

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Innere Medizin II  
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Direktor: Prof. Dr. med. habil. Bernd Osten



**Bedeutung der Osteodensitometrie  
mittels Ultraschall am Os calcaneus  
zur Diagnostik der renalen Osteopathie**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Medizin

vorgelegt  
der Medizinischen Fakultät  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Ina Goraus  
geboren am 04.08.1975 in Halle (Saale)

Eröffnungsdatum: 25.09.2003

Verteidigung: 26.04.2004

Gutachter:

1. PD Dr. H. J. Deuber (Halle/Zirndorf)
2. PD Dr. P. Jehle (Halle/Wittenberg)
3. PD Dr. G. Kraatz (Greifswald)

**urn:nbn:de:gbv:3-000006848**

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000006848>]

*"Neue Gedanken ...  
und neue Wahrheiten gehen durch drei Stadien:  
Zuerst findet man sie lächerlich.  
Dann werden sie energisch bekämpft.  
Schließlich werden sie völlig selbstverständlich akzeptiert."*

(Arthur SCHOPENHAUER)

## **Referat und bibliographische Beschreibung**

Die Ultraschall-Osteodensitometrie mittels DTU-ONE ist eine ergänzende und einfach zu handhabende Methode, bei Stellung der Diagnose renale Osteopathie und im Verlauf der Therapie die Knochendichte indirekt als Broadband Ultrasound Attenuation bzw. Speed of Sound in Zahlen zu fassen, ohne Patienten und Untersucher einer belastenden Röntgenstrahlung auszusetzen. Ziel der Arbeit ist die Untersuchung auf Validität und Plausibilität der Meßwerte bei der Ultraschall-Osteodensitometrie am Os calcaneus im Links-rechts-Vergleich und die Untersuchung auf signifikante Korrelation zu Laborparametern der renalen Osteopathie. Desweiteren wird der Einfluß von Alter, Größe und Gewicht sowie Geschlecht auf die Knochendichte anhand statistischer Testverfahren untersucht. Zur besseren Differenzierung sind die Patienten entsprechend ihrer Therapie der chronischen Niereninsuffizienz in vier Hauptgruppen: 1. Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention, 2. Hämodialyse, 3. Peritonealdialyse und 4. Z.n. Nierentransplantation, unterschieden worden. Der Vergleich zwischen den Meßwerten der Ultraschall-Osteodensitometrie am linken und rechten Os calcaneus ergibt bei Männern mit Peritonealdialyse sowie bei Frauen mit Hämodialyse und Z.n. Nierentransplantation hinsichtlich der Speed of Sound einen signifikanten Seitenunterschied. Eine Abhängigkeit der Ultraschall-Osteodensitometrie hinsichtlich der Broadband Ultrasound Attenuation vom Alter kann bei Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention nachgewiesen werden. Bei Männern mit Peritonealdialyse und bei Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention lassen sich Zusammenhänge zwischen Body Mass Index und Broadband Ultrasound Attenuation feststellen, ebenso bei Frauen mit Hämodialyse zwischen Body Mass Index und Speed of Sound. Signifikante Korrelationen zwischen Ultraschall-Osteodensitometrie und Laborparametern können nicht gesichert werden. Broadband Ultrasound Attenuation und Speed of Sound als Parameter der Knochendichte in der Osteodensitometrie korrelieren nicht miteinander und nicht gleichsinnig zu den Laborparametern. In den meisten Fällen läßt sich eine signifikante Korrelation nur zur Broadband Ultrasound Attenuation bzw. nur zur Speed of Sound, entweder am linken oder am rechten Os calcaneus nachweisen.

Goraus, Ina: Bedeutung der Osteodensitometrie mittels Ultraschall am Os calcaneus zur Diagnostik der renalen Osteopathie; Halle (Saale), Martin-Luther-Universität, Medizinische Fakultät, Dissertation, 66 Seiten, 2003

## **Inhaltsverzeichnis**

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	
1.1. Terminale Niereninsuffizienz	1
1.2. Pathophysiologie der renalen Osteopathie	2
1.3. Methoden zur Diagnostik der renalen Osteopathie	4
1.4. Zielsetzung der Arbeit	5
<b>2. Patienten, Material und Methodik</b>	
2.1. Patienten	7
2.2. Beschreibung des Ultraschallmeßgerätes DTU-ONE, Durchführung der Messungen	10
2.3. Die Meßmethode	11
2.4. Parameter der Osteodensitometrie	12
2.5. Statistische Testverfahren	13
<b>3. Ergebnisse</b>	
<b>3.1. Meßergebnisse der Ultraschall-Osteodensitometrie am Os calcaneus</b>	
3.1.1. Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links	15
3.1.2. Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus rechts	17
3.1.3. Speed of Sound am Os calcaneus links	19
3.1.4. Speed of Sound am Os calcaneus rechts	21
<b>3.2. Links-rechts-Vergleich von Broadband Ultrasound Attenuation bzw. Speed of Sound am Os calcaneus</b>	
3.2.1. Männer	22
3.2.2. Frauen	25

<b>3.3.</b>	<b>Korrelationen zu patientenbezogenen Daten</b>	
3.3.1.	Alter	27
3.3.2.	Body Mass Index	28
<b>3.4.</b>	<b>Laborergebnisse</b>	
3.4.1.	Calcium	29
3.4.2.	Phosphat	31
3.4.3.	Kreatinin	33
3.4.4.	Alkalische Phosphatase	35
3.4.5.	Gesamteiweiß	37
3.4.6.	Albumin	39
3.4.7.	Parathormon	41
3.4.8.	Ostase	43
3.4.9.	25-OH-Cholekalziferiol	45
3.4.10.	1,25-(OH) <sub>2</sub> -Cholekalziferol	47
3.4.11.	Thyreoidea stimulierendes Hormon	49
3.4.12.	Freies Trijodthyronin	51
3.4.13.	Freies Thyroxin	53
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	55
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	62
<b>6.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	63
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	64

**Thesen**

**Lebenslauf**

## 1. Einleitung

Mit dieser Arbeit soll untersucht werden, ob die Osteodensitometrie mittels Ultraschall, eine relativ neue Methode zur Messung der Knochendichte, eine weitere Möglichkeit zur Diagnose und zur Therapiekontrolle der renalen Osteopathie darstellt.

### 1.1. Terminale Niereninsuffizienz

Ziel der Behandlung von Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz im terminalen Stadium ist es, das Leben zu verlängern, nicht, den Betroffenen das Leben lang werden zu lassen. Dazu gehören auch Diagnose und Therapie von Begleitscheinungen der terminalen Niereninsuffizienz, wie z.B. die renale Osteopathie. Da in den meisten Fällen die verschiedenen Ursachen (Abb.1) der terminalen Niereninsuffizienz nur unzureichend behoben werden können, muß man alle Möglichkeiten zur Diagnose und Therapie von Begleiterkrankungen der chronischen Niereninsuffizienz ausschöpfen.

#### Ursachen der terminalen Niereninsuffizienz

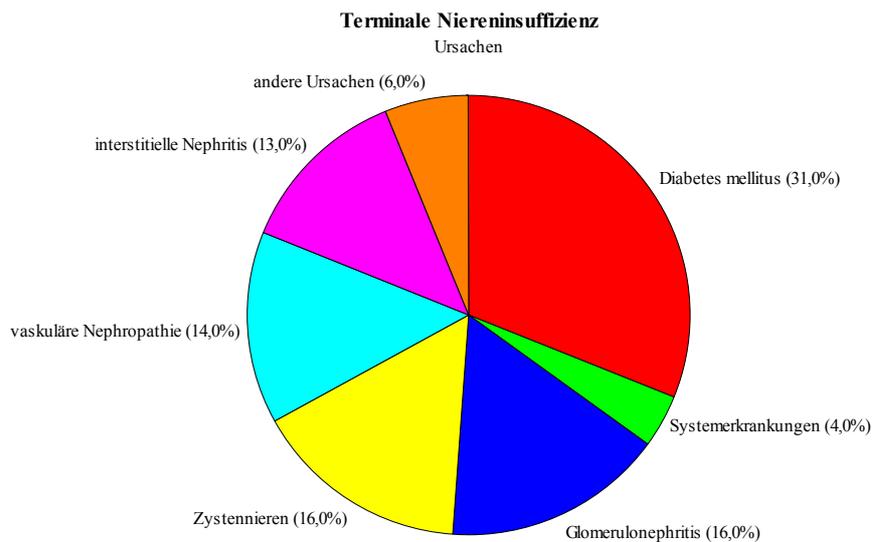


Abb.1 Ursachen der terminalen Niereninsuffizienz und deren Verteilung, modifiziert nach (1)

Es ist allgemein bekannt, daß die chronische Niereninsuffizienz über verschiedene pathophysiologische Mechanismen, direkt insbesondere über die abnehmende Synthese des aktiven 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol, über Hyperphosphatämie und Hypokalzämie sowie indirekt über den sekundären Hyperparathyreoidismus, entscheidend den Mineralhaushalt und Knochenstoffwechsel beeinflusst und somit die renale Osteopathie mit ihrer erhöhten Frakturgefährdung bedingt.

## **1.2. Pathophysiologie der renalen Osteopathie**

Der sekundäre Hyperparathyreoidismus infolge Hyperphosphatämie und Hypokalzämie sowie die Synthesestörung des aktiven Vitamin D-Hormons Calcitriol (= 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol) stehen bei der renalen Osteopathie im Vordergrund. Beide sind durch die Exkretions- bzw. durch die endokrine Störung der chronisch geschädigten Nieren bedingt. Infolge gestörter glomerulo-tubulärer Phosphat-Exkretion entwickelt sich bei fortschreitender Niereninsuffizienz eine Hyperphosphatämie mit konsekutiver Hypokalzämie, die durch den Mangel an 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol noch verstärkt wird. Die Hypokalzämie bewirkt im frühen Stadium der chronischen Niereninsuffizienz ein Wachstum der Nebenschilddrüsen, deren Zellen vermehrt Parathormon (PTH) freisetzen (2).

Durch das vermehrt sezernierte Parathormon der Nebenschilddrüsen, das einen gesteigerten Knochenabbau (Osteoklasie) bewirkt, wird die abgesunkene Calcium-Konzentration im Plasma wieder in den Normalbereich angehoben. Gleichzeitig wirkt das Parathormon in frühen Stadien der Niereninsuffizienz der Hyperphosphatämie durch Hemmung der Phosphatresorption in der Niere entgegen und stimuliert zusätzlich die Synthese von 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol.

Der physiologisch nicht zu kompensierende Mangel des aktiven Vitamin D (1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol), durch die verminderte Hormonsynthese der chronisch geschädigten Nieren bedingt, führt infolge gestörter Calcium-Resorption aus dem Darm und enthemmter Synthese von Parathormon u.a. zur Demineralisation des Knochens (Osteomalazie).

Die Kombination aus sekundärem Hyperparathyreoidismus (Osteoklasie: Knochenabbau) und verminderter Vitamin D-Synthese (Osteomalazie: Mineralisationsdefizit des Knochens) verursacht die renale Osteodystrophie. Die Störungen im Mineralstoffwechsel bei fortgeschrittener chronischer Niereninsuffizienz insbesondere bei Langzeitdialyse und Z.n. Nierentransplantation können im Rahmen der renalen Osteopathie zu einer besonders schweren Schädigung des knöchernen Bewegungsapparates mit erhöhter Frakturgefährdung führen (2).

### **Knochenstruktur und Parameter der Ultraschall-Osteodensitometrie**

Um die Bedeutung der Parameter aus der Ultraschall-Osteodensitometrie, der Broadband Ultrasound Attenuation sowie der Speed of Sound im Rahmen der renalen Osteopathie zu verstehen, soll an dieser Stelle kurz der Knochenaufbau rekapituliert werden. Der Knochen besteht zu 50 % aus anorganischen Mineralien (Calciumphosphat, Calciumcarbonat, Magnesiumphosphat, Calciumfluorid, Calciumchlorid und Alkalisalze), zu 25 % aus Wasser und zu 25 % aus organischem Material, welches wiederum zu 90 % aus Kollagen und zu 10 % aus nicht kollagenen Proteinen besteht. Den Knochenbau können einerseits endogene Stoffwechselstörungen der Matrix (Kollagen), andererseits exogene Störungen des Einbaus von Calcium beeinträchtigen (3, 4).

Die ausgeklügelte Knochenleichtbauweise ermöglicht eine hohe Stabilität bei gleichzeitiger Elastizität. Die Stabilität gewährleistet die Substantia corticalis (compacta), die die Oberfläche der Skeletteile bildet und die hauptsächlich am Schaft der langen Röhrenknochen zu finden ist. Die Elastizität des Knochengerüsts vermittelt die im Innern gelegene Substantia spongiosa, die vor allem an kurzen, flachen Knochen (Wirbelkörper, Becken) und an den Gelenkenden (Epiphysen) der langen Röhrenknochen zu finden ist.

Die Trabekel, die durch die Substantia spongiosa gebildet werden, weisen eine höhere Metabolisierungsrate auf, so daß die elastische Spongiosa im Durchschnitt 10 Jahre früher als die stabile Kortikalis abgebaut wird (5). Dies bedingt die erhöhte Frakturgefährdung an Wirbelkörpern, am distalen Radius und

Schenkelhals. Darüberhinaus wird bei Frauen mit Eintritt der Menopause durch die Hormonveränderungen mehr Spongiosa als bei Männern abgebaut, was letztendlich die sogenannte postmenopausale Osteoporose bedingt.

Ein Parameter zur Diagnostik der renalen Osteopathie ist die Broadband Ultrasound Attenuation, die frequenzabhängige Dämpfung in dB/MHz. Mit dem Wissen über den Strukturaufbau und die Pathophysiologie des Knochens kann die Broadband Ultrasound Attenuation als Indikator für die trabekelbildende Spongiosa, der elastische Teil des Knochens, angesehen werden (6).

Entsprechend den physikalischen Grundlagen breiten sich Schallwellen in festen Stoffen schneller aus als in flüssigen oder gasförmigen Stoffen. Bei dem zuletzt genannten Medium ist die Schallgeschwindigkeit am geringsten. Weiterhin werden Ultraschallwellen an Stellen, wo sich die Eigenschaften der Medien ändern, teilweise reflektiert, also auch abgeschwächt. Das bedeutet, daß bei verminderter Spongiosa sich die Eigenschaften der Medien sehr stark ändern, so daß die Ultraschallwellen stark reflektiert werden und die Ultraschallgeschwindigkeit abgeschwächt wird. Die verminderte Spongiosa charakterisiert ein weiterer Parameter der Ultraschall-Osteodensitometrie, die Speed of Sound, die in m/s angegeben wird

### **1.3. Methoden zur Diagnostik der Osteopathie**

Neben Laborparametern und deren Relationen zueinander ist die möglichst exakte, nichtinvasive Diagnostik der Osteopathie ein Ziel der heutigen Forschung. Es gibt bereits eine breite Palette konventioneller Röntgenuntersuchungen (7) und apparative quantitative Meßverfahren zur Bestimmung der Knochendichte (Bone Mineral Density: BMD). Hier stehen im Vordergrund die Single Photon Absorptiometry (SPA), die Dual Photon Absorptiometry (DPA) und die Quantitative Computertomographie (QCT). Besonders die beiden letztgenannten Methoden sind weitverbreitete Standarduntersuchungsverfahren. Relativ neu sind hingegen Röntgen-Densitometrieeräte, Dual Energy X-ray Absorptiometry

(DEXA), die nicht wie die Dual Photon Absorptiometry (DPA) eine permanente Strahlenquelle, sondern eine Röntgenröhre zur Strahlenerzeugung nutzen (8).

Während Photonen- und Röntgenabsorptiometrie bzw. quantitative Computertomographie reine quantitative Dichtemessungen in  $\text{g}/\text{m}^2$  (SPA, DPA und DEXA) bzw.  $\text{g}/\text{m}^3$  (QCT) sind, bietet die Ultraschall-Osteodensitometrie, die erst in jüngster Zeit eingeführt wurde, zusätzlich eine qualitative Information über die Beschaffenheit des Knochens. Bei der Messung der Ultraschallgeschwindigkeit im Knochen fließen u.a. Anordnung und Stärke trabekulärer Strukturen sowie Verteilung von kortikalem und trabekulärem Knochen als das sog. E-Modul mit ein. Das E-Modul ist ein Maß für die Elastizität des Materials, hier des Knochens (9).

Nicht unwesentlich bei der Ultraschall-Osteodensitometrie (Quantitative UltraSound: QUS - Bone Measurement) ist die fehlende Strahlenbelastung des Patienten (10).

#### **1.4. Zielsetzung der Arbeit**

*M. Jergas* et al. behaupten, daß mit der Ultraschall-Osteodensitometrie am peripheren Skelettsystem eine Methode zur Verfügung steht, die Veränderungen der Knochenstruktur oder -dichte reproduzierbar erfassen kann (10). Die einfache Handhabung, die fehlende Strahlenbelastung der Ultraschall-Osteodensitometrie für Untersucher und Patient sowie die relativ geringen Kosten für Anschaffung und Wartung des Ultraschallmeßgerätes bieten eine nicht zu unterschätzende Alternative zu den schon etablierten Untersuchungsmethoden der Osteodensitometrie.

Um die Wertigkeit der Ultraschall-Osteodensitometrie für die Diagnostik der renalen Osteopathie zu prüfen, werden in dieser Arbeit bei Patienten mit bekannter chronischer Niereninsuffizienz mittels Ultraschall-Osteodensitometrie die Broadband Ultrasound Attenuation (BUA) in dB/MHz bzw. Speed of Sound (SOS) in m/s jeweils am linken und rechten Os calcaneus gemessen.

Die Mittelwerte der Meßergebnisse aus der Ultraschall-Osteodensitometrie am linken und rechten Os calcaneus werden miteinander verglichen und auf Seitengleichheit geprüft.

Weiterhin werden Laborparameter, wie Calcium, Phosphat, Kreatinin, Alkalische Phosphatase, Gesamteiweiß, Albumin, Parathormon, Ostase, 25-OH-Cholekalziferol, 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol, TSH, Trijodthyronin, Thyroxin bzw. freies Trijodthyronin und freies Thyroxin, erfaßt, von denen bekannt ist, daß sie mit dem Knochenstoffwechsel eng in Verbindung stehen.

Anschließend wird anhand statistischer Testverfahren geprüft, ob signifikante Korrelationen zwischen Broadband Ultrasound Attenuation (BUA) bzw. Speed of Sound (SOS), den Meßwerten der Ultraschall-Osteodensitometrie, und o.g. Laborparametern, die die renale Osteopathie signalisieren, bestehen.

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

### **2.1. Patienten**

Insgesamt wurde bei 76 Patienten mit bekannter chronischer Niereninsuffizienz eine Messung der Knochendichte mit dem Ultraschall-Osteodensitometriegerät DTU-ONE der Firma "Osteometer MediTech A/S" aus Dänemark jeweils am rechten und linken Fersenbein, Os calcaneus, durchgeführt.

Es wurden Alter, Größe und Gewicht jedes einzelnen Patienten erfaßt. Das Verhältnis von Körpergröße und -gewicht wurde im Body Mass Index charakterisiert. Weiterhin wurde nach Männern und Frauen unterschieden, so daß eine weitere Differenzierung möglich wird. Die insgesamt 76 Patienten ließen sich klinisch und laborchemisch in vier Hauptgruppen unterteilen:

#### **präterminale Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention**

24 Patienten mit präterminaler Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention wurden untersucht.

Darunter sind acht Frauen mit einem Kreatinin von  $298 \pm 197 \mu\text{mol/l}$ , die  $57 \pm 20,4$  Jahre (Spannweite: 21 - 84 Jahre) alt sind. Die 16 Männer mit einem Kreatinin von  $268 \pm 117 \mu\text{mol/l}$  sind  $57 \pm 16,2$  Jahre (Spannweite: 26 - 81 Jahre) alt (Tab.1).

#### **terminale Niereninsuffizienz - Hämodialyse**

Neun Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz, die regelmäßig der Hämodialyse zugeführt werden, wurden untersucht. Diese Patienten müssen sich dreimal wöchentlich, vier bis viereinhalb Stunden, der Hämodialyse unterziehen. Die Dialysepflicht besteht minimal 12 Monate, maximal 36 Monate.

Hierunter befinden sich sieben Frauen mit einem Kreatinin von  $472 \pm 275 \mu\text{mol/l}$ , die  $61 \pm 13,8$  Jahre (Spannweite: 44 - 77 Jahre) alt sind.

Die zwei Männer mit einem Kreatinin von  $661 \pm 369 \mu\text{mol/l}$  sind  $57 \pm 14,9$  Jahre (Minimum 46 Jahre; Maximum 67 Jahre) alt (Tab.1).

#### **terminale Niereninsuffizienz - Peritonealdialyse**

18 Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz, die mit Peritonealdialyse behandelt werden, wurden untersucht. Diese Patienten sind minimal 12 Monate, maximal 36 Monate dialysepflichtig.

Darunter sind 12 Frauen mit einem Kreatinin von  $577 \pm 273 \mu\text{mol/l}$ , die  $52 \pm 12,1$  Jahre (Spannweite: 28 - 68 Jahre) alt sind. Sechs Männer mit einem Kreatinin von  $698 \pm 243 \mu\text{mol/l}$  sind  $53 \pm 14,9$  Jahre (Spannweite: 37 - 71 Jahre) alt (Tab.1).

#### **terminale Niereninsuffizienz - Z. n. Nierentransplantation**

25 Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz, die zwischen den Jahren 1977 und 1998 eine Nierentransplantation erhielten, wurden untersucht. Zum Zeitpunkt der Untersuchung im Jahre 1998 arbeitete die am längsten transplantierte Niere bereits 21 Jahre, die jüngste Nierentransplantation wurde im gleichen Jahr der Untersuchung durchgeführt.

Sechs Frauen mit einem Kreatinin von  $202 \pm 63 \mu\text{mol/l}$  und einem Alter von  $50 \pm 8,7$  Jahren (Spannweite: 37 - 62 Jahre) wurden untersucht. 19 Männer mit einem Kreatinin von  $158 \pm 65 \mu\text{mol/l}$  sind  $49 \pm 8,7$  Jahre (Spannweite: 35 - 63 Jahre) alt (Tab.1).

#### **Alter**

Das Alter aller Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz in dieser Arbeit zur Ultraschall-Osteodensitometrie liegt zwischen minimal 21 und maximal 81 Jahren (Tab.1).

Die insgesamt 33 untersuchten Frauen sind im Durchschnitt  $55 \pm 14,7$  Jahre alt. Die 43 erfaßten Männer haben ein Durchschnittsalter von  $53 \pm 13,0$  Jahren.

Statistisch signifikante Unterschiede bestehen hinsichtlich der Alterszusammensetzung der einzelnen Gruppen nicht.

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	57	16,2	26	81
	<b>Frau</b>	8	58	20,4	21	84
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	57	14,9	46	67
	<b>Frau</b>	7	61	13,8	44	77
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	53	14,9	37	71
	<b>Frau</b>	12	52	12,1	28	68
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	49	8,7	35	63
	<b>Frau</b>	6	50	8,7	37	62

Tab.1 Altersverteilung der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in Jahren

### Body Mass Index

Der Normbereich des Body Mass Index als Verhältnis von Größe zu Gewicht liegt für Männer zwischen 20 und 25 kg/m<sup>2</sup>, für Frauen zwischen 19 und 24 kg/m<sup>2</sup>.

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	26,3	4,5	20,2	40,1
	<b>Frau</b>	8	25,2	4,6	18,7	32,0
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	22,8	0,3	22,6	23,1
	<b>Frau</b>	7	27,0	4,9	21,5	33,9
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	23,5	2,4	19,4	25,5
	<b>Frau</b>	12	23,2	3,6	17,0	29,4
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	24,9	3,8	18,7	31,3
	<b>Frau</b>	6	27,8	2,5	25,4	31,2

Tab.2 Body Mass Index der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in kg/m<sup>2</sup>

Der Body Mass Index (BMI) aller Patienten liegt zwischen minimal 17,0 und maximal 40,1 kg/m<sup>2</sup> (Tab.2). Die Frauen haben einen Body Mass Index von 25,3 ± 4,2 kg/qm, die Männer einen BMI von 25,1 ± 3,9 kg/m<sup>2</sup>.

Statistisch signifikante Unterschiede in der Zusammensetzung der Patienten hinsichtlich Körpergröße und -gewicht lassen sich nicht nachweisen.

## **2.2. Beschreibung des Ultraschallmeßgerätes DTU-ONE und Durchführung der Messungen**

Für die Untersuchung der Patienten wurde das Sonographiegerät DTU-ONE der Firma "Osteometer MediTech A/S" aus Dänemark verwendet. Die Erfassung der Daten erfolgte durch das herstellereigene Computerprogramm unter dem Betriebssystem MICROSOFT WINDOWS 95.

Im einzelnen wurden folgende Parameter während der Osteodensitometrie bestimmt: Amplitude, Region of Interest (ROI), Broadband Ultrasound Attenuation (BUA) in dB/MHz und Speed of Sound (SOS) in m/s. Diese Parameter wurden bei jedem Patienten zum Vergleich am rechten und linken Os calcaneus gemessen. Dazu waren folgende Vorbereitungen erforderlich:

1. Füllen der Fußwanne mit temperiertem Wasser (20 - 25 °C).
2. Zugabe eines luftblasenverhindernden und desinfizierenden Emulgators (ca. 30 ml).
3. Qualitätssicherung durch eine Kontrollmessung am Knochenmodell (Phantom).

Befindet sich der Kontrollwert der Phantommessung am Knochenmodell im vorgegebenen Referenzbereich, kann die Messung am Patienten beginnen. Nach Eingabe der Patientendaten (Name, Vorname, Geburtsdatum, Größe, Gewicht und Geschlecht) erfolgt nach dem Startkommando durch das Gerät automatisch der eigentliche Meßvorgang am Patienten. Der Patient setzt seinen Fuß in das Wasserbad, wobei der Untersucher auf die richtige Platzierung des Os calcaneus zu achten hat. Dazu befindet sich am Boden der Fußwanne ein Ring, der das Os calcaneus vollständig umschließen sollte. Während des Meßvorganges darf der Fuß nicht bewegt werden. Der Meßvorgang dauert ca. zwei Minuten.

Die Meßmethode soll ein hohes Maß an Meßsicherheit gewährleisten, indem nicht nur ein Punkt des Fersenbeins, sondern ein größeres, definiertes Gebiet ausgemessen wird. Dieses ist die Region of Interest (ROI), die entweder automatisch oder manuell vom Untersucher festgelegt werden kann.

### **2.3. Die Meßmethode**

Der Ultraschallscanner DTU-ONE ermöglicht die qualitative Messung und Darstellung von zwei Parametern beim Durchgang der Schallwellen durch das Os calcaneus, die für die Bestimmung der Knochendichte und -struktur von Bedeutung sind. Diese sind:

1. Schallgeschwindigkeit: Speed of Sound (SOS) in Meter pro Sekunde (m/s)
2. frequenzabhängige Dämpfung: Broadband Ultrasound Attenuation (BUA) in Dezibel pro Mega-Hertz (dB/MHz).

Nach Angaben des Vertreibers des Ultraschall-Osteodensitometriegerätes DTU-ONE gestatten beide Parameter Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Os calcaneus.

Konkret kann eingeschätzt werden, inwieweit durch die renale Osteopathie am Os calcaneus Veränderungen fortgeschritten sind. Da anzunehmen ist, daß diese Veränderungen in der Regel das gesamte Knochengerüst in ähnlicher Weise betreffen, können die Meßergebnisse am Os calcaneus als orientierende Einschätzung für das gesamte Skelettsystem herangezogen werden.

Die Meßergebnisse stellen jedoch keine Diagnose dar, auf deren alleiniger Basis eine Therapie erfolgen kann. Die ausgewiesenen Meßergebnisse signalisieren jedoch, ob osteopathologische Veränderungen vorliegen. Durch erneute Messungen nach sechs bzw. 12 Monaten kann geprüft werden, ob eine durchgeführte Therapie zu Veränderungen geführt hat.

Zur Objektivierung der Meßergebnisse sind in jedem Fall im zeitlichen Abstand weitere Messungen der Knochendichte unter standardisierten Bedingungen sowie vergleichende Laborkontrollen erforderlich.

## **2.4. Parameter der Osteodensitometrie**

### **Amplitude**

Als Amplitude ist allgemein der größte Momentanwert einer Wechselgröße, die maximale Auslenkung aus der Ruhelage bei Schwingungen und Wellen definiert. Sie gibt die Schwingungsweite zwischen zwei Punkten an.

Bei der Ultraschall-Osteodensitometrie stellt die Amplitude am Knochenphantom eine Kontrollmessung vor der Messung der Knochendichte am Patienten dar. Die Amplitude ist für die Bestimmung der Region of Interest wichtig.

Bei der manuellen Auswertung der Messung ist die Amplitude ein wichtiger Anhaltspunkt zur Definition der Region of Interest und letztendlich zur Bestimmung der Broadband Ultrasound Attenuation (BUA). Amplitude und Broadband Ultrasound Attenuation sind zueinander proportional (10).

### **Region of Interest**

Die Region of Interest definiert abhängig von der Amplitude ein Gebiet von 30 \* 60 mm<sup>2</sup>, in dem während eines Meßvorganges 5000 Einzelmessungen durchgeführt und per Computer verrechnet werden. In das Gebiet wird automatisch oder manuell vorgegeben ein Kreis gelegt, der die Region of Interest umfaßt. Die in diesem Kreisgebiet gemessenen Werte bilden die Grundlage für das angezeigte Meßergebnis und erlauben eine relativ sichere Aussage der in diesem Gebiet bestimmten Knochendichte.

### **Broadband Ultrasound Attenuation**

Die Broadband Ultrasound Attenuation (BUA) ist ein Wert, der die frequenzabhängige Dämpfung in dB/MHz beschreibt. Je größer die Broadband Ultrasound Attenuation, desto größer ist die Abschwächung der Frequenzen im

Gewebe, hier im Knochen des Os calcaneus. Zwischen Broadband Ultrasound Attenuation und Knochendichte besteht eine Proportionalität. Je höher die Dämpfung, um so größer ist die Knochendichte (10).

### **Speed of Sound**

Die Speed of Sound definiert die Schallgeschwindigkeit der Ultraschallwellen beim Passieren des Knochens und wird von der Elastizität und Dichte des zu messenden Knochens beeinflusst. Allgemein bewegen sich Ultraschallwellen schneller durch dichtes Material. Somit sind über die Schallgeschwindigkeit quantitative und qualitative Informationen über die Dichte des Knochens mit folgender Formel möglich (11):

$$V = (E : R)^{1/2} \text{ bzw. } V = (K * R)^{1/2}$$

V: Ultraschallgeschwindigkeit (m/s)

E: E-Modul, Maß für die Elastizität des Materials

R: Materialdichte

K: Konstante, in die anorganische und organische Bestandteile eingehen

### **Z-Score und T-Score**

Beide Scores werden von der Software automatisch angegeben. Der Z-Score gibt die Standardabweichung verglichen mit einer gesunden Person gleichen Alters und Geschlechts an. Der T-Score als Standardabweichung erlaubt allgemein den Vergleich des Patienten mit jungen gesunden Menschen.

## **2.5. Statistische Testverfahren**

Diese Arbeit ist eine klinisch-experimentelle Studie mit retrospektivem Anteil, da auf Daten zurückgegriffen wurde, die bereits vorlagen, ehe eine detaillierte Studienplanung aufgestellt worden ist. Nicht bei allen Patienten, die zur Ultraschall-Osteodensitometrie kamen, sind alle für die renale Osteopathie spezifischen Laborparameter vorhanden. Die statistische Auswertung umfaßt in der deskriptiven Statistik Mittelwerte, Standardabweichungen,

Korrelationskoeffizienten und Regressionsgeraden. Die Mittelwerte wurden mit dem t-Test für zwei verbundene Stichproben sowie mit dem WILCOXON-Paarvergleichstest aufgrund der teilweise fehlenden Normalverteilung der Daten verglichen.

### **Test auf Normalverteilung nach DAVID, PEARSON und STEPHENS**

Bei statistischen Fragen ist festzustellen, ob die Meßwerte einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen. Bei diesem Test auf Nicht-Normalverteilung kann bei signifikantem Ergebnis auf Normalverteilung geschlossen werden.

### **F-Verteilung und F-Test auf gleiche Varianz**

Die F-Verteilung prüft auf gleiche Varianz. Zur Bestimmung des kritischen F-Werts zählen drei Parameter, die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  sowie die Freiheitsgrade  $f_1$  und  $f_2$ . Der für ein vorgegebenes  $\alpha$  gültigen Tabelle entnimmt man den kritischen F-Wert im Schnittpunkt der Waagerechten für  $f_1$  und der Senkrechten für  $f_2$ .

### **t-Test**

Der t-Test prüft, ob zwei Stichproben der gleichen Grundgesamtheit angehören. Normalverteilung und gleiche Standardabweichungen zweier Stichproben werden vorausgesetzt. Die Gleichheit der Standardabweichungen wird mit dem F-Test vorher geprüft. Der t-Test für zwei abhängige Stichproben vergleicht hier bei vorausgesetzter Normalverteilung und gleicher Varianz die Mittelwerte der Meßdaten am Os calcaneus links und rechts.

### **WILCOXON-Test für zwei abhängige Stichproben**

Dieser Paardifferenzen-Test vergleicht die Mittelwerte zwei verbundener Stichproben, ohne daß eine Normalverteilung vorausgesetzt wird. Der Test ist also verteilungsunabhängig.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Meßergebnisse der Ultraschall-Osteodensitometrie am Os calcaneus

##### 3.1.1. Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links

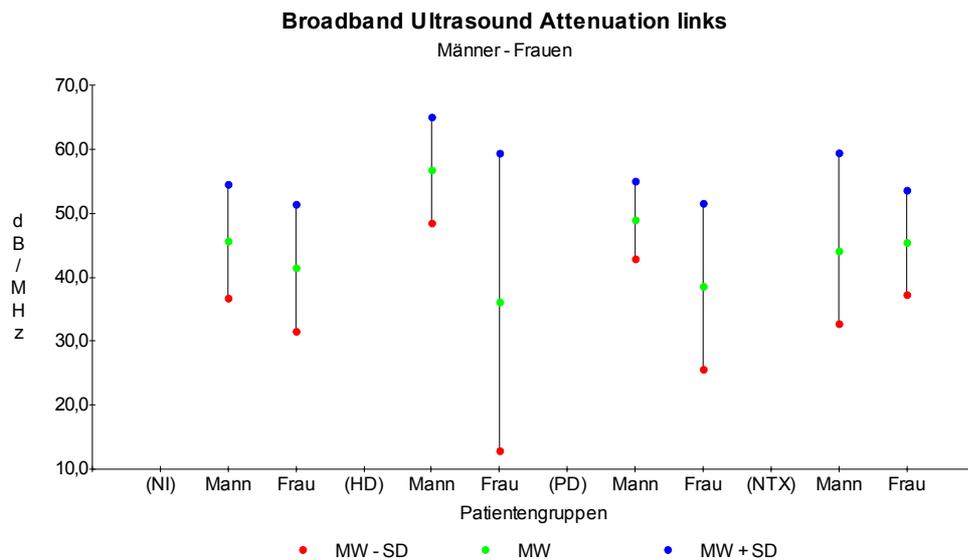


Abb.2: Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in dB/MHz

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	45,70	8,91	32,31	62,08
	<b>Frau</b>	8	41,53	9,94	23,75	50,02
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	56,83	8,29	50,97	62,69
	<b>Frau</b>	7	36,19	23,29	3,64	74,69
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	49,02	6,08	43,15	55,74
	<b>Frau</b>	12	38,64	12,98	9,31	57,53
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	44,16	11,36	24,57	58,72
	<b>Frau</b>	6	45,51	8,17	33,82	53,94

Tab.3: Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in dB/MHz

## **Männer**

Im Durchschnitt beträgt die Broadband Ultrasound Attenuation am linken Os calcaneus  $46,01 \pm 9,81$  dB/MHz (Abb.2).

Sie ist bei den Männern aus der Gruppe mit Hämodialyse ( $56,83 \pm 8,29$  dB/MHz) am größten. Es folgen die Männer mit Peritonealdialyse ( $49,02 \pm 6,08$  dB/MHz) und diejenigen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $45,70 \pm 8,91$  dB/MHz). Die Broadband Ultrasound Attenuation ist bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation ( $44,16 \pm 11,36$  dB/MHz) am niedrigsten (Tab.3).

## **Frauen**

Am linken Os calcaneus beträgt die Broadband Ultrasound Attenuation bei den Frauen im Durchschnitt  $38,97 \pm 15,04$  dB/MHz (Abb.2).

Sie ist am linken Os calcaneus bei den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation ( $45,51 \pm 8,17$  dB/MHz) am höchsten. Es folgen in absteigender Reihenfolge die Frauen aus der Gruppe mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $41,53 \pm 9,94$  dB/MHz), die Frauen mit Peritonealdialyse ( $38,64 \pm 12,98$  dB/MHz), gefolgt von denjenigen mit Hämodialyse ( $36,19 \pm 23,29$  dB/MHz), deren Wert am niedrigsten ausfällt (Tab.3).

Allgemein kann festgestellt werden, daß die Knochendichte, hier durch die Broadband Ultrasound Attenuation in Zahlen ausgedrückt, im Durchschnitt bei den Frauen geringer ausfällt als bei den Männern (Abb.2).

Nicht unwesentlich an dieser Konstellation ist die hormonelle Umstellung des weiblichen Organismus während bzw. nach der Menopause mit Einfluß auf das Knochengerüst, das sich u.a. in der Osteoporose bemerkbar macht. Desweiteren ist festzuhalten, daß es erhebliche Unterschiede zwischen den Gruppen der Männer und Frauen gibt. Währenddessen z.B. die Frauen mit Hämodialyse die niedrigsten Werte der Broadband Ultrasound Attenuation besitzen, sind die Werte bei den Männern mit Hämodialyse über dem Durchschnitt am höchsten (Tab.3).

### 3.1.2. Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus rechts

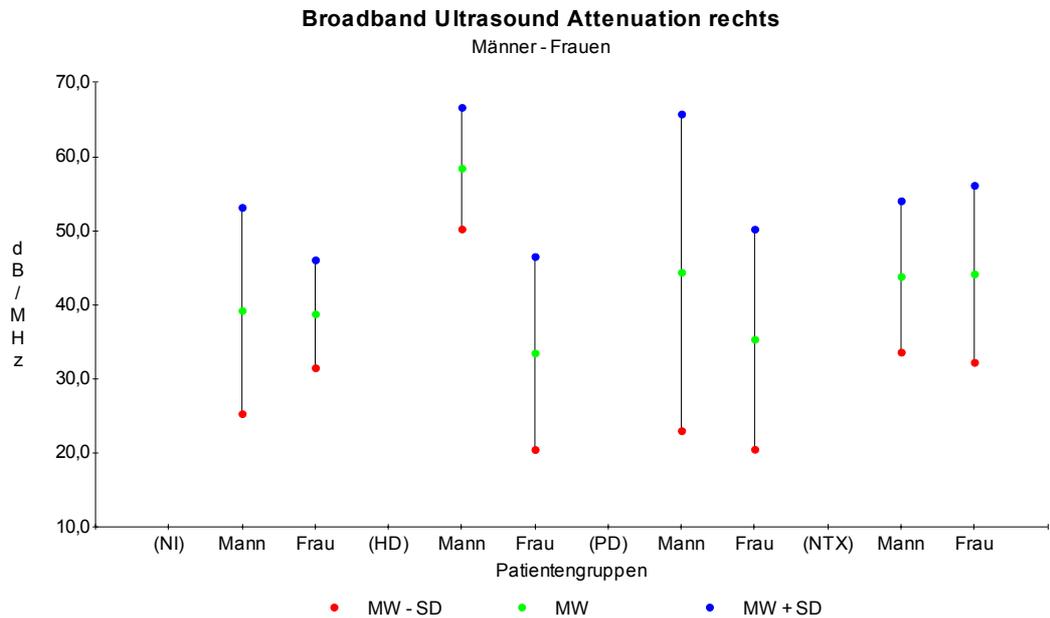


Abb.3 Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus rechts der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in dB/MHz

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	39,23	13,93	7,63	59,25
	<b>Frau</b>	8	38,78	7,29	27,68	45,84
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	58,45	8,21	52,64	64,25
	<b>Frau</b>	7	33,49	13,03	13,76	49,04
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	44,39	21,39	6,55	65,80
	<b>Frau</b>	12	35,35	14,86	3,15	55,94
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	43,83	10,22	25,93	59,59
	<b>Frau</b>	6	44,18	11,95	28,37	55,95

Tab.4 Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus rechts der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in dB/MHz

#### Männer

Die Broadband Ultrasound Attenuation ist bei allen Männern aus den vier Untersuchungsgruppen am linken ( $46,01 \pm 9,81$  dB/MHz) Os calcaneus durchschnittlich höher als am rechten (Abb.2, Abb.3).

Am rechten Os calcaneus beträgt die Broadband Ultrasound Attenuation im Durchschnitt  $43,69 \pm 12,49$  dB/MHz (Abb.3).

Am höchsten ist die Broadband Ultrasound Attenuation am rechten Os calcaneus bei den Männern mit Hämodialyse ( $58,45 \pm 8,21$  dB/MHz). Es folgen in absteigender Reihenfolge die Männer mit Peritonealdialyse ( $44,39 \pm 21,39$  dB/MHz), diejenigen mit Z.n. Nierentransplantation ( $43,83 \pm 10,22$  dB/MHz), gefolgt von den Männern mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $39,23 \pm 13,93$  dB/MHz), deren Broadband Ultrasound Attenuation im Durchschnitt am rechten Os calcaneus am geringsten ausfällt (Tab.4).

### **Frauen**

Auch bei den Frauen sind die Werte der Broadband Ultrasound Attenuation am linken ( $38,97 \pm 15,04$  dB/MHz) Os calcaneus im Durchschnitt höher als am rechten (Abb.2, Abb.3).

Am rechten Os calcaneus beträgt die Broadband Ultrasound Attenuation bei den Frauen im Durchschnitt  $37,39 \pm 12,29$  dB/MHz (Abb.3).

Am höchsten ist diese bei den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation ( $44,18 \pm 11,95$  dB/MHz). Es folgen in absteigender Reihenfolge die Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $38,78 \pm 7,29$  dB/MHz), diejenigen mit Peritonealdialyse ( $35,35 \pm 14,86$  dB/MHz), gefolgt von den Frauen mit Hämodialyse ( $33,49 \pm 13,03$  dB/MHz), deren Wert am rechten Os calcaneus durchschnittlich am geringsten ist (Tab.4).

### **Korrelationen innerhalb der Ultraschall-Osteodensitometrie**

Nur bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation ( $n = 19$ ) korrelieren Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links und Speed of Sound am Os calcaneus rechts ( $r = + 0,560$ ) signifikant ( $p < 0,05$ ) miteinander.

Ebenso korrelieren bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation (n = 19) Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus rechts und Speed of Sound am Os calcaneus rechts ( $r = + 0,493$ ) signifikant ( $p < 0,05$ ) miteinander.

### 3.1.3. Speed of Sound am Os calcaneus links

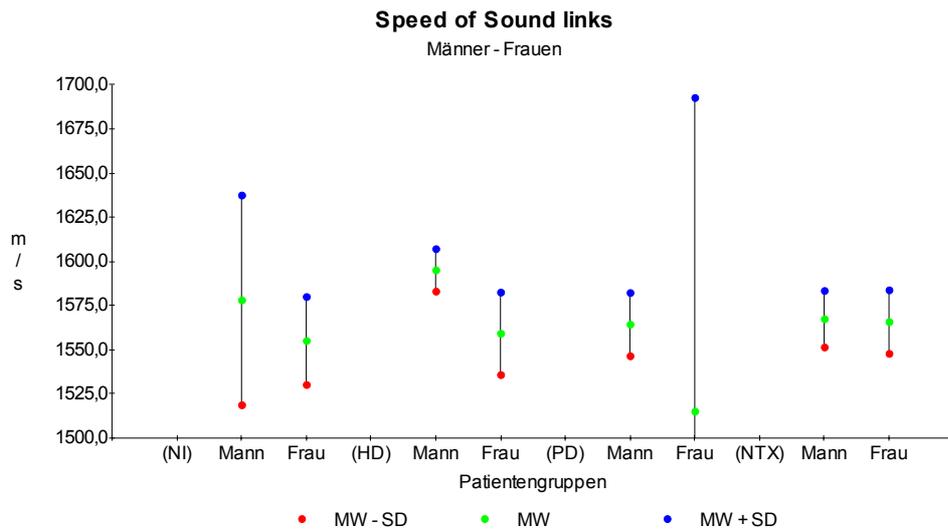


Abb.4 Speed of Sound am Os calcaneus links der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in m/s

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	15	1578,29	59,37	1512,57	1768,61
	<b>Frau</b>	8	1555,30	24,85	1519,23	1594,60
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	1595,28	12,04	1586,77	1603,79
	<b>Frau</b>	6	1559,40	23,34	1525,30	1588,41
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	1564,58	17,86	1533,73	1587,82
	<b>Frau</b>	12	1515,34	177,56	955,28	1594,08
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	1567,63	16,03	1530,51	1604,53
	<b>Frau</b>	6	1566,01	18,00	1545,51	1588,95

Tab.5 Speed of Sound am Os calcaneus links der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in m/s

## **Männer**

Die Speed of Sound am linken Os calcaneus beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $1572,32 \pm 37,18$  m/s (Abb.4).

Sie ist bei denen mit Hämodialyse ( $1595,28 \pm 12,04$  m/s) am höchsten. Es folgen in absteigender Reihenfolge die Männer mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $1578,29 \pm 59,37$  m/s), diejenigen mit Z.n. Nierentransplantation ( $1567,63 \pm 16,03$  m/s) und zuletzt die Männer mit Peritonealdialyse ( $1564,58 \pm 17,86$  m/s), deren Speed of Sound am linken Os calcaneus am geringsten ist (Tab.5).

## **Frauen**

Bei den Frauen ist im Gegensatz zu den Meßdaten der Männer die Speed of Sound am Os calcaneus links ( $1543,09 \pm 107,62$  m/s) durchschnittlich etwas geringer als am Os calcaneus rechts ( $1556,22 \pm 55,17$  m/s).

Die Speed of Sound am Os calcaneus links beträgt bei den Frauen im Durchschnitt  $1543,09 \pm 107,62$  m/s (Abb.4).

Am höchsten ist sie bei den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation ( $1566,01 \pm 18,00$  m/s). Es folgen in absteigender Reihenfolge die Frauen mit Hämodialyse ( $1559,40 \pm 23,34$  m/s), diejenigen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $1555,20 \pm 24,85$  m/s) sowie die Frauen mit Peritonealdialyse ( $1515,34 \pm 177,56$  m/s), bei denen die Speed of Sound am linken Os calcaneus am niedrigsten ausfällt (Tab.5).

### 3.1.4. Speed of Sound am Os calcaneus rechts

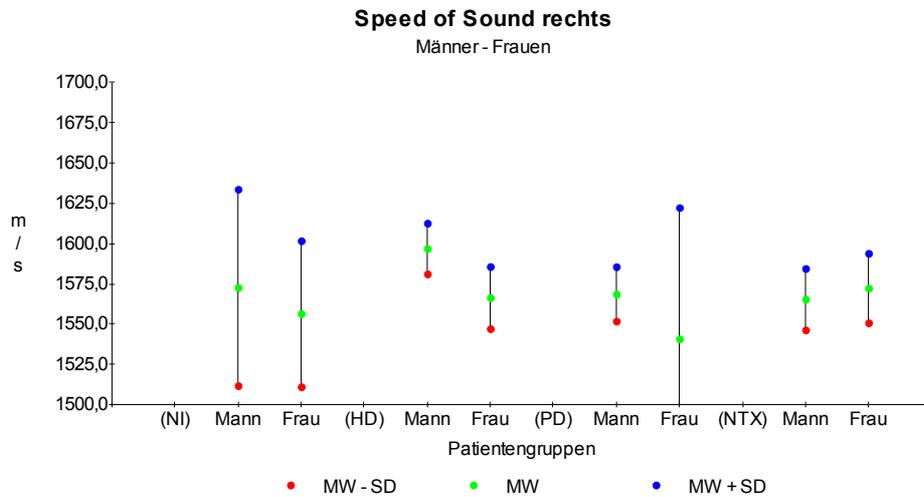


Abb.5 Speed of Sound am Os calcaneus rechts der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in m/s

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	1572,86	61,00	1524,06	1786,96
	<b>Frau</b>	8	1556,56	45,34	1449,17	1597,56
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	1597,02	15,80	1585,85	1608,19
	<b>Frau</b>	7	1566,54	19,26	1546,34	1592,66
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	1568,82	16,86	1538,96	1588,57
	<b>Frau</b>	12	1540,90	81,59	1291,29	1591,63
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	1565,58	19,09	1536,02	1611,60
	<b>Frau</b>	6	1572,46	21,56	1548,53	1601,10

Tab.6 Speed of Sound am Os calcaneus rechts der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in m/s

#### Männer

Bei den Männern ergaben die Messungen der Speed of Sound ähnliche Ergebnisse am linken und rechten Os calcaneus. Die Speed of Sound am Os calcaneus links beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $1572,32 \pm 37,18$  m/s (Abb.4).

Am Os calcaneus rechts ist die Speed of Sound im Durchschnitt  $1570,39 \pm 39,63$  m/s hoch (Abb.5).

Die Speed of Sound ist bei den bei den Männern mit Hämodialyse ( $1597,02 \pm 15,80$  m/s) am höchsten. Es folgen in absteigender Reihenfolge die Männer mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $1572,86 \pm 61,00$  m/s), diejenigen mit Peritonealdialyse ( $1568,82 \pm 16,86$  m/s) und an letzter Stelle die Männer mit Z.n. Nierentransplantation ( $1565,58 \pm 19,09$  m/s), deren Speed of Sound am rechten Os calcaneus am geringsten ist (Tab.6).

### **Frauen**

Die Speed of Sound am Os calcaneus rechts beträgt bei den Frauen im Durchschnitt  $1556,22 \pm 55,17$  m/s (Abb.5).

Am höchsten ist sie bei den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation ( $1572,46 \pm 21,80$  m/s). Es folgen in absteigender Reihenfolge die Frauen mit Hämodialyse ( $1566,54 \pm 19,26$  m/s), diejenigen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $1556,56 \pm 45,34$  m/s) sowie die Frauen mit Peritonealdialyse ( $1540,90 \pm 81,59$  m/s), bei denen die Speed of Sound am rechten Os calcaneus am niedrigsten ausfällt (Tab.6).

## **3.2. Links-rechts-Vergleich von BUA bzw. SOS am Os calcaneus**

### **3.2.1. Männer**

#### **Männer mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention**

Der t-Test für zwei verbundene Stichproben ergibt keinen signifikanten (n.s.) Unterschied zwischen den Meßwerten der Broadband Ultrasound Attenuation am linken und rechten Os calcaneus (CI 95 %: - 0,70 ; 13,96) (Abb.6).

Aufgrund der fehlenden Normalverteilung der Meßwerte der Speed of Sound wurde nach dem WILCOXON-Test für zwei abhängige Stichproben auf Signifikanz der Mittelwerte geprüft.

Danach besteht bei den Männern mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention kein signifikanter (n.s.) Unterschied zwischen den Meßdaten der Speed of Sound am Os calcaneus links und rechts (Abb.7).

### Broadband Ultrasound Attenuation

Die Broadband Ultrasound Attenuation beträgt bei den Männern am linken Os calcaneus durchschnittlich  $46,01 \pm 9,81$  dB/MHz (Abb.2) und am rechten Os calcaneus im Durchschnitt  $43,69 \pm 12,49$  dB/MHz (Abb.3).

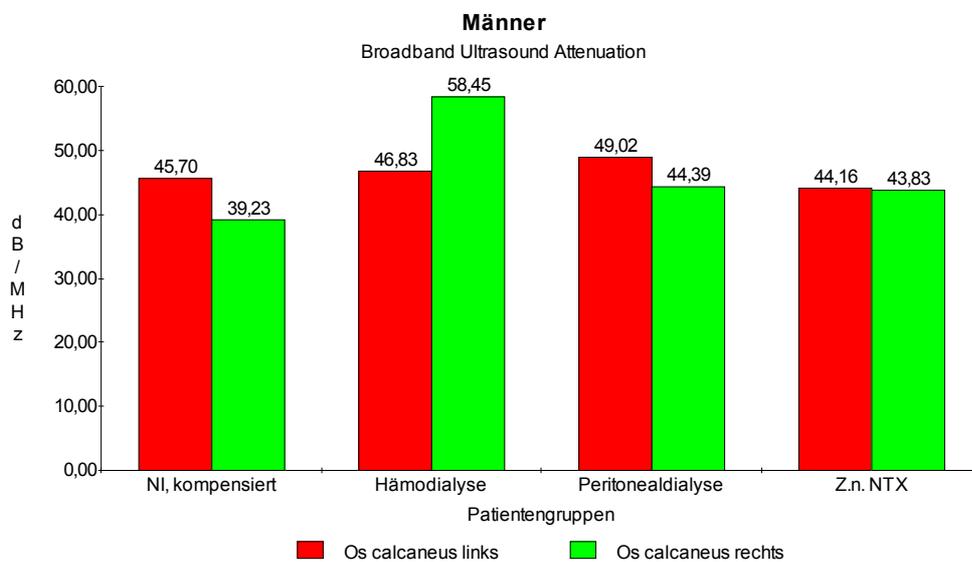


Abb.6 Männer: Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links und rechts der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in dB/MHz

### Männer mit Peritonealdialyse

Der WILCOXON-Test für zwei verbundene Stichproben ergibt bei den Männern mit Peritonealdialyse keinen signifikanten (n.s.) Unterschied zwischen den Meßwerten der Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links und rechts (Abb.6).

Dagegen besteht jedoch bei den Meßdaten der Speed of Sound bei den Männern mit Peritonealdialyse bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (zweiseitig) ein über die Zufallsschwankungen hinausgehender Seitenunterschied zwischen dem Os calcaneus links und rechts (Abb.7).

## Männer mit Z.n. Nierentransplantation

Der t-Test für zwei verbundene Stichproben ergibt bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation keinen signifikanten (n.s.) Unterschied zwischen den Meßwerten der Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links und rechts (CI 95 %: - 1,03 ; 1,89). Abweichungen vom Mittelwert sind rein zufällig (Abb.6).

Auch hinsichtlich der Speed of Sound existiert bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation entsprechend dem WILCOXON-Test kein signifikanter (n.s.) Unterschied zwischen den Meßdaten am Os calcaneus links und rechts. Abweichungen der Speed of Sound vom Mittelwert sind rein zufällig (Abb.7).

## Speed of Sound

Die Speed of Sound beträgt bei den in dieser Studie untersuchten Männern am linken Os calcaneus durchschnittlich  $1572,32 \pm 37,18$  m/s (Abb.4) und am rechten Os calcaneus im Durchschnitt  $1570,39 \pm 39,63$  m/s (Abb.5).

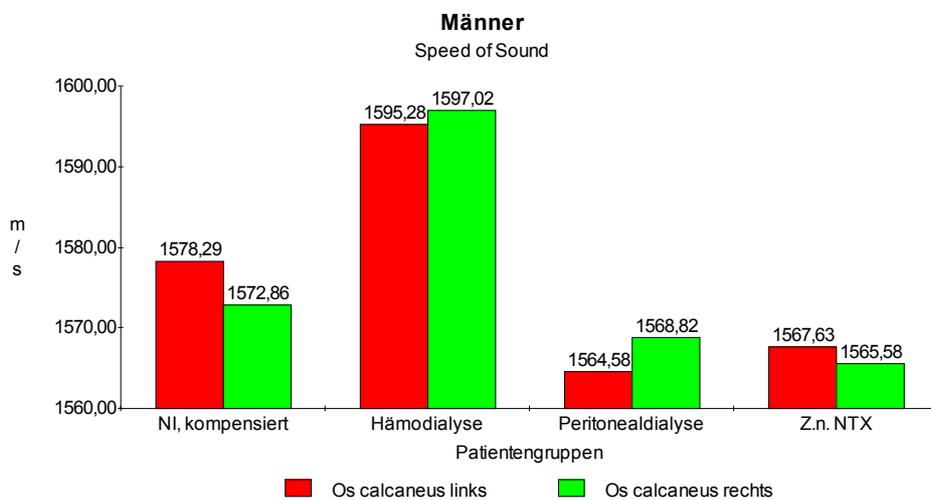


Abb.7 Männer: Speed of Sound am Os calcaneus links und rechts der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in m/s

### 3.2.2. Frauen

#### Broadband Ultrasound Attenuation

Die Broadband Ultrasound Attenuation beträgt bei den Frauen am linken Os calcaneus im Durchschnitt  $38,97 \pm 15,04$  dB/MHz (Abb.3) und am rechten Os calcaneus durchschnittlich  $37,39 \pm 12,29$  dB/MHz (Abb.4).

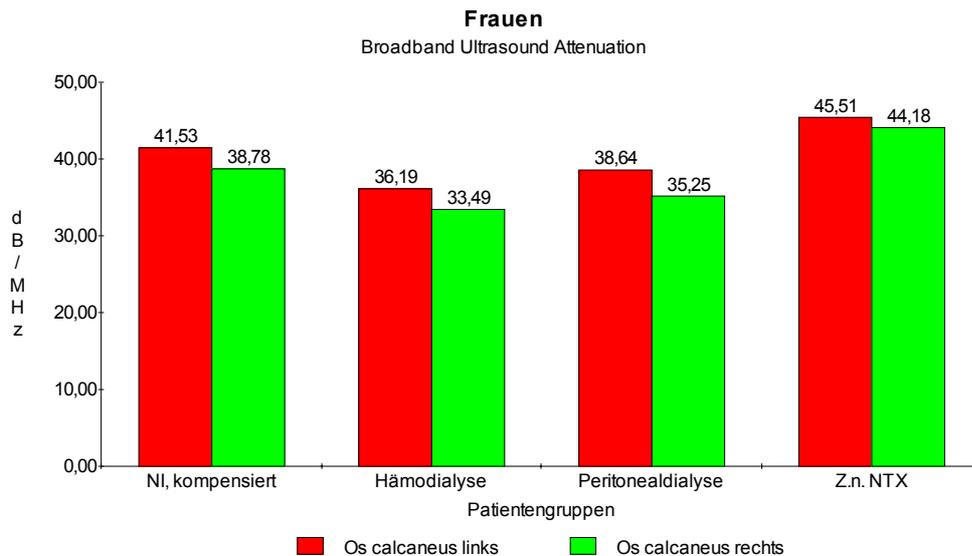


Abb.8 Frauen: Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links und rechts der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in dB/MHz

#### Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention

Nach dem WILCOXON-Test für zwei verbundene Stichproben besteht bei den Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention kein signifikanter (n.s.) Unterschied zwischen den Meßwerten der Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links und rechts (Abb.8).

Auch der t-Test für zwei verbundene Stichproben zeigt bei Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention keinen signifikanten (n.s.) Unterschied zwischen den Meßdaten der Speed of Sound am Os calcaneus links und rechts (CI 95 %: - 0,01 ; 5,51) (Abb.9).

## Speed of Sound

Die Speed of Sound beträgt bei den in dieser Studie untersuchten Frauen am linken Os calcaneus im Durchschnitt  $1543,09 \pm 107,62$  m/s (Abb.5) und am rechten Os calcaneus durchschnittlich  $1556,22 \pm 55,17$  m/s (Abb.6).

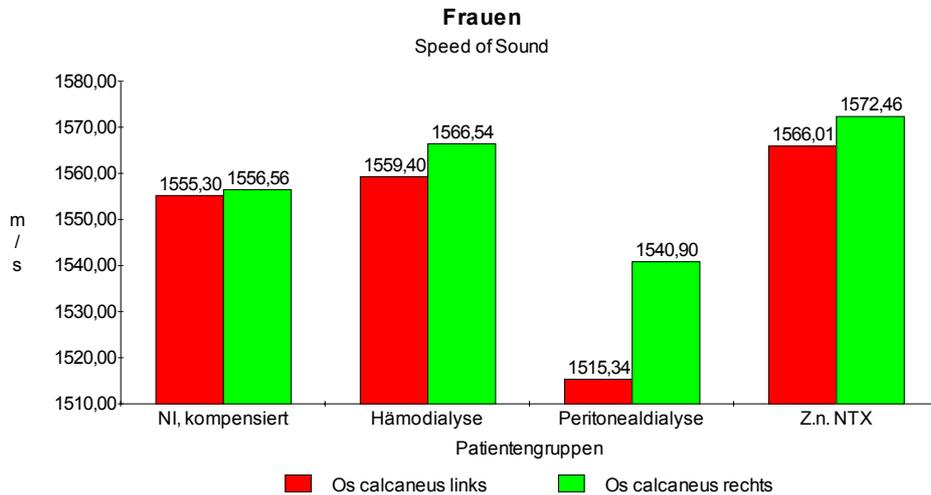


Abb.9 Frauen: Speed of Sound am Os calcaneus links und rechts der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in m/s

## Frauen mit terminaler Niereninsuffizienz - Hämodialyse

Nach dem WILCOXON-Test für zwei verbundene Stichproben besteht bei den Frauen mit Hämodialyse kein signifikanter (n.s.) Unterschied zwischen den Meßwerten der Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links und rechts (Abb.8).

Jedoch ergibt der t-Test für zwei verbundene Stichproben bei den Frauen mit Hämodialyse einen signifikanten ( $p < 0,05$ ) Unterschied zwischen den Meßdaten der Speed of Sound am Os calcaneus links und rechts (Abb.9).

Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (zweiseitig) besteht ein über die Zufallsschwankungen hinausgehender Unterschied zwischen der Speed of Sound am linken und rechten Os calcaneus (CI 95 %: - 17,88 ; - 3,60).

### **Frauen mit terminaler Niereninsuffizienz - Peritonealdialyse**

Der t-Test für zwei verbundene Stichproben zeigt bei den Frauen mit Peritonealdialyse keinen signifikanten (n.s.) Unterschied zwischen den Meßwerten der Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links und rechts (CI 95 %: - 1,48 ; 8,06) (Abb.8).

Auch der WILCOXON-Test für zwei abhängige Stichproben ergibt bei den Frauen mit Peritonealdialyse keinen signifikanten (n.s.) Unterschied zwischen den Meßdaten der Speed of Sound am linken und rechten Os calcaneus (Abb.9).

### **Frauen mit Z.n. Nierentransplantation**

Der t-Test für zwei verbundene Stichproben zeigt bei den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation keinen signifikanten (n.s.) Unterschied zwischen den Meßwerten der Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus links und rechts (CI 95 %: - 4,36 ; 7,02) (Abb.8).

Im t-Test für zwei verbundene Stichproben besteht jedoch bei den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation ein signifikanter ( $p < 0,05$ ) Unterschied zwischen der Speed of Sound am Os calcaneus links und rechts (Abb.9). Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (zweiseitig) existiert ein über die Zufallsschwankungen hinausgehender Unterschied zwischen der Speed of Sound am linken und rechten Os calcaneus (CI 95 %: - 10,83 ; - 2,07).

## **3.3. Korrelationen zu patientenbezogenen Daten**

### **3.3.1. Alter**

Bei den Frauen ( $n = 8$ ) mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention konnte eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelation zwischen Alter und Broadband Ultrasound Attenuation am rechten ( $r = - 0,682$ ;  $p < 0,05$ ) Os calcaneus, nicht dagegen am linken, nachgewiesen werden.

### **3.3.2. Body Mass Index**

Bei den Männern mit Peritonealdialyse (n = 6) korrelieren Broadband Ultrasound Attenuation und Body Mass Index sowohl am linken (r = - 0,758) als auch am rechten (r = + 0,756) Os calcaneus signifikant (p < 0,05) miteinander.

Bei den Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention (n = 8) korrelieren Broadband Ultrasound Attenuation und Body Mass Index sowohl am linken (r = + 0,603) als auch am rechten (r = + 0,702) Os calcaneus signifikant (p < 0,05) miteinander. Bei den Frauen mit Hämodialyse korrelieren Speed of Sound und Body Mass Index sowohl am linken (r = - 0,982) als auch am rechten (r = - 0,977) Os calcaneus signifikant (p < 0,05) miteinander.

### 3.4. Laborergebnisse

#### 3.4.1. Calcium

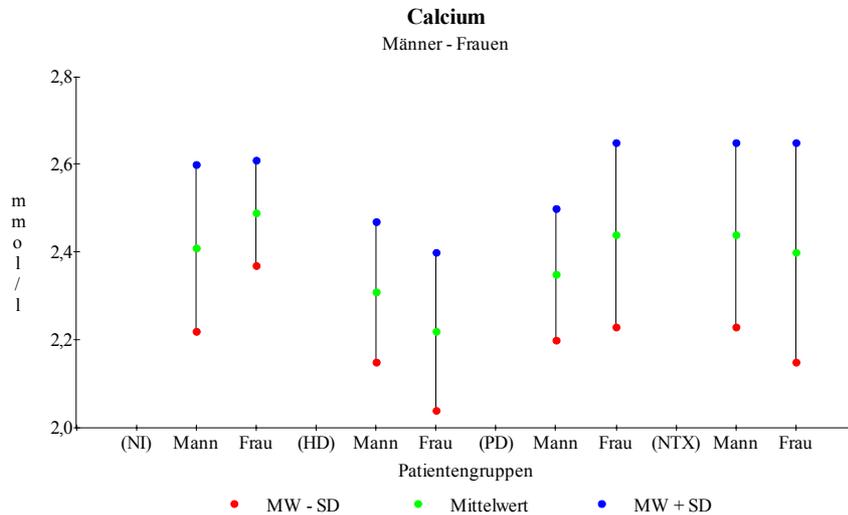


Abb.10 Calcium der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in mmol/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	2,41	0,19	1,98	2,69
	<b>Frau</b>	8	2,49	0,12	2,31	2,62
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	2,31	0,16	2,20	2,42
	<b>Frau</b>	7	2,22	0,18	1,97	2,42
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	2,35	0,15	2,15	2,52
	<b>Frau</b>	12	2,44	0,21	2,09	2,79
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	2,44	0,21	2,16	2,87
	<b>Frau</b>	6	2,40	0,25	1,96	2,66

Tab.7 Calcium der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in mmol/l

Der Normbereich der Calcium-Konzentration im Serum liegt zwischen 2,25 und 2,75 mmol/l. Das Calcium beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $2,41 \pm 0,19$  mmol/l, bei den Frauen ist es durchschnittlich  $2,40 \pm 0,21$  mmol/l hoch.

Die Abb.10 stellt die Verteilung der Calcium-Konzentration geordnet nach den Patientengruppen: 1. Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention

(NI), 2. Hämodialyse (HD), 3. Peritonealdialyse (PD) und 4. Z.n. Nierentransplantation (NTX) dar. Innerhalb der Gruppen wurde nochmals zwischen Männern und Frauen unterschieden.

Aus der Tab.7 sind Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) sowie die niedrigste (Min) und höchste (Max) Calcium-Konzentration innerhalb einer Patientengruppe ersichtlich.

### **Männer**

Bei allen Männern befindet sich die Calcium-Konzentration im mittleren Normbereich. Sie beträgt im Durchschnitt  $2,41 \pm 0,19$  mmol/l (Abb.10).

Das Calcium ist bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation ( $2,44 \pm 0,21$  mmol/l) am höchsten. Es folgen in absteigender Reihenfolge die Männer mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $2,41 \pm 0,19$  mmol/l), sowie die Männer mit Peritonealdialyse ( $2,35 \pm 0,21$  mmol/l). Bei den Männern mit Hämodialyse ( $2,31 \pm 0,16$  mmol/l) ist die Calcium-Konzentration im Durchschnitt am niedrigsten (Tab.7).

### **Frauen**

Bei den Frauen beträgt die Calcium-Konzentration im Durchschnitt  $2,40 \pm 0,21$  mmol/l (Abb.10).

Am höchsten ist sie bei den Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $2,49 \pm 0,12$  mmol/l). Es folgen in absteigender Reihenfolge die Frauen mit Peritonealdialyse ( $2,44 \pm 0,21$  mmol/l) und mit Z.n. Nierentransplantation ( $2,40 \pm 0,25$  mmol/l). In diesen drei Gruppen befindet sich die Calcium-Konzentration im Normbereich. Ähnlich den Männern ist die Calcium-Konzentration bei den Frauen mit Hämodialyse ( $2,22 \pm 0,18$  mmol/l) leicht unter die Norm erniedrigt (Tab.7).

## **Korrelationen**

Zwischen der Calcium-Konzentration im Serum und den Meßdaten der Ultraschall-Osteodensitometrie konnte bei keiner Patientengruppe eine signifikante (n.s.) Korrelation nachgewiesen werden.

### **3.4.2. Phosphat**

Der Normalbereich der Phosphat-Konzentration im Serum liegt zwischen 0,8 und 1,4 mmol/l. Bei den Männern ist das Phosphat durchschnittlich  $1,2 \pm 0,4$  mmol/l hoch, bei den Frauen beträgt es im Durchschnitt  $1,6 \pm 0,4$  mmol/l. In der Abb.11 ist zu erkennen, daß die Phosphat-Konzentration sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen mit Hämodialyse und mit Peritonealdialyse im Durchschnitt höher ist als in den anderen Patientengruppen.

#### **Männer**

Die Phosphat-Konzentration im Serum beträgt bei den Männern in den vier Untersuchungsgruppen durchschnittlich  $1,2 \pm 0,4$  mmol/l (Abb.11).

Am höchsten ist sie bei den Männern mit Hämodialyse ( $2,1 \pm 0,9$  mmol/l) und mit Peritonealdialyse ( $1,7 \pm 0,5$  mmol/l). Es folgen in absteigender Reihenfolge die Männer mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $1,2 \pm 0,2$  mmol/l) sowie die Männer mit Z.n. Nierentransplantation ( $0,9 \pm 0,2$  mmol/l), deren Phosphat-Konzentration im Serum grenzwertig im unteren Normbereich liegt (Tab.8).

#### **Frauen**

Bei den Frauen in den vier Patientengruppen beträgt die Phosphat-Konzentration im Durchschnitt  $1,6 \pm 0,4$  mmol/l (Abb.11).

Am höchsten ist die Phosphat-Konzentration im Serum bei den Frauen mit Hämodialyse ( $1,9 \pm 0,5$  mmol/l) und mit Peritonealdialyse ( $1,7 \pm 0,4$  mmol/l).

Es folgen die Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $1,3 \pm 0,4$  mmol/l) sowie die Frauen mit Z.n. Nierentransplantation ( $1,2 \pm 0,2$  mmol/l), deren Phosphat-Konzentration im Serum durchschnittlich am niedrigsten ist (Tab.8).

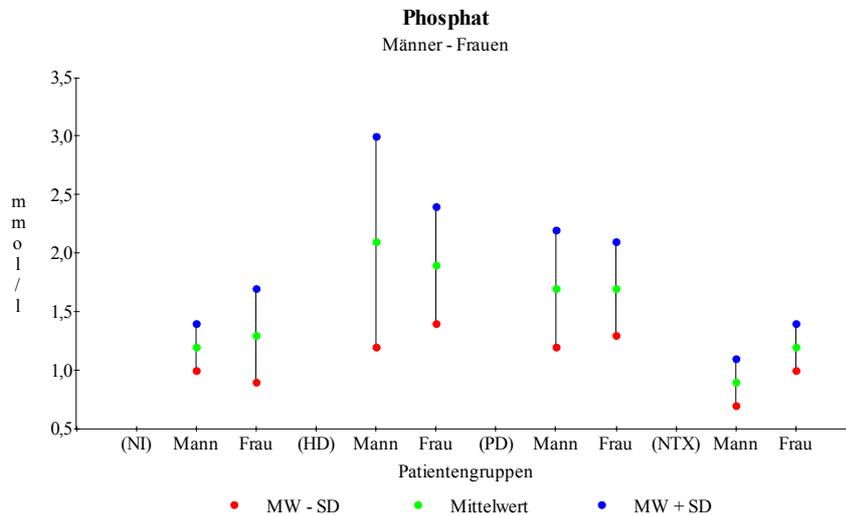


Abb.11 Phosphat der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in mmol/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	1,2	0,2	0,8	1,7
	<b>Frau</b>	8	1,3	0,4	0,7	1,9
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	2,1	0,9	1,5	2,7
	<b>Frau</b>	7	1,9	0,5	1,1	2,5
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	1,7	0,5	1,2	2,3
	<b>Frau</b>	12	1,7	0,4	1,0	2,2
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	0,9	0,2	0,4	1,4
	<b>Frau</b>	6	1,2	0,2	1,0	1,5

Tab.8 Phosphat der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in mmol/l

### Korrelationen

Bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation (n = 19) korrelieren Broadband Ultrasound Attenuation am rechten Os calcaneus und Phosphat-Konzentration im Serum ( $r = -0,432$ ) signifikant ( $p < 0,05$ ) miteinander.

Am Os calcaneus links läßt sich bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation jedoch keine signifikante (n.s.) Korrelation nachweisen.

### 3.4.3. Kreatinin

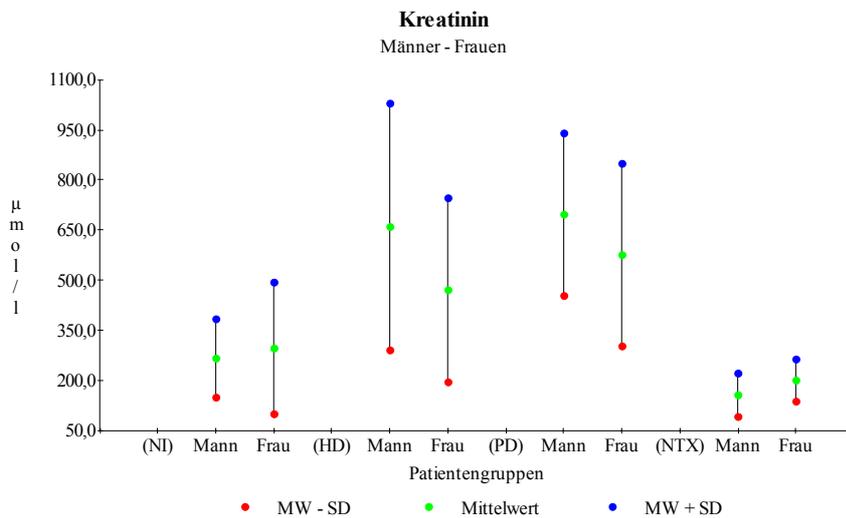


Abb.12 Kreatinin der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in µmol/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	268	117	104	541
	<b>Frau</b>	8	298	197	74	676
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	661	369	400	922
	<b>Frau</b>	7	472	275	163	795
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	698	243	323	1051
	<b>Frau</b>	12	577	273	210	1167
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	158	65	100	328
	<b>Frau</b>	6	202	63	104	284

Tab.9 Kreatinin der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in µmol/l

Der Normalbereich der Kreatinin-Konzentration im Serum liegt zwischen 44 und 106 µmol/l. Das Kreatinin ist bei den Männern im Durchschnitt  $298 \pm 235$  µmol/l hoch, bei den Frauen beträgt es durchschnittlich  $411 \pm 243$  µmol/l (Abb.12).

Sowohl die Mittelwerte als auch die Maximumwerte des Kreatinins sind bei den Männern und Frauen mit Hämodialyse und mit Peritonealdialyse weit über den Normbereich hinaus erhöht.

### **Männer**

Bei allen vier Patientengruppen der Männer ist die Kreatinin-Konzentration im Serum über den Normbereich hinaus erhöht. Die Kreatinin-Konzentration beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $298 \pm 235 \mu\text{mol/l}$  (Abb.12).

Am meisten ist sie bei den Männern mit Hämodialyse ( $661 \pm 369 \mu\text{mol/l}$ ) und mit Peritonealdialyse ( $698 \pm 243 \mu\text{mol/l}$ ) erhöht. Es folgen in absteigender Reihenfolge die Männer mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $268 \pm 117 \mu\text{mol/l}$ ) und mit Z.n. Nierentransplantation ( $158 \pm 65 \mu\text{mol/l}$ ), deren Kreatinin-Konzentration im Serum am wenigsten erhöht ist (Tab.9).

### **Frauen**

Ebenso ist auch bei den Patientengruppen der Frauen die Kreatinin-Konzentration im Durchschnitt erhöht. Sie beträgt  $419 \pm 263 \mu\text{mol/l}$  (Abb.12).

Am höchsten ist die Kreatinin-Konzentration bei den Frauen mit Hämodialyse ( $472 \pm 275 \mu\text{mol/l}$ ) und mit Peritonealdialyse ( $577 \pm 273 \mu\text{mol/l}$ ). Es folgen in absteigender Reihenfolge die Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $298 \pm 197 \mu\text{mol/l}$ ) und mit Z.n. Nierentransplantation ( $202 \pm 63 \mu\text{mol/l}$ ), deren Kreatinin-Konzentration im Serum wie bei den Männern am wenigsten erhöht ist (Tab.9).

### **Korrelationen**

Zwischen den Meßwerten der Ultraschall-Osteodensitometrie und der Kreatinin-Konzentration im Serum, d.h. zwischen Kreatinin und Broadband Ultrasound Attenuation bzw. Speed of Sound, läßt sich keine signifikante (n.s.) Korrelation, weder bei den Männern noch bei den Frauen, nachweisen.

#### **3.4.4. Alkalische Phosphatase**

Die Konzentration der Alkalischen Phosphatase im Serum liegt mit 1,5 und 3,7  $\mu\text{mol/l*s}$  im Normbereich. Die Alkalische Phosphatase beträgt bei Männern  $3,4 \pm 1,7 \mu\text{mol/l*s}$ , bei Frauen ist sie ebenfalls  $3,4 \pm 1,7 \mu\text{mol/l*s}$  hoch.

Wie in Abb.13 zu erkennen, sind die Konzentrationen der Alkalischen Phosphatase bei Frauen mit Hämodialyse und bei Männern mit Peritonealdialyse am stärksten von allen Patienten über die Norm erhöht.

##### **Männer**

Bei den Männern aus den vier Untersuchungsgruppen beträgt die Konzentration der Alkalischen Phosphatase im Serum durchschnittlich  $3,4 \pm 1,7 \mu\text{mol/l*s}$  (Abb.13).

Sie ist bei den Männern mit Peritonealdialyse ( $5,2 \pm 2,2 \mu\text{mol/l*s}$ ) deutlich über den Normalbereich hinaus erhöht. Bei den Männern mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $3,1 \pm 1,1 \mu\text{mol/l*s}$ ) und mit Z.n. Nierentransplantation ( $3,4 \pm 1,5 \mu\text{mol/l*s}$ ) liegt die mittlere Konzentration der Alkalischen Phosphatase im Serum innerhalb des Normbereiches (Tab.10).

##### **Frauen**

Bei den Frauen aus den vier Untersuchungsgruppen beträgt die Konzentration der Alkalischen Phosphatase im Serum durchschnittlich  $3,4 \pm 1,7 \mu\text{mol/l*s}$  (Abb.13).

Sie ist bei den Frauen mit Hämodialyse ( $4,3 \pm 2,5 \mu\text{mol/l*s}$ ) und mit Z.n. Nierentransplantation ( $4,1 \pm 2,4 \mu\text{mol/l*s}$ ) nur leicht erhöht. Die mittlere Konzentration der Alkalischen Phosphatase im Serum liegt bei den Frauen mit Peritonealdialyse ( $3,3 \pm 0,9 \mu\text{mol/l*s}$ ) und mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $2,8 \pm 0,8 \mu\text{mol/l*s}$ ) im Normbereich (Tab.10).

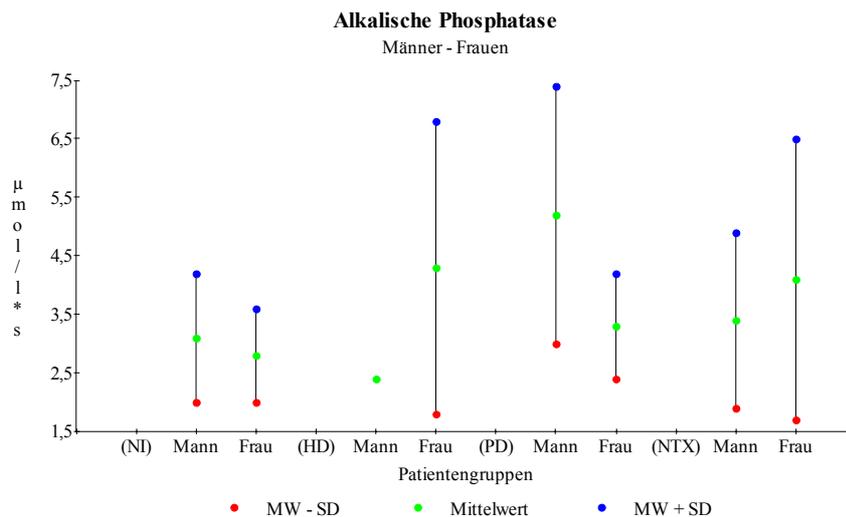


Abb.13 Alkalische Phosphatase der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in  $\mu\text{mol/l*s}$

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	3,1	1,1	1,6	5,1
	<b>Frau</b>	8	2,8	0,8	1,9	4,3
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	1	2,4		2,4	2,4
	<b>Frau</b>	6	4,3	2,5	2,2	8,0
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	5,2	2,2	2,5	8,1
	<b>Frau</b>	12	3,3	0,9	2,3	5,6
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	18	3,4	1,5	2,0	8,0
	<b>Frau</b>	6	4,1	2,4	1,6	8,2

Tab.10 Alkalische Phosphatase der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in  $\mu\text{mol/l*s}$

### Korrelationen

Eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelation ist zwischen der Konzentration der Alkalischen Phosphatase im Serum und den Meßwerten der Ultraschall-Osteodensitometrie nachweisbar.

Bei den Männern mit Peritonealdialyse ( $n = 6$ ) korrelieren die Konzentration der Alkalischen Phosphatase im Serum und die Speed of Sound am rechten Os calcaneus ( $r = - 0,735$ ) signifikant ( $p < 0,05$ ) miteinander. Eine signifikante (n.s.) Korrelation zum linken Os calcaneus ist jedoch nicht nachweisbar.

### **3.4.5. Gesamteiweiß**

Die Gesamteiweiß-Konzentration liegt mit 60 bis 80 g/l im Normbereich. Das Gesamteiweiß beträgt bei Männern  $70 \pm 7,4$  g/l, bei Frauen ist es  $68 \pm 7,3$  g/l hoch (Abb.14).

Bei den Patienten mit Hämodialyse und mit Peritonealdialyse sind sowohl bei Männern als auch bei Frauen die Konzentration des Gesamteiweiß im Blut am niedrigsten (Tab.11).

#### **Männer**

Bei den Männern aus den vier Untersuchungsgruppen beträgt die Gesamteiweiß-Konzentration im Blut im Durchschnitt  $70 \pm 7,4$  g/l (Abb.14).

Die mittleren Werte des Gesamteiweiß liegen bei den Männern mit Z.n.Nierentransplantation ( $73 \pm 6,6$  g/l) und mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $70 \pm 7,1$  g/l) im mittleren Normbereich. Bei den Männern mit Peritonealdialyse ( $66 \pm 7,3$  g/l) und mit Hämodialyse ( $61 \pm 0,7$  g/l) befindet sich die mittlere Konzentration des Gesamteiweiß im Blut an der unteren Normgrenze (Tab.11).

#### **Frauen**

Bei den Frauen aus den vier Untersuchungsgruppen beträgt die Gesamteiweiß-Konzentration im Blut im Durchschnitt  $68 \pm 7,3$  g/l (Abb.14).

Sie liegt bei den Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $74 \pm 5,7$  g/l) und mit Z.n. Nierentransplantation ( $70 \pm 4,8$  g/l) im mittleren Normbereich. Ähnlich den Werten bei den Männern ist die mittlere Konzentration des Gesamteiweiß im Blut bei den Frauen mit Peritonealdialyse ( $65 \pm 6,7$  g/l) und mit Hämodialyse ( $62 \pm 6,3$  g/l) grenzwertig am niedrigsten (Tab.11).

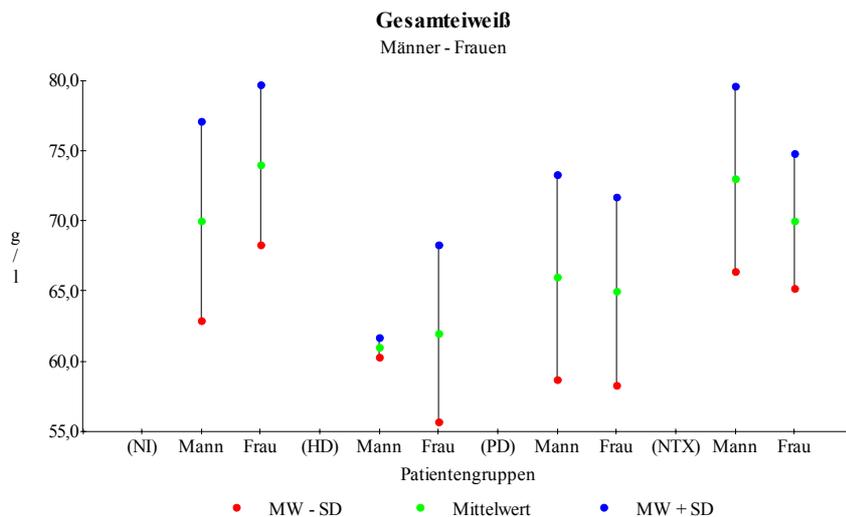


Abb.14 Gesamteiweiß der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in g/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	70	7,1	52	82
	<b>Frau</b>	8	74	5,7	66	80
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	61	0,7	60	61
	<b>Frau</b>	7	62	6,3	53	73
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	66	7,3	56	76
	<b>Frau</b>	12	65	6,7	53	79
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	19	73	6,6	62	86
	<b>Frau</b>	6	70	4,8	63	77

Tab.11 Gesamteiweiß der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in g/l

### Korrelationen

Bei den Männern mit Peritonealdialyse (n = 6) ist eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelation zwischen der Gesamteiweiß-Konzentration im Blut und der Speed of Sound sowohl am linken ( $r = + 0,797$ ) als auch am rechten ( $r = + 0,798$ ) Os calcaneus nachweisbar.

Eine signifikante (n.s.) Korrelation zur Broadband Ultrasound Attenuation ist jedoch nicht zu erkennen.

### **3.4.6. Albumin**

Der Normalbereich der Albumin-Konzentration im Serum liegt zwischen 35 und 55 g/l. Das Albumin beträgt bei den Männern  $43 \pm 9,8$  g/l, bei den Frauen ist es  $42 \pm 6,3$  g/l hoch (Abb.15).

Das Serum-Albumin macht ca. 52 % bis 62 % des Gesamteiweißes im Blutplasma aus. Der Normalbefund einer Elektrophorese enthält ca. 61 % Albumin. Bei schwerster Nephrose kann das Albumin in der Elektrophorese bis auf unter 10 % abgefallen sein.

Ähnlich der Gesamteiweiß-Konzentration im Blutplasma ist das Albumin bei den Patienten in den vier Untersuchungsgruppen verteilt. Am niedrigsten ist die Konzentration des Albumins bei Patienten mit Hämodialyse und mit Peritonealdialyse. Innerhalb dieser Gruppen sind die Konzentrationen des Albumins bei den Männern niedriger als bei den Frauen (Abb.15).

#### **Männer**

Bei den Männern beträgt die Albumin-Konzentration im Durchschnitt  $43 \pm 9,8$  g/l (Abb.15).

Am höchsten ist sie bei den Männern mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $46 \pm 5,9$  g/l) und mit Z.n. Nierentransplantation ( $46 \pm 4,4$  g/l). Es folgen die Männer mit Hämodialyse ( $34 \pm 1,4$  g/l) sowie die mit Peritonealdialyse ( $33 \pm 5,6$  g/l), deren mittlere Albumin-Konzentrationen etwas unter die Norm erniedrigt sind (Tab.12).

#### **Frauen**

Bei den Frauen beträgt die mittlere Albumin-Konzentration im Durchschnitt  $42 \pm 6,3$  g/l (Abb.15).

Am höchsten ist sie bei den Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $49 \pm 3,0$  g/l). Es folgen die Frauen mit Z.n.

Nierentransplantation ( $45 \pm 2,6$ , g/l), die Frauen mit Hämodialyse ( $38 \pm 6,8$  g/l) und mit Peritonealdialyse ( $38 \pm 3,8$  g/l), deren Albumin-Konzentrationen gleichermaßen grenzwertig niedrig sind (Tab.12).

### Korrelationen

Zwischen den Parametern der Ultraschall-Osteodensitometrie, Broadband Ultrasound Attenuation und Speed of Sound, und den Albumin-Konzentrationen im Serum läßt sich im Gegensatz den Gesamteiweiß-Konzentrationen bei keiner Patientengruppe irgendeine signifikante (n.s.) Korrelation nachweisen.

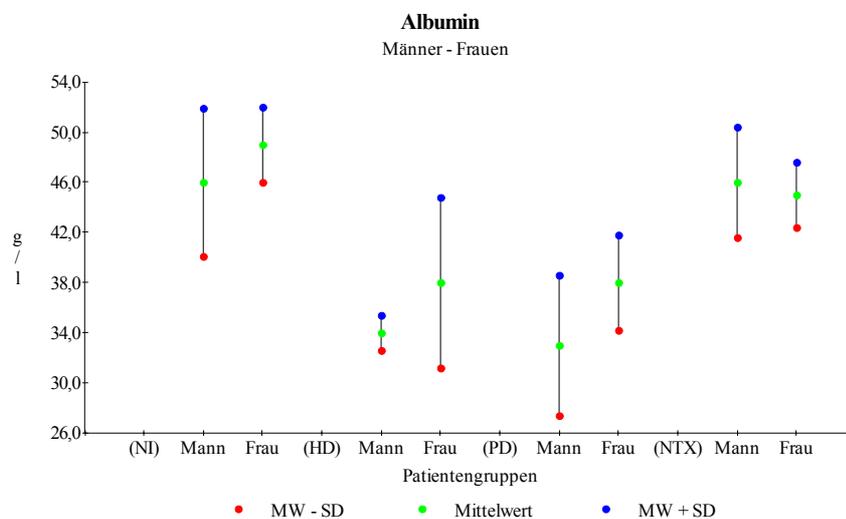


Abb.15 Albumin der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in g/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	16	46	5,9	32	54
	<b>Frau</b>	8	49	3,0	46	54
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	34	1,4	33	35
	<b>Frau</b>	7	38	6,8	26	47
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	33	5,6	27	39
	<b>Frau</b>	12	38	3,8	31	43
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	18	46	4,4	36	53
	<b>Frau</b>	6	45	2,6	42	48

Tab.12 Albumin der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in g/l

### 3.4.7. Parathormon

Der Normalbereich der Parathormon-Konzentration im Blut liegt zwischen 1,2 und 6,0 pmol/l. Das Parathormon beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $8,7 \pm 12,5$  pmol/l, bei den Frauen durchschnittlich  $15,3 \pm 21,8$  pmol/l (Abb.16).

Wenn die Konzentration dieses Hormons, das von den Nebenschilddrüsen gebildet wird, im Blut erhöht ist, liegt ein Hyperparathyreoidismus vor, der primär, sekundär oder tertiär sein kann. Aufgrund der chronischen Nierenerkrankung liegt bei den Patienten mit erhöhter Parathormon-Konzentration im Blut ein sekundärer Hyperparathyreoidismus vor. Dieser ist am stärksten bei den Patienten mit Peritonealdialyse und mit Hämodialyse ausgeprägt, wobei innerhalb dieser Patientengruppen die Frauen mit ihren erhöhten Parathormon-Konzentrationen dominieren (Tab.13).

#### **Männer**

Die Konzentration des Parathormons beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $8,7 \pm 12,5$  pmol/l (Tab.16).

Bei denen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention, vor allem bei den Männern mit Hämodialyse und Peritonealdialyse, ist das Parathormon in seiner Konzentration teilweise stark erhöht. Dagegen befindet sich die Parathormon-Konzentration bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation im oberen Normbereich (Tab.13).

#### **Frauen**

Bei den Frauen beträgt die Parathormon-Konzentration  $15,3 \pm 21,8$  pmol/l (Abb.16). Bei allen Frauen ist sie damit im Durchschnitt über die Norm erhöht.

Am höchsten ist die Parathormon-Konzentration bei den Frauen mit Peritonealdialyse und Hämodialyse. Es folgen die Frauen mit Z.n. Nierentransplantation und Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention, deren Parathormon-Konzentration am wenigsten erhöht ist (Tab.13).

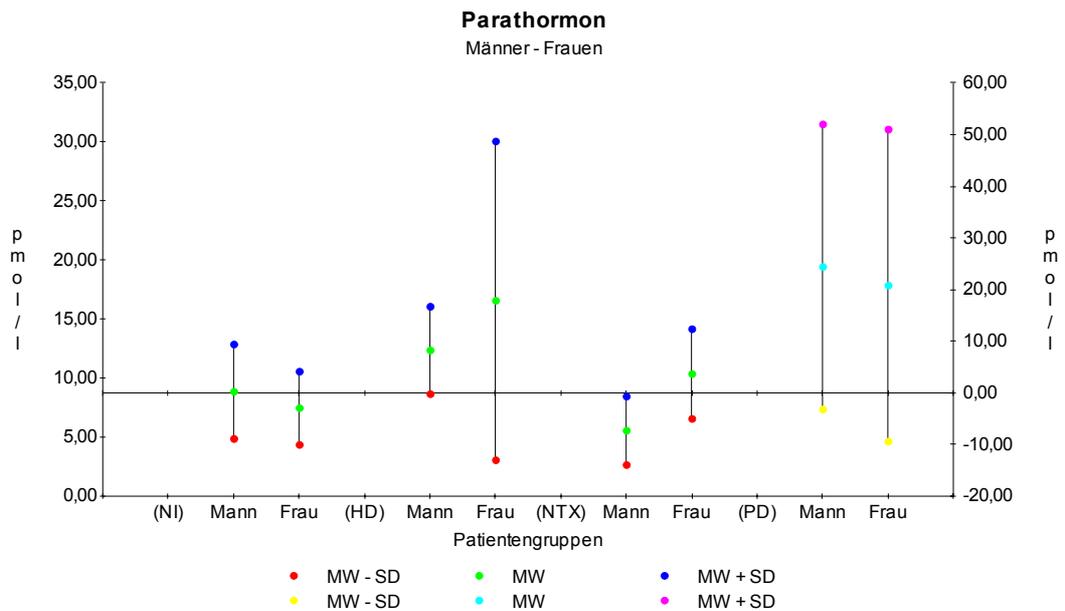


Abb.16 Parathormon der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in pmol/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	13	8,9	4,0	3,2	16,3
	<b>Frau</b>	7	7,5	3,1	3,0	13,2
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	2	12,4	3,7	9,7	15,0
	<b>Frau</b>	4	16,6	13,5	5,1	32,2
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	24,5	27,6	1,6	77,0
	<b>Frau</b>	12	20,9	30,2	2,0	99,0
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	12	5,6	2,9	0,9	9,8
	<b>Frau</b>	2	10,4	3,8	7,7	13,0

Tab.13 Parathormon der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in pmol/l

### Korrelationen

Bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation (n = 13) korrelieren die Parathormon-Konzentration und die Broadband Ultrasound Attenuation sowohl am linken ( $r = + 0,554$ ) als auch am rechten ( $r = + 0,613$ ) Os calcaneus signifikant ( $p < 0,05$ ) miteinander.

Ebenso korrelieren bei diesen Männern ( $n = 13$ ) die Parathormon-Konzentration und die Speed of Sound sowohl am linken ( $r = + 0,547$ ) als auch am rechten ( $r = + 0,540$ ) Os calcaneus signifikant ( $p < 0,50$ ) miteinander.

### **3.4.8. Ostase**

Der Normalbereich der Ostase-Konzentration im Blut liegt zwischen 12 und 34 U/l. Die Laborwerte der Ostase sind aufgrund der geringen Anzahl sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen nur eingeschränkt aussagekräftig.

Die Ostase beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $12 \pm 17,7$  U/l und bei den Frauen ist sie durchschnittlich  $11 \pm 11,1$  U/l hoch (Abb.17).

#### **Männer**

Die Konzentration der Ostase im Blut beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $12 \pm 17,7$  U/l (Abb.17).

Während bei den Männern mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $28 \pm 16,9$  U/l) und mit Peritonealdialyse ( $25 \pm 26,9$  U/l) die Konzentration der Ostase im Normbereich liegt, ist sie bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation ( $14 \pm 5,0$  U/l) zwar niedrig, aber noch im Normbereich (Tab.14).

#### **Frauen**

Bei den Frauen beträgt die Konzentration der Ostase im Durchschnitt  $11 \pm 11,9$  U/l (Abb.17).

Bei den Frauen mit Hämodialyse ( $28 \pm 6,4$  U/l) und mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $26 \pm 8,2$  U/l) liegt sie im oberen Normbereich. Bei den Frauen mit Peritonealdialyse ( $13 \pm 8,4$  U/l) ist die Konzentration der Ostase grenzwertig niedrig.

Eine Aussage zu den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation kann aufgrund fehlender Angaben zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht gemacht werden (Tab.14).

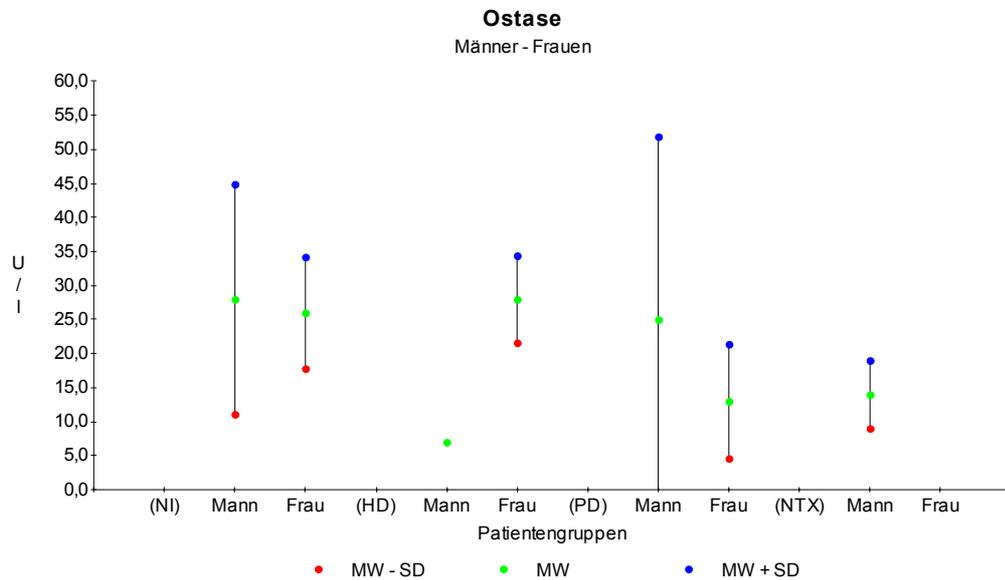


Abb.17 Ostase der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in U/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	11	28	16,9	14	70
	<b>Frau</b>	6	26	8,2	18	41
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	1	7		7	7
	<b>Frau</b>	2	28	6,4	23	32
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	25	26,9	8	77
	<b>Frau</b>	12	13	8,4	2	32
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	4	14	5,0	9	21
	<b>Frau</b>	0				

Tab.14 Ostase der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in U/l

### Korrelationen

Nur bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation (n = 5) läßt sich eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelation zwischen der Ostase-Konzentration im Blut

und der Speed of Sound sowohl am linken ( $r = -0,719$ ) als auch am rechten ( $r = -0,905$ ) Os calcaneus nachweisen.

Eine signifikante (n.s.) Korrelation zwischen der Ostase-Konzentration im Blut und der Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus besteht jedoch nicht.

### **3.4.9. 25-OH-Cholekalziferol**

Der Normbereich der 25-OH-Cholekalziferol-Konzentration im Blut liegt zwischen 23 und 30 nmol/l. Die 25-OH-Cholekalziferol-Konzentration im Blut beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $79 \pm 181,6$  nmol/l, bei den Frauen ist sie  $27 \pm 45,6$  nmol/l hoch (Abb.18).

#### **Männer**

Die Konzentration des 25-OH-Cholekalziferol beträgt bei den Männern in den vier Gruppen im Durchschnitt  $79 \pm 181,6$  nmol/ (Abb.18).

Bei denen mit Z.n. Nierentransplantation ( $265 \pm 292,0$  nmol/l), mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $65 \pm 56,5$  nmol/l) und mit Peritonealdialyse ( $40 \pm 20,8$  nmol/l) ist die mittlere Konzentration des 25-OH-Cholekalziferol teilweise mäßig bis stark erhöht. Am niedrigsten ist es bei dem Mann mit Hämodialyse, dessen 25-OH-Cholekalziferol-Konzentration an der oberen Normgrenze liegt (Tab.15).

#### **Frauen**

Die 25-OH-Cholekalziferol-Konzentration beträgt bei den Frauen  $27 \pm 45,6$  nmol/l (Abb.18).

Sie ist bei denen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $36 \pm 12,9$  nmol/l) leicht erhöht. Die mittlere Konzentration des 25-OH-Cholekalziferol liegt bei den Frauen mit Peritonealdialyse ( $29 \pm 13,5$  nmol/l) an

der oberen Grenze des Normbereiches, bei denen mit Z.n. Nierentransplantation ( $177 \pm 191,8$  nmol/l) ist sie stark erhöht (Tab.15).

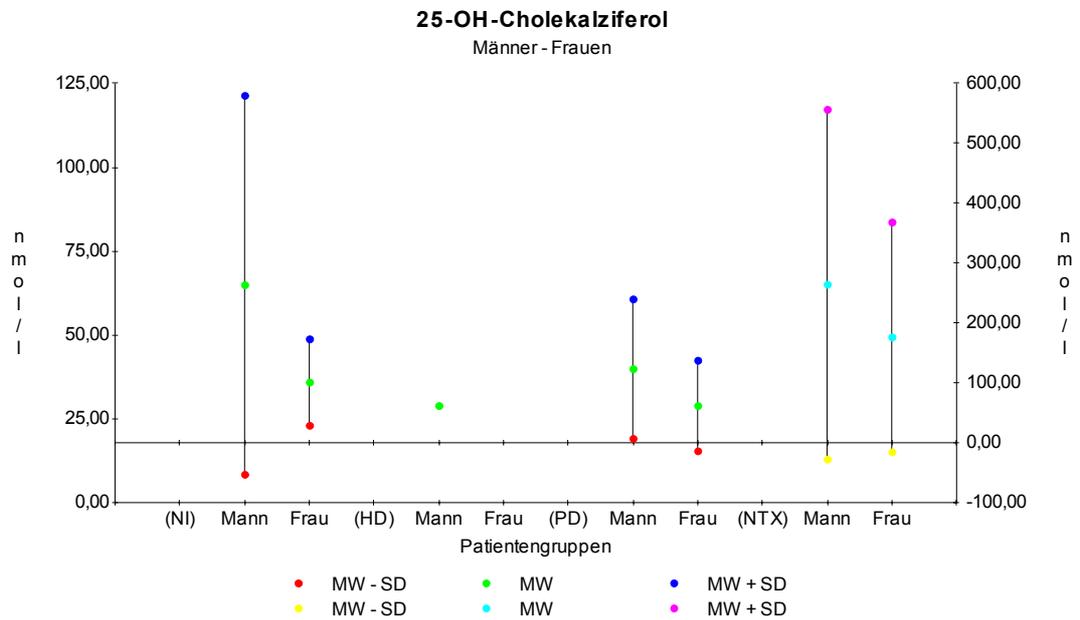


Abb.18 25-OH-Cholekalziferol der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in nmol/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	5	65	56,5	30	165
	<b>Frau</b>	5	36	12,9	25	56
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	1	29		29	29
	<b>Frau</b>	0				
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	5	40	20,8	26	76
	<b>Frau</b>	12	29	13,5	8	52
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	11	265	292,0	57	906
	<b>Frau</b>	2	177	191,8	105	249

Tab.15 25-OH-Cholekalziferol der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in nmol/l

### Korrelationen

Bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation (n = 11) korrelieren 25-OH-Cholekalziferol-Konzentration im Serum und Broadband Ultrasound Attenuation

sowohl am linken ( $r = - 0,809$ ) als auch am rechten ( $r = - 0,752$ ) Os calcaneus signifikant ( $p < 0,05$ ) miteinander.

Eine signifikante (n.s.) Korrelation zur Speed of Sound am Os calcaneus ist jedoch nicht nachweisbar.

Bei den Männern mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $n = 4$ ) korrelieren 25-OH-Cholekalziferol-Konzentration im Serum und Speed of Sound sowohl am linken ( $r = - 0,860$ ) als auch am rechten ( $r = - 0,873$ ) Os calcaneus signifikant ( $p < 0,05$ ) miteinander.

Eine signifikante(n.s.) Korrelation zur Broadband Ultrasound Attenuation am Os calcaneus ist dagegen nicht nachzuweisen.

#### **3.4.10. 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol**

Der Normalbereich der 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol-Konzentration im Blut liegt zwischen 20 und 90 ng/l. Bei den Männern beträgt die 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol-Konzentration im Blut  $21 \pm 27,0$  ng/l, bei den Frauen ist sie  $11 \pm 45,6$  ng/l hoch (Abb.19).

##### **Männer**

Die 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol-Konzentration im Blut beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $21 \pm 27,0$  ng/l (Abb.19).

Bei dem Mann mit Hämodialyse (4 ng/l) und bei den Männern mit Peritonealdialyse ( $6 \pm 1,4$  ng/l) ist die Konzentration des 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol im Blut sehr stark erniedrigt. Die Männer mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $24 \pm 11,6$  ng/l) und mit Z.n. Nierentransplantation ( $56 \pm 17,5$  ng/l) haben Werte im unteren bis mittleren Normbereich (Tab.16).

## Frauen

Bei den Frauen beträgt die Konzentration des 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol im Durchschnitt  $11 \pm 45,6$  ng/l (Abb.19).

Sie ist bei den Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $29 \pm 19,4$  ng/l) und mit Z.n. Nierentransplantation ( $45 \pm 5,7$  ng/l) normal. Bei den Frauen mit Peritonealdialyse ( $12 \pm 10,4$  ng/l) ist die mittlere Konzentration des 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol im Blut erniedrigt. Für die Frauen mit Hämodialyse lagen zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Daten zur 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol-Konzentration im Blut vor (Tab.16).

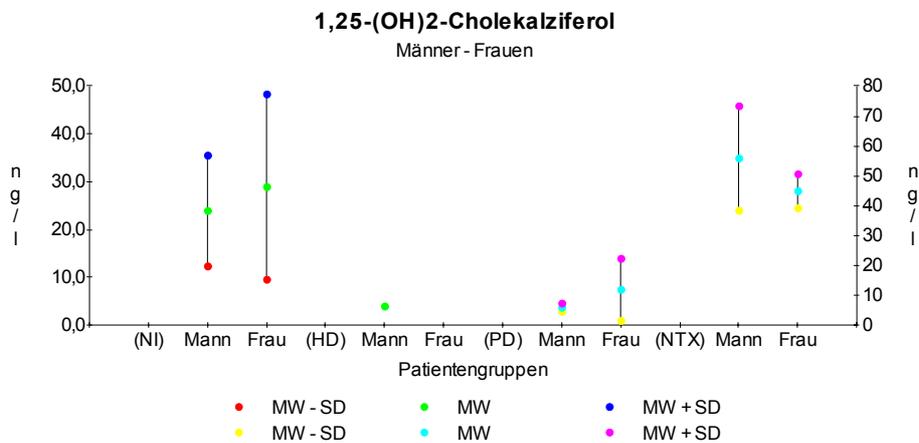


Abb.19 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in ng/l

		n	MW	SD	Min	Max
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	6	24	11,6	4	36
	<b>Frau</b>	5	29	19,4	14	63
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	1	4		4	4
	<b>Frau</b>	0				
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	2	6	1,4	5	7
	<b>Frau</b>	10	12	10,4	3	32
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	13	56	17,5	25	83
	<b>Frau</b>	2	45	5,7	41	49

Tab.16 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in ng/l

### **Korrelationen**

Es lassen sich keine signifikanten (n.s.) Korrelationen zwischen den Konzentrationen des 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Cholekalziferol im Blut und den Parametern der Osteodensitometrie bei den Patienten in den vier Untersuchungsgruppen nachweisen.

### **3.4.11. Thyreoidea stimulierendes Hormon**

Der Normalbereich der Konzentration des Thyreoidea stimulierenden Hormons (TSH) im Blut liegt zwischen 0,5 und 5,0 mU/l. Das TSH beträgt bei den Männern  $1,24 \pm 0,71$  mU/l, bei den Frauen ist es  $2,66 \pm 3,05$  mU/l hoch (Abb.20).

#### **Männer**

Bei den Männern in den vier Gruppen beträgt die Konzentration des Thyreoidea stimulierenden Hormons im Durchschnitt  $1,24 \pm 0,71$  mU/l (Abb.20).

Am höchsten ist sie bei den Männern mit Peritonealdialyse ( $1,53 \pm 0,95$  mU/l). Es folgen die Männer mit Z.n. Nierentransplantation ( $1,13 \pm 0,58$  mU/l). Bei den Männern mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $1,07 \pm 0,49$  mU/l) ist die Konzentration des Thyreoidea stimulierenden Hormons innerhalb des Normbereiches am niedrigsten (Tab.17).

#### **Frauen**

Bei den hinsichtlich des TSH untersuchten Frauen aus den vier Gruppen beträgt die Konzentration dieses Hormons im Durchschnitt  $2,66 \pm 3,05$  mU/l (Abb.20).

Am höchsten ist sie bei den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation ( $4,33 \pm 2,97$  mU/l). Es folgen die Frauen mit Peritonealdialyse ( $2,42 \pm 4,24$  mU/l) und mit Hämodialyse ( $2,38 \pm 2,33$  mU/l). Bei den Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $1,98 \pm 1,88$  mU/l) ist Konzentration des Thyreoidea stimulierenden Hormons im Blut innerhalb des Normbereiches am niedrigsten (Tab.17).

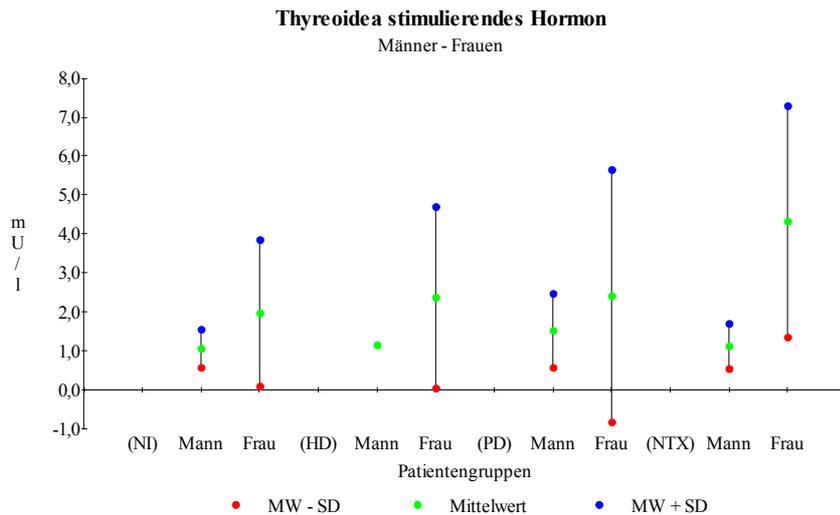


Abb.20 Thyreoida stimulierendes Hormon der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in mU/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	7	1,07	0,49	0,52	1,76
	<b>Frau</b>	2	1,98	1,88	0,10	3,85
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	1	1,16		1,16	1,16
	<b>Frau</b>	3	2,38	2,33	0,45	5,65
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	1,53	0,95	0,81	1,50
	<b>Frau</b>	12	2,42	3,24	0,70	13,00
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	5	1,13	0,58	0,45	1,77
	<b>Frau</b>	3	4,33	2,97	0,35	7,48

Tab.17 Thyreoida stimulierendes Hormon der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in mU/l

### Korrelationen

Bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation (n = 5) läßt sich eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelation zwischen der Konzentration des Thyreoida stimulierenden Hormons im Blut und der Broadband Ultrasound Attenuation sowohl am linken ( $r = + 0,792$ ) als auch am rechten ( $r = + 0,803$ ) Os calcaneus nachweisen.

Eine signifikante (n.s.) Korrelation zur Speed of Sound besteht jedoch nicht.

### 3.4.12. Freies Trijodthyronin

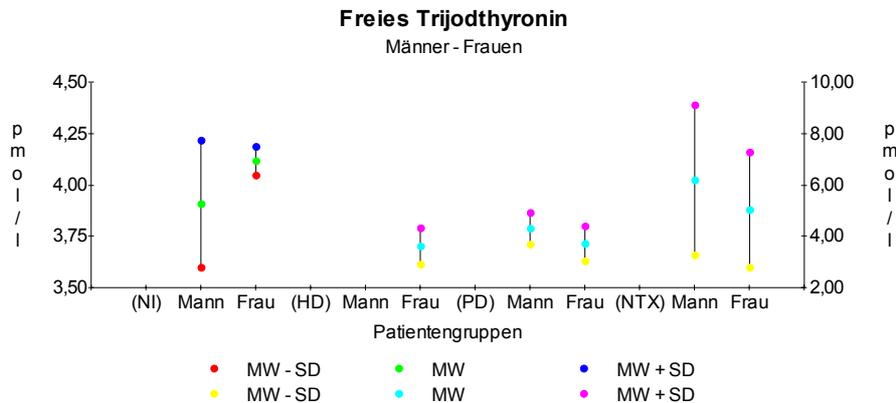


Abb.21 Freies Trijodthyronin der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in pmol/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	4	3,91	0,31	3,35	4,25
	<b>Frau</b>	2	4,12	0,07	4,05	4,19
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	0				
	<b>Frau</b>	4	3,63	0,71	2,86	4,70
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	4,32	0,62	3,20	5,20
	<b>Frau</b>	12	3,73	0,68	2,60	5,10
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	4	6,21	2,93	3,70	11,20
	<b>Frau</b>	2	5,05	2,25	2,80	7,30

Tab.18 Freies Trijodthyronin der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in pmol/l

Der Normalbereich der Konzentration des freien Trijodthyronins im Blut liegt zwischen 4,6 und 9,2 pmol/l. Das freie Trijodthyronin beträgt bei den Männern im Durchschnitt  $4,15 \pm 2,36$  pmol/l, bei den Frauen ist es  $3,88 \pm 1,03$  pmol/l hoch (Abb.21).

#### **Männer**

Bei den Männern liegt die Konzentration des freien Trijodthyronins mit durchschnittlich  $4,15 \pm 2,36$  pmol/l grenzwertig unter der Norm (Abb.21).

Am höchsten ist sie bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation. Es folgen die Männer mit Peritonealdialyse und diejenigen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention. Bei den Männern mit Hämodialyse lagen keine Daten zur Konzentration des freien Trijodthyronins im Blut zum Zeitpunkt der Untersuchung vor (Tab.18).

### **Frauen**

Auch bei den Frauen liegt die Konzentration des freien Trijodthyronins mit durchschnittlich  $3,88 \pm 1,03$  pmol/l unter der Norm (Abb.21).

Am höchsten ist sie bei den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation im unteren Normbereich. Es folgen die Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention, diejenigen mit Peritonealdialyse und mit Hämodialyse, bei denen die Konzentration des freien Trijodthyronins im Blut unterhalb der Norm erniedrigt ist (Tab.18).

### **Korrelationen**

Bei den Männern aus der Gruppe mit Peritonealdialyse (n = 6) korrelieren die Konzentration des freien Trijodthyronins und die Broadband Ultrasound Attenuation am linken (r = - 0,707) signifikant (p < 0,05) miteinander, jedoch nicht am rechten Os calcaneus (n.s.).

Bei den Männern aus der Gruppe mit Z.n. Nierentransplantation (n = 5) korrelieren die Konzentration des freien Trijodthyronins im Blut und die Broadband Ultrasound Attenuation sowohl am linken (r = - 0,840) als auch am rechten (r = - 0,906) Os calcaneus signifikant (p < 0,05) miteinander.

Bei diesen Männern mit Z.n. Nierentransplantation korrelieren weiterhin die Konzentration des freien Trijodthyronins im Blut und die Speed of Sound jedoch nur am rechten (r = + 0,958) Os calcaneus signifikant (p < 0,05) miteinander, jedoch nicht am linken Os calcaneus (n.s.).

### 3.4.13. Freies Thyroxin

Der Normalbereich der Konzentration des freien Thyroxins im Blut liegt zwischen 13 und 30 pmol/l. Bei den Männern beträgt das freie Thyroxin im Durchschnitt  $14,25 \pm 6,29$  pmol/l, bei den Frauen ist es  $18,79 \pm 11,23$  pmol/l hoch (Abb.22).

#### **Männer**

Bei den Männern, die hinsichtlich der Konzentration des freien Thyroxins im Blut untersucht worden sind, beträgt diese im Durchschnitt  $14,25 \pm 6,29$  pmol/l (Abb.22).

Am höchsten ist die Konzentration des freien Thyroxins bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation ( $17,85 \pm 2,10$  pmol/l). Es folgen die Männer mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $16,88 \pm 2,02$  pmol/l) und mit Peritonealdialyse ( $14,85 \pm 4,33$  pmol/l). Zu den Männern mit Hämodialyse kann aufgrund fehlender Daten zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Aussage gemacht werden (Tab.19).

#### **Frauen**

Bei den hinsichtlich der Konzentration des freien Thyroxins im Blut untersuchten Frauen beträgt diese im Durchschnitt  $18,79 \pm 11,23$  pmol/l (Abb.22).

Am höchsten ist sie bei den Frauen mit Z.n. Nierentransplantation ( $43,65 \pm 22,85$  pmol/l), bei denen die mittlere Konzentration des freien Thyroxins im Blut über die Norm hinaus erhöht ist. Es folgen die Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention ( $17,30 \pm 3,00$  pmol/l) und die mit Peritonealdialyse ( $16,00 \pm 2,17$  pmol/l). Bei den Frauen mit Hämodialyse ( $15,47 \pm 2,46$  pmol/l) ist die mittlere Konzentration des freien Thyroxins im Blut am niedrigsten (Tab.19).

## Korrelationen

Bei den Männern mit Z.n. Nierentransplantation (n = 4) korrelieren die Konzentration des freien Thyroxins im Blut und die Broadband Ultrasound Attenuation nur am rechten (r = - 0,798) Os calcaneus signifikant (p < 0,05) miteinander.

Eine signifikante (n.s.) Korrelation zur Speed of Sound am Os calcaneus besteht jedoch nicht.

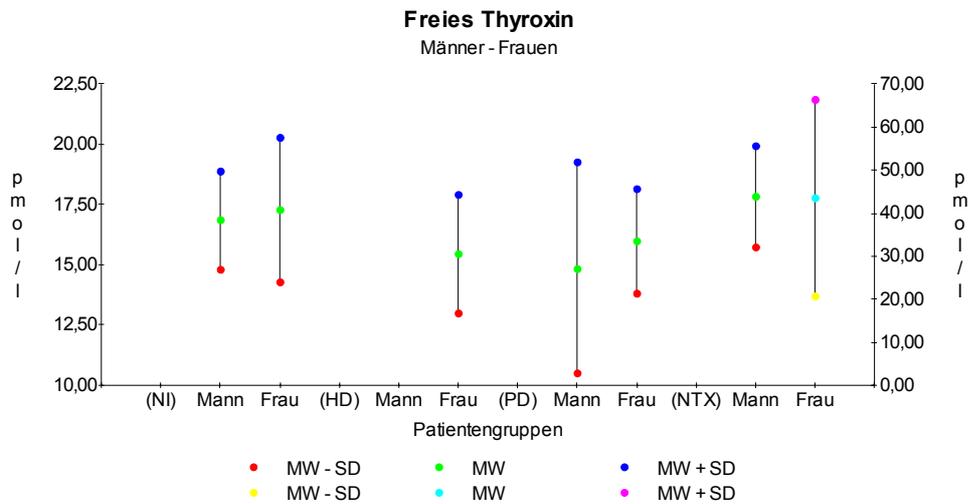


Abb.22 Freies Thyroxin der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in pmol/l

		<b>n</b>	<b>MW</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>NI</b>	<b>Mann</b>	4	16,88	2,02	13,70	19,10
	<b>Frau</b>	2	17,30	3,00	14,30	20,30
<b>HD</b>	<b>Mann</b>	0				
	<b>Frau</b>	4	15,47	2,46	12,60	18,80
<b>PD</b>	<b>Mann</b>	6	14,85	4,33	10,80	21,30
	<b>Frau</b>	12	16,00	2,17	12,50	20,80
<b>NTX</b>	<b>Mann</b>	4	17,85	2,10	15,40	21,20
	<b>Frau</b>	2	43,65	22,85	20,80	66,50

Tab.19 Freies Thyroxin der Patienten in den Gruppen Niereninsuffizienz (NI), Hämodialyse (HD), Peritonealdialyse (PD) sowie Nierentransplantation (NTX) in pmol/l

#### 4. Diskussion

Osteopathien sind generalisierte Skeletterkrankungen unterschiedlicher Genese mit variabel ausgeprägter Verminderung der Knochendichte. Anhand der Konstellation von Laborparametern wie z.B. Calcium, Phosphat und Alkalische Phosphatase, lassen sich verschiedene Knochenerkrankungen differentialdiagnostisch unterscheiden (Tab.23).

	<b>Calcium</b>	<b>Phosphat</b>	<b>AP</b>	<b>sonstiges</b>
<b>Osteoporose</b>	normal	normal	normal - erhöht	
<b>Osteomalazie</b>	normal - erniedrigt	normal - erniedrigt	erhöht	Vitamin D erniedrigt
<b>pHPT</b>	erhöht	erniedrigt	erhöht	PTH intakt erhöht
<b>renale Osteopathie</b>	normal - erniedrigt	erhöht	normal - erhöht	PTH intakt erhöht
<b>Malignome</b>	erhöht	normal	erhöht	BSG erhöht

Tab.23 Differentialdiagnose verschiedener Knochenerkrankungen, modifiziert nach (22)

Die renale Osteopathie ist eine kombinierte Mineralstoffwechselstörung im Gefolge chronischer, langdauernder Niereninsuffizienz. Drei Teilfaktoren sind in unterschiedlichem Ausmaß an der Entwicklung der renalen Osteopathie beteiligt: 1. primär eine Phosphatretention mit 2. konsekutiver Hypokalzämie bzw. eine verminderte Calciumresorption durch 3. einen gestörten Vitamin D-Stoffwechsel.

In den eigenen Untersuchungen weisen alle Patienten dieser Studie die Kriterien der renalen Osteopathie in unterschiedlich ausgeprägter Form auf. Bei Hypokalzämie und Hyperphosphatämie besteht gleichzeitig ein sekundärer, renal bedingter Hyperparathyreoidismus. Darüberhinaus ist bei den Patienten mit Hämodialyse und Peritonealdialyse die Alkalische Phosphatase über die Norm erhöht. Dies bestätigt eine erhöhte Osteoblastenaktivität.

Dementsprechend ist von allen in dieser Studie untersuchten Patienten bei denen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention und mit Z.n. Nierentransplantation die meiste trabekuläre Spongiosasubstanz vorhanden, was in etwa der zu erwartenden Knochenhistologie dieser Patienten mit der noch bzw. der wiedererlangten Nierenfunktion entspricht.

Allgemein ist bei Frauen die Broadband Ultrasound Attenuation in der Ultraschall-Osteodensitometrie geringer als bei Männern. Bei ihnen ist also weniger Knochensubstanz vorhanden und die verminderte bzw. aufgelockerte trabekuläre Struktur der Spongiosa hat eine geringere Dämpfung zur Folge. Diese Feststellung deckt sich mit der Aussage zu dem zusätzlich erhöhten Abbau der Spongiosa bei Frauen während der Menopause bzw. Postmenopause.

Die Broadband Ultrasound Attenuation ist entsprechend den pathophysiologischen Grundlagen bei den Frauen mit Hämodialyse und Peritonealdialyse im Vergleich zu allen Frauen niedrig und unterhalb des Durchschnitts aller Meßdaten zur Knochendichte.

Entgegen der Pathophysiologie liegt bei den Männern mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention die Broadband Ultrasound Attenuation am linken und rechten Os calcaneus unter dem Durchschnitt aller Männer, die Speed of Sound am linken und rechten Os calcaneus dagegen, wie zu erwarten, über dem Durchschnitt. Auch bei den Männern mit Peritonealdialyse tritt dieses paradoxe Phänomen auf.

Auch die Männer mit Z.n. Nierentransplantation liegen entgegen den theoretischen Grundlagen sowohl bei der Broadband Ultrasound Attenuation am linken und rechten Os calcaneus als auch bei der Speed of Sound am linken und rechten Os calcaneus unter dem Durchschnitt aller bei den Männern mit Ultraschall gemessenen Werte zur Knochendichte, obwohl in dieser Gruppe die meisten Patienten (n = 19) untersucht werden konnten.

Im Gegensatz zur Broadband Ultrasound Attenuation ist die Speed of Sound bei den Männern mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention und bei den Frauen mit Nierentransplantation annähernd gleich hoch.

Obwohl beide Parameter der Ultraschall-Osteodensitometrie, Broadband Ultrasound Attenuation und Speed of Sound, theoretisch gleichsinnig die Dichte der Spongiosa in Zahlen wiedergeben, sind die Meßdaten der Broadband Ultrasound Attenuation und der Speed of Sound teilweise gegensinnig gerichtet. Dieses Ergebnis der Ultraschall-Osteodensitometrie entspricht nicht den physikalischen Grundlagen und der Pathophysiologie der renalen Osteopathie. Broadband Ultrasound Attenuation und Speed of Sound geben also allein keine verlässliche Auskunft zur renalen Osteopathie.

Beim Vergleich der Mittelwerte von Broadband Ultrasound Attenuation bzw. Speed of Sound am Os calcaneus links mit rechts läßt sich bei den Männern mit Peritonealdialyse sowie bei den Frauen mit Hämodialyse und Nierentransplantation ein signifikanter ( $p < 0,05$ ) Seitenunterschied hinsichtlich der Speed of Sound nachweisen, dessen Ursache ohne weiterführende Untersuchungen nicht zu klären ist.

Am ehesten kann eine schwankende Compliance des Patienten während des Meßvorgangs angenommen werden. Zwischen dominanter und nicht-dominanter Körperhälfte besteht jedoch kein signifikanter Unterschied, was auch in der Literatur angegeben wird (10). Bei *Jergas et al.* betragen die Ultraschallgeschwindigkeiten am nicht-dominanten Os calcaneus 1489-1627 m/s und am dominanten Os calcaneus 1476-1631 m/s.

Weiterhin zeigt der Seitenvergleich am linken und rechten Os calcaneus, daß Broadband Ultrasound Attenuation und Speed of Sound als Parameter der Knochendichte nicht konform sind, da signifikante Seitenunterschiede nur bei der Speed of Sound auftreten, deren Werte sich jedoch bei allen in dieser Studie untersuchten Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz mit der Literaturangabe (10) decken.

Ferner gibt die Tatsache zu denken, daß Broadband Ultrasound Attenuation und Speed of Sound nur vereinzelt bei einigen Patienten signifikant korrelieren, wo doch beide Parameter das gleiche, nämlich die Knochendichte, ausdrücken sollen. Signifikante Korrelationen zu Laborparametern sind sowohl bei der Broadband Ultrasound Attenuation als auch bei der Speed of Sound vereinzelt nachzuweisen. Sie sind jedoch nicht konsistent.

Vereinzelt sind signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelationen der Ultraschall-Osteodensitometrie zu Alter, Body Mass Index, zwischen Broadband Ultrasound Attenuation und Speed of Sound untereinander sowie zu einigen Laborparametern, die den Knochenstoffwechsel widerspiegeln, nachweisbar.

Jedoch können diese Korrelationen nicht verallgemeinert werden, da diese oft nur bei einer Patientengruppe mit chronischer Niereninsuffizienz auftreten und dann meist nur einseitig an einem Os calcaneus.

Besteht weiterhin eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelation zur Broadband Ultrasound Attenuation, ist jedoch nicht automatisch gleichzeitig eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelation zur Speed of Sound oder umgekehrt vorhanden.

Broadband Ultrasound Attenuation und Speed of Sound beschreiben beide die Struktur der Substantia spongiosa des Knochens, jedoch ist die Speed of Sound für die Diagnostik der renalen Osteopathie kaum von Bedeutung, da zwar ein Trend abzulesen ist, jedoch die Meßwerte aller untersuchten Patienten mit bekannter chronischer Niereninsuffizienz in einem Bereich liegen, der auch in einer anderen Studie (10) als physiologisch bezeichnet wird.

Auch die Broadband Ultrasound Attenuation ist zur Diagnostik der renalen Osteopathie nicht geeignet, da die Meßergebnisse bei Männern und Frauen mit chronischer Niereninsuffizienz entgegen gesetzt sind. Zwar sind allgemein entsprechend den physikalischen und pathophysiologischen Grundlagen die Meßwerte der Broadband Ultrasound Attenuation am linken und rechten Os calcaneus bei den Frauen im Durchschnitt geringer als bei den Männern, jedoch

weisen die Frauen mit Nierentransplantation und Niereninsuffizienz Werte über dem Durchschnitt aller Frauen und die Männer mit Nierentransplantation und Niereninsuffizienz Werte unter dem Durchschnitt aller Männer auf, welches an dieser Stelle nicht zu klären ist und in weiteren Studien noch untersucht werden muß.

Währenddessen die Meßergebnisse der Speed of Sound entsprechend der Literaturangabe bei allen Patienten im Normbereich von 1489 m/s bis 1627 m/s für den nicht-dominanten Os calcaneus und von 1476 m/s bis 1631 m/s am dominanten Os calcaneus liegen (10), können zu den Meßergebnissen der Broadband Ultrasound Attenuation keine weiterführenden Literaturangaben herangezogen werden.

Die Speed of Sound läßt zumindest bei den Frauen einen Trend erkennen, bei denen die Meßwerte der Knochendichte bei der Gruppe mit Nierentransplantation über dem Durchschnitt aller Frauen und die Meßwerte bei der Gruppe mit Peritonealdialyse darunter liegen. Eine Differenzierung hinsichtlich der renalen Osteopathie anhand der Speed of Sound ist jedoch nicht möglich.

Mit den physikalischen und pathophysiologischen Grundlagen konform ist einzig die Tatsache, daß die Meßwerte der Speed of Sound und auch der Broadband Ultrasound Attenuation zur Bestimmung der Knochendichte bei den Frauen allgemein niedriger sind als bei den Männern. Insbesondere die Meßwerte der Broadband Ultrasound Attenuation bei den Frauen entsprechen sowohl am linken, als auch am rechten Os calcaneus dem Schweregrad der chronischen Niereninsuffizienz. So liegen die Meßwerte der Frauen mit Nierentransplantation und Niereninsuffizienz über dem Durchschnitt aller Frauen, die der Frauen mit Peritonealdialyse und Hämodialyse darunter.

Bei den Männern ist die Relation der Patientengruppen dem Ergebnis der Frauen entgegengesetzt. Hier liegen die Meßwerte der Broadband Ultrasound Attenuation bei den Männern mit Nierentransplantation und Niereninsuffizienz unter dem Durchschnitt der bei allen Männern bestimmten Broadband Ultrasound

Attenuation. Eine eindeutige Aussage zur Knochendichte anhand der Broadband Ultrasound Attenuation läßt sich also auch nicht ableiten.

Entsprechend den Meßdaten der Ultraschall-Osteodensitometrie ist die renale Osteopathie vom Alter des Patienten weitestgehend unabhängig.

Anzumerken ist jedoch, daß sich die Frauen, deren Knochendichte mit der Ultraschall-Osteodensitometrie bestimmt worden ist, mit durchschnittlich 55 Jahren mehrheitlich um den Zeitpunkt der Menopause befinden, so daß die Differenzierung zwischen renaler Osteopathie und postmenopausaler Osteoporose nicht eindeutig erfolgen kann.

Bei den Patienten mit Z.n. Nierentransplantation beeinflußt zusätzlich im Vergleich zu den anderen Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz die lebenslang einzunehmende Begleittherapie mit Glukokortikoiden und Immunsuppressiva die Knochendichte.

Auch die Konstitution der Patienten hinsichtlich Größe und Gewicht zeigt keinen wesentlichen Einfluß auf die Knochendichte. Hinsichtlich des Body Mass Index ist jedoch zu bemerken, daß sowohl Männer als auch Frauen in dieser Studie im Durchschnitt mit ihrer Relation von Körpergröße zu Körpergewicht an der oberen Grenze des Normalbereiches liegen. Patienten mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention und Nierentransplantation sind dabei im Durchschnitt schwergewichtiger als Patienten aus den anderen Untersuchungsgruppen.

Die Ultraschall-Osteodensitometrie mittels DTU-ONE ermöglicht ohne großen apparativen und zeitlichen Aufwand eine punktuelle Bestimmung der Knochendichte am Os calcaneus. Jedoch haben die Messungen im Links-rechts-Seitenvergleich und die anschließenden Korrelationsanalysen zu spezifischen Laborparametern ergeben, daß die renale Osteopathie anhand der Knochendichte, die mittels DTU-ONE bestimmt worden ist, nicht auf deren alleiniger Basis diagnostiziert oder therapiert werden kann.

Die auf diese Weise bestimmte Knochendichte ist immer im Kontext zum individuellen Patienten, dessen Klinik, Labor und Röntgen zu sehen.

Die in dieser Arbeit untersuchte Methode zur Bestimmung der Knochendichte ist verschiedenartig von unterschiedlichen Einflußgrößen abhängig. Ein weiterer Einflußfaktor auf die Messung der Knochendichte ist die Compliance des Patienten, die sich ebenso nicht standardisieren läßt.

Weiterführende Untersuchungen, Laborkontrollen, Knochenbiopsien, die dreidimensionale Darstellung der Knochen, verbunden mit Patienten und Untersucher belastenden Röntgenstrahlen (DEXA etc.) und deren Auswertung, sind zur Differenzierung der renalen Osteopathie unumgänglich.

Die Ultraschall-Osteodensitometrie mittels DTU-ONE in zweidimensionaler Darstellung gibt nur einen Hinweis, ob allgemein eine Osteopathie vorhanden ist, die jedoch durch bereits etablierte und standardisierte Untersuchungsmethoden verifiziert oder widerlegt werden muß.

Der Einsatz der Ultraschall-Osteodensitometrie im Therapieverlauf der renalen Osteopathie kann jedoch ergänzend erwogen werden. Sie ist für Patient und Arzt ein nicht strahlenbelastendes, relativ einfach zu handhabendes Untersuchungsverfahren. Sie könnte im Zusammenhang mit anderen Faktoren, wie Klinik, Labor und Röntgen, unter standardisierten Bedingungen jeweils am gleichen Os calcaneus, entweder links oder rechts, eine gewisse Verlaufskontrolle bei der Behandlung der renalen Osteopathie erlauben. Zur primären Diagnostik der renalen Osteopathie ist die Ultraschall-Osteodensitometrie allein jedoch nicht geeignet.

## 5. Zusammenfassung

Alle 76 Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz sind über 50 Jahre alt. Die Ultraschall-Osteodensitometrie ist weitestgehend vom Alter unabhängig. Auch der Body Mass Index hat keinen wesentlichen Einfluß auf die in dieser Studie gemessene Knochendichte. Die Meßergebnisse der Ultraschall-Osteodensitometrie selbst sind sehr differenziert zu werten. Beide Parameter, die BUA und die SOS, sollen entsprechend den physikalischen wie auch den pathophysiologischen Grundlagen gleichsinnig gerichtete Werte der Knochendichte sein. Beide Meßwerte beschreiben den Zustand der trabekulären Substantia spongiosa im Innern des Knochens. Der Vergleich zwischen den Meßwerten der Ultraschall-Osteodensitometrie am linken und rechten Os calcaneus ergibt bei Männern mit Peritonealdialyse sowie bei Frauen mit Hämodialyse und Z.n. Nierentransplantation hinsichtlich der SOS einen signifikanten Seitenunterschied. Eine Abhängigkeit der Ultraschall-Osteodensitometrie hinsichtlich der BUA vom Alter kann nur bei Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention nachgewiesen werden. Bei Männern mit Peritonealdialyse und bei Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention lassen sich Zusammenhänge zwischen BMI und BUA feststellen, ebenso bei Frauen mit Hämodialyse zwischen BMI und SOS. Signifikante Korrelationen zwischen Ultraschall-Osteodensitometrie und Laborparametern können nicht konsistent gesichert werden. BUA und SOS als Parameter der Knochendichte in der Osteodensitometrie korrelieren nicht miteinander und nicht gleichsinnig zu den Laborparametern. In den meisten Fällen läßt sich nur einseitig eine signifikante Korrelation zur BUA bzw. SOS nachweisen, entweder am linken oder rechten Os calcaneus. Die Ultraschall-Osteodensitometrie ist für Patient und Arzt ein nicht strahlenbelastendes, relativ einfach zu handhabendes Untersuchungsverfahren. Sie könnte im Zusammenhang mit anderen Faktoren, wie Klinik, Labor und Röntgen, unter standardisierten Bedingungen jeweils am gleichen Os calcaneus, entweder links oder rechts, eine gewisse Kontrolle bei der Behandlung der renalen Osteopathie erlauben. Zur primären Diagnostik der renalen Osteopathie ist die Ultraschall-Osteodensitometrie allein nicht geeignet.

## 6. Abkürzungsverzeichnis

AP	Alkalische Phosphatase
BMD	Bone Mineral Densitometry: Knochendichte
BMI	Body Mass Index
BUA	Broadband Ultrasound Attenuation
CI	Konfidenzintervall
dB/MHz	Dezibel pro Mega-Hertz
DEXA	Dual Energy X-ray Absorptiometry
d.h.	das heißt
DPA	Dual Photon Absorptiometry
HD	Hämodialyse
Max	Maximum
Min	Minimum
m/s	Meter pro Sekunde
MW	Mittelwert
n	Anzahl n
NI	Niereninsuffizienz
n.s.	nicht signifikant
NTX	Nierentransplantation
PD	Peritonealdialyse
pHPT	primärer Hyperparathyreoidismus
PTH	Parathormon
QCT	Quantitative Computertomographie
QUS	Quantitative UltraSound
range	Spannweite zwischen Minimum und Maximum
ROI	Region of Interest
SD	Standardabweichung
sHPT	sekundärer Hyperparathyreoidismus
SOS	Speed of Sound
SPA	Single Photon Absorptiometry
TSH	Thyreoidea stimulierendes Hormon
Z.n.	Zustand nach

## 7. Literaturverzeichnis

1. Landmann A: Heimdialyse Ja - aber wie ? Dialyse aktuell (1999) 50-51
2. Schulz W: Renale Osteopathie (ROP). Z Internist 40 (1999) 70-82
3. Lippert A: Lehrbuch der Anatomie. Urban & Schwarzenberg (1989) 123-125
4. Krüger H: Pathophysiologie. Urban & Schwarzenberg (1989) 498-512
5. Waldeyer A, Mayet L: Anatomie. Walter de Gruyter (1986) 109-115
6. Jorgensen HL, Hassager C: Improved reproducibility of broadband ultrasound attenuation of the os calcis by using a specific region of interest. Z Bone 21 (1) Jul (1997) 109-112
7. Heuck F: Qualitative und quantitative radiologische Analyse des Knochens - Knochenstruktur und Mineralgehalt. In: Dihlmann W, Frommhold W (Hrsg.): Radiologische Diagnostik in Klinik und Praxis Band VI, Teil 1. Thieme, Stuttgart, New York
8. Hübsch P, Schneider B, Seidl G, Kalchhauser G, Klaushofer K, Popovic R: DEXA und DPA zur Densitometrie des Schenkelhalses: Korrelation der Meßwerte dreier handelsüblicher Geräte. Z Akt Radiol 1 (1991) 169-173
9. Beneton MNC, Closkey Mc EV, Kanis JA: Evaluation of the DTU-ONE: Image-Based Ultrasound Attenuation Assessment of the Heel. 611
10. Jergas M, Uffmann R, Wittenberg R, Müller P, Köster O: Ultraschallgeschwindigkeitsmessungen an belastungstragenden und nicht-belastungstragenden Stellen des peripheren Skeletts - Der Einfluß körperlicher Aktivität bei Fußballspielern. Z Fortschr Röntgenstr 157, 4 (1992) 420-424

11. Strelitzki R, Tonscott JG: An evaluation of the reproducibility and responsiveness of four 'state-of-the-art' ultrasonic heel bone measurements systems using phantoms. *Z Osteoporos Int* 8 (2) (1998) 104-109
12. Hahn JM: Osteoporose, Osteomalazie. In: Checkliste Innere Medizin. Thieme, Stuttgart, New York (1997) 450-454
13. Jorgensen HL, Jorgensen LV, Hassager C, Mollgard A, Christiansen C: Quantitative ultrasound (QUS) on a specific region of interest (ROI) of the Os calcis: a new imaging technique. *Z Appl Radiat Isot* 49 (5-6) May-Jun (1998) 681-683
14. Roux C, Fournier B, Laugier P, Chappard C, Kolta S, Dougados M, Berger G: Broadband ultrasound attenuation imaging: a new imaging methode in osteoporosis. *Z J Bone Miner Res* 11 (8) Aug (1996) 1112-1118
15. Han S, Rho J, Medige J, Ziv I: Ultrasound velocity and broadband attenuation over a wide range of bone mineral density. *Z Osteoporos Int* 6 (4) (1996) 291-296
16. Fournier B, Chappard C, Roux C, Berger G, Laugier P: Quantitative ultrasound imaging at the calcaneus using an automatic region of interest. *Z Osteoporos Int* 7 (4) (1997) 363-369
17. Langton CM, Langton DK: Comparison of bone mineral density and quantitative ultrasound of the calcaneus: site-matched correlation and discrimination of axial BMD status. *Z Br J Radiol* 73 (865) Jan (2000) 31-35
18. Diessel E, Fuerst T, Njeh CF, Hans D, Cheng S, Genant HK: Comparison of an imaging heel quantitative ultrasound device (DTU-ONE) with densitometric and ultrasonic measurements. *Z Br J Radiol* 73 (865) Jan (2000) 23-30

19. Bone ultrasound and diagnosis of osteoporosis correlation of 2 quantitative ultrasound methods with bone density. *Z Schweiz Rundsch Med Prax* 87 (51-52) Dec 24 (1998) 1828-1829
  
20. Tokuda N, Uozumi J, Kumazawa J, Yamasaki T, Kano M: Bone mineral density (BMD) of the calcaneus bone in 72 dialysis patients measured by ultrasonic bone absorptiometry. *Z Nippon Hinyokika Gakkai Zasshi* 89 (7) Jul (1998) 629-634
  
21. Foldes AJ, Arnon E, Popovtzer MM: Reduced speed sound in tibial bone of haemodialysed patients: association with serum PTH level. *Z Nephrol Dial transplant* 11 (7) Jul (1996) 1318-1321
  
22. Scholz GH, Scherbaum WA: Nebenschilddrüse. In: Schettler G, Greten H (Hrsg): *Innere Medizin Band I*. Thieme, Stuttgart, New York (1998) 568-587

## **Thesen**

1. Nichtinvasive Untersuchungsmethoden zur Diagnostik der renalen Osteopathie können qualitativ oder quantitativ sein. Konventionelle Röntgenuntersuchungen stellen sehr gut qualitative Besonderheiten der Knochenstruktur dar. Etablierte quantitative Meßverfahren zur Bestimmung der Knochendichte sind z.B. die Photonenabsorptiometrie (Single Photon Absorptiometry, Dual Photon Absorptiometry), die Quantitative Computertomographie und die Röntgenabsorptiometrie (Dual Energy X-ray Absorptiometry).

Die Ultraschall-Osteodensitometrie, eine relativ neue Methode zur quantitativen Bestimmung der Knochendichte, bietet zwei Parameter zur Messung der Knochendichte, die Broadband Ultrasound Attenuation, die frequenzabhängige Dämpfung der Ultraschallwellen in dB/MHz, und die Speed of Sound, die Geschwindigkeit der Ultraschallwellen in m/s.

2. Hinsichtlich der Abhängigkeit der Knochendichte vom Alter läßt sich nur bei Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention eine signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelation zwischen Alter und Broadband Ultrasound Attenuation am rechten Os calcaneus nachweisen.

3. Signifikante Korrelationen ( $p < 0,05$ ) zwischen Body Mass Index und Broadband Ultrasound Attenuation lassen sich bei Männern mit Peritonealdialyse und bei Frauen mit Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention sowohl am linken als auch am rechten Os calcaneus nachweisen. Bei Frauen mit Hämodialyse korrelieren signifikant ( $p < 0,05$ ) miteinander Body Mass Index und Speed of Sound sowohl am linken als auch am rechten Os calcaneus.

4. Die Broadband Ultrasound Attenuation ist im Durchschnitt bei Männern mit chronischer Niereninsuffizienz im Vergleich zu Frauen sowohl am linken als auch am rechten Os calcaneus höher. Unter den Männern sind die Werte der Broadband Ultrasound Attenuation am linken Os calcaneus höher als am rechten.

Die höchsten Werte weisen Männer mit Hämodialyse und Peritonealdialyse auf. Bei Frauen mit Z.n. Nierentransplantation und Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention sind die Werte der Broadband Ultrasound Attenuation am rechten Os calcaneus höher als am linken.

5. Zwischen der Broadband Ultrasound Attenuation und der Speed of Sound lassen sich nur bei Männern mit Z.n. Nierentransplantation signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelationen nachweisen. Im Links-rechts-Vergleich lassen sich weder bei Männern noch bei Frauen signifikante Seitenunterschiede hinsichtlich der Broadband Ultrasound Attenuation feststellen.

6. Die Meßergebnisse der Speed of Sound entsprechen bei allen untersuchten Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz den Werten anderer Studien an gesunden Probanden. Die Werte der Speed of Sound sind bei Männern am linken Os calcaneus etwas höher als am rechten.

Unter den Männern sind die Meßdaten der Speed of Sound bei denen mit Hämodialyse und Niereninsuffizienz im Stadium der kompensierten Retention am höchsten.

Bei den Frauen sind die Werte der Speed of Sound am rechten Os calcaneus höher als am linken, vor allem bei denen mit Z.n. Nierentransplantation und Hämodialyse.

7. Im Links-rechts-Vergleich lassen sich hinsichtlich der Speed of Sound nur bei Männern mit Peritonealdialyse sowie bei Frauen mit Hämodialyse und Z.n. Nierentransplantation signifikante ( $p < 0,05$ ) Seitenunterschiede am Os calcaneus nachweisen.

8. Es lassen sich signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelationen zwischen Broadband Ultrasound Attenuation (BUA) und Alter, Body Mass Index (BMI), Speed of Sound (SOS), Phosphat, Parathormon (PTH), 25-OH-Cholekalziferol, Thyreoidea stimulierendes Hormon (TSH), freies Trijodthyronin und freies Thyroxin nachweisen.

9. Mit der Speed of Sound (SOS) korrelieren signifikant ( $p < 0,05$ ) Body Mass Index (BMI), Broadband Ultrasound Attenuation (BUA), Alkalische Phosphatase, Gesamteiweiß, Parathormon (PTH), Ostase, 25-OH-Cholekalziferol und freies Trijodthyronin.

10. Die Ultraschall-Osteodensitometrie mittels DTU-ONE allein ist zur Diagnostik und Therapiekontrolle der renalen Osteopathie primär nicht geeignet. Da dieses Verfahren zur Bestimmung der Knochendichte jedoch nicht invasiv, ohne belastende Röntgenstrahlen sowohl für die Patienten als auch für den Untersucher und ohne großen Zeitaufwand relativ einfach zu handhaben ist, kann der ergänzende Einsatz dieser Ultraschall-Osteodensitometrie von Fall zu Fall diskutiert werden.

## Lebenslauf

<b>zur Person</b>	Ina Goraus geboren am 04.08.1975 in Halle (Saale)
<b>Schulbildung</b>	1982 - 1990 Allgemeinbildende Schule Halle (Saale)
	1990 - 1994 Gymnasium "Landesschule Pforte" Schulpforte
<b>Studium</b>	1994 Beginn des Studiums der Medizin Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
	1996 Ärztliche Vorprüfung
	1997 Erstes Staatsexamen
	1999 Zweites Staatsexamen
	1999 - 2000 Praktisches Jahr:
	Innere Medizin Diakonie-Krankenhaus Halle (Saale)
	Chirurgie Städtisches Krankenhaus "Martha Maria", Halle-Dörlau
	Anästhesie Universitätsklinikum Kröllwitz Halle (Saale)
	2000 Drittes Staatsexamen
<b>Teilapprobation</b>	12/00 - 08/01 ÄiP in Anästhesie / Intensivmedizin "St. Elisabeth und St. Barbara"- Krankenhaus, Halle (Saale)
	09/01 - 05/02 ÄiP in Anästhesie / Intensivmedizin BG-Kliniken "Bergmannstrost", Halle (Saale)
<b>Vollapprobation</b>	06/02 - 12/02 Ass.-Ärztin Anästhesie / Intensivmedizin BG-Kliniken "Bergmannstrost", Halle (Saale)
	seit 01/03 Ass.-Ärztin Anästhesie / Intensivmedizin Kreiskrankenhaus Calw

### **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen erstellt habe.

Außerdem erkläre ich, daß ich zu keinem Zeitpunkt diese Arbeit oder eine andere Arbeit zu einem anderen Thema an einer medizinischen Fakultät zur Promotion eingereicht habe.

Halle (Saale), den 28.08.2003

## **Danksagung**

Ich möchte mich recht herzlich bedanken bei

Herrn Prof. Dr. med. B. Osten, Direktor der Universitätsklinik für Innere Medizin II der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, für die freundliche Überlassung des Themas,

Herrn PD Dr. med. H. J. Deuber, ehemals Klinik für Innere Medizin II der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, für die hervorragende Betreuung meiner Dissertation und seine ständige Bereitschaft und sofortige Präsenz bei Problemen und Fragestellungen,

Herrn Kaßner, Vertrieb der Fa. Osteometer MediTech A/S Dänemark, für die freundliche Bereitstellung des Ultraschall-Osteodensitometrie-Gerätes,

Herrn Doz. Dr. rer. nat. habil. H.-J. Hein, Centre of Radiology, Biochemics & Structure Research der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, für die Einführung in die Problematik der Ultraschall-Osteodensitometrie.