bone mineral density and content.
Bone 1994; 15: 279-284
- [60] Kelly TL.
Bone mineral density reference databases for american men and women.
J Bone and Miner Res; 5 (Suppl 2) (1990): 249
- [61] Kelly TL, Shepherd JA, Steiger P, Stein JA.
Accurate body composition assessment using fan beam DXA: technical and practical considerations.
J Bone Min Res 1997; 12 (s1): s269
- [62] Kelly TL, Berger N, Richardson TL.
DXA body composition: Theory and practice.
1998 Elsevier Science Ltd.
- [63] Kelly TL, Shepherd JA, Steiger P.
Body composition determinations using fan beam technology.
Sixth Bath Conference on Osteoporosis and Bone Mineral Measurement
June, 1998
- [64] Kleerekoper M, Nelson DA, Flynn MJ, Pawluszka AS, Jacobson G, Peterson EL.
Comparison of radiographic absorptiometry with Dual-Energy X-ray Absorptiometry and Quantitative Computed Tomography in normalolder white and black women.
J Bone Min Res 1994; 9: 1745-1749
- [65] Kohrt, Wendy M.
Preliminary evidence that DEXA provides an accurate assessment of body composition.
J Appl Physiol 1998; 84(1):372-377
- [66] Kotler DP, Tierney AR, Wang J, Pierson RN.
Magnitude of body-cell-mass depletion and the timing of death from wasting in AIDS.
Am J Clin Nutr 1989; 50:444-447
- [67] Kotler DP, Tierney AR, Ferraro R, et al.
Enteral alimentation and repletion of body cell mass in malnourishe patients with acquired immunodeficiency syndrome.
Am J Clin Nutr 1991; 53:149-154
- [68] Krzywicki HJ, Ward GM, Rahman DP, Nelson RA, Consolazio CF.
A comparison of methods for estimating human body composition.
Am J Clin Nutr 1974; 27:1380-1385
- [69] Larcos G, Wahner HW.
An evaluation of forearm bone mineral measurement with Dual-Energy X-ray Absorptiometry.
J Nucl Med 1991; 32: 2101- 2106

- [70] Ley CJ, Lees B, Stevenson JC.
Sex- and menopause-associated changes in body-fat distribution.
Am J Clin Nutr 1992; 55:950-4
- [71] Madsen OR, Lauridsen UB, Hartkopp A, Sorensen OH.
Muscle strength and soft tissue composition as measured by dual energy x-ray absorptiometry in women aged 18-87 years.
J Appl Physiol 1997; 75:239-245
- [72] Margulies J, Simkin A, Leichter I, Bivas A, Stinberg R, Giladi M.
Effects of intense physical activity on the bone mineral content in the lower limbs of young adults.
J Bone Joint Surg 1986; 68A: 1090-1093
- [73] Martini G, Valenti R, Ciovani S, Nuti R.
Age-related changes in body composition of healthy and osteoporotic women.
Maturitas 1997; 27:25-33
- [74] Mazess RB, Peppler WW, Chesnut CH III, Nelp WB, Cohn SH, Zanzi L.
Total body bone mineral and lean body mass by dual-photon absorptiometry. II. Comparison with total body calcium by neutron activation analysis.
Calcif Tissue Int 1981; 33: 361-363
- [75] Mazess RB, Peppler WW, Chesney RW, Lange TA, Lindgren U, Smith Jr. E.
Total body and regional bone mineral by dual-photon absorptiometry in metabolic bone disease.
Calcif Tissue Int 1984; 36:8-13
- [76] Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanson J.
Dual-energy X-ray absorptiometry for total body and regional bone-mineral and soft-tissue composition.
Am J Clin Nutr 1990; (51):1106 - 1112
- [77] Morgan DB, Spiers FW, Pulvertaft CN, Fourman P.
The amount of bone in the metacarpal and phalanx according to age and sex.
Clin Radiol 1967; 18:101-108
- [78] Müller M und Mitarbeiter.
Chirurgie für Studium und Praxis.
Medizinische Verlags- und Informationsdienste Breisach (1998/99):295
- [79] Mussolino ME et altera.
Phalangeal Bone Density and Hip Fracture Risk.
Arch Intern Med. 1997; 157:433-438
- [80] Nagy TR, Gower BA, Trowbridge CA, Dezenberg C, Schewchuk RM, Goran MI.
Effects of gender, ethnicity, body composition, and fat distribution on serum leptin concentrations in children.
J Clin Endocrinol Metab 1997; 82:2148-2152

- [81] Newby MJ, Keim NL, Brown DL.
Body composition of adult cystic fibrosis patients and control subjects as determined by densitometry, bioelectrical impedance, total body electrical conductivity, skinfold measurements, and deuterium oxide dilution.
Am J Clin Nutr 1990; 52:209-213
- [82] Nilsson BE, Westlin NE.
Bone density in athletes.
Clin Orthop 1971; 77: 179-182
- [83] Nilsson BE, Westlin NE.
Long-term observations on the loss of bone mineral following Colles' fracture.
Acta Orthop Scand 1975; 46: 61-6
- [84] Nordin BEC, Chatterton BE, Schultz CG, Need AG, Horowitz M.
Regional bone mineral density interrelationships in normal and osteoporotic postmenopausal women.
J Bone Miner Res 1996; 11:849-856
- [85] Nuti R, Martini G, Frediani B, Giovanni S, Panza F, Marcocci A, Valenti R.
La densitometria ossea a raggi X "Total body" nella diagnostica delle osteopatie metaboliche e nella valutazione dei tessuti molli.
Pandora 1991; 3:7-13
- [86] Nuti R, Martini G.
Measurements of bone mineral density by DXA total body absorptiometry in different skeletal sites in postmenopausal osteoporosis.
Bone 1992; 13:173-178
- [87] Nuti R, Martini G, Gennari C.
Total body spine, and femur dual x-ray absorptiometry in spinal osteoporosis.
Calcif Tissue Int 1993; 53:388-393
- [88] Ohmura A, Kushida K, Yamazaki K, Okamoto S, Katsuno H, Inoue T.
Bone density and body composition in Japanese women.
Calcif Tissue Int 1997; 61:117-122
- [89] Osei-Hyiaman D, Ueji M, Toyokawa S, Takahashi H, Kano K.
Influence of grip strength on metacarpal bone mineral density in postmenopausal Japanese women: a cross-sectional study.
Calcif Tissue Int 1999; 64(3): 263-6
- [90] Peel NFA, Spittlehouse AJ, Bax DE, Eastell R.
Bone mineral density of the hand in rheumatoid arthritis.
Arthritis Rheum 1994; 37 (5): 983- 991
- [91] Pichard C, Kyle UG, Gremion G, Gerbase M, Slosman DO.
Body composition by x-ray absorptiometry and bioelectrical impedance in female runners.
Med Sci Sports Exerc 1997; 29:1527-1534

- [92] Pietrobelli A, Formica C, Wang Z, Heymsfield SB.
Dual-energy x-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts.
Am J Physiol 1996; 271:E941-E951
- [93] Reid DM, Kennedy NSJ, Smith MA, Tohill P, Nuki G.
Total body calcium in rheumatoid arthritis: effects of disease activity and corticosteroid treatment.
Br Med J 1982; 285:330-332
- [94] Revilla M, Villa LF, Sanchez-Atrio A, Hernandez ER, Sanchez-Atrio A, Rico H.
Influence of body mass index on the age-related slope of total and regional bone mineral content.
Calcif Tissue Int 1997; 61:134-138
- [95] Riis BJ, Christiansen C.
Measurement of spinal or peripheral bone mass to estimate early postmenopausal bone loss?
Am J Med 1988; 84: 646-53
- [96] Rosenthal DI, Gregg GA, Slovik DM, Neer RM.
A comparison of quantitative computed tomography to four techniques of upper extremity bone mass measurement.
In: Genant HK, ed. Osteoporosis update 1987. Berkeley, Calif: University of California Press, 1987; 87-93
- [97] Ross P, Huang C, Davis J, Imose K, Yates J, Vogel J, Wasnich R.
Predicting vertebral deformity using bone densitometry at various skeletal sites and calcaneous ultrasound.
Bone 1995; 16: 325-332
- [98] Samaras K, Campbell LV.
The non-genetic determinants of central adiposity.
Int J Obes 1997; 21:839-845
- [99] Sambrook PN, Eisman JA, Yeates MG, Pocock NA, Eberl S, Champion GD.
Safety of low dose corticosteroids.
Ann Rheum Dis 1986; 45: 950-953
- [100] Sambrook PN, Eisman JA, Champion GD, Yeates MG, Pocock NA, Eberl S.
Determinants of axial bone loss in rheumatoid arthritis.
Arthritis Rheum 1987; 30: 721-728
- [101] Schmidt-Matthiesen H, Hepp H.
Gynäkologie und Geburtshilfe. Lehrbuch für Studium und Praxis.
Schattauer Verlag 1997; 9. Auflage:80-82
- [102] Shenstone BD, Mahmoud A, Woodward R, Elvins D, Palmer R, Ring EF, Bhalla AK.
Longitudinal bone mineral density changes in early rheumatoid arthritis.
Br J Rheumatol 1994; 33: 541-545

- [103] Sinaki M, Wahner HP, Offord KP.
Relationship between grip strength and related regional bone mineral content.
Arch Phys Med Rehabil 1989; 70: 823-26
- [104] Slosman DO, Casez J-P, Pichard C, Rochat T, Fery F, Rizzoli R, Bonjour J-P, Morabia A, Donath A .
Assessment of whole body composition with Dual-Energy X-ray Absorptiometry.
Radiology 1992; (185):593- 598
- [105] Steel SA, Swann P, Langley G, Langton CM.
A phantom for evaluating bone mineral density of the hand by dual-energy x-ray absorptiometry.
Physiol Meas 1997; 18(3): 233-40
- [106] Svendsen OL, Hassager C, Christiansen C.
Age- and Menopause- Associated Variations in Body Composition and Fat Distribution in Healthy Women as Measured by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry.
Metabolism 1995; Vol 44, no 3 (March): 369-373
- [107] Swezey RL, Draper D, Swezey AM.
Bone densitometry: comparison of dual energy x-ray absorptiometry to radiographic absorptiometry.
J Rheumatol 1996; 23: 1734-1738
- [108] Taaffe DR, Lewis B, Marcus R.
Quantifying the effect of hand preference on upper limb bone mineral and soft tissue composition in young and elderly women by dual-energy X-ray absorptiometry.
Clin Physiol 1994; 14(4):393-404
- [109] Takada M, Engelke K, Hagiwara S, Grampp S, Jergas M, Glüer CC, Genant HK.
Assessment of osteoporosis: comparison of radiographic absorptiometry of the phalanges and dual x-ray absorptiometry of the radius and lumbar spine.
Radiology 1997; 202:759-763
- [110] Tsuda K.
Measurement of bone mineral density of metacarpal and phalangeal bones of the hand by dual X-ray absorptiometry.
Nippon Seik Gak Zasshi 1993; 67(11):1033-44
- [111] Tsuji S, Naoya T, Yata H, Katsukawa F, Onishi S, Yamazaki H.
Relation between grip strength and radial bone mineral density in young athletes.
Arch Phys Med Rehabil 1995; Vol 76:234-238
- [112] Valdimarsson O, Kristinsson JO, Stefansson SO, Valdimarsson S, Sigurdsson G.
Lean mass and physical activity as predictors of bone mineral density in 16-20-year old women.
J Intern Med 1999; May; 245(5): 489-96

- [113] Van den Beld AW, de Jong FH, Grobbee DE, Pols HA, Lamberts SW.
Measures of bioavailable serum testosterone and estradiol and their relationships with muscle strength, bone density, and body composition in elderly men.
J Clin Endocrinol Metabol 2000 Sep; 85(9):3276-82
- [114] Van Loan MD.
Bioelectrical impedance analysis to determine fat-free mass, total body water and body fat.
Sports Med 1990; 10:205-217
- [115] Ventura V, Mauloni M, Mura M, et al.
Ultrasound velocity changes at the proximal phalanges of the hand in pre-, peri- and postmenopausal women.
Osteoporos Int 1996; 6:368-75
- [116] Versluis RG, Petri H, Vismans FJ, van de Ven CM, Springer MP, Papapoulos SE.
The relationship between phalangeal bone density and vertebral deformities.
Calcif Tissue Int 2000; 66 (1):1-4
- [117] Verstraeten A, Dequecker J.
Vertebral and peripheral bone mineral content and fracture incidence in postmenopausal patients with rheumatoid arthritis.
Ann Rheum Dis 1986; 45:852-857
- [118] Yang SO et altera.
Radiographic Absorptiometry for Bone Mineral Measurement of the Phalanges: Precision and Accuracy Study.
Radiology 1994; 192:857-859
- [119] Yang SO, Hagiwara S, Engelke K, Dhillon MS, Guglielmi G, Bendavid EJ, Soejima O, Nelson DL, Genant HK.
Radiographic absorptiometry for bone mineral measurement of the phalanges: precision and accuracy study.
Radiology 1994; 192:857-859

7 Anhang

7.1 Daten des männlichen Patientenkollektivs

Geschlecht männlich	n Links-/ Rechtshänder	Durchschnittsalter(J.) ± 1 SD [Spannweite]	Größe (m) ± 1 SD [Spannweite]	Gewicht (kg) ± 1 SD [Spannweite]	BMI (kg/m ²) ± 1 SD [Spannweite]	BMD whole body (T-Score) ± 1 SD [Spannweite]
gesamt	43 10 / 33	46 ± 17.08 [20, 78]	1.78 ± 0.07 [1.61, 1.98]	79.1 ± 10.03 [54.5, 98]	25.0 ± 3.51 [18.46, 37.03]	0.39 ± 0.97 [-1.91, 2.36]
20-29 Jahre	11 6 / 5	24.1 ± 2.68 [20, 28]	1.8 ± 0.07 [1.7, 1.95]	72.9 ± 8.75 [60.5, 90]	22.4 ± 2.94 [18.46, 29.25]	0.68 ± 0.93 [-0.94, 2.36]
30-39 Jahre	6 2 / 4	33.8 ± 2.54 [31, 37]	1.84 ± 0.08 [1.74, 1.98]	81.3 ± 9.81 [71.5, 98]	24.0 ± 1.09 [22.64, 25.75]	0.00 ± 1.09 [-1.91, 1.71]
40-49 Jahre	4 1 / 3	44.5 ± 3.04 [41, 48]	1.78 ± 0.07 [1.69, 1.89]	83.3 ± 6.07 [75.5, 92]	26.2 ± 1.78 [23.92, 28.87]	0.17 ± 0.51 [-0.6, 0.82]
50-59 Jahre	12 1 / 11	53.8 ± 2.51 [50, 59]	1.77 ± 0.06 [1.61, 1.83]	81.7 ± 8.81 [68.5, 98]	26.2 ± 3.8 [22.94, 37.04]	0.48 ± 0.72 [-0.62, 1.73]
60-69 Jahre	6 0 / 6	65.0 ± 3.00 [62, 69]	1.77 ± 0.04 [1.72, 1.83]	83.7 ± 5.67 [76.5, 93]	26.6 ± 1.83 [23.47, 29.51]	0.75 ± 1.00 [-0.54, 2.36]
70-78 Jahre	4 0 / 4	74.0 ± 3.54 [70, 78]	1.67 ± 0.05 [1.61, 1.73]	74.4 ± 14.33 [54.5, 95]	26.7 ± 4.84 [18.74, 31.74]	-0.41 ± 1.16 [-1.41, 1.48]

7.2. Daten des weiblichen Patientenkollektivs

Geschlecht weiblich	n Links-/Rechtshänder	Durchschnittsalter(J.) ± 1 SD [Spannweite]	Größe (m) ± 1 SD [Spannweite]	Gewicht (kg) ± 1 SD [Spannweite]	BMI (kg/m²) ± 1 SD [Spannweite]	BMD whole body (T-Score) ± 1 SD [Spannweite]
gesamt	71 9 / 62	50.3 ± 17.04 [22, 82]	1.63 ± 0.07 [1.52, 1.84]	64.9 ± 10.9 [47, 108]	24.4 ± 4.42 [17.5, 45.8]	-0.48 ± 1.0 [-3.34, 2.16]
20- 29 Jahre	11 1 / 10	23.6 ± 1.72 [22, 27]	1.64 ± 0.08 [1.52, 1.79]	59.7 ± 7.25 [48.5, 76.5]	22.3 ± 2.37 [17.8, 25.9]	-0.14 ± 0.6 [-1.09, 1.22]
30- 39 Jahre	7 2 / 5	34.0 ± 3.93 [30, 39]	1.7 ± 0.08 [1.59, 1.84]	61.6 ± 10.0 [50.5, 80]	21.4 ± 2.48 [17.5, 24.7]	0.04 ± 0.77 [-1.61, 0.8]
40- 49 Jahre	14 1 / 13	44.7 ± 2.84 [40, 49]	1.63 ± 0.06 [1.54, 1.78]	61.5 ± 6.40 [52.5, 70]	23.1 ± 2.25 [19.6, 26.4]	0.28 ± 0.94 [-1.44, 2.16]
50- 59 Jahre	17 2 / 15	53.2 ± 2.51 [50, 57]	1.66 ± 0.05 [1.54, 1.75]	66.9 ± 9.77 [47, 93]	24.3 ± 3.42 [18.4, 32.2]	-0.11 ± 0.82 [-1.44, 1.38]
60- 69 Jahre	10 2 / 8	62.4 ± 2.62 [60, 69]	1.61 ± 0.1 [1.52, 1.84]	71.2 ± 17.2 [49, 108]	27.7 ± 7.28 [19.5, 45.8]	-1.32 ± 1.11 [-2.71, 0.46]
70- 82 Jahre	12 1 / 11	76.3 ± 3.34 [71, 82]	1.58 ± 0.03 [1.53, 1.64]	66.8 ± 9.31 [52, 85]	26.7 ± 3.59 [19.3, 33.6]	-1.78 ± 1.0 [-3.34, -0.22]

Danksagung

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. L. Zichner, danke ich sehr herzlich für die freundliche Überlassung des Themas und die Bereitstellung des Meßgerätes QDR 4500 A der Firma Hologic.

Ganz besonders herzlicher Dank gilt Herrn Dr. Thorsten Hennigs für die freundliche Betreuung, die vielen konstruktiven Fachgespräche, die stetige Motivation und Unterstützung im Rahmen der Verfassung dieser Arbeit.

Für die Unterstützung und Ratschläge zur statistischen Auswertung danke ich herzlichst Herrn Dr. K.-H. Tews vom Institut für Biomathematik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main .

Meinen lieben Eltern, deren Unterstützung ich mir immer sicher sein konnte, danke ich vielmals für die herzliche Fürsorge und für die finanzielle Unterstützung während meines Studiums sowie für die Bereitstellung der hervorragenden EDV-Ausrüstung, die das Verfassen der Arbeit sehr erleichtert hat.

Besonderer Dank gilt auch meinem Freund Axel, der mich als ruhender Pol stets motivierte und mental unterstützte.

Desweiteren danke ich allen Personen, die sich freiwillig und geduldig für die Messungen zur Verfügung gestellt haben sowie all denjenigen, die durch ihr Interesse und ihre Diskussionsbereitschaft ihren Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

Vielen Dank!

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Parmentier
Vornamen	Maria Alexandra
geboren am	28.05.1975
in	Frankfurt am Main
Familienstand	ledig
Eltern	Dr. Wolfgang Parmentier, Pharmazeut Susanne Parmentier, geb. Flemming, Hausfrau

Schulbildung

09/1981 - 07/1985	Heinrich - Seliger - Grundschule, Frankfurt
09/1985 - 07/1994	Lessing - Gymnasium Frankfurt Abschluß: Abitur

Studium

10/1994 - 5/2001	Studium der Medizin an der Johann Wolfgang Goethe - Universität in Frankfurt am Main
09/1996	Physikum
08/1997	1. Staatsexamen
03/2000	2. Staatsexamen
04/2000 - 03/2001	PJ, Hospital zum heiligen Geist, Frankfurt Universitätsklinikum, Frankfurt
05/2001	3. Staatsexamen

Berufserfahrung

1994 - 2001	Studienbegleitender Pflegedienst, St. Marienkrankenhaus, Frankfurt
02/1997 - 03/1997	Famulatur, Orthopädie/ Unfallchirurgie, Städtisches Krankenhaus Bad Tölz/ Bayern
09/1997 - 10/1997	Famulatur, Radiologie, Praxis Dr. Bluhme, Frankfurt
02/1998 - 03/1998	Famulatur, Innere Medizin, A.ö. Diakonissen- Krankenhaus, Schladming Österreich
09/1998 - 10/1998	Famulatur, Kardiochirurgie, Herzzentrum Frankfurt
4/1998 - 4/1999	Studentische Aushilfskraft im Rahmen der Osteoporosesprechstunde in der Orthopädischen Universitätsklinik, Frankfurt
04/2000 - 08/2000	1. Terial des Praktischen Jahres, Innere Medizin, Hospital zum heiligen Geist, Frankfurt
08/2000 - 12/2000	2. Terial des Praktischen Jahres, Neurologie, Zentrum der Neurologie und Neurochirurgie Universitätsklinikum Frankfurt
12/2000 - 03/2001	3. Terial des Praktischen Jahres, Chirurgie, Hospital zum heiligen Geist, Frankfurt
09/2001 - 03/2002	AiP in der Neurologie am ZNN, Universitätsklinikum Frankfurt
Seit 03/2003	Assistenzärztin in der Neurologie am ZNN, Universitätsklinikum Frankfurt

Frankfurt am Main, den 21.07.2003



(Unterschrift)

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die dem Fachbereich Humanmedizin zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Bestimmung der Knochenmineraldichte des Handskelettes und der Körperzusammensetzung der oberen Extremitäten der dominanten im Vergleich zur nicht dominanten Seite bei Normalpersonen“ in der Orthopädischen Universitätsklinik und Poliklinik, Stiftung Friedrichsheim, Frankfurt am Main unter Leitung von Herrn Prof. Dr. med. L. Zichner mit Unterstützung durch Herrn Dr. med. Th. Hennigs ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt am Main, den 21.07.2003

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Paulus', written over a horizontal line.

(Unterschrift)