

Aus dem Institut für Tieranatomie
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Tieranatomie (I), insbesondere
Systematische und Topographisch-klinische Anatomie
Vorstand: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. H.-G. Liebich

Angefertigt unter der Leitung von
PD Dr. Sven Reese

Sonographische Untersuchungen der Nieren beim Frettchen (*Mustela putorius f. furo* L. 1758)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Daniela Gorgas
aus
Friedrichshafen

München 2004

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. A. Stolla
Referent:	Priv.-Doz. Dr. S. Reese
Korreferent:	Univ.-Prof. Dr. H. Ammer

Tag der Promotion: 23. Juli 2004

Meiner Tante Moni

Inhaltsverzeichnis

I.	Einleitung	1
II.	Literatur	2
1.	Zoologische Einordnung des Frettchens	2
2.	Anatomie der Niere des Frettchens	2
2.1.	Topographie und Aufbau der Niere	2
2.2.	Blutgefäße der Niere	3
3.	Pathologisch-anatomische Veränderungen der Niere	4
3.1.	Nierenzysten	4
3.2.	Nephrokalzinosen.....	6
3.3.	Nephrolithiasis.....	7
3.4.	Hydronephrose.....	8
4.	Sonographie der Niere	9
4.1.	Schallpositionen	9
4.2.	Schnittebenen	10
4.3.	Sonographische Anatomie der Niere.....	10
4.4.	Pathologische Nierenveränderungen in der zweidimensionalen Sonographie	11
5.	Dopplersonographie der arteriellen Nierengefäße.....	18
5.1.	Qualitative Beurteilung der mit dem pulsed-wave Doppler erstellten Flußkurven	19
5.2.	Quantitative Beurteilung der mit dem pulsed-wave Doppler erstellten Flußkurven	19
III.	Material und Methoden	29
1.	Material	29
1.1.	Technische Ausrüstung.....	29
1.2.	Tiere	29
2.	Methode	30
2.1.	Vorbereitung der Tiere auf die Sonographie	30
2.2.	Sonographische Untersuchungen	31
2.3.	Dopplersonographische Untersuchung	33
2.4.	Statistische Methoden.....	35

IV. Ergebnisse	36
1. B-Bild Sonographie	36
2. Dopplersonographie der intrarenalen Gefäße der linken Niere	44
2.1. Darstellung der Nierengefäße	44
2.2. Duplex-Dopplerverfahren	45
V. Diskussion.....	51
1. Methode	51
2. B-Bild-Sonographie	52
3. Farbkodierte Dopplersonographie der Nierengefäße	55
4. PW Dopplersonographie	56
4.1. Bewertung der Kurvenmorphologie	56
4.2. Bewertung der meßbaren Parameter	56
VI. Zusammenfassung.....	60
VII. Summary.....	62
VIII. Literaturverzeichnis	64

I. Einleitung

Durch die Zunahme in privater Haltung werden Frettchen vermehrt auch als Patienten in der Kleintierpraxis vorgestellt. Mit dem Stellenwert des Einzeltieres sind auch die Ansprüche an die Diagnostik gestiegen. Somit werden bildgebende Verfahren wie die Sonographie als nicht invasive Untersuchungsmethode zunehmend auch in der Heimtierpraxis gewünscht und angewendet. Die sonographische Untersuchung ist für das Frettchen in der Literatur bisher kaum dokumentiert.

In aktuelleren Untersuchungen zum Frettchen wurden sonographisch häufig Nierenveränderungen in Form von Nierenzysten oder Nephrokalzinosen festgestellt, deren klinische Bedeutung jedoch bisher unbekannt ist. Die B-Bild Sonographie eignet sich sehr gut zur Darstellung dieser Parenchymveränderungen, gibt aber keine weiteren Aufschlüsse über den funktionellen Einfluß dieser Veränderungen. Eine dopplersonographische Untersuchung der Nierenarterien könnte hier jedoch Hinweise auf eine Beeinträchtigung der Nierenfunktion liefern.

Während die Dopplersonographie renaler Gefäße bei Hund und Katze ein etabliertes Verfahren darstellt und in standardisierter Form angewendet wird, ist dies beim Frettchen bisher nicht beschrieben.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Anwendung und Einsetzbarkeit verschiedener sonographischer Verfahren beim Frettchen zu prüfen und die Untersuchungstechnik für einen klinischen Einsatz zu etablieren. Dabei sollen Referenzwerte für sonographisch unauffällige Nieren erstellt werden und die am häufigsten auftretenden Veränderungen beschrieben werden. Mit Hilfe der Dopplersonographie sollen die Fließparameter der Nierengefäße bestimmt werden und untersucht werden durch welche renalen und extrarenalen Faktoren diese beeinflusst werden.

II. Literatur

1. Zoologische Einordnung des Frettchens

In der derzeitigen Literatur existieren zahlreiche voneinander abweichende Einordnungen des Frettchens in die zoologische Systematik. Da eine Aufführung sämtlicher Quellen den Rahmen dieses Kapitels überschreiten würde, wird hier lediglich ein aktuelles Standardwerk zitiert. Danach ist das Frettchen *Mustela putorius* f. *furo* Linnaeus 1758 durch Domestikation aus der Art *Mustela putorius* Linnaeus 1758 (Europäischer oder Waldiltis) hervorgegangen. Diese gehört zur Gattung der Erd- und Stinkmarder (*Mustela*), welche in der Subfamilie *Mustelinae* (Wieselartige) der Familie der *Mustelidae* (Marder) angehört. Die Superfamilie bilden die Bären- und Marderartigen (*Arctoidea*), die der Subordo *Fissipedia* (Landraubtiere) in der Ordo Carnivora (Fleischfresser) angehören (STARCK 1995).

2. Anatomie der Niere des Frettchens

2.1. Topographie und Aufbau der Niere

Beide Nieren befinden sich extrathorakal in den retroperitonealen Fettkörper eingebettet (HOFFMANN 1956). Mit ihrer Dorsalfläche liegen sie der Lendenmuskulatur an, ihre der Bauchhöhle zugewandte ventrale Oberfläche ist von Peritoneum überzogen (EVANS und AN 1998).

Nach Angaben von HOFFMANN (1956) wird die rechte Niere auf Höhe der letzten Rippe bzw. auf Höhe des 14. Thorakalwirbels vom Processus caudatus der Leber kappenartig umfaßt. Ihre Ventralfläche berührt den Duodenalschenkel des Pankreas und das Colon ascendens. Die Vena cava caudalis ist medial eng benachbart. Auf Hilushöhe der rechten Niere liegt der kraniale Pol der linken Niere, der dem Pankreas und der linken Nebenniere benachbart ist. Die kraniolaterale Oberfläche der linken Niere liegt der Medialfläche der Extremitas dorsalis der Milz, der großen Kurvatur des Magens und dem großen Netz an. Ihr kaudaler Pol liegt dem Colon des-

descendens und bei weiblichen Tieren dem Mesovar an. Colon descendens, Mesocolon und Duodenum ascendens befinden sich medial der linken Niere (HOFFMANN 1956).

Die Länge der ausgesprochen bohnenförmigen Nieren ist - wie auch das Nierengewicht - von der Körpergröße und damit vom Geschlecht abhängig. Das mittlere Gewicht ist bei Rüden mit 4,5 g und bei Fähen mit 3,7 g angegeben; die Nierenmasse nimmt 0,27 - 0,38 % der Körpermasse ein (EVANS UND AN, 1998).

Die Länge der Nieren variiert zwischen 2,4 und 3,0 cm, die Breite zwischen 1,2 und 1,35 cm und die Dicke zwischen 1,10 und 1,35 cm (EVANS UND AN 1998).

Die Nieren gehören aus vergleichend anatomischer Sicht zum glatten und einwarzigen Typ (HOFFMANN 1956). In der Literatur bestehen keine weiteren Angaben über den mikroskopisch-anatomischen Aufbau der Nieren des Frettchens.

2.2. Blutgefäße der Niere

Arteriell System:

Die Aa. renales dextra und sinistra gehen aus der Aorta abdominalis hervor (EVANS UND AN 1998). Angaben über die Höhe der Abzweigung sowie über die intrarenalen Gefäßaufzweigungen beim Frettchen fehlen der Literatur. Bei Hund, Katze und anderen Fleischfressern entspringt die Arterie der rechten Niere weiter kranial als die der linken Niere (WAIBL UND WILKENS 1996). Prinzipiell ist anzunehmen, daß die anatomischen Verhältnisse der Nierengefäße beim Frettchen im wesentlichen mit denen anderer Fleischfresser übereinstimmen. Im folgenden wird daher auf die Angaben von Hund und Katze zurückgegriffen.

Im Hilusbereich teilt sich jede Arterie in zwei oder mehrere Äste, aus denen die im Organ verlaufenden Aa. interlobares hervorgehen. An der Grenze zwischen Nierenrinde und Nierenmark verzweigen sich die Arterien in mehrere kleinere Aa. arcuatae, die parallel oder spitzwinklig zur Nierenoberfläche verlaufen. Aus diesen gehen in radiärem Verlauf die Aa. interlobulares hervor, von denen die Vasa afferentia zu den Glomerula ziehen. Die Arterien der Niere besitzen keine Anastomosen untereinander und sind somit Endarterien (WAIBL UND WILKENS 1996).

Venöses System

Angaben zum venösen System der Niere beim Frettchen finden sich lediglich in einer Veröffentlichung (HOFFMANN 1956). Hiernach ziehen unter der Nierenkapsel etwa drei bis fünf Vv. stellatae vom Nierenhilus bis etwa zur Mitte der Dorsal- bzw. Ventralfläche der Niere. Angaben zu den übrigen Nierenvenen fehlen.

Beim Fleischfresser erfolgt der venöse Rückfluß aus dem Nierenmark über die Vv. rectae und aus der Nierenrinde über die Vv. interlobulares. Im Unterschied zum arteriellen System bestehen unter den Venen Anastomosen. Der weitere Verlauf der Venen erfolgt parallel zu dem der Arterien. Über einen aus den Vv. arcuatae gebildeten Venenplexus gelangt das Blut zu den Vv. interlobares und schließlich zur V. renalis, die in der V. cava caudalis mündet (WAIBL UND WILKENS 1996).

3. Pathologisch-anatomische Veränderungen der Niere

Im folgenden wird auf beim Frettchen auftretende Nierenerkrankungen näher eingegangen. Bisher sind Nierenerkrankungen des Frettchens wenig beschrieben, gehören allerdings zu den beim Pelztier, wie Nerz und Fuchs, häufig auftretenden Erkrankungen (WENZEL UND BERESTOV 1987). Sie können primär in degenerative (Nephrosen) und entzündliche (Nephritiden) Erkrankungen unterteilt werden (WENZEL UND BERESTOV 1987).

3.1. Nierenzysten

Bei Nierenzysten handelt es sich um solitär oder multipel auftretende Parenchymdefekte in Nierenmark oder Nierenrinde, die mit kubischem oder abgeflachtem Epithel ausgekleidet sind. Der Inhalt dieser meist erbsen- bis haselnußgroßen Zysten ist wäßrig bis opak. Nierenzysten treten ein- oder beidseitig auf und kommen bei allen Haussäugetieren vor. (WEISS 1999)

Beim Frettchen treten Veränderungen in Form von Nierenzysten relativ häufig auf (HILLYER 1997, ORCUTT 2003). Bei der pathologischen Untersuchung von 50 Frettchen aus der Versuchstierhaltung wurden bei 5 Tieren Zysten mit einem maximalen Durchmesser von 3mm im juxtamedullären Bereich gefunden (ANDREWS 1979). Eine

andere Studie, in der die Nieren von 27 Frettchen histologisch untersucht wurden, ergab bei zwei von 27 Tieren den Befund von Nierenzysten im Rindenbereich (ESTEVEZ ET AL. 1994).

Die pathologische Untersuchung eines drei Jahre alten Frettchens, das beidseits vergrößerte Nieren mit unregelmäßiger Oberfläche aufwies, ergab zahlreiche unterschiedlich große, flüssigkeitsgefüllte Zysten in Nierenmark und -rinde (DILLBERGER 1985). Die Ureteren des untersuchten Tieres waren durchgängig und die übrigen Organe ohne besonderen Befund. Bei der histologischen Untersuchung dieser Nieren wurden mit kubischem Epithel ausgekleidete Zysten festgestellt. Das zwischen den Zysten liegende Nierengewebe war fibrotisch verändert und mit zahlreichen lymphozytären Infiltraten durchsetzt. In vielen nicht zystisch veränderten Bereichen der Niere waren Glomerula und Tubuli ohne besonderen Befund. Trotz der Abwesenheit zystischer Veränderung in anderen Organen geht der Autor aufgrund der diffusen Verteilung der Zysten im Nierenparenchym von einer polyzystischen Erkrankung aus.

PUERTO ET AL. (1998) berichten von einem Frettchen mit perirenenalen Pseudozysten, dessen Nieren innerhalb der Pseudozyste polyzystisch verändert waren.

Es gibt keinerlei Berichte über das Auftreten von Nierenzysten in Zusammenhang mit anderen zystischen Veränderungen, und es bestehen auch keine Untersuchungen über die Vererbung von Nierenzysten beim Frettchen. Die Ätiologie ist bei dieser Tierart bisher nicht geklärt (HILLYER 1997).

Pathogenetisch werden allgemein kongenitale und erworbene Zysten unterschieden (BERNSTEIN 1976). Auch angeborene zystische Nierenerkrankungen manifestieren sich allerdings häufig erst im fortgeschrittenen Alter. Bei den erworbenen Zysten handelt es sich um Retentionszysten oder sekundäre Zysten. Diese findet man vor allem im Bereich von Narben und in Schrumpfnieren (WEISS 1999).

Polyzystische Nierenerkrankungen mit autosomal dominantem Erbgang sind ein bei Perserkatze (BILLER ET AL. 1990, PEDERSEN ET AL. 2003), Bullterrier (O'LEARY 1999), Kaninchen (FOX ET AL. 1971), Mäusen (COWLEY ET AL. 1993, SCHIEREN ET AL. 1996), Nerz (HENRIKSEN 1988) und Schwein (WELLS ET AL. 1980, WIJERATNE UND WELLS 1980) bekanntes Krankheitsbild und entsprechen der ADPKD des Menschen, einem angeborenem polyzystischem Krankheitsbild, dessen morphologische Veränderungen und klinischen Erscheinungen im Erwachsenenalter auftreten. Eine angeborene

polyzystischen Nierenerkrankung mit rezessivem Erbgang, wie die ARPKD beim Menschen, manifestiert sich bereits perinatal oder in früher Kindheit und wurde entsprechend bei Mäusen (GIALAMAS ET AL. 1987), Schweinen (REINDEL ET AL. 1988), Katzen (CROWELL ET AL. 1979) und Hunden (MC KENNA UND CARPENTER 1980, MC ALOOSE ET AL. 1998) festgestellt.

Die Veränderungen polyzystischer Nierenerkrankungen können sich auch extrarenal manifestieren. Hierbei können verschiedene Organe betroffen sein. In einigen Veröffentlichungen wird das zusätzliche Auftreten von Leberzysten beschrieben (EATON ET AL. 1997, MEYER-LINDENBERG ET AL. 1998, BOSJE ET AL. 1998, GERWING ET AL. 1999, PEDERSEN ET AL. 2003). Die Häufigkeit des Auftretens zystischer Veränderungen in der Leber wird bei Katzen sehr unterschiedlich angegeben und variiert von unter 10% (EATON ET AL. 1997, MEYER-LINDENBERG ET AL. 1998, GERWING ET AL. 1999) bis zu 67% (BOSJE ET AL. 1996). Daneben wurden vereinzelt Zysten im Pankreas (SKRODZKI ET AL. 1992, BOSJE ET AL. 1998) und in der Lunge (SKRODZKI ET AL. 1992).

Nierenzysten können beim Frettchen klinisch inapparent sein oder mit einer Einschränkung der Nierenfunktion und klinischen Zeichen von Niereninsuffizienz einhergehen (HILLYER 1997). Häufig handelt es sich um eine Zufallsdiagnose die mittels Abdomenpalpation, Ultraschall oder während eines chirurgischen Eingriffs gestellt wird. Eine therapeutische Nephrektomie ist nur im Fall eines einseitigen Auftretens von Nierenzysten angezeigt (HILLYER 1997, ORCUTT 2003).

3.2. Nephrokalziosen

Eine Hyperkalzämie, deren Ausmaß die renale Rückresorptionskapazität überschreitet, führt zur Nephrokalzinose. Infolge einer Schädigung der Zellen durch hohe Kalziumkonzentrationen kommt es zur Ablagerung des Kalziums in den Tubulusepithelien, der Basalmembran und in der Henleschen Schleife. Die Mark-Rinden-Grenze stellt beim Menschen die klassische Lokalisation von Kalziumablagerungen in der Niere dar. (SHUMAN ET AL. 1981)

Beim Frettchen gibt es bislang keine systematischen Untersuchungen zum Auftreten von Nephrokalziosen. Lediglich in einer Veröffentlichung wird erwähnt, daß bei drei

von 27 Tieren, deren Nieren histologisch untersucht wurden, fokale Mineralisationen festgestellt wurden (ESTEVEZ 1994).

Beim dem Frettchen nahe verwandten Nerz sowie bei anderen karnivoren Pelztieren sind Kalkablagerungen in der Niere ein lange bekanntes Phänomen (LÖLIGER 1970, WENZEL UND BERESTOV 1987). Als mögliche Ursache für die Kalziumablagerungen wird eine alimentär bedingte Alkalisierung des Harns vermutet, die zur Ausfällung von Kalzium- und Magnesiumphosphat führt (LÖLIGER 1970, WENZEL UND BERESTOV 1987). Weiterhin wird ein Vitamin D Mangel sowie eine Störung des Kalzium- Phosphor-Verhältnisses in der Futterration als Ursache diskutiert (WENZEL UND BERESTOV 1987). Nach Untersuchungen von LÖLIGER (1970) treten die Verkalkungen typischerweise im Bereich der Sammelrohre auf, wo sie sich als intratubuläre Kalkzylinder manifestieren. Da klinische Symptome zumeist fehlen, werden die Veränderungen häufig nur als Zufallsbefund bei der pathohistologischen Untersuchung der Niere im Rahmen einer Sektion festgestellt (LÖLIGER 1970). Nach anderen Untersuchungen können in schweren Fällen von Nephrokalzinosen beim Pelztier Polydipsie, Ödembildung und Abmagerung beobachtet werden (WENZEL UND BERESTOV 1987).

3.3. Nephrolithiasis

Nierensteine werden in der Literatur als relativ häufig auftretende Pathologie beim Frettchen angegeben (NGUYEN 1979, WENZEL UND BERESTOV 1987, BELL 1996). Bei der pathologischen Untersuchung 43 gestorbener Frettchen wurden in drei Fällen Nierensteine mit einer Größe von bis zu 0,8 cm gefunden (NGUYEN 1979). Diese Steine traten ein- oder beidseitig auf, ihre Oberfläche variierte von glatt bis rauh und ihre Farbe von gelblich bis bräunlich. Zwei der Tiere hatten zusätzlich Blasensteine, eines einen Stein in der Urethra. Die Untersuchung von zwei dieser Blasensteine ergab sowohl bei der glatten als auch bei der rauhen Steinform Struvit. Auch in anderen Studien über Urolithiasis beim Frettchen wird Struvit einheitlich als häufigste Form von Nierensteinen beschrieben (NGUYEN 1979, HILLYER 1997, ANTINOFF 1998). Ursächlich werden Zusammenhänge mit Ernährung und Wasseraufnahme diskutiert (NGUYEN 1979). Untersuchungen ergaben, daß kommerzielle Hunde- und Katzenfutter, die als Eiweißquelle vorwiegend pflanzliche Proteine beinhalten, durch Alkalisierung des Harns die Entstehung von Struvit begünstigen (BELL 1996, HILLYER 1997). Zusätzlich führen bakterielle Infektionen mit *Staphylokokken*, *Pseudomonas* und

Proteus durch Spaltung von Harnstoff zur Übersättigung mit Magnesium-Ammonium-Phosphat bei gleichzeitiger Alkalisierung des Harns (HILLYER 1997). Neueren Berichten zufolge ist die Zahl der an Urolithiasis erkrankten Tiere in der Praxis zurückgegangen (BELL 1996, HILLYER 1997, ORCUTT 2003). Es wird von einigen Autoren vermutet, daß die Abnahme von Nieren- und Blasensteinen sowie von Harngries beim Frettchen auf die Umstellung der Fütterung von pflanzenproteinreichem Hunde- oder Katzenfutter auf hochwertigere Katzenfutter zurückzuführen ist. Die Pathogenese von Nierensteinen beim Frettchen ist jedoch noch nicht vollständig geklärt (BELL 1996, HILLYER 1997, ORCUTT 2003). Als Therapie wird eine chirurgische Entfernung der Steine vorgeschlagen (ROSENTHAL 1994, HILLYER 1997).

Beim Nerz ist auch eine Urat-Nephrolithiasis beschrieben, die durch einen vererbten Defekt im Harnsäuremetabolismus bzw. in der Harnsäureausscheidung ausgelöst wird (TOMLINSON ET AL. 1982). Entsprechendes ist beim Frettchen bisher nicht beschrieben worden.

3.4. Hydronephrose

Durch angeborene oder erworbene Verschlüsse in Nierenbecken, Harnleiter, Blase oder Harnröhre kommt es zu einer Abflußbehinderung des Harns. Dieser führt zu einer Erweiterung des Nierenbeckens schließlich durch Druckatrophie zu einem Parenchymschwund. Ein Auftreten ist uni- oder bilateral möglich. Erworbene Verschlüsse können in Form von Harnsteinen, invasiv wachsenden Tumoren, Blasenentzündungen oder -verlagerungen, Strikturen sowie iatrogen durch Kompression der Harnleiter zu Stauungen im Bereich der harnableitenden Wege führen. (WEISS 1999)

Bei den in der Literatur beschriebenen Fällen von Hydronephrosen beim Frettchen handelt es sich zumeist um Einzelfallberichte (ANDREWS ET AL. 1979, NELSON 1984, HILLYER 1997, KÜNZEL ET AL. 2003).

Neben Urolithen (vgl. Kap.3.3) werden als Ursache für Harnstauungen beim Frettchen Helminthen genannt, die sich im Nierenbecken oder in den Harnleitern befinden (WENZEL UND BERESTOV 1987). Des weiteren sind beim Frettchen paraurethrale Zysten und Prostatamegalien (VOLGENAU ET AL. 1998) sowie durch Ligation im Zuge der Kastration bedingte Harnleiterverschlüsse als Ursache für Hydroureter und Hydro-

nephrosen beschrieben (ANDREWS 1979, NELSON 1984, HILLYER 1997, KÜNZEL ET AL. 2003).

Klinisch verlaufen leichtere Fälle einer Hydronephrose meist symptomlos (WENZEL UND BERESTOV 1987). In schwereren Fällen werden laut WENZEL UND BERESTOV (1987) vermehrter Durst, Ödeme und fortschreitende Abmagerung festgestellt. Nach Angaben von GABRISCH (1995) sind Hydronephrosen beim Frettchen sehr oft durch eine Pyelonephritis überlagert. Therapeutisch wird eine Nephrektomie vorgeschlagen, die jedoch nur bei einseitiger Hydronephrose sinnvoll ist (HILLYER 1997).

4. Sonographie der Niere

Bei Erkrankungen des Urogenitaltraktes gehören sonographische Untersuchungen in der Veterinärmedizin zum Untersuchungsstandard. Die Vorteile der Sonographie im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren liegen hier in der einfachen Durchführung der Untersuchung sowie dem hohen Informationsgehalt über Größe, Oberfläche und Architektur parenchymatöser Organe (RIVERS UND JOHNSTON 1996, NYLAND ET AL. 2002). Im Gegensatz zum Röntgenbild ist bei der sonographischen Untersuchung von Nierenveränderungen auch bei Kontrastverlust im Abdomen eine Diagnosestellung möglich (WALTER ET AL 1987 b).

4.1. Schallpositionen

Die Schallpositionen zur Untersuchung der Nieren beim Fleischfresser sind standardisiert. Die Durchführung dieses etablierten Untersuchungsganges ist für das Frettchen bisher nicht beschrieben.

Zur Darstellung der Niere wird der Schallkopf in der Regio umbilicalis rechts bzw. links paramedian senkrecht zum Abdomen aufgesetzt und geringgradig nach kaudolateral geschwenkt (SCHOLZ 1992).

Alternativ kann der Schallkopf kaudal des Rippenbogens im Bereich der Regio abdominalis und lumbalis aufgesetzt werden. Die Untersuchung der linken Niere erfolgt auf Höhe des 2. - 4. Lendenwirbels etwa zweifingerbreit ventral des Querfortsatzes, die der rechten Niere - entsprechend ihrer etwas weiter kranialen Lage - auf Höhe des 2. - 3. Lendenwirbels (SCHOLZ 1992).

4.2. Schnittebenen

Zur Beurteilung der Nieren sollten Schnitte in mindestens drei Ebenen angefertigt werden. Hierzu wird in der Längsachse des Organs ein Sagittal- sowie ein Dorsal- oder Horizontalschnitt, in der Querachse ein Transversalschnitt erzeugt (SCHOLZ 1992).

Damit lokal begrenzte Veränderungen nicht übersehen werden, sollte das Organ innerhalb jeder Ebene anhand mehrerer Schnitte durchgemustert werden (JANTHUR u. LUERSSEN 1998).

Nicht exakt eingehaltene Schnittebenen erschweren die Orientierung und machen das Zuordnen von Veränderungen teilweise unmöglich (WALTER ET AL. 1987 b).

4.3. Sonographische Anatomie der Niere

Aufgrund fehlender Literaturangaben zum Frettchen wird im folgenden die sonographische Anatomie feliner und caniner Nieren beschrieben.

Im Sagittalschnitt können aufgrund der Echogenität drei deutlich abgegrenzte Zonen unterschieden werden, die von einer stark echogenen Nierenkapsel fein umrandet werden. Die Cortex renalis ist aus zahlreichen Einzelechos zusammengesetzt und stellt sich relativ echogen dar. Über die Columnae renalis setzt sich dieses Echomuster in die echoarme bis anechogene Medulla renalis fort. Das Bindegewebe der Recessus pelvis stellt sich stark echogen dar (KONDE 1984, SCHOLZ 1992, WOOD UND MC CARTHY 1990). Bei 5 von 100 in einer Studie untersuchten Katzen war das echofreie Nierenbecken sichtbar (SCHOLZ 1992). Im Normalfall ist das Nierenbecken jedoch nicht darstellbar (WALTER ET AL. 1987 b), WOOD UND MCCARTHY 1990, SCHOLZ 1992; JANTHUR UND LÜERSSEN 1998). Die unveränderten Harnleiter lassen sich sonographisch ebenfalls nicht darstellen (JANTHUR UND LÜERSSEN 1998).

Zur Beurteilung der Echogenität sollten immer andere parenchymatöse Organe zum Vergleich herangezogen werden. Die Nierenrinde stellt sich bei gesunden Nieren im Vergleich mit der Leber geringgradig und im Vergleich mit der Milz deutlich echoärmer dar (ROSENFELD ET AL. 1978, WALTER ET AL. 1987 b, NYLAND ET AL. 2002, JANTHUR UND LÜERSSEN 1998).

Abhängig von Alter und Geschlecht tritt bei einigen Katzen ein starker Echogenitätsunterschied zwischen Mark und Rinde auf, der auf die Einlagerung von Fett in das Tubulusepithel der Nierenrinde zurückzuführen ist (YEAGER UND ANDERSSON 1989).

Die Blutgefäße der Niere lassen sich schon mit der RT-Sonographie innerhalb des Organs darstellen. Das echofreie Lumen ist durch die echogenen parallelen Gefäßwände sehr gut abgegrenzt und leicht erkennbar. Der Verlauf der Gefäße ist symmetrisch, Arterien und Venen sind annähernd gleich groß (WOOD UND MCCARTHY 1990, JANTHUR U. LÜERSSEN 1998).

4.4. Pathologische Nierenveränderungen in der zweidimensionalen Sonographie

Es existiert bisher wenig Literatur über das sonographische Erscheinungsbild von Nierenveränderungen beim Frettchen. Im folgenden wird die sonographische Darstellung der in Kap. 3 beschriebenen Nierenpathologien besprochen. Es wird hierbei wiederum auf die Literatur zu Untersuchungen feliner und caniner Nieren sowie auf humanmedizinische Literatur zurückgegriffen.

Nierenzysten

Mittels Ultraschall ist es möglich, solide von zystischen Veränderungen zu unterscheiden. Daher ist die Sonographie ein geeignetes diagnostisches Mittel zur Erkennung von Nierenzysten (GROSSMANN ET AL. 1983). PRÜFER (1994) bezeichnet die Sonographie sogar als allen anderen Darstellungstechniken überlegenes Mittel zur Diagnostik von Nierenzysten bei Hund und Katze. Die sonographische Untersuchungstechnik ist unabhängig von der Nierenfunktion (GROSSMANN ET AL. 1983, WALTER ET AL. 1987 b). Daher können im sonographischen Bild im Gegensatz zur Ausscheidungsurographie auch anatomische Strukturen dargestellt werden, die, wie Nierenzysten, nicht funktionell aktiv sind (GROSSMANN ET AL. 1983).

Nierenzysten sind im zweidimensionalen Sonogramm durch die folgenden Kriterien gekennzeichnet. Sie stellen sich als runde bis ovoide anechogene Strukturen dar, die durch eine dünne echogene Wand scharf gegenüber dem umgebenden Gewebe abgegrenzt sind; distal der Zyste kommt es zu einer Schallverstärkung (GROSSMANN ET AL. 1983, BILLER ET AL. 1990, NYLAND ET AL. 2002).

Das sonographische Bildes runder, flüssigkeitsgefüllter Hohlräume ist des weiteren durch einen schmalen distal divergierenden inkompletten Schallschatten gekennzeichnet, der durch Beugung im Randbereich dieser Strukturen entsteht (POULSEN NAUTRUP 1998, PENNINGCK 2002).

Über die sonographische Darstellung von Nierenzysten beim Frettchen existiert in der derzeitigen Literatur lediglich ein Artikel, bei dem es sich um einen Einzelfallbericht handelt. PUERTO ET AL. (1998) stellten sonographisch bei einem Frettchen die Diagnose beidseitiger perirenal Pseudozysten und polyzystischer Nieren. Die Nieren dieses Tieres stellten sich hyperechoisch innerhalb eines 8 - 10 cm großen flüssigkeitsgefüllten, anechogenen Sacks dar. Eine Trennung von Mark und Rinde innerhalb der Nieren war aufgrund zahlreicher 2 mm - 1 cm großer parenchymaler Zysten nicht erkennbar.

WALTER ET AL. (1988) führten bei 24 Katzen mit Nierenparenchymerkrankungen Ultraschalluntersuchungen durch. Bei sieben der untersuchten Tiere wurden multifokale Veränderungen festgestellt, die sich als kavitäre Läsionen mit distaler Schallverstärkung darstellten. Diese Merkmale wurden als sehr spezifisch für polyzystische Nierenerkrankungen beschrieben. Eine Katze wies einseitig eine solitäre anechogene runde Struktur mit einem Durchmesser $< 0,5$ cm auf. Auch hier deutete die distale Schallverstärkung auf eine Nierenzyste hin. Dieser Verdacht konnte durch eine Feinnadelbiopsie bestätigt werden. In einem Fall war der Zysteninhalt infolge entzündlicher Prozesse mit Zelldetritus angereichert und stellte sich somit im Ultraschall echogen dar. Die distale Schallverstärkung fiel in diesem Fall deutlich schwächer aus als bei mit Urin gefüllten Zysten. Diese Zyste ließ sich sonographisch schwer von einem Abszeß oder einem nekrotischen Herd abgrenzen. In nahezu allen Fällen konnte die sonographisch erhobene Diagnose histopathologisch bestätigt werden. Eine Katze, deren pathologische Untersuchung keinen besonderen Befund ergab, war sonographisch als polyzystisch eingestuft worden. Die Reevaluation der Ultraschallbilder zeigte, daß anechogene Bereiche vorhanden waren, eine distale Schallverstärkung jedoch fehlte. Die Autoren kommen nach dieser Studie zu dem Ergebnis, daß polyzystische Erkrankungen durch eine sorgfältige Ultraschalluntersuchung mit sehr großer Sicherheit festgestellt werden können (WALTER ET AL. 1988)

In einer anderen Studie an PKD-kranken Perserkatzen konnte bei 10 von 14 untersuchten Tieren sonographisch eine vermehrte Echogenität des Nierenparenchyms

festgestellt werden (PEDERSEN ET AL. 2003). Diese schien nicht vom Ausprägungsgrad der Zysten abzuhängen. Bei zwei der Tiere fanden sich bei der Ultraschalluntersuchung zusätzlich Zysten in der Leber.

Um objektive Aussagen über den Schweregrad einer zystischen Nierenerkrankung treffen zu können, wurde in der Humanmedizin ein System entwickelt, der sogenannte „*Anatomical renal severity index*“, der nach den in Tabelle 1 aufgeführten Kriterien eine Einteilung der Erkrankung in Grade ermöglicht. Der Schweregrad der Erkrankung ergibt sich hiernach aus der Addition von Punkten, die für die Anzahl, die Größe und den Anteil an unverändertem Nierenparenchym vergeben werden (GABOW ET AL. 1990).

Punkte	Anzahl der Zysten	Größe der Zysten (cm)	Anteil an nicht zystischem Parenchym
0	0	0	100%
1	1 - 5	<2	76 - 99%
2	6 - 15	2 - 5	25 - 7,5%
3	>15	>5	<25%

Tabelle 1: Anatomical renal severity index (GABOW ET AL. 1990)

Nephrokalzinose

In der Literatur existieren derzeit keinerlei Angaben zur sonographischen Darstellung nephrokalzinotischer Nierenveränderungen beim Frettchen.

Im folgenden wird daher auf diesbezügliche Veröffentlichungen bei anderen Tierarten sowie beim Menschen zurückgegriffen.

Nierenverkalkungen sind sonographisch als Bereiche erhöhter Echogenität erkennbar, die diffus oder lokal begrenzt, mit oder ohne Schallschatten auftreten (JANTHUR und LÜERSEN 1998). Die Echogenität der Niere wird als normal angesehen, wenn sie weniger echogen als die des Leberparenchyms ist. Ist sie von gleicher Echogenität wie das Leberparenchym oder stärker echogen als dieses, wird die Niere als hyper-echogen eingestuft (ROSENFELD ET AL. 1978, JANTHUR UND LÜERSEN 1998, NYLAND ET

AL. 2002). Eine Echogenitätssteigerung des Nierenparenchyms tritt bei verschiedenen pathologischen Veränderungen auf. Hierzu gehören die akute und die chronische Glomerulonephritis, Nephrosklerose, akute Tubulusnekrose und Kortikalnekrose. Sowohl Kalzium als auch Kollagen können die Ursache für den Anstieg der Echogenität sein (ROSENFELD ET AL. 1978).

Beim Menschen ist beschrieben, daß sich eine Nephrosklerose und -fibrose, wie sie bei der fortgeschrittenen chronischen Niereninsuffizienz auftritt, sonographisch als Hyperechogenität des Parenchyms darstellt (BUTUROVIC-PONIKVAR UND VISNARPEROVIC 2003).

Nach Untersuchungen (ROSENFELD UND SIEGEL 1981) an 25 nierenkranken Menschen besteht eine eindeutige Relation zwischen dem histologisch festgestellten Schweregrad interstitieller Nierenerkrankungen und der Echogenität der Nierenrinde.

Nach einer anderen humanmedizinischen Studie an 153 zufällig ausgewählten Patienten war eine Hyperechogenität des Nierenparenchyms im Vergleich zum Leberparenchym dagegen weder sensitiv noch spezifisch für Nierenerkrankungen (PLATT ET AL. 1988).

CRAMER ET AL (1998) untersuchten an Kaninchen mit induzierter Nephrokalzinose vergleichend die Sensitivität und Spezifität von Computertomographie und Sonographie in Bezug auf die Erkennung von Nephrokalzinosen. Die Sensitivität lag bei der Ultraschalluntersuchung bei 96%, bei der CT-Untersuchung bei 64%. Dagegen betrug die Spezifität der sonographischen Diagnose 85%, die der computertomographischen 96%.

Auch bei der Katze ist es laut WALTER ET AL. (1988) bei diffusen hyperechogenen Parenchymveränderungen nicht möglich, eine spezifische Diagnose zu stellen.

PEDERSEN ET AL. (2003) berichten von hyperechogenen Veränderungen des Nierenparenchyms bei 10 von 14 sonographisch untersuchten Katzen mit PKD.

YEAGER UND ANDERSON (1989) bezweifeln grundsätzlich die klinische Relevanz der sonographischen Diagnose hyperechogener Nierenveränderungen bei der Katze. Sie führten Ultraschalluntersuchungen an makroskopisch und histologisch gesunden Katzennieren durch. Hierbei stellten sie fest, daß starke Fetteinlagerungen in den Rindentubuluszellen zu einem großen Echogenitätsunterschied von Rinde und Mark führten. Die hyperechogene Rinde stellte sich in diesen Fällen nahezu gleich echo-

gen dar wie der Nierensinus. Ebenso bewirkten Mineralablagerungen im Nierenmark eine große Steigerung der Echogenität in Form eines hyperechogenen Streifens an der Mark- Rinden- Grenze. YEAGER UND ANDERSON (1989) folgerten daraus, daß auf der Basis der Echogenitätsbeurteilung weder qualitative noch spezifische Schlüsse auf den Gewebecharakter gezogen werden können.

WALTER ET AL. (1987 a) hingegen kommen aufgrund der Ergebnisse einer Studie an 32 nierenkranken Hunden zu dem Ergebnis, daß eine Ultraschalluntersuchung zur Detektion bzw. Lokalisation von Kalzinosen spezifischer ist als andere bildgebende Untersuchungsmethoden. Elf der von ihnen sonographisch untersuchten Hunde zeigten hyperechogene Rindenbezirke mit deutlicher Mark- Rinden- Grenze und einem normal hypoechogenen Nierenmark. In zwei dieser elf Fälle wurde histologisch eine Kalzinose diagnostiziert. Bei einem der beiden Tiere war sonographisch eine Schallauslöschung distal der Kalzinose zu beobachten. Bei den restlichen neun Hunden ergab die histologische Untersuchung in fünf Fällen eine Glomerulonephritis, in drei Fällen eine Tubulonekrose und in einem Fall eine end-stage-kidney. Im Vergleich zu einem Leerröntgenbild oder einer Ausscheidungsurographie befinden die Autoren eine Ultraschalluntersuchung als durchaus vorteilhaft, da im sonographischen Bild ein Erkennen der Parenchymstruktur möglich ist. Sie betonen allerdings, daß die sonographische Untersuchung keinen Ersatz für eine histologische Untersuchung darstellt.

BARR ET AL. (1989) berichten über drei Hunde mit hyperkalzämischer Nephropathie. Alle drei Tiere zeigten sonographisch eine deutliche schmale echogene Linie an der Mark- Rinden- Grenze sowie eine Zunahme der Rindenechogenität. Die histologische Untersuchung ergab eine Kalzifizierung des Tubulusepithels und der Basalmembran in Rinde und Mark sowie der Basalmembran der Bowmanschen Kapsel. Bei keinem der untersuchten Hunde wurde sonographisch eine distale Schallauslöschung beobachtet. Die Autoren werten eine Ultraschalluntersuchung bei Hunden mit Hyperkalzämie als gutes prognostisches Mittel, da Nephrokalzinosen mittels Ultraschall sehr früh entdeckt werden und die Prognose bei Hunden mit Hyperkalzämie ohne Mineralstoffablagerungen in der Niere deutlich besser ist.

BILLER ET AL. (1992) beschreiben bei vier Hunden und zwei Katzen das als *medullary rim sign* bekannte sonographische Bild einer echogenen Linie, die sich in der äußeren Markzone parallel zur Mark-Rinden-Grenze darstellt. In allen sechs Fällen wur-

den histologisch Mineralstoffablagerungen nachgewiesen. Die Autoren gehen davon aus, daß diese Mineralisation auch bei inzwischen klinisch gesunden Tieren die Folgeerscheinungen zu einem früheren Zeitpunkt aufgetretenen Nierenkrankheiten sind. Ihrer Ansicht nach ist die prognostische Aussagekraft des *medullary rim sign* hinsichtlich einer Nierenerkrankung daher sehr fraglich und dieses lediglich als zusätzliches frühes sonographisches Anzeichen eines Nierenschadens zu werten.

Bei Hund und Katze ist das sonographische Bild einer echogenen Linie parallel zur Mark-Rinden-Grenze auch im Zusammenhang mit Kalziumoxalatkristallen beschrieben (PRÜFER 1994).

Beim Menschen gilt der Ultraschall in der Diagnose von Nephrokalzinosen heute als die Methode der Wahl (PFITZER ET AL. 1998). Laut PFITZER ET AL. (1998) manifestieren sich die Nephrokalzinose beim Menschen typischerweise im Bereich des Nierenmarks. Diese Lokalisation ist auch von THEODOROPOULOS ET AL (1995) in einer pädiatrischen Studie an 41 unter nephropatischer Zystinose leidenden Kindern beschrieben. Eine Schallauslöschung ist nach ihren Untersuchungen erst bei größeren Konkrementeinlagerungen zu beobachten. Die Ablagerungen und das Wachstum der Kristalle nehmen an den Rändern und Spitzen der Markpyramiden ihren Anfang (PFITZER ET AL. 1998).

Nach MYRACLE ET AL. (1986) müssen zur sonographischen Diagnose einer Nephrokalzinose beim Menschen die folgenden Kriterien erfüllt sein. Die echogenen Foki müssen mindestens 3 mm groß sein oder Schallschatten produzieren, zusätzlich müssen sie in mehreren Ebenen darstellbar sein.

AL MURRANI ET AL. (1991) beschreiben beim Menschen echogene Ringe in der Peripherie renaler Pyramiden als frühestes Anzeichen einer Nephrokalzinose.

In der Pädiatrie wurde untersucht, inwieweit Ultraschall als unspezifische Methode ein zuverlässiges diagnostisches Mittel ist, um Nephrokalzinosen möglichst objektiv und reproduzierbar einzustufen. Zur Einstufung wurden die in Tabelle 2 wiedergegebenen Echogenitätskriterien angelegt (DICK ET AL. 1999).

Grad 0	<i>Normale Echogenität der Markpyramiden</i>
Grad I	<i>Grenzen der Markpyramiden geringgradig hyperechogen</i>
Grad II	<i>Gesamte Markpyramiden geringgradig diffus hyperechogen</i>
Grad III	<i>Gesamte Markpyramiden mittelgradig homogen hyperechogen</i>

Tabelle 2: Einstufung von Nephrokalzinosen nach DICK ET AL. (1999)

Die Patienten dieser Studie wurden von zwei unabhängigen Untersuchern sonographiert. Die Übereinstimmung der beiden Untersucher bei der Einteilung der Nephrokalzinose in Grade war gut. Eine Ultraschalluntersuchung wird daher als zuverlässiges Mittel zur Festlegung von Nephrokalzinosegraden gewertet (DICK ET AL., 1999).

Nephrolithiasis

Nierensteine stellen sich sonographisch als rundliche bis ovale Strukturen mit Totalreflexion und nachfolgendem Schallschatten dar. (JANTHUR UND LÜERSSEN 1998)

In der aktuellen Literatur gibt es keine Angaben zur sonographischen Darstellung von Nierensteinen beim Frettchen.

Beim Hund und bei der Katze sind Nierensteine ein insgesamt eher seltener sonographischer Befund (JANTHUR und LÜERSSEN 1998). Bei den beobachteten Fällen handelt es sich laut JANTHUR und LÜERSSEN (1998) in der Regel um Nierenbeckenausgußsteine mit Totalreflexion und nachfolgendem Schallschatten. Kleinere Steine sind deutlicher zu erkennen, da größere Steine häufig mit einer Atrophie des Nierenmarkes einhergehen und durch die Totalreflexion zu einer Überstrahlung des restlichen Rindenparenchyms führen (JANTHUR und LÜERSSEN, 1998).

In einer humanmedizinischen retrospektiven Studie untersuchten BECKER-GAAB ET AL. (1986) die Wertigkeit der Sonographie in der Nierensteindiagnostik. Hinsichtlich der sonographischen Darstellung von Nierensteinen kamen sie zu den folgenden Ergebnissen. Die Sonographie erreichte im Nachweis einer Nephrolithiasis eine Treffsicherheit von 90% bei einer Sensitivität von 89% und einer Spezifität von 90 %. Der kleinste sonographisch dargestellte Stein war 3 mm groß, der größte übersehene

Stein hatte einen Durchmesser von 6 - 7 mm. Es konnte keine Korrelation zwischen Steingröße und Schallschatten festgestellt werden.

Hydronephrosen

Die sonographische Darstellung einer Hydronephrose beim Frettchen ist in einem Einzelfallbericht beschrieben (KÜNZEL ET AL. 2003). Hierbei handelte es sich um ein weibliches Tier, bei dem im Zuge der Kastration versehentlich der linke Ureter ligiert worden war. Der hierdurch bewirkte Harnstau hatte zu einer Dilatation des kranial der Ligatur gelegenen Teils des Ureters sowie der linken Niere geführt. Im sonographischen Bild stellte sich die Niere als 5x4 cm großer flüssigkeitsgefüllter Sack dar. Innerhalb der anechogenen Flüssigkeit befanden sich wenige echoreiche Partikel. Ausgehend von diesem Gebilde war der Ureter als 5 mm breite, ebenfalls flüssigkeitsgefüllte tubuläre Struktur 2 cm kaudal zu verfolgen.

Beim Hund und bei der Katze stellen sich Hydronephrosen sonographisch als Erweiterung des Nierenbeckens dar, die je nach Stauungsgrad unterschiedliche Ausmaße annimmt (JANTHUR und LÜERSSEN 1998). Das typische Bild des hyperechogenen Nierenbeckens ist aufgrund der Ansammlung echofreier Flüssigkeit in diesem Bereich nicht mehr nachweisbar (PRÜFER 1994). Durch Druckatrophie kommt es zu einem Schwund zunächst des Markparenchyms und bei anhaltendem Harnstau schließlich des Rindenparenchyms. Im Endstadium ist nur mehr die Nierenkapsel erkennbar, von der radspeichenartig hyperechogene Septen als Reste der Recessus pelvis ins Lumen ziehen (JANTHUR und LÜERSSEN 1998).

5. Dopplersonographie der arteriellen Nierengefäße

Bisher ist keine Literatur über dopplersonographische Untersuchungen der Nierengefäße bei Frettchen vorhanden. Die allgemeinen Grundlagen des Dopplerverfahrens sowie die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten durch farbkodierte, Power- und gepulste Doppleruntersuchung sind in der Literatur hinreichend beschrieben und sollen daher hier nicht näher behandelt werden. Sie können den einschlägigen Werken zur sonographischen Diagnostik bei Hund und Katze entnommen werden (POULSEN NAUTRUP UND TOBIAS 1998, NYLAND ET AL. 2002). Im folgenden soll die Beurteilung dopplersonographischer Flußkurven der Nierengefäße anhand der diesbezüglichen Literatur über Hund und Katze sowie dem Menschen besprochen werden.

5.1. Qualitative Beurteilung der mit dem pulsed-wave Doppler erstellten Flußkurven

Der Fluß der intrarenalen Nierenarterien ist wie der der übrigen parenchymatösen Organe durch einen niedrigen peripheren Widerstand gekennzeichnet. Damit ist eine permanente Perfusion gewährleistet. Die arteriellen Nierengefäße weisen das typische Flußmuster eines *low resistance flow* auf. Dieses besteht aus einem steil ansteigenden systolischen Fluß und einem langsam werdenden, deutlich vorwärtsgerichteten diastolischen Fluß. Auch in der Diastole ist ein hohes integrales Flußvolumen vorhanden (LANDWEHR 1993). Laut BUDE UND RUBIN (1999) ist das Flußmuster nicht nur vom Widerstand der Gefäße sondern auch von ihrer Compliance abhängig. HALPERN ET AL (1995) zeigten in ihrem in vitro Modell, daß eine hohe Compliance zu einer Verzögerung und Verminderung des systolischen Peaks führt, der in manchen Fällen ganz im „Compliance-Peak“ der späten Systole verschwindet.

Bei Katzen (GÖDDENHENRICH 1997, JANTHUR UND LÜERSSEN 1998, DEPKEN 1999), Katzenwelpen (HANENBERG 1998) und Hunden (RIVERS ET AL. 1997 a) wurde dieses Flußprofil in den Aa. renales nachgewiesen.

5.2. Quantitative Beurteilung der mit dem pulsed-wave Doppler erstellten Flußkurven

Winkelabhängige Parameter

Die mit Hilfe der Dopplersonographie gemessenen Geschwindigkeiten entsprechen nur dann den tatsächlichen Geschwindigkeiten, wenn das Blut parallel zur Schallwellenausbreitung fließt (POULSEN NAUTRUP 1998). Um korrekte absolute Fließgeschwindigkeiten über das Doppler-Frequenz-Spektrum zu erhalten, muß daher eine Winkelkorrektur vorgenommen werden, indem der Anwender im B-Bild den Einstrahlwinkel zwischen Gefäßachse und Ultraschallstrahl bestimmt. Unter der Angabe des Winkels berechnet das System aus der gemessenen spektralen Verteilung der Dopplerfrequenzen mit Hilfe der Dopplerformel die Geschwindigkeitsverteilung (MÜCK-WEYMANN UND WUPPERMANN 2000). Dennoch hängt die Zuverlässigkeit dieser Winkelkorrektur stark von der Größe des Einstrahlwinkels ab und der Einfluß des

Meßfehlers wird mit zunehmendem Winkel größer. Daraus resultiert eine Schwierigkeit in der Bestimmung folgender Werte (KLEWS 1993, MÜCK-WEYMANN UND WUPPERMANN 2000):

- systolische Maximalgeschwindigkeit: SPV
- enddiastolische Geschwindigkeit; EDV
- diastolische Maximalgeschwindigkeit, DPV
- zeitlich gemittelte Geschwindigkeit: TAMax (Hüllkurve = höchste Geschwindigkeiten zu den verschiedenen Zeitpunkten) und TAMin (niedrigste Geschwindigkeiten zu den verschiedenen Zeitpunkten)
- mittlere amplitudengewichtete Geschwindigkeit: TAV

Diese Geschwindigkeiten werden in cm/s oder m/s angegeben

HOLLENBECK (2000) sowie KNAPP ET AL. (1995) halten zur Quantifizierung von Fließparametern die Interlobargefäße für sehr geeignet, da sie aufgrund ihrer Lokalisation leicht zu identifizieren sind und meist in spitzem Winkel auf den Schallkopf zulaufen (HOLLENBECK). Außerdem erwähnt HOLLENBECK die gute Farbkodierung und KNAPP (1995) die Konstanz der dort ermittelten Werte. TERRY ET AL. (1992) dagegen bezeichnet den Meßort in bezug auf die Konstanz der Geschwindigkeitsmessungen als irrelevant. Innerhalb der Niere fallen die Geschwindigkeiten vom Meßort der Segmentararterien über die Aa. interlobares und Aa. arcuatae bis zu den Aa. interlobulares kontinuierlich ab. Dies wurde bei Katzen (DEPKEN 1999) und beim Menschen festgestellt (KNAPP ET AL. 1995, LIN UND SPRATT 1997).

Unterschiede der Fließgeschwindigkeiten zwischen rechter und linker Nierenarterie konnten bei Hund und Katze nicht nachgewiesen werden (Hund: v. GÖTZ 1999; Katze: GÖDDENHENRICH 1997, HANENBERG 1998, DEPKEN 1999). Die gemessenen Fließgeschwindigkeiten in der A. renalis adulter Hunde und Katzen sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Eine Altersabhängigkeit der Werte wurde bei Katzen (HANENBERG 1998) und bei Hunden (ROHRWEBER 1999) untersucht. Bis zum Erreichen der sechsten bis achten Lebenswoche stiegen die Fließgeschwindigkeiten kontinuierlich an und entsprachen danach denen adulter Hunde und Katzen.

Niere	SPV		EDV		TAMAX	
	rechts	links	rechts	links	rechts	links
Katze (GÖDDENHENRICH 1997)	51,70 ± 9,73	51,49 ± 9,03	20,91 ± 5,38	21,52 ± 5,17		
Katze (DEPKEN 1999)	48,29 ± 4,77	48,35 ± 6,32	21,06 ± 3,01	21,35 ± 2,92	31,24 ± 3,57	31,98 ± 4,07
Hund (v. GÖTZ 1999)	71,5 ± 13,1	77,2 ± 18,4	22,0 ± 5,7	22,8 ± 6,5	36,0 ± 7,1	37,6 ± 9,6

Tabelle 3: Dopplersonographisch ermittelte Fließgeschwindigkeiten in den Aa. renales bei adulten gesunden Hunden und Katzen, Angaben in cm/s

Winkelunabhängige Parameter

Um die Pulsatilität einer Dopplerfrequenzkurve rechnerisch auszudrücken, haben sich die im folgenden beschriebenen Parameter durchgesetzt. Diese sind unabhängig vom Winkel der Sonde zur Blutflußrichtung, da die winkelbedingten Änderungen sowohl im Zähler als auch im Nenner der Indizes auftreten.

Resistive Index (Resistance Index oder Pourcelot Index, RI)

Definition:

Differenz der systolischen Maximalgeschwindigkeit und der enddiastolischen Geschwindigkeit dividiert durch die systolische Maximalgeschwindigkeit. Der Index ist dimensionslos (POURCELOT 1974).

$$RI = \frac{V_{sys(peak)} - V_{dia(end)}}{V_{sys(peak)}}$$

Der maximale Wert ist 1, wenn eine enddiastolische Flußkomponente fehlt. Erhöht sich der Widerstand distal der Meßstelle vermindert sich die enddiastolische Geschwindigkeit relativ zur systolischen Geschwindigkeit stärker, so daß sich der RI erhöht (PLATT 1997).

Anwendung:

Der RI ist ein Indikator für den Gefäßwiderstand distal der Meßstelle. Seine Anwendung findet er bei Gefäßen mit niedrigem Widerstand (low resistance vessels), also fetalen Gefäßen, Karotiden und den Gefäßen der parenchymatösen Organe (HOLLENBECK 2000). Während von vielen Autoren Normwerte des RI angegeben werden, verzichten MÜCK-WEYMANN UND WUPPERMANN (2000) auf die Angabe von Normwerten, da ihrer Meinung nach die Variabilität des Wertes so hoch ist, daß nur ein Seitenvergleich bzw. eine Verlaufskontrolle zuverlässig erscheint. Derzeit gibt es keine Angaben über die Höhe des RI in den Nierenarterien des Frettchens.

RIVERS ET AL. (1996) erstellten durch Messungen in den Aa. arcuatae der Niere die in Tabelle 4 wiedergegebenen Normwerte für gesunde, erwachsene, mit Ketamin, Acepromazin und Atropin sedierte Katzen.

	Rechte Niere	Linke Niere
RI Mittelwert	0,59	0,56
Standardabweichung	0,05	0,06
95% Konfidenzintervall	0,55 - 0,63	0,52 - 0,60

Tabelle 4: RI: Werte gesunder sedierter Katzen (RIVERS ET AL. 1996)

NYLAND ET AL. (1993) geben für gesunde wache Hunde, RIVERS ET AL. (1997 a) für sedierte Hunde die in Tabelle 5 aufgeführten Normwerte an:

	Sedierter Hunde (RIVERS ET AL. 1997 a)		Wache Hunde (NYLAND ET AL. 1993)	
	Rechte Niere	Linke Niere	Rechte Niere	Linke Niere
RI Mittelwert ± Standardabweichung	0,45 ± 0,06	0,44 ± 0,06	0,62 ± 0,05	0,63 ± 0,05
Normwertrahmen (MW ± 2 x SD)	0,33 - 0,57	0,32 - 0,56	0,52 - 0,72	0,53 - 0,73

Tabelle 5: RI: Werte gesunder Hunde, Vergleich zwischen den Werten wacher und sedierter Hunde

Bei Hund und Katze bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen dem RI der rechten und der linken Niere (NYLAND ET AL 1993, RIVERS ET AL. 1996, MORROW ET AL. 1996, GÖDDENHENRICH 1997).

In Anlehnung an die Humanmedizin wurde nach den Untersuchungsergebnissen verschiedener Studien vorgeschlagen, den oberen Grenzwert für den intrarenalen RI bei gesunden sedierten Katzen auf 0,7 festzulegen (RIVERS ET AL. 1996, MITCHELL ET AL. 1998).

Der von DECKINGER (2003) bei 11 gesunden Dachshunden in den Aa. interlobares gemessene RI liegt mit einem Mittelwert von $0,73 \pm 0,05$ deutlich über diesem oberen Grenzwert.

Pulsatilitätsindex (Gosling-Index, PI)

Definition:

Differenz zwischen systolischer Maximalgeschwindigkeit und minimaler diastolischer Geschwindigkeit dividiert durch die zeitlich gemittelte Fließgeschwindigkeit (GOSLING UND KING 1974)

$$PI = \frac{V_{sys}(peak) - V_{dia}(end)}{TAV_{max}}$$

Anwendung:

Nach MÜCK-WEYMANN UND WUPPERMANN (2000) eignet sich dieser ebenfalls dimensionslose Index besonders zur Erfassung komplexer Kurvenverläufe, da, im Gegensatz zum RI, die mittlere Geschwindigkeit des Blutflusses während der gesamten Herzaktion berücksichtigt wird. Laut NELSON UND PRETORIUS (1988) ist der PI daher zur Beurteilung des Gefäßwiderstandes arterieller Hochwiderstandsgefäße mit triphasischem Strömungsprofil geeignet, während MÜSGEN (2000) seinen Einsatz ebenso wie den des RI in den Niedrigwiderstandsgefäßen sieht.

Normwerte:

MITCHELL ET AL. (1998) erstellten erstmals Normwerte für den PI an wachen und anästhesierten Katzen (siehe Tabelle 6). Als oberen Grenzwert für wache, gesunde, erwachsene Katzen legten sie 1,06 fest.

	Wache Katzen	Anästhesierte Katzen
PI Mittelwert	0,8	2,8
Standardabweichung	0,13	0,66

Tabelle 6: PI: Werte gesunder Katzen (MITCHELL ET AL. 1998)

Ratio (A/B Quotient, B/A Quotient, PS/ED)

Definition: Die Ratio ist der Quotient aus systolischer

Maximalgeschwindigkeit und diastolischer Endgeschwindigkeit oder umgekehrt. Durch sie wird das Verhältnis der beiden Geschwindigkeiten zueinander ausgedrückt. (MÜSGEN 2000)

$$\text{Ratio} = \frac{V_{\text{sys}}(\text{peak})}{V_{\text{dia}}(\text{end})} \quad \text{oder} \quad \text{Ratio} = \frac{V_{\text{dia}}(\text{end})}{V_{\text{sys}}(\text{peak})}$$

Anwendung: Die Ratio ist ein Indikator für den Gefäßwiderstand distal der Meßstelle und eignet sich für den Einsatz in „low resistance vessels“ (MÜSGEN 2000).

Physiologische Veränderungen der Parameter

Neben dem Gefäßwiderstand haben die folgenden Parameter einen Einfluß auf den RI und PI (MÜSGEN 2000):

- Blutviskosität
- Gefäßdurchmesser
- Gefäßelastizität (Compliance)
- Fließgeschwindigkeit
- Herzrhythmus

MITCHELL ET AL. (1998) untersuchten den Einfluß von Anästhetika auf den RI bei Katzen, indem sie dieselben Tiere einmal im wachen Zustand und einmal unter Isoflurananästhesie untersuchten. Sie erhielten die folgenden Ergebnisse (Tabelle 7):

	wach	anästhesiert
RI Mittelwert	0,55	0,93
Standardabweichung	0,07	0,03

Tabelle 7: RI: Werte wacher und anästhesierter Katzen (MITCHELL ET AL. 1998)

Mittels Doppleruntersuchung wiesen MITCHELL ET AL. (1998) bei den anästhesierten Katzen eine Erhöhung des Gefäßwiderstandes und ein verminderten renaler Blutfluß nach. Die Verminderung des renalen Blutflusses konnte durch quantitative renale Szintigraphie bestätigt werden. Sowohl der erhöhte Gefäßwiderstand als auch der verminderte Blutfluß beeinflussten den RI. Der statistische Effekt der Anästhesie auf den RI erwies sich als hochsignifikant. Die Interpretation der Widerstandindizes bei mit Isofluran anästhesierten Tieren ist nach diesen Untersuchungen als fraglich zu beurteilen. Änderungen des Blutdruckes hatten ebenfalls einen signifikanten Einfluß auf den RI.

Der Einfluß der Pulsfrequenz auf den RI ist Gegenstand von Untersuchungen an Katzen (DEPKEN 1992) sowie humanmedizinischer Studien (MOSTBECK ET AL. 1990, SCHWERCK 1993). Es wurde festgestellt, daß der RI mit zunehmender Pulsfrequenz fällt.

In humanmedizinischen Studien konnte festgestellt werden, daß sämtliche gemessenen Fließgeschwindigkeiten vom Meßort abhängig sind und von den Segmentalarterien über die Aa. interlobares und die Aa. arcuatae bis zu den Aa. interlobulares kontinuierlich abnehmen (KNAPP ET AL. 1995, LIN UND SPRATT 1997). Dies konnte in Untersuchungen von DEPKEN (1999) auch für Katzen bestätigt werden. Die Indizes hingegen änderten sich nicht.

Während TERRY ET AL. (1992) davon ausgehen, daß die Meßwerte von der Lage des Meßpunktes unabhängig sind, nehmen KNAPP ET AL. (1995) an, daß die Werte an den verschiedenen Lokalisationen stark variieren und die konstantesten Ergebnisse durch Messungen innerhalb der Aa. interlobares erreicht werden.

Bei Katzen führten MITCHELL ET AL. (1998) vergleichende Messungen in den Aa. renales und den intrarenalen Gefäßen durch und stellten bei den Parametern keine Differenzen fest.

TERRY ET AL. (1992) konnte einen altersbedingten Anstieg des RI beim Menschen nachweisen, dieser steigt ab einem Lebensalter von über 60 Jahren auf einen mittleren Wert von 0,68 an.

Laut BUDE UND RUBIN (1999) ist die Bezeichnung Resistive Index fehlerhaft, da der RI nicht nur vom Widerstand der Gefäße, sondern auch von ihrer Compliance abhängig ist. Er schlägt daher die Bezeichnung „Impedanz Index“ vor. In einem in vitro Modell konnte er zeigen, daß ohne vaskuläre Compliance der RI nicht von verschiedenen Gefäßwiderständen beeinflusst wird. Erst mit zunehmender Compliance verändert sich der RI und steigt bei höheren Gefäßwiderständen. Dies spielt insofern eine Rolle, als Individuen mit geringerer Compliance (ältere Menschen) einen niedrigeren RI bei gleichem Widerstand aufweisen als Individuen mit höherer Compliance.

Pathologische Veränderungen der Parameter

Nierenerkrankungen führen durch Vasokonstriktion oder parenchymatöse Veränderungen zu einer Änderung des peripheren Gefäßwiderstandes (LANDWEHR 1993), und damit aufgrund der Reduktion des diastolischen Flusses zu einer Erhöhung des RI (PETERSEN ET AL. 1995, PLATT 1997).

MÖLLER (2001) führte an zwei Perserkatzen mit Symptomen einer Niereninsuffizienz und 40 klinisch gesunden Perserkatzen mit PKD dopplersonographische Untersuchungen Nieren durch. Ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte bestand weder beim Vergleich polyzystischer mit gesunden Nieren noch beim Vergleich der einzelnen Pkw-grade untereinander. Es konnten zwar deutliche Unterschiede der Werte zwischen den beiden Nieren desselben Tieres bzw. innerhalb derselben Niere bei PKD-positiven Tieren festgestellt werden, diese wirkten sich aber im Mittelwert nicht aus. Lediglich bei den zwei Tieren mit klinischen Symptomen konnte ein signifikantes Ansteigen des RI und des PI beobachtet werden. BRJKLACIC ET AL. (1997) konnten dagegen bei an APKD erkrankten Menschen eine deutliche Erhöhung des Widerstandes in den Nierengefäßen nachweisen. Während dopplersonographischer Untersuchungen der Nieren beim Alpaka wurden von BUBLAK (2002) bei vier Tieren mit zufällig entdeckten Nierenzysten im Vergleich zu den erstellten Normwerten deutlich niedrigere Werte des RI und PI gemessen.

Nach MORROW ET AL. (1996) tritt bei Hunden ein erhöhter RI bei akuten tubulointerstitiellen oder vaskulären Erkrankungen auf, während ein normaler oder niedriger RI bei gesunden Hunden oder bei glomerulären, tubulär-interstitiellen oder vaskulären Erkrankungen auftreten kann. Unter der Voraussetzung, daß ein RI $>0,7$ einen Hinweis für eine Nierenerkrankung darstellt, wurde eine Sensitivität von 38% und eine Spezifität von 96% für den RI zur Erkennung abnormaler Nieren festgestellt.

Ähnliches stellten auch RIVERS ET AL. (1997 b) fest, die Untersuchungen an nierenkranken Hunden und Katzen durchführten, um die diagnostische und prognostische Aussagekraft des RI zu untersuchen. Sie kamen zu den folgenden Schlüssen. Ein Anstieg des RI spricht eher für eine tubuläre Erkrankung als für einen glomerulären Schaden. Im Falle einer obstruktiven Erkrankung der Katze ist der RI wenig aussagekräftig. Die Höhe des RI-Anstiegs läßt keine Schlüsse auf den Schweregrad der Nierenerkrankung zu. Nach erfolgreicher Behandlung stellten sie die Normalisierung der Werte bei einigen rekonvaleszenten Tieren fest.

NYLAND ET AL. (1993) untersuchten an Hunden den Einfluß von Ureterobstruktionen auf den renalen RI. Dabei wurde ein RI $\geq 0,7$ als erhöht gewertet. Unter dieser Voraussetzung lag die Sensitivität des Widerstandsindex zur Diagnose einer Obstruktion bei 73%, die Spezifität lag bei 77%. In 27% der Fälle lieferte der RI also somit falsch negative Ergebnisse, so daß die Dopplersonographie nicht als sinnvolle diagnostische Methode zur Erkennung von Obstruktionen gewertet wurde.

CHOI ET AL. (2003) obstruierten operativ den Harnleiter der linken Niere bei fünf Hunden. Vor dem Eingriff sowie postoperativ über einen Zeitraum von fünf Tagen wurde der RI gemessen und mit dem der rechten Niere verglichen. Es konnte ein deutlicher Anstieg des RI in den linken Nieren von im Mittel $0,63 \pm 0,02$ auf $0,75 \pm 0,02$ dokumentiert werden. Die mittlere Differenz zwischen den linken und rechten Nieren betrug präoperativ $0,04 \pm 0,03$, am fünften Tag nach dem Eingriff $0,11 \pm 0,06$.

Ein erhöhter RI bei hypertensiver Nephrosklerose, wie sie bei fortgeschrittener Niereninsuffizienz beim Menschen auftritt, ist mit einer Verminderung des Nierenvolumens korreliert (PONTREMOLI ET AL. 1999).

In der Humanmedizin wird der RI unter anderem als Indikator zur Erkennung von Abstoßungsreaktionen nach Nierentransplantationen und zu Aussagen über die Langzeitverträglichkeit nach Transplantationen (RADERMACHER ET AL. 2003) verwendet.

Auch in der experimentellen Veterinärmedizin gewinnt der RI im Hinblick auf Transplantationsabstoßungen an Bedeutung. So stellten POLLARD ET AL. (1999) bei neun Katzen, denen nach beidseitiger Nephrektomie rechts eine Niere transplantiert worden war, fest, daß sich der RI innerhalb der ersten 13 Tage post transplantationem nicht änderte. Nach Euthanasie wurden die Nieren histologisch untersucht; es konnten keine Hinweise auf eine Abstoßungsreaktion gefunden werden.

Die Aussagekraft des RI in Bezug auf Nierenparenchymveränderungen und Nierenerkrankungen ist auch in der Humanmedizin umstritten (TUBLIN ET AL 2003). Während in anfänglichen Untersuchungen zwischen Nierenbiopsieergebnissen und RI-Veränderungen ein Zusammenhang gefunden wurden (Platt et al. 1990), konnte dieses Ergebnis in anderen Studien nicht reproduziert werden (MOSTBECK 1991, MC DERMOTT 2000). TUBLIN ET AL. (2003) diskutieren eine Veränderung der Gefäßcompliance mit verschiedenen Parenchymveränderungen und daraus resultierende RI-Veränderungen und kommen zu dem Schluß, daß Doppleruntersuchungen durchaus einen wichtigen Bestandteil der Nierendiagnostik darstellen können, wenn die Physiologie und Pathophysiologie der Nierendurchblutung und deren Einflußfaktoren berücksichtigt werden.

III. Material und Methoden

1. Material

1.1. Technische Ausrüstung

Die sonographische Untersuchung und die Quantifizierung der Blutflüsse wurden mit dem Ultraschallgerät „Sonoline Elegra“ der Firma Siemens (Erlangen) durchgeführt. Der verwendete Linearschallkopf des Typs VF13-5 verfügt über eine Sendefrequenz von 7–13 MHz. Zur Untersuchung wurde er auf eine Mittenfrequenz von 12 MHz eingestellt.

Die Dokumentation der angefertigten Bilder und Messungen erfolgte digital. Durch die in das Gerät integrierten Speichermedien in Form einer Festplatte und eines MOD (Magnet-Optical-Disc) Laufwerks wurden die Daten gespeichert. Anschließend wurden die Bilder in einen Computer eingelesen und auf CD-ROM archiviert. Zur Auswertung wurde das Bildmaterial nachträglich auf dem Computer mit dem Bildanalyseprogramm scion image 4.0.2 (Scion Corporation, Frederick, Maryland, USA) vermessen.

1.2. Tiere

Die untersuchten Frettchen stammten vorwiegend aus privatem Besitz und wurden ausschließlich zur sonographischen Untersuchung vorgestellt. 9 Tiere waren von ihren Besitzern mit gestörtem Allgemeinbefinden in der chirurgischen oder medizinischen Tierklinik der LMU vorgestellt und von dort aufgrund eines unklaren Befundes zur sonographischen Untersuchung weitergeleitet worden.

Die dopplersonographische Untersuchung erfolgte an insgesamt 38 Tieren. Von diesen 38 Tieren waren 18 männlich (davon 17 kastriert) und 20 weiblich (14 kastriert, 6 unkastriert). Das jüngste der untersuchten Tiere war 0,3 Jahre alt, das älteste 10 Jahre. Die Körpermasse variierte innerhalb der Gruppe von 550 bis 1650g. Das durchschnittliche Alter und Gewicht sowie das Allgemeinbefinden der untersuchten Frettchen sind Tabelle 8 zu entnehmen.

	gesamt	Rüden	Fähen
Alter in Jahren (MW ± SD)	3,52 ± 2,32	3,74 ± 2,35	3,33 ± 2,35
Körpermasse in Gramm (MW ± SD)	1051 ± 321	1306 ± 246	824 ± 175
Allgemeinbefinden gestört (Anzahl)	9	5	4
ungestört (Anzahl)	29	13	16

Tabelle 8: Alter, Gewicht und Allgemeinbefinden der untersuchten Tiere (n = 38)

Von den 38 in dieser Arbeit untersuchten Frettchen zeigten 9 Tiere ein gestörtes Allgemeinbefinden.

Diese Tiere waren mit einem mittleren Alter von $5,13 \pm 1,44$ Jahren durchschnittlich älter und mit einem mittleren Gewicht von 973 ± 363 g leichter als die klinisch gesunden Tiere. Deren Alter betrug im Mittel $3,02 \pm 2,33$; ihr mittleres Körpergewicht lag bei 1076 ± 310 g. Die Rüden waren mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1306 ± 246 g deutlich schwerer als die Fähen, deren mittleres Gewicht 824 ± 175 g betrug.

2. Methode

2.1. Vorbereitung der Tiere auf die Sonographie

Die Tiere wurden in nüchternem Zustand zur Sonographie vorgestellt. Nach der Erhebung des Vorberichtes wurde eine Allgemeinuntersuchung vorgenommen.

Eine gute Fixation der Tiere während der Sonographie war in Rückenlage möglich. Ein „Winden“ des Körpers konnte über die Stabilisierung der Wirbelsäule der Tiere durch eine unterlegte Hand eingeschränkt werden. Es erwies sich als vorteilhaft, wenn außer dem Untersucher zwei weitere Personen anwesend waren: eine den Umgang mit Frettchen geübte Person zur Fixation des Kopfes und eine zweite Person zur Fixation der Hintergliedmassen und zur Unterstützung der Wirbelsäule. Durch das Anbieten einer Vitaminpaste während der Untersuchung konnten einige

Frettchen, die besonders lebhaft waren, abgelenkt werden. Allerdings verschlechterte sich dann durch Abschlucken von Luft die Sicht auf Leber und andere abdominale Organe.

Um eine möglichst gute Ankopplung zu erreichen, wurden die Tiere in der Regio umbilicalis und abdominis lateralis zur Untersuchung der Nieren geschoren. Zur weiteren abdominalen Befunderhebung wurde auch die Regio abdominalis cranialis ausgerasiert. Anschließend wurde handelsübliches Ultraschallkontaktgel aufgetragen.

2.2. Sonographische Untersuchungen

Konventionelle Sonographie

Durchführung:

Die linke Niere wurde in drei senkrecht aufeinander stehenden Schnittebenen dargestellt und jeweils in ihrer größten Ausdehnung aufgenommen.

Zusätzlich wurde das Organ in jeder der drei Ebenen in zahlreichen planparallelen Einzelschnitten über seine gesamte Ausdehnung untersucht. Im Anschluß erfolgte die Darstellung der rechten Niere nach demselben Schema. Das gesamte restliche Abdomen wurde besonderes auf zystische Veränderungen in den übrigen Organen untersucht.

Auswertung:

Die erhobenen Befunde wurden anschließend an die Untersuchung protokolliert. Eine zweite Auswertung fand nachträglich am gespeicherten Bildmaterial statt. Die linke Niere wurde im Hinblick auf Größe, Oberflächenstruktur, Abgrenzbarkeit zum umliegenden Gewebe und Echogenität beurteilt. Zur Bestimmung der Dimensionen der linken Niere wurde diese in jeder der drei Ebenen vermessen. Hierzu wurden im Horizontalschnitt Länge und Breite, im Sagittalschnitt Länge und Dicke sowie im Dorsalschnitt Breite und Dicke bestimmt. Alle Messungen wurden doppelt durchgeführt, um Fehler durch Messungenauigkeiten, nicht korrekt angelegte Schnitte, Verformung durch Druck des Schallkopfes oder schlechte Abgrenzbarkeit vom umliegenden Gewebe zu minimieren.

Nach der zweidimensionalen sonographischen Untersuchung wurden die Frettchen nach folgenden Kriterien in Gruppen unterteilt:

1. Allgemeinbefinden

In Abhängigkeit des Vorberichtes und der Allgemeinuntersuchung wurde der Allgemeinzustand der Frettchen beurteilt und danach eine Gruppe mit ungestörtem Allgemeinbefinden (29 Tiere) und eine Gruppe mit gestörtem Allgemeinbefinden (9 Tiere) gebildet.

2. Nierenveränderungen

Die Gruppeneinteilung, die aufgrund der Nierenveränderungen vorgenommen wurde, bezog sich ausschließlich auf sonographisch erkennbare Veränderungen. Frettchen, die in keiner der beiden Nieren Veränderungen aufwiesen und über ein ungestörtes Allgemeinbefinden verfügten, wurden als Kontrollgruppe („Gesundgruppe“) definiert.

Die Nierenveränderungen wurden wie folgt eingeteilt:

- Zysten rechts und/ oder links vorhanden: ja/nein
- Hyperechogene Veränderungen vorhanden: ja/nein

Beide Arten der Nierenveränderungen wurden wie nach dem folgenden Schema in unterschiedliche Ausprägungsgrade (Tabelle 9 und Tabelle 10) unterteilt:

Grad	Definition
0	Keine Zysten
1	Eine kleine Zyste (< 0,5 cm)
2	Mehrere kleine oder eine mittlere (≤ 0,8 cm) Zyste
3	Mehrere mittlere oder eine große (> 0,8 cm) Zyste
4	Mit mittleren Zysten durchsetzt oder sehr große Zyste (> 1,2 cm)

Tabelle 9: Einteilung der zystischen Veränderungen in Grade

Grad	Definition
0	Keine hyperechogenen Bezirke
1	Grenze des Markpyramidenbereiches ggr. hyperechogen
2	Grenze des Markpyramidenbereiches diffus hyperechogen
3	Gesamter Markpyramidenbereich mgr. homogen hyperechogen

Tabelle 10: Einteilung der hyperechogenen Veränderungen bei Nephrokalzinosen nach DICK ET AL. 1999

2.3. Dopplersonographische Untersuchung

Durchführung

Um die Untersuchungsdauer und den damit verbundenen Streß für die Tiere zu reduzieren, wurde die dopplersonographische Untersuchung nur an der jeweils linken Niere der Frettchen vorgenommen. Die Darstellung der Nierengefäße erfolgte in 36 Fällen im Dorsalschnitt und in 2 Fälle im Transversalschnitt. Die Beurteilung der Nierendurchblutung erfolgte subjektiv mittels Farbdoppler und Powerdoppler mit dem auf die Frettchen abgestimmten Pre-Set des Gerätes für alle Tiere.

Zur Bestimmung der Blutflußparameter wurde mittels Farbdoppler eine der Aa. interlobares identifiziert. In der gleichzeitigen B- und M-Mode Darstellung (Duplex-Doppler) wurde im Lumen des gewählten Gefäßes das Meßtor plaziert und die Winkelkorrektur eingestellt. Es wurde darauf geachtet, daß nach Winkelkorrektur der Winkel der Schallwellen zum Blutgefäß weniger als 60° betrug. Wurde ein Gefäß gewählt, daß fast parallel zu den Schallwellen verlief, der Anschallwinkel also sehr klein war, konnte das Meßtor kaum konstant im Lumen des Gefäßes gehalten werden, da die Atembewegung in horizontaler Richtung dagegen wirkte. Bei guter Kooperation wurden mehrere Messungen in unterschiedlichen Gefäßen durchgeführt.

Auswertung

Vor der Ausmessung durch das Ultraschallgerät wurden die Dopplerkurven hinsichtlich ihrer Qualität beurteilt. Es wurden nur qualitativ gute Kurven mit scharfer Begrenzung und gleichmäßigem Fluß zur Messung ausgewählt. Um den Korrekturfehler zu minimieren, wurde der Winkel zwischen Schallausbreitung und Gefäße möglichst klein gehalten. Die Messungen wurden direkt am Ultraschallgerät vorgenommen. Bei jeder Winkeleinstellung wurden mindestens drei Messungen durchgeführt und der jeweilige Mittelwert berechnet. Konnten Messungen in verschiedenen Aa. interlobares durchgeführt werden, wurden die Messungen der kleinsten Winkeleinstellung verwendet bzw. die qualitativ beste Einstellung gewählt. Durchschnittlich betrug der Anschallwinkel der gewählten Messungen 23°, das Minimum lag bei 3°, das Maximum bei 48°.

Mit Hilfe der Dopplerkurven errechnete das Ultraschallgerät die Pulsfrequenz des untersuchten Tieres. Folgende in Tabelle 11 aufgeführte Parameter wurden aus der Dopplerkurve berechnet:

Berechnungsparameter	Abkürzung	Einheit
systolische Maximalgeschwindigkeit	SPV	cm/s
enddiastolische Geschwindigkeit	EDV	cm/s
zeitlich gemittelte Maximalgeschwindigkeit	TAMx	cm/s
zeitlich gemittelte Minimalgeschwindigkeit	TAMn	cm/s
Pulsatilitätsindex	PI	dimensionslos
Widerstandsindex	RI	dimensionslos
Ratio	PS/ED	dimensionslos

Tabelle 11: Gemessene Blutflußparameter

2.4. Statistische Methoden

Die erhobenen Daten wurden in das Statistikprogramm SPSS 11.5.1 für Windows (SPSS Inc., 1991 - 2000 Lead Technologies, Chicago, Illinois, USA) zur statistischen Analyse importiert.

Zu Beginn der Analyse wurden die ermittelten Daten mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf eine Normalverteilung überprüft. Da alle Parameter eine Normalverteilung aufwiesen, wurde als Lokalisationsmaß das arithmetische Mittel und als Streuungsmaß die Standardabweichung gewählt. Signifikante Unterschiede im Vergleich der Mittelwerte wurden durch den T-Test für unabhängige Stichproben ermittelt. Die Korrelationen zwischen den Parametern wurden nach Pearson erstellt, und das Signifikanzniveau der Stichprobenanalyse auf $p < 0,05$ festgelegt. Mit dem Levene-Test wurde überprüft, ob eine Varianzgleichheit besteht.

IV. Ergebnisse

1. B-Bild Sonographie

Die Untersuchung der Niere erfolgte wie in Kapitel III.2 beschrieben. Die drei orthogonalen Schnittebenen stellten sich wie in Abbildung 1, 2 und 3 beispielhaft gezeigt dar.

Die sonographisch unauffälligen Nieren stellten sich hierbei klar von der Umgebung abgrenzbar dar. Ihre Oberfläche war von einer feinen stark echogenen Linie, die der Nierenkapsel entsprach, scharf begrenzt. Die sich nach innen anschließende Nierenrinde war durch eine feinkörnige Echotextur mittlerer Echogenität gekennzeichnet. Das Nierenmark mit den Markpyramiden stellte sich homogen und echoärmer als die deutlich abgrenzbare Rinde dar. Durch das im Nierensinus gelegene Fett war diese Struktur stark hyperechogen. Die Echogenität des Rindenparenchyms war bei den sonographisch unauffälligen Nieren im Vergleich zur Leber geringgradig und im Vergleich zur Milz deutlich echoärmer.

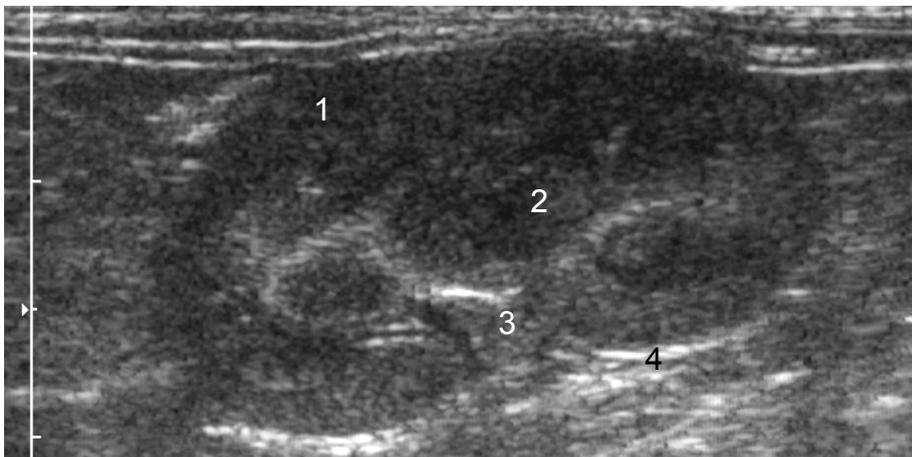


Abbildung 1: Linke Niere im Dorsalschnitt (dreijährige kastrierte Fähe)

- 1 Nierenrinde
- 2 Nierenmark
- 3 Nierenhilus
- 4 Nierenkapsel

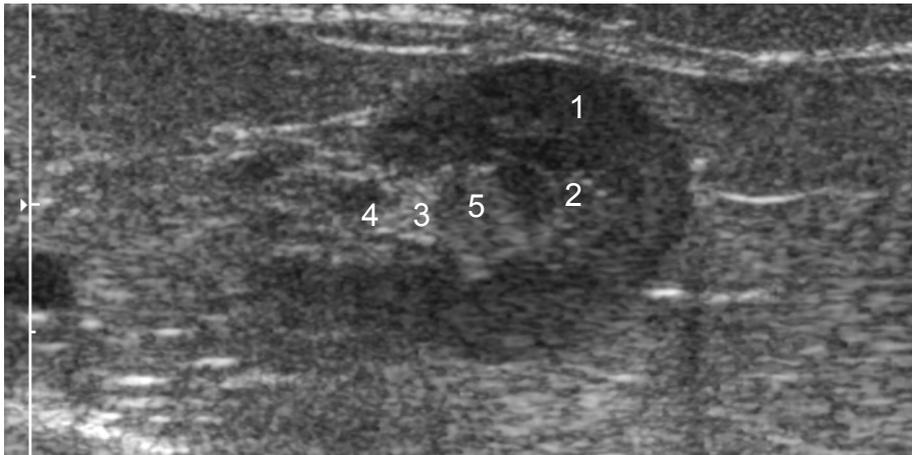


Abbildung 2: Linke Niere im Transversalschnitt (sechsjähriger kastrierter Rüde)

- 1 Nierenrinde
- 2 Nierenmark
- 3 Echoreicher Nierensinus
- 4 Gefäßeintritt in den Nierenhilus
- 5 Nierenpapille

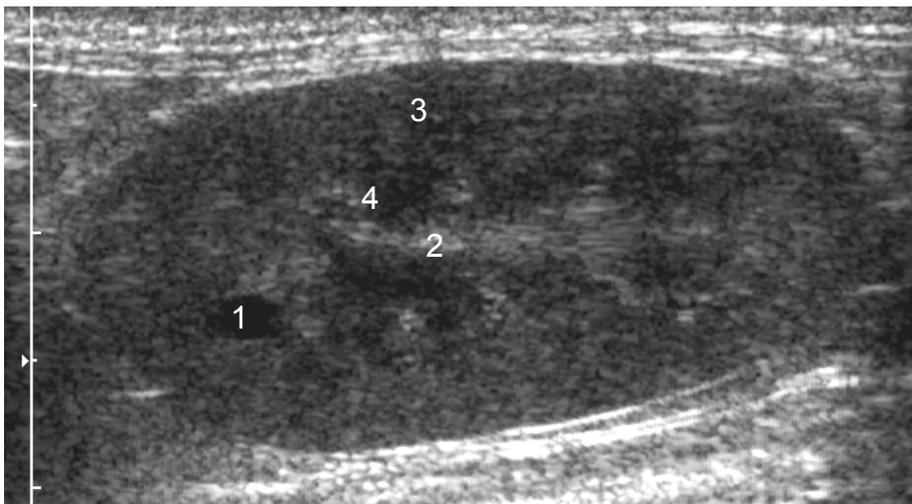


Abbildung 3: Niere im Sagittalschnitt mit kleiner Zyste im kranialen Nierenpol (siebenjähriger kastrierter Rüde)

- 1 Zyste
- 2 Crista renalis
- 3 Nierenrinde
- 4 Nierenmark

Sonographische Veränderungen der Niere fanden sich bei 28 Tieren, von denen 15 weiblich und 13 männlich waren.

Die in dieser Studie aufgetretenen Veränderungen konnten in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Zysten in einer oder beiden Nieren
- hyperechogene Veränderungen

Hyperechogene Veränderungen stellten sich bei allen betroffenen Tieren in beiden Nieren dar. Die Anzahl der Tiere mit Veränderungen und der Zusammenhang mit dem Allgemeinbefinden ist Tabelle 12 zu entnehmen.

Andere Veränderungen konnten bei keinem der in die Studie aufgenommenen Tiere festgestellt werden.

	Zystische Veränderungen	Hyperechogene Veränderungen	zystische und hyperechogene Veränderungen
Insgesamt	8	16	4
mit ungestörtem Allgemeinbefinden	5	14	2
mit gestörtem Allgemeinbefinden	3	2	2

Tabelle 12: Anzahl der Tiere mit Nierenveränderungen und Verteilung hinsichtlich des Allgemeinbefindens

Die hyperechogenen Veränderungen waren in unterschiedlicher Ausprägung zu erkennen. Im Bereich der Mark-Rinden-Grenze waren punktförmig helle Reflexe in allen Schnittebenen der Niere darstellbar, die in ihrer Dichte, Größe und Ausdehnung differierten. Bei hochgradigen Veränderungen lagen diese Reflexe dicht zusammen, und der gesamte Markbereich wirkte flächig stark hyperechogen. Bei schwacher Ausprägung der Veränderungen stellten sich im gesamten Grenzbereich in Form gut voneinander abgrenzbarer punktförmiger Reflexe dar. Eine distale Schallauslöschung konnte in keinem Fall festgestellt werden. Die Einteilung des Schweregrades dieser Veränderungen erfolgte nach dem im Kapitel Material und Methode be-

schriebenen Muster der Einteilung von Nephrokalzinosen. Die Einteilung ist Tabelle 13 zu entnehmen.

Hyperechogene Veränderungen	Grad 0	Grad I	Grad II	Grad III
Insgesamt	18	8	8	4
AB gestört	6	1	3	0
AB ungestört	12	7	5	4

Tabelle 13: Zahlenmäßiges Vorkommen der verschiedenen Hyperechogenitätsgrade bei den untersuchten 38 Frettchen.

Die unterschiedlichen Ausprägungsgrade der hyperechogenen Veränderungen sind in den Abbildungen 4, 5, 6 und 7 dargestellt.

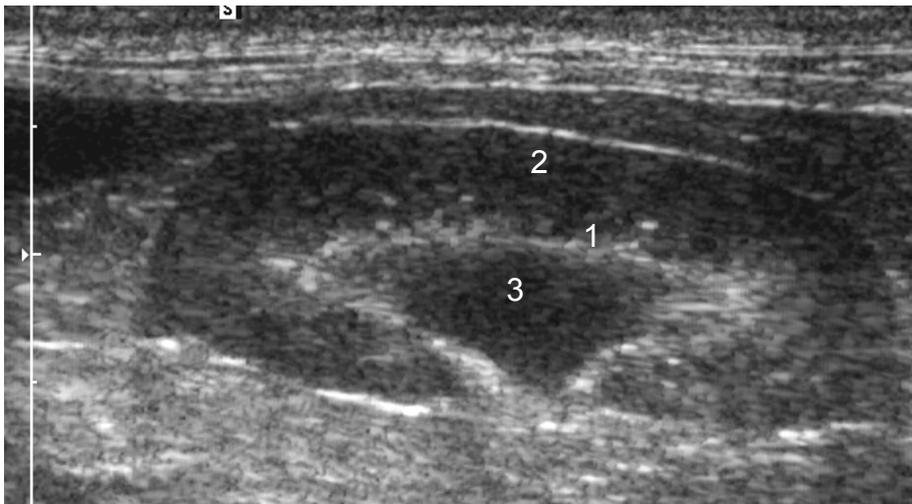


Abbildung 4: Hyperechogene Veränderung Grad I, linke Niere im Dorsalschnitt (vierjährige kastrierte Fähe)

- 1 linienförmige hyperechogene Veränderung an der Mark-Rinden-Grenze
- 2 Nierenrinde
- 3 Nierenmark

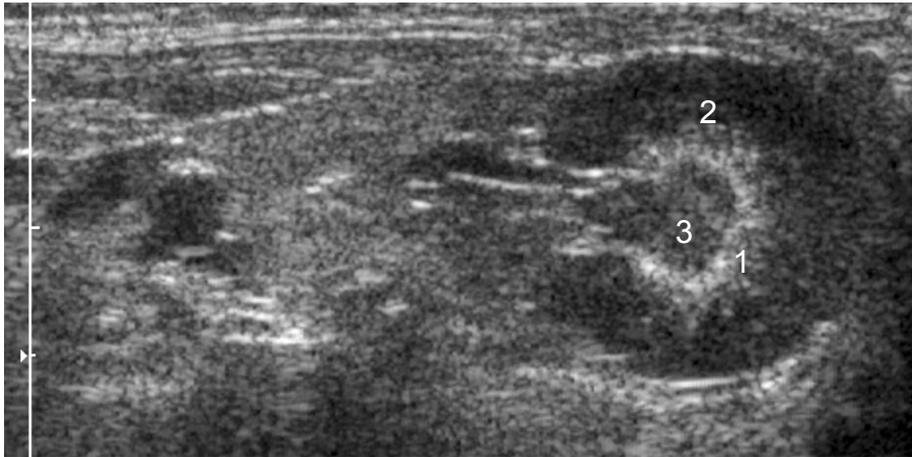


Abbildung 5: Hyperechogene Veränderung Grad I, linke Niere im Transversalschnitt (sechsjähriger kastrierter Rüde)

- 1 linienförmige hyperechogene Veränderung an der Mark-Rinden-Grenze
- 2 Nierenrinde
- 3 Nierenmark

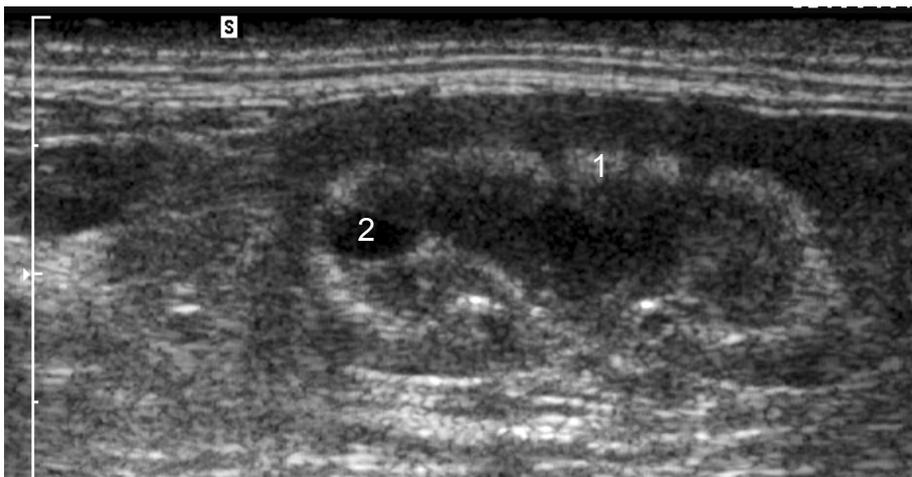


Abbildung 6: Hyperechogene Veränderung Grad II, Dorsalschnitt der linken Niere (fünfjährige kastrierte Fähe)

- 1 streifenförmige hyperechogene Veränderung im Nierenmark
- 2 Zyste im Nierenmark, die sich (außerhalb der Schnittebene) bis in die Nierenrinde ausdehnt

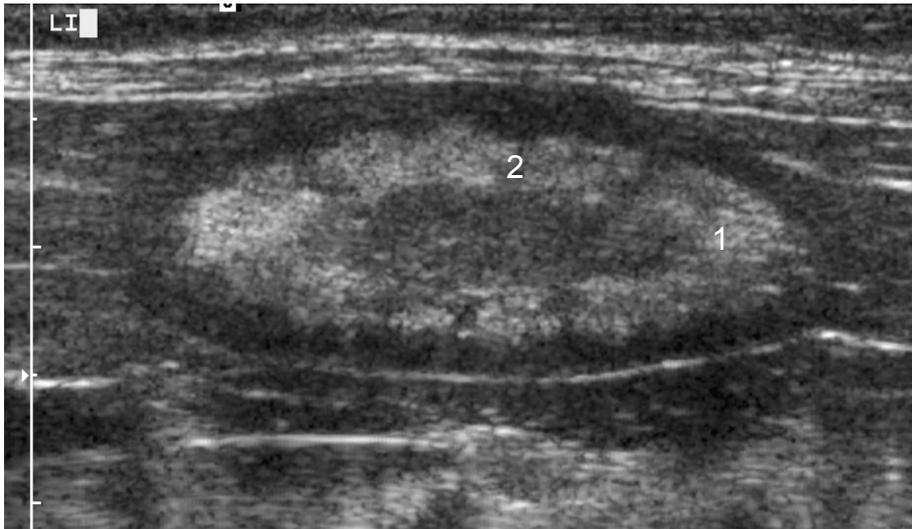


Abbildung 7: Hyperechogene Veränderung Grad III, linke Niere im Sagittalschnitt (fünfeinhalbjährige unkastrierte Fähe)

- 1 Homogene hyperechogene Veränderung im gesamten Markpyramidenbereich
- 2 Fehlende Hyperechogenität im Bereich des Gefäßverlaufs

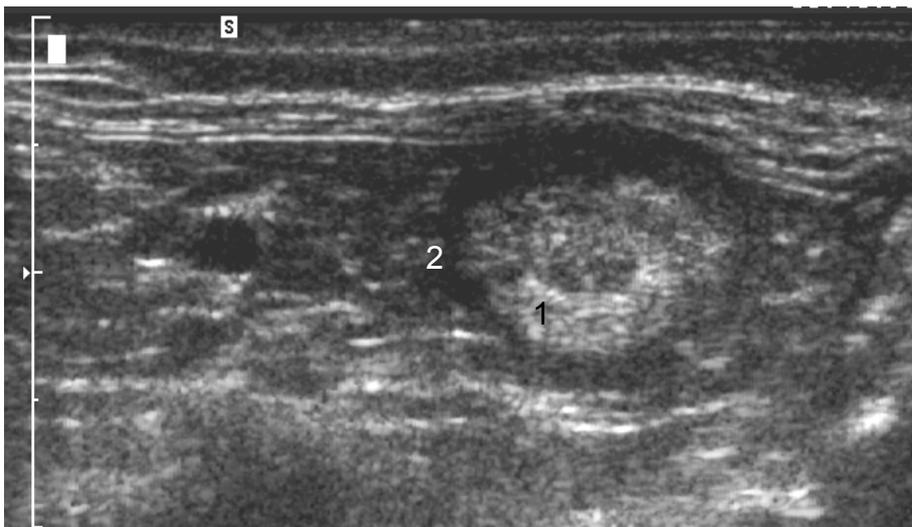


Abbildung 8: Hyperechogene Veränderung Grad III, linke Niere im Transversalschnitt (neunmonatige unkastrierte Fähe)

- 1 Homogene hyperechogene Veränderung im gesamten Markbereich
- 2 Nierenhilus

Nierenveränderungen in Form von Zysten zeigten sich bei insgesamt 12 der 38 Tiere (32%) in sehr unterschiedlicher Ausprägung. Die Zysten stellten sich typischerweise als echoarme rundliche bis ovale Strukturen mit distaler Schallverstärkung dar. Die Größe und Anzahl der Zysten innerhalb der Nieren variierten sehr stark (Abbildungen 9, 10 und 11). Die kleinste mittels Ultraschall identifizierte Zyste war im Durchmesser

0,8 mm groß, die größte hatte einen Durchmesser von 22 mm. Die Lokalisation der Zysten beschränkte sich vornehmlich auf die Nierenrinde. Nur bei zwei Tieren waren die Zysten so groß, daß sie sich bis in den Markbereich ausdehnten und in einem Fall die Oberfläche der Niere vorwölbten. Kleinere Zysten veränderten weder die Struktur noch die Oberfläche der betroffenen Niere. In 7 Fällen waren innerhalb einer Niere mehrere Zysten zu sehen. Die Echogenität des die Zyste umgebenden Nierenparenchyms war durch ihr Auftreten nicht beeinflusst.

Eine Einteilung des Schweregrades der zystischen Veränderungen wurde nach den oben genannten Kriterien vorgenommen, die Häufigkeit der einzelnen Schweregrade ist in Tabelle 14 dargestellt.

	Zysten rechts oder links	linke Niere Grad I	linke Niere Grad II	linke Niere Grad III	linke Niere Grad IV
AB ungestört	8	1	2	2	0
AB gestört	4	3	0	0	1
insgesamt	12	4	2	2	1

Tabelle 14: Häufigkeit des Auftretens von Zysten und einzelnen Zystengraden

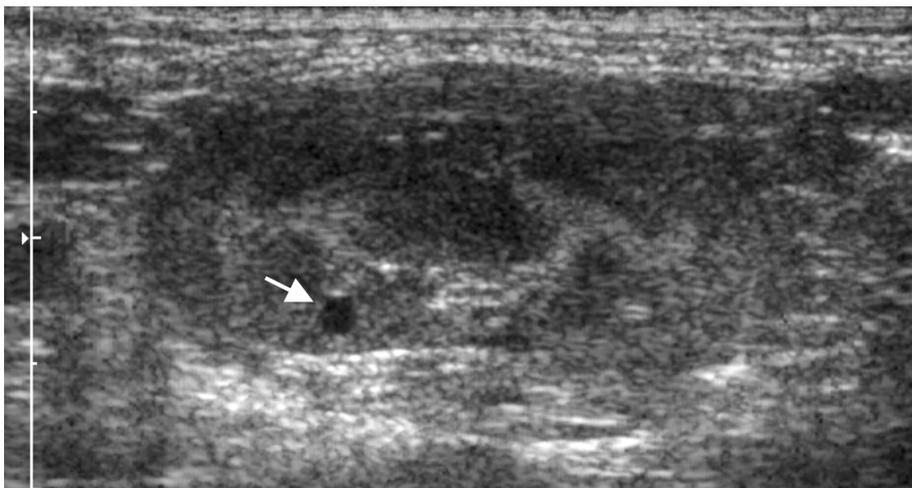


Abbildung 9: Zystische Veränderung Grad I, Dorsalschnitt der linken Niere mit kleiner Zyste (Pfeil) in der Rinde (vierjährige kastrierte Fähe)

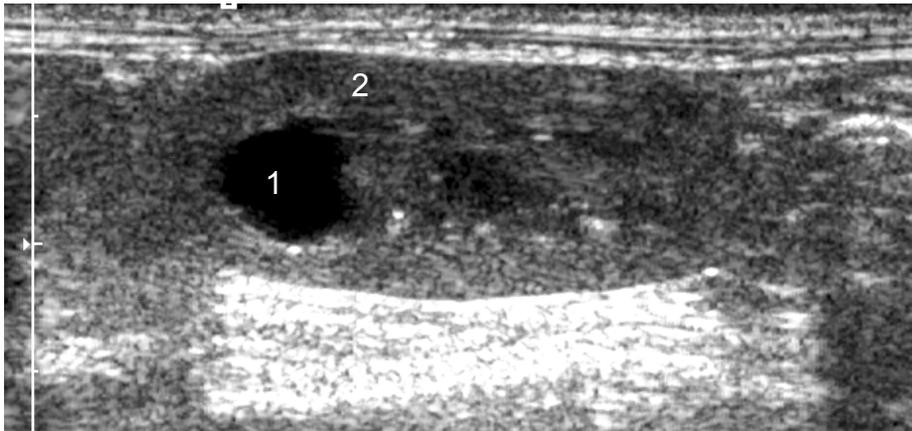


Abbildung 10: Zystische Veränderung Grad III, linke Niere im Sagittalschnitt (viereinhalbjährige kastrierte Fähe)

- 1 Mittelgroße Zyste im kranialen Nierenpol
- 2 Nierenrinde

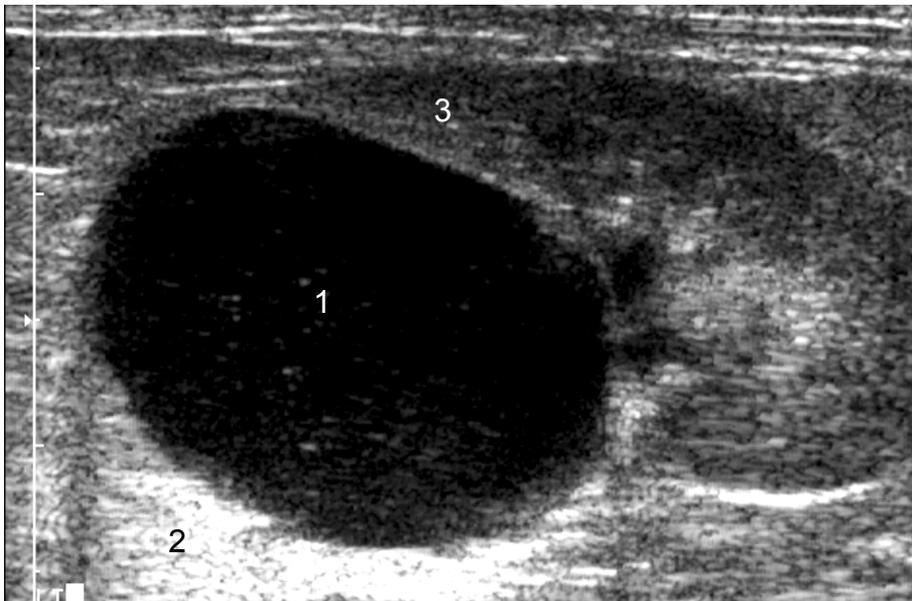


Abbildung 11: Zystische Veränderung Grad IV, linke Niere im Dorsalschnitt (siebenjährige kastrierte Fähe)

- 1 Große Zyste im kranialen Nierenpol
- 2 Distale Schallverstärkung
- 3 Nierenrinde

Die im Anschluß an die Darstellung der Nieren durchgeführte sonographische Untersuchung des übrigen Abdomens wurde vor allem im Hinblick auf zystische Veränderungen anderer Organe wie Leber, Pankreas etc. durchgeführt. Bei keinem der 38 untersuchten Frettchen wurden zystische Veränderungen in anderen abdominalen Organen gefunden.

2. Dopplersonographie der intrarenalen Gefäße der linken Niere

Bei allen 38 Tieren konnten dopplersonographische Untersuchungen der Nierengefäße vorgenommen werden. Um die Untersuchungszeit zu verkürzen, wurde die jeweils rechte Niere lediglich mittels zweidimensionaler Sonographie im Hinblick auf Veränderungen untersucht und auf die dopplersonographische Untersuchung verzichtet.

2.1. Darstellung der Nierengefäße

Power-Doppler-Sonographie:

Mit Hilfe dieses Dopplerverfahrens konnte der Verlauf der Blutgefäße in der Niere dargestellt werden (Abb. 12). Der Verlauf der Gefäße war vom Hilus bis zur Aufzweigung in die Aa. arcuatae zu verfolgen. In einer Schnittebene zeigten sich mindestens zwei und bei zwei Frettchen sechs fächerartig in die Nierenperipherie ziehende Interlobargefäße (Abbildung 12). Eine Veränderung des Power-Doppler Bildes war nur beim Auftreten sehr großer Zysten festzustellen. In diesen Fällen war der Gefäßverlauf aufgrund der Zyste beeinträchtigt.

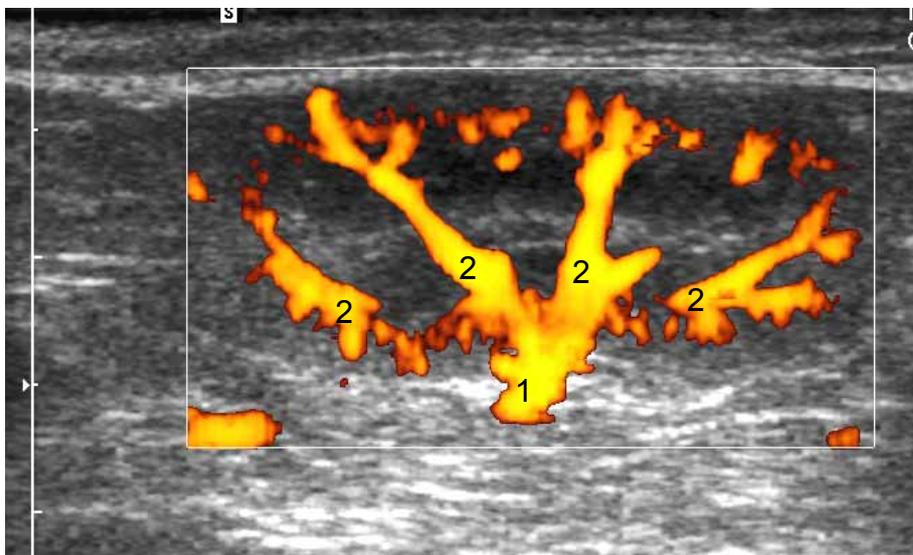


Abbildung 12: Gefäßbaum-Darstellung mit Power-Doppler, linke Niere im Dorsalschnitt (dreijährig kastrierte Fähe)

- 1 Arteria renalis
- 2 Arteriae interlobares

Farbkodierte Dopplersonographie

Mit Hilfe der farbkodierten Sonographie ließ sich der parallele Gefäßverlauf der Nierenarterien und Nierenvenen gut darstellen. Die weiter in der Nierenperipherie liegenden Gefäße konnten aufgrund ihrer niedrigen Flußgeschwindigkeit größtenteils nicht dargestellt werden. In einer Schnittebene konnten zwei bis sechs Arterien dargestellt werden, die von den parallel dazu verlaufenden Venen begleitet wurden (Abbildung 13). Nieren mit hyperechogenen Veränderungen wiesen keine besonderen Befunde im Farb-Doppler-Bild auf, wohingegen Zysten im Nierenrindnenbereich durch ihre Raumforderung den Verlauf der Gefäße beeinflussten. Entweder konnte das Flußsignal nicht weiter verfolgt werden oder das Gefäß umging in seinem Verlauf die Zystenkontur.

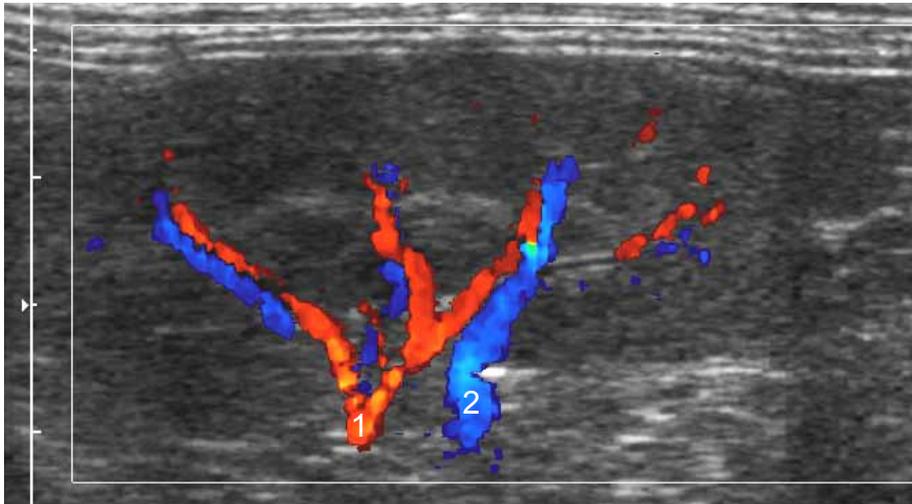


Abbildung 13: Gefäßbaum-Darstellung mit Farbdoppler (zweijähriger kastrierter Rüde)

- 1 Arteria renalis
- 2 Vena renalis

2.2. Duplex-Dopplerverfahren

Pulsfrequenz

Die mittlere durch Dopplersonographie ermittelte Pulsfrequenz aller untersuchten Tiere lag bei 221 ± 33 Schlägen pro Minute, das Minimum betrug 160, das Maximum 289 Schläge pro Minute. Der geringe Unterschied der mittleren Pulsfrequenz der Fähen und Rüden war nicht statistisch signifikant (Tabelle 15).

	gesamt	Rüden	Fähen
Pulsfrequenz (Schläge pro Minute) (MW ± SD)	221 ± 33	218 ± 36	224 ± 30

Tabelle 15: Pulsfrequenz aller untersuchten Tiere (n=38)

Qualitative Beurteilung des Blutflusses

In jedem Fall zeigte die von einer A. interlobaris abgeleitete Flußkurve den typischen Verlauf eines Niedrigwiderstandsgefäßes. Alle Kurven zeigten ein monophasisches Profil mit kontinuierlichem Vorwärtsfluß. Die Morphologie der Flußprofile war individuell kaum verschieden. Unterschiede betrafen hauptsächlich die Steilheit des Abfalls nach dem systolischen Peak (Abbildung 14 und 15). In allen Fällen war der Peak eingipflig und der Abfall kontinuierlich. Selbst bei Tieren mit niedriger Pulsfrequenz war kein Compliance-Peak vorhanden (Abbildung 14).

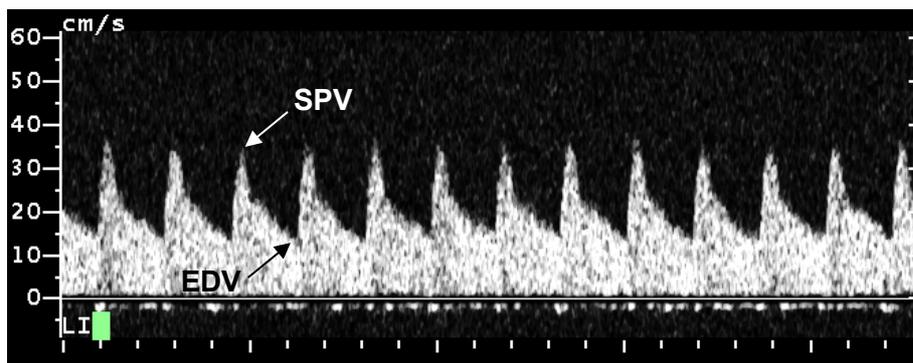


Abbildung 14: Blutfluß in einer A. interlobaris bei einer Pulsfrequenz von 172 Schlägen pro Minute. Darstellung mit PW-Doppler (siebenjährige kastrierte Fähe)

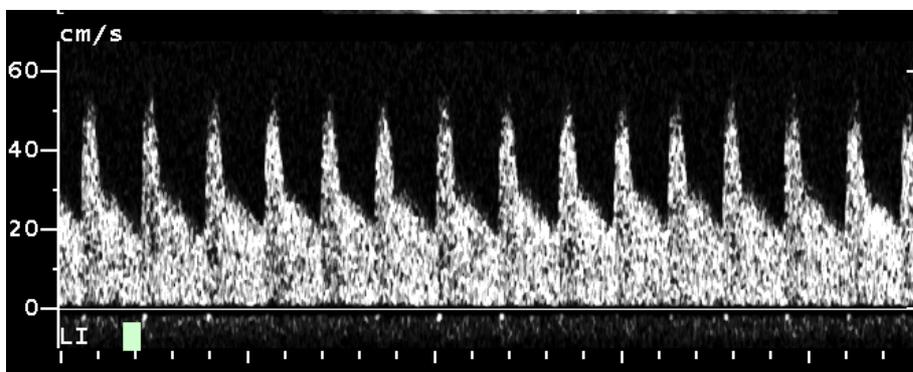


Abbildung 15: Blutfluß in einer A. interlobaris bei einer Pulsfrequenz von 198 Schlägen pro Minute. Darstellung mit PW-Doppler (zweijähriger kastrierter Rüde)

Quantitative Beurteilung des Blutflusses

Anhand der Parameter, die mit dem PW-Doppler ermittelt wurden, konnten die Blutflüsse quantifiziert werden und innerhalb der verschiedenen Gruppen miteinander in Beziehung gebracht werden.

Neun Frettchen wiesen weder ein gestörtes Allgemeinbefinden noch sonographisch erkennbare Veränderungen der Nieren auf. Diesen im folgenden als Kontrollgruppe bezeichneten Tieren gehörten fünf Rüden und vier Fähen an. Ihr mittleres Alter betrug 2 Jahre \pm 1,3 mit einem Minimum von 0,3 Jahren und einem Maximum von 4 Jahren. Das mittlere Gewicht dieser Gruppe lag bei 1140 g. Die mittleren Fließparameter, die bei diesen Kontrolltieren ermittelt wurden, sind in Tabelle 16 aufgeführt.

	PF	SPV	EDV	TAMx	TAMn	PI	RI	PS/ED
MW	226	46,8	21,6	30,9	16,1	0,83	0,54	2,2
SD	\pm 35,3	\pm 7,8	\pm 3,8	\pm 5,0	\pm 2,7	\pm 0,10	\pm 0,04	\pm 0,22
min	189	36	16,5	23,2	12,4	0,68	0,48	1,9
max	289	58,8	26,8	36,9	19,5	0,98	0,61	2,6

Tabelle 16: Pulsfrequenz (Schläge pro Minute), Geschwindigkeiten (cm/s) und Indizes der Frettchen aus der Kontrollgruppe (n=9)

Innerhalb dieser Gruppe wurden die Fließparameter bezüglich des Einflusses der extrarenalen Faktoren Pulsfrequenz, Geschlecht, Alter und Körpermasse untersucht. Es zeigte sich, daß die Rüden (n = 5) im Vergleich zu den Fähen (n=4) statistisch signifikant höhere Fließgeschwindigkeiten aufwiesen, während die Indizes (RI, PI, PS/ED) nicht vom Geschlecht beeinflusst wurden (Tabelle 17). Weder für die Pulsfrequenz noch die Körpermasse oder das Alter konnte ein statistisch signifikanter Einfluß auf die Fließparameter nachgewiesen werden.

Zur Klärung des Einflusses der sonographisch festgestellten Nierenveränderungen in Form von Zysten oder hyperechogenen Veränderungen auf den arteriellen Blutfluß wurden die Werte der Kontrollgruppe mit den Blutfließparametern der 20 Tiere verglichen, die bei ungestörtem Allgemeinbefinden entsprechende Nierenveränderungen aufwiesen. Die statistische Auswertung ergab weder für die absoluten Geschwindig-

keiten noch für die winkelunabhängigen Indizes eine Beeinflussung durch die Parenchymveränderungen.

Aa interlobares	PF	SPV*	EDV*	TAMx*	TAMn*	PI	RI	PS/ED
Rüden	219 ± 40	49,3 ± 9,0	22,4 ± 4,0	32,0 ± 5,9	16,5 ± 3,2	0,86 ± 0,07	0,55 ± 0,03	2,24 ± 0,18
Fähen	235 ± 32	43,6 ± 5,2	20,7 ± 3,8	29,5 ± 4,0	15,6 ± 2,2	0,78 ± 0,13	0,52 ± 0,06	2,14 ± 0,29

*Tabelle 17: Pulsfrequenz (Schläge pro Minute), Fließgeschwindigkeiten (cm/s) und Indizes bei Rüden und Fähen der Kontrollgruppe (n=9); Die mit * gekennzeichneten Parameter sind signifikant unterschiedlich.*

Auch im Vergleich der Kontrollgruppe mit den hochgradig hyperechogenen Nieren (Grad III (n=4)), waren keine signifikanten Unterschiede in den Fließgeschwindigkeiten und Indizes vorhanden.

Nachdem gezeigt werden konnte, daß die gefundenen Nierenparenchymveränderungen bei Tieren mit ungestörtem Allgemeinbefinden keinen Einfluß auf die Blutfließparameter in den Aa. interlobares ausüben, wurde nochmals der Einfluß extrarenaler physiologischer Parameter in dieser Gesamtgruppe der Tiere mit ungestörtem Allgemeinbefinden (n=29) entsprechend den Untersuchungen in der relativ kleinen Kontrollgruppe untersucht. Der statistisch signifikante Einfluß ($p = 0,01$) des Geschlechtes auf die Blutfließgeschwindigkeit konnte bestätigt werden (Diagramm 1). Wiederum konnte auch in dieser größeren Untersuchungsgruppe kein Einfluß der Pulsfrequenz, des Alters oder der Körpermasse auf die Fließgeschwindigkeiten nachgewiesen werden.

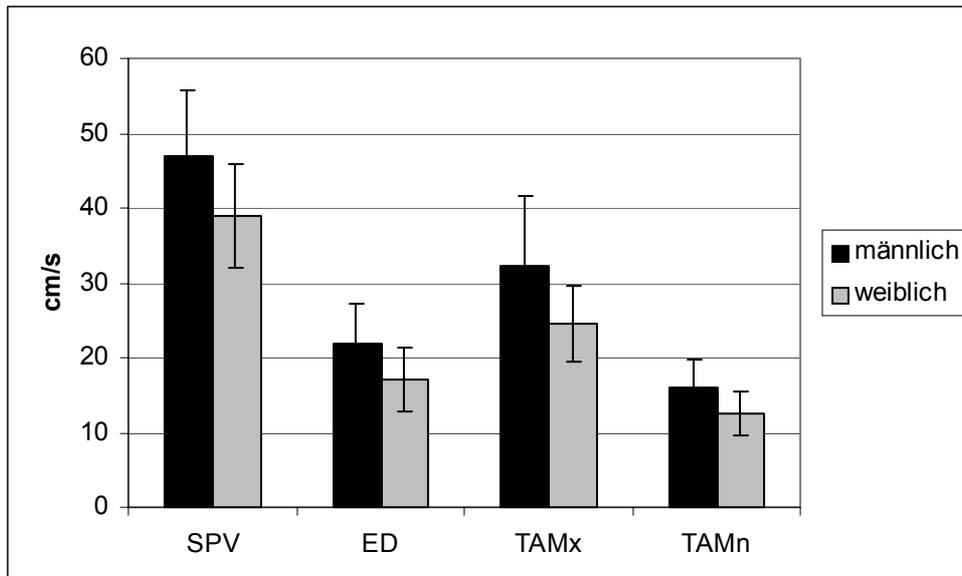


Diagramm 1: Die Geschwindigkeiten der Rüden waren mit ($p = 0,01$) signifikant höher als die der Fähen in der Gruppe von Tieren mit ungestörtem Allgemeinbefinden ($n = 29$). Signifikante Unterschiede finden sich in allen 4 Parametern

Während in der Kontrollgruppe für keinen der untersuchten extrarenalen Faktoren eine Beeinflussung der Indizes gezeigt werden konnte, ergab sich in der größeren Untersuchungsgruppe der Tiere mit ungestörtem Allgemeinbefinden ein anderes Bild. Es konnte eine statistisch signifikante positive Korrelation der Indizes (PI $r=0,51$; RI $r=0,57$; PS/ED $r=0,60$) mit dem Lebensalter nachgewiesen werden (Diagramm 2).

Im weiteren wurde der Einfluß einer Störung des Allgemeinbefindens auf die Nierendurchblutung untersucht. Hierzu wurden die Fließparameter der Frettchen mit gestörtem Allgemeinbefinden ($n= 9$) mit den Werten der 29 Tieren ohne Störung des Allgemeinbefindens verglichen. Wie die Untersuchung ergab, lagen alle drei Indizes (PI, RI, PS/ED) bei den Tieren mit gestörtem Allgemeinbefinden statistisch signifikant deutlich über den Werten der Frettchen mit ungestörtem Allgemeinbefinden (Diagramm 3). Der Mittelwert des PI lag bei den Tieren mit ungestörtem Allgemeinbefinden bei $0,86 \pm 0,22$ und bei den Tieren mit gestörtem Allgemeinbefinden bei $1,16 \pm 0,37$. Der mittlere RI betrug bei ungestörtem Allgemeinbefinden $0,54 \pm 0,07$ und bei gestörtem $0,64 \pm 0,89$. Die absoluten Fließgeschwindigkeiten waren dagegen nicht statistisch signifikant unterschiedlich.

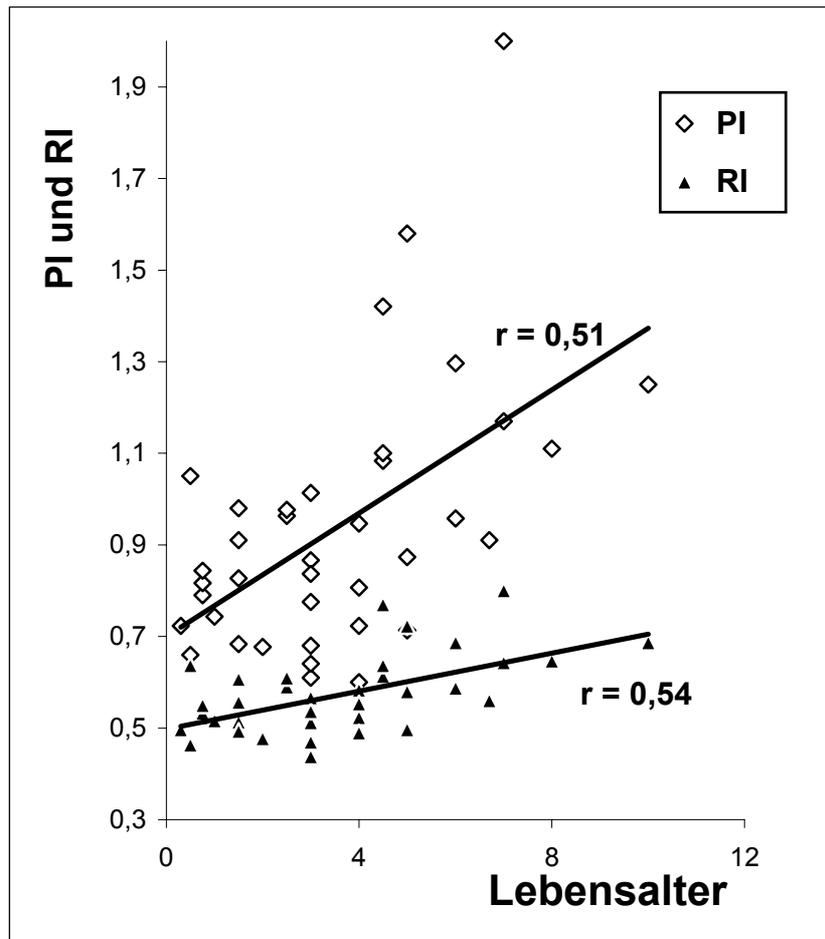


Diagramm 2: Signifikante ($p \leq 0,05$) Korrelation des RI (mit $r = 0,57$) und PI (mit $r = 0,51$) mit dem Lebensalter bei 29 Tieren mit ungestörtem Allgemeinbefinden

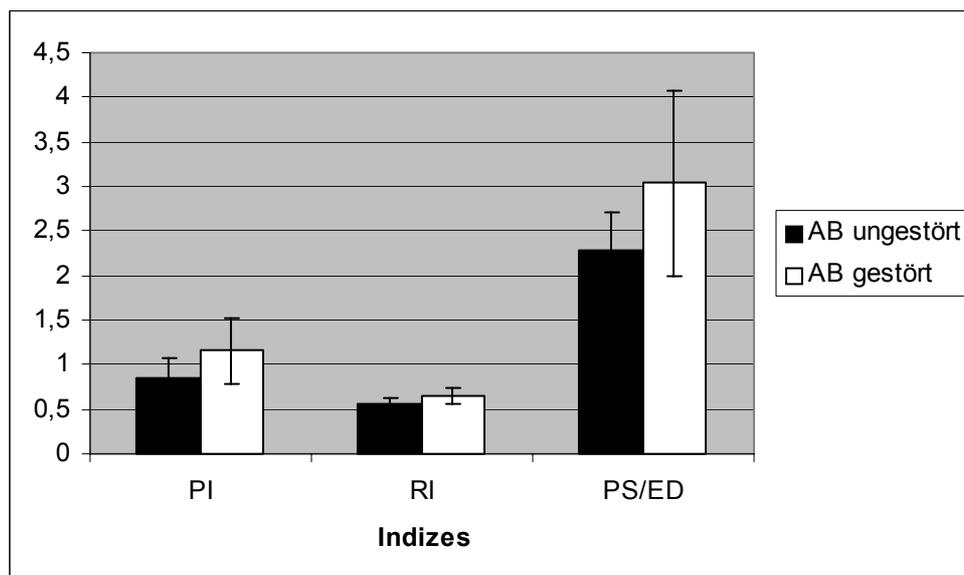


Diagramm 3: Frettchen mit gestörtem ($n=9$) Allgemeinbefinden (AB) hatten signifikant ($p \leq 0,05$) höhere Indizes als Frettchen mit ungestörtem Allgemeinbefinden ($n=29$).

V. Diskussion

1. Methode

Das bereits bei Hund und Katze etablierte Verfahren der sonographischen Nierenuntersuchung konnte auch beim Frettchen gut durchgeführt werden. Lediglich das Anlegen korrekter Schnittebenen in der rechten Niere erwies sich teilweise als schwierig, da die locker aufgehängte Niere immer wieder unter dem Druck des Schallkopfes leicht aus dem Bild rutschte.

Da die untersuchten Frettchen als Heimtiere gehalten wurden und deswegen den menschlichen Umgang gewöhnt waren, zeigten sich die sonst als wehrhaft geltenden Tiere sehr tolerant gegenüber der Untersuchung. Während der Sonographie wurden die Tiere in Rückenlage gehalten. Nur bei einzelnen Tieren war ein Nackengriff während der Untersuchung nötig. Bei keinem der Frettchen war eine Sedation erforderlich. Mit zunehmender Dauer der Untersuchung wurden die lebhaften Tiere jedoch unruhiger, und die Fixation in Rückenlage wurde meist nur 20 - 30 Minuten toleriert.

Die zur Untersuchung verwendete 12 MHz-Linearsonde eignete sich hervorragend zur Darstellung der Nieren, wie auch der übrigen abdominalen Organe. In bisherigen Dokumentationen über abdominale Sonographie beim Frettchen wurden Linear-schallköpfe mit einer Sendefrequenz von 5-7 MHz verwendet. Mit der technischen Weiterentwicklung war durch das hohe Auflösungsvermögen des Schallkopfes eine detailliertere Darstellung und deshalb eine genauere Befunderhebung möglich.

Die dopplersonographische Untersuchung zur Bestimmung der Fließparameter ist bei Hund und Katze bereits in Studien als gut durchführbar beschrieben (RIVERS ET AL.1997 b, MITCHELL ET AL.1998, DEPKEN 1999, MÖLLER 2001). Sie gelang in dieser Untersuchung an Frettchen trotz ihrer geringen Körpergröße verhältnismäßig leicht und nahm nach kurzer Einarbeitungszeit in die sonographische Untersuchung der Niere nur ca. 10 - 15 Minuten in Anspruch. Da mit stärker werdender Aufregung der Tiere im Verlaufe der Untersuchung die Atemfrequenz zunahm, konnten gut reproduzierbare Ergebnisse bei den meisten Tieren nur innerhalb der ersten 20 Minuten der Untersuchung erhalten werden. Um die Untersuchungsdauer zu verkürzen,

wurde daher entschieden, nur die linke Niere dopplersonographisch zu untersuchen. Diese Entscheidung erschien insbesondere unter dem Aspekt, daß bisher bei keiner Spezies signifikante Differenzen zwischen den Werten der rechten und linken Niere festgestellt wurden (Hund: v. GÖTZ 1999; Katze: GÖDDENHENRICH 1997, HANENBERG 1998, DEPKEN 1999), vertretbar.

Laut PLATT ET AL. (1990) sind Änderungen der Parameter am sensitivsten in den Gefäßen der Nierenperipherie, wie den Aa. arcuatae, festzustellen. Mit der Duplex-Sonographie waren diese Gefäße beim Frettchen aber aufgrund ihres sehr kleinen Durchmessers und ihrer niedrigen Fließgeschwindigkeit mit dem verwendeten Ultraschallsystem nicht zuverlässig darstellbar. Um die Vergleichbarkeit der Meßwerte verschiedener Tiere gewährleisten zu können, sollten gleiche Meßlokalisationen gewählt werden, da die Höhe der Fließgeschwindigkeiten von der gewählten Lokalisation abhängig ist (PLATT ET AL. 1990). Um konstante Ergebnisse zu erhalten, wurden daher bei den untersuchten Frettchen für die Duplex-Sonographie die Aa. interlobares gewählt, die sich schon in Untersuchungen bei Mensch, Hund und Katze bewährt hatten (NYLAND ET AL. 1993, KNAPP ET AL. 1995, HOLLENBECK 2000, MÖLLER 2001).

2. B-Bild-Sonographie

Da es sich beim Frettchen makroskopisch-anatomisch um den gleichen Nierentyp wie bei Hund und Katze handelt, war auch erwartungsgemäß das sonographische Bild der Frettchenniere demjenigen dieser Tierarten sehr ähnlich. Es kann daher mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, daß auch die sonographisch erkennbaren Veränderungen ähnlich zu interpretieren sind und die daraus resultierenden Funktionsstörungen denen von Hund und Katze entsprechen.

Mittels B-Bild Sonographie konnten sehr häufig Nierenveränderungen festgestellt werden, die auch in der Literatur als häufig auftretende Veränderungen beschrieben sind (WENZEL UND BERESTOV 1987, HILLYER 1997, ORCUTT 2003). Während ANDREWS (1979) bei zehn Prozent der von ihm untersuchten Frettchen Nierenzysten feststellte, lag die Häufigkeit dieses Befundes in den eigenen Untersuchungen sogar bei 32 %. Die bei den eigenen Untersuchungen festgestellten Nierenzysten hatten zumeist einen sehr kleinen Durchmesser, konnten aber mit dem verwendeten hochauflösenden Linearschallkopf problemlos dargestellt werden. Vermutlich konnten sehr kleine Zysten in bisherigen Arbeiten durch Schallköpfe mit geringerem Auflösungsvermö-

gen nicht entdeckt werden. Inwieweit Zysten mit einem kleineren Durchmesser als 0,8 mm vorhanden waren, deren Größe auch bei dem verwendeten hochauflösenden Gerät unterhalb der Auflösungsgrenze lagen, hätte nur durch vergleichend histologische Untersuchungen festgestellt werden können. Zusätzlich zum begrenzten Auflösungsvermögen spielt bei der Erkennung von Nierenzysten laut GERWING (1999) auch die Erfahrung des Untersuchers eine Rolle. Eine Zunahme der Häufigkeit innerhalb des Untersuchungszeitraumes und damit zunehmender Erfahrung war aber in den eigenen Untersuchungen nicht zu verzeichnen.

In der vorliegenden Arbeit konnten Zysten nur in der Nierenrinde festgestellt werden. Lediglich bei sehr großen Zysten war eine Ausdehnung von der Nierenrinde bis ins Nierenmark erkennbar, ein Auftreten von Nierenzysten ausschließlich im Nierenmark konnte nicht festgestellt werden. Auch ANDREWS (1979) und ESTEVES (1994) geben als Lokalisation der beim Frettchen auftretenden Nierenzysten die Nierenrinde bzw. den juxtamedullären Bereich an. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Angaben von MEYER-LINDENBERG (1998) und MÖLLER (2001) hinsichtlich der Lokalisation von Nierenzysten bei Perserkatzen mit PKD. Da bei keinem der zwölf Frettchen Zysten in anderen abdominalen Organen festgestellt wurden, fanden sich in dieser Untersuchung keine Hinweise auf eine polyzystische Erkrankung in Form eines polyzystischen Syndroms beim Frettchen, wie es von DILLBERGER (1985) vermutet wird. Bei vielen Spezies ist der Vererbungsgang polyzystischer Erkrankungen bekannt (Katze: CROWELL ET AL. 1979, BILLER ET AL. 1990, PEDERSEN ET AL. 2003; Hund: MC KENNA UND CARPENTER 1980, MC ALOOSE ET AL. 1998, O'LEARY 1999; Nerz: HENRIKSEN 1988), hinsichtlich einer Vererbung der Zysten beim Frettchen konnten jedoch nach dieser Arbeit keine Aussagen getroffen werden, da nur wenige Frettchen in dieser Studie miteinander verwandt waren.

Auffällig hoch war die Häufigkeit des Auftretens hyperechogener Veränderungen an der Mark-Rinden-Grenze der untersuchten Nieren. Bei 53% der Frettchen waren diese Veränderungen in unterschiedlicher Ausprägung sonographisch deutlich erkennbar.

Da laut WENZEL UND BERESTOV (1987) Nephrokalzinosen bei karnivoren Pelztieren häufig auftreten, liegt die Vermutung nahe, daß es sich bei den hier zahlreich aufgetretenen Veränderungen ebenfalls um Mineralstoffablagerungen handelt. Eine endgültige Abklärung kann jedoch nur durch eine histologische Untersuchung erfolgen,

da eine sonographische Diagnosestellung allein anhand der Echogenität des Nierenparenchyms nach Untersuchungsergebnissen beim Menschen (ROSENFELD ET AL. 1978, PLATT 1988) und bei Hund und Katze (WALTER 1987 a UND 1988, YEAGER UND ANDERSON 1989) nicht hinreichend sicher in seiner Aussagekraft ist.

Dennoch konnten im sonographischen Bild der Frettchennieren Merkmale festgestellt werden, die allgemein als Hinweis für eine Nephrokalzinose bzw. Mineralstoffablagerung gewertet werden.

Die geringgradig (Grad I) hyperechogenen Veränderungen ähnelten in ihrer sonographischen Erscheinung sehr dem vor allem bei der Katze auftretenden medullary rim sign, welches nach BILLER ET AL. (1992) durch die Ablagerung von Mineralstoffen in den Tubulusepithelien entsteht.

Während der sonographischen Untersuchung konnten die hyperechogenen Bereiche in mehreren Ebenen dargestellt werden. Somit war eines der von MYRACLE ET AL. (1986) postulierten Kriterien aus der Humanmedizin für die Nephrokalzinose bei den untersuchten Frettchen erfüllt. Die geforderte Mindestgröße für einen einzelnen Nephrokalzinosefokus von 3 mm, die das zweite humanmedizinische Kriterium darstellt, wurde hingegen bei keinem der untersuchten Tiere erreicht. Dies war allerdings bei der, im Vergleich zum Menschen, geringen Nierengröße des Frettchens auch nicht zu erwarten.

Der in dieser Untersuchung nie festgestellte Schallschatten ist als Kriterium nicht geeignet, da eine Nephrokalzinose mit oder ohne Schallschatten auftreten kann (JANTHUR UND LÜERSSSEN 1998). Laut PFITZER ET AL. (1998) sowie THEODOROPOULOS ET AL (1995) ist mit einer Schallauslöschung nur bei größeren Konkrementen zu rechnen. Auch BARR ET AL. (1989) beschrieben Nieren mit hyperechogenen Veränderungen ohne Schallschatten, bei denen histologisch eine Kalzinose diagnostiziert wurde.

Differentialdiagnosen zum sonographischen Bild einer Nephrokalzinose umfassen Glomerulonephritiden, Tubulonekrose und das Bild einer end-stage-kidney. Diese Erkrankungen der Niere gehen allerdings alle mit einer starken Funktionseinschränkung des Organs einher und mit dem klinischen Bild einer Niereninsuffizienz. In der vorliegenden Studie hatte kein Frettchen mit hochgradig hyperechogen veränderten Nieren Symptome einer Nierenfunktionseinschränkung, wodurch sich der Verdacht,

daß es sich bei den hyperechogenen Veränderungen um eine Nephrokalzinose handelt, erhärtet.

Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten dieser Veränderungen und der Fütterung der betroffenen Tiere wird zumindest für den Nerz diskutiert (WENZEL UND BERESTOV 1987). Eine Untersuchung diesbezüglich ist in Bearbeitung, das Ergebnis steht derzeit noch aus.

Die hier vorgenommene Einteilung der hyperechogenen Veränderungen in Schweregrade wurde in Anlehnung an ein Schema zur Einteilung von Nephrokalzinosen aus der Humanmedizin vorgenommen. Es muß hierzu angemerkt werden, daß die Einteilung subjektiven Einflüssen unterliegt und innerhalb der einzelnen Grade unterschiedliche Ausprägungen vorlagen, so daß auch eine eindeutige Zuordnung zum jeweiligen Schweregrad teilweise schwierig war. In der humanmedizinischen Studie wurde aber mittels dieses Schemas eine gute Übereinstimmung in der Einteilung in Nephrokalzinosegrade zwischen verschiedenen Untersuchern erzielt (DICK ET AL 1999).

Die klinische Relevanz der hyperechogenen Veränderungen scheint eher zweifelhaft, da selbst das Auftreten hochgradiger Veränderungen in dieser Arbeit nur in Einzelfällen an ein gestörtes Allgemeinbefinden gekoppelt war und die Frettchen keine klinischen Symptome einer Niereninsuffizienz zeigten. Während die Angaben für Hund und Katze den eigenen Ergebnissen entsprechen (YEAGER UND ANDERSSON 1989), wird in der Literatur zum Nerz beschrieben, daß schwere Fälle einer Nephrokalzinose sehr wohl mit klinischen Symptomen wie Polydipsie, Ödembildung und Abmagerung einhergehen (WENZEL UND BERESTOV 1987). Diesbezüglich sind weiterführende Untersuchungen angezeigt.

3. Farbkodierte Dopplersonographie der Nierengefäße

Die dopplersonographischen Bilder der Frettchenniere entsprachen weitgehend denen von Hund und Katze. Da der Durchmesser der Nierengefäße beim Frettchen sehr klein ist und damit auch die Fließgeschwindigkeit niedrig ist, konnten mit dem verwendeten Ultraschallgerät nur größere Gefäße der Niere zuverlässig dargestellt werden. Damit sinkt der diagnostische Wert dieser Gefäßdarstellung in der Heimtierpraxis, während er in der Humanmedizin unumstritten ist, da er das Erkennen von

Nierentumoren und Niereninfarkten ermöglicht. Individuell konnten beim Frettchen kaum Unterschiede im Gefäßverlauf festgestellt werden.

Im dopplersonographischen Bild der hochgradig hyperechogenen Nieren zogen die Interlobargefäße fächerförmig in die Peripherie und zeichneten sich genau an den Stellen im Nierenmark ab, die im B-Bild von den hyperechogenen Bereichen ausgespart blieben. Die hyperechogenen Veränderungen sparen also den Bereich der Nierengefäßen aus.

Nur bei hochgradig zystischen Veränderungen, die hier dem Schweregrad III und IV zugeordnet wurden, konnten Abweichungen des Gefäßverlaufes festgestellt werden. Kleinere Zysten hatten keinen Einfluß und so bot die dopplersonographische Untersuchung keine zusätzliche Hilfe zur B-Bild Sonographie in der Detektion renaler Zysten.

4. PW Dopplersonographie

4.1. Bewertung der Kurvenmorphologie

In den meisten Fällen war es mit Geduld trotz der Lebhaftigkeit der Frettchen gelungen, qualitativ gute Flußprofile zu erhalten. Prinzipiell entsprach die Kurve der von Hund, Katze und Mensch bekannten Kurvenmorphologie. Auffällig an den Flußprofilen war, daß dem frühsystolischen Gipfel kein zweiter Gipfel (Compliance Peak) folgte. Das Fehlen dieses Peaks ist Folge einer niedrigen Gefäßcompliance (HALPERN 1995). Da die Compliance der Gefäße mit einer Zunahme der Pulsfrequenz fällt, ist anzunehmen, daß die hohe Pulsfrequenz der in dieser Arbeit untersuchten Frettchen die Ursache des fehlenden Compliance Peaks ist. Es konnten keine Unterschiede zwischen den Flußprofilen normaler und veränderter Nieren festgestellt werden.

4.2. Bewertung der meßbaren Parameter

Winkelunabhängige Parameter werden bevorzugt zur Auswertung dopplersonographischer Untersuchungen herangezogen. Allerdings zeigte sich in vorliegender Untersuchung, daß sowohl der RI als auch der PI vom Allgemeinbefinden der Tiere abhängig waren. Tiere mit gestörtem Allgemeinbefinden hatten signifikant höhere Indizes, während die Fließgeschwindigkeiten abnahmen. Für die klinische Diagnostik

ist dieser Befund erheblich, da somit eine Veränderung des renalen RI vorliegen kann, ohne daß dies zwingend auf eine Nierenerkrankung zurückzuführen sein muß.

Der RI wird nicht nur durch pathologische Einflüsse beeinträchtigt. Es darf nicht vergessen werden, daß die Indizes und Geschwindigkeiten von zahlreichen extrarenalen physiologischen Faktoren beeinflusst werden, die bei der Auswertung renaler Fließparameter berücksichtigt werden müssen.

Eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit den Indizes spielt hierbei die Herzfrequenz. In Untersuchungen an Katzen (DEPKEN 1992) sowie in humanmedizinischen Studien (MOSTBECK ET AL. 1990, SCHWERK ET AL. 1993) wurde ein Fallen der Indizes mit steigender Herzfrequenz beschrieben. Innerhalb der Frettchengruppe konnte allerdings keine Korrelation der Pulsfrequenz mit den Indizes festgestellt werden. Eine Erklärung könnte sein, daß die Pulsfrequenzen unter den Tieren nur relativ wenig differierten. Eventuell ist ein Einfluß der Pulsfrequenz auf die Indizes nur im Vergleich der mittleren Herzfrequenz verschiedener Tierarten aufgrund der größeren Unterschiede festzustellen. Dieser Verdacht wird durch die Tatsache erhärtet, daß die Mittelwerte für den RI und den PI der gesunden Frettchen ohne Nierenveränderungen, deren mittlere Pulsfrequenz deutlich höher als die von Hund und Katze ist, im unteren Bereich des bisher für Hunde und Katzen ermittelten Normwertrahmens (MITCHELL ET AL. 1998) und deutlich unter dem von MÖLLER (2001) für Katzen und DECKINGER (2003) für Dachshunde gemessenem Mittelwert liegen. BUBLAK (2002) kam jedoch nach ihrer Untersuchung an Alpakas zu Ergebnissen, die dieser Theorie widersprechen. Die Alpakas hatten bei einer mittleren Herzfrequenz von nur 57 Schlägen pro Minute durchschnittlich einen RI von nur 0,49 obwohl bei dieser geringen Herzfrequenz eher ein höherer RI zu erwarten wäre.

Ein weiterer Grund für die vergleichsmäßig niedrigen Normalwerte des RI und PI im Vergleich zu anderen Tierarten ist in der hohen Herzfrequenz der Frettchen, die eine Abnahme der Compliance bedingt, zu suchen. BUDE ET AL. (1999) stellten fest, daß mit abnehmender Compliance die Indizes fallen und der Einfluß des Gefäßwiderstandes auf die Indizes geringer wird.

Die Tatsache, daß die Werte für die absoluten Geschwindigkeiten in den Interlobararterien der Frettchen sehr viel höher lagen als die von Katzen (DEPKEN 1999, MÖLLER 2001) angegeben, kann durch den Einfluß des Anschallwinkels und die gering-

fügigen Unterschiede in der Lokalisation des Meßfensters innerhalb der Aa. interlobares nicht erklärt werden. Mögliche Ursachen der Diskrepanz der Geschwindigkeitswerte liegen ebenfalls in der höheren Pulsfrequenz der Frettchen. Auch in diesem Fall widersprechen die Untersuchungen von BUBLAK (2002) dieser Hypothese: Bei einer relativ niedrigen Herzfrequenz von 57 Schlägen pro Minute wiesen die Alpakas höhere Fließgeschwindigkeiten in den Aa. interlobares auf (SPV: MW 90,0 cm/s) als die untersuchten Frettchen, die mit einer mittleren Pulsfrequenz von 221 Schlägen pro Minute niedrigere Fließgeschwindigkeiten hatten (SPV: MW 46,8 cm/s).

TERRY ET AL. (1992) und SCHWERK ET AL. (1993) stellten beim Menschen einen Anstieg der Indizes mit zunehmendem Alter fest. Erstmals konnte diese signifikante Korrelation des Alters mit den Indizes beim erwachsenen Tier festgestellt werden. Bisherige Untersuchungen beschäftigten sich mit dem Anstieg der Indizes bei Hunde- und Katzenwelpen in den ersten Lebenswochen (HANENBERG 1998, ROHRWEBER 1999).

Ein bisher nicht bekannter Einflußfaktor auf die Fließgeschwindigkeiten war überraschenderweise das Geschlecht der Frettchen. Bei Rüden wurden signifikant höhere Geschwindigkeiten als bei Fähen festgestellt, wobei das deutlich höhere Körpermasse der männlichen Tiere als ursächlicher Faktor mit Hilfe einer Regressionsanalyse ausgeschlossen werden konnte und die Pulsfrequenzen von Rüden und Fähen nicht differierten. In bisherigen Untersuchungen in der Human- und Veterinärmedizin konnten keine geschlechtsbedingten Unterschiede der Fließgeschwindigkeiten festgestellt werden. Die Ursache dieses Ergebnisses ist nicht geklärt und bedarf weiterer Untersuchungen.

Anders als die physiologischen Einflußfaktoren ist der Einfluß von Parenchymveränderungen auf die Fließparameter häufig diskutiert. Dies liegt sicherlich auch an den kontroversen Ergebnissen vorangegangener Studien. Während BRJKLALIC ET AL. (1997) einen Einfluß von Zysten auf den RI bei APKD erkrankten Menschen feststellte, konnte MÖLLER (2001) keine Änderung des RI bei Perserkatzen mit PKD feststellen. Lediglich die zwei Tiere, die bereits klinische Symptomatik zeigten, hatten erhöhte Widerstandsindizes. Dies bekräftigt den Zweifel an der Abhängigkeit dieses Parameters allein von renalen Faktoren, da ohne eine Störung des Allgemeinbefindens bei zystisch veränderten Nieren keine Erhöhung der Gefäßindizes zu beobachten war.

MORROW ET AL. (1996) sowie RIVERS ET AL. (1996) stellten beim Hund, PLATT (1988) beim Menschen einen Zusammenhang zwischen Parenchymveränderungen und den Indizes fest. Dagegen hatten die hyperechogenen Parenchymveränderungen in den Nieren der untersuchten Frettchen weder Einfluß auf die Gefäßindizes noch auf die Geschwindigkeiten. Das eigene Untersuchungsergebnis deckt sich mit Angaben aus der Literatur (MOSTBECK ET AL. 1990, MC DERMOTT ET AL. 2000). So wird nach einer aktuelleren Untersuchung aus der Humanmedizin davon ausgegangen, daß Parenchymveränderungen keinen Einfluß auf die Fließparameter haben (TUBLIN ET AL. 2003).

Abschließend betrachtet, erscheint die klinische Nutzung des hauptsächlich in der Nierendiagnostik verwendeten RI eher fragwürdig. In der vorliegenden Untersuchung konnten bei sonographisch erkennbaren Nierenveränderungen keine Veränderungen des RI festgestellt werden, wenn das Allgemeinbefinden ungestört war. Ein gestörtes Allgemeinbefinden dagegen führte zu einem leichten Anstieg des RI, jedoch lagen die gemessenen Werte alle unter dem für andere Spezies angegeben oberen Grenzwert von 0,7. Es kann davon ausgegangen werden, daß eine Erhöhung des RI über diesen Wert nicht durch eine Störung des Allgemeinbefindens ausgelöst werden kann und spezifisch für eine Funktionseinschränkung der Niere sprechen würde. Diese Werte wurden jedoch bei keinem der untersuchten Frettchen gemessen. Ob ein Überschreiten dieses Wertes auch bei Frettchen als Zeichen einer Nierenfunktionsstörung gewertet werden kann, müssen weitere Untersuchungen klären. Trotz dieser Ergebnisse kann nach TUBLIN ET AL. (2003) eine richtig ausgewertete Dopplerkurve ein wichtiger Hinweis in der Evaluation einer Nierendysfunktion sein. Allerdings muß dem Untersucher dabei bewußt sein, daß die ermittelte Dopplerkurve eine Interaktion vieler Einflußfaktoren darstellt und nur in deren Kenntnis und Wissen richtig interpretiert werden kann.

VI. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Nieren von 38 adulten unseidierten Frettchen mit Hilfe verschiedener Ultraschallverfahren untersucht. Ziel der Studie war es, das Erscheinungsbild gesunder und veränderter Nieren zu beschreiben sowie insbesondere den Einfluß extrarenaler Parameter und verschiedener sonographischer Nierenparenchymveränderungen auf den renalen Blutfluß zu überprüfen.

Die Studie hat gezeigt, daß die bei Hund und Katze standardisierte Form der B-Bild-Sonographie auch zur Darstellung der Nieren des Frettchens sehr gut geeignet ist.

Die sonographische Untersuchung der Nieren mit einer 12 MHz-Linearsonde ergab bei 28 der 38 untersuchten Frettchen Veränderungen des Nierenparenchyms. Bei zwölf dieser Tiere konnten zystische Veränderungen mindestens einer Niere dargestellt werden. 20 Frettchen wiesen hyperechogene Veränderungen des Nierenmarks auf, die vermutlich auf eine Nephrokalzinose zurückzuführen sind. Vier Tiere zeigten sowohl zystische als auch hyperechogene Veränderungen.

Mit Hilfe dopplersonographischer Quantifizierung der Blutflüsse in den Aa. interlobares der linken Nieren wurden Fließparameter unveränderter Nieren sowie veränderter Nieren bestimmt und miteinander verglichen.

Für sonographisch unveränderte Nieren konnte ein durchschnittlicher RI von $0,54 \pm 0,04$ sowie ein PI von $0,83 \pm 0,10$ ermittelt werden.

Selbst bei Tieren mit stark verändertem Nierenparenchym konnten im Vergleich mit den Werten unveränderter Nieren keine statistisch signifikanten ($p > 0,05$) Abweichungen der Fließparameter festgestellt werden.

Deutliche Unterschiede ergaben sich hingegen im Vergleich der Gefäßindizes von Tieren verschiedenen Alters. Es konnte somit erstmals für eine Tierart gezeigt werden, daß die Gefäßindizes mit zunehmendem Lebensalter signifikant anstiegen.

Zudem wiesen die Nieren der untersuchten Rüden deutlich höhere Fließgeschwindigkeiten auf als die der Fähen. Die Ursache für dieses Phänomen, das bisher bei keiner Tierart beschrieben wurde, konnte nicht geklärt werden. Als Erklärung ausge-

geschlossen werden konnte die höhere Körpermasse der Frettchenrüden im Vergleich zu den Fähen.

Weiterhin ergab die vorliegende Studie, daß die Gefäßindizes der Niere vom Allgemeinbefinden der Tiere beeinflusst wurden. Tiere mit gestörtem Allgemeinbefinden hatten deutlich höhere Indizes als Tiere mit ungestörtem Allgemeinbefinden.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, daß die sonographische Untersuchung der Nieren beim Frettchen sich als sehr gutes diagnostisches Verfahren zur Darstellung verschiedener Nierenparenchymveränderungen erwiesen hat. Für die Dopplersonographie zeigte sich dagegen, daß eine Veränderung der renalen Fließparameter nicht als spezifisches Merkmal einer pathologischen Nierenveränderung gewertet werden darf, da diese auch zahlreichen extrarenalen Einflußfaktoren unterworfen sind. Der klinische Einsatz der Bestimmung von Fließparametern muß daher nach den Ergebnissen dieser Arbeit als eingeschränkt beurteilt werden.

VII. Summary

Sonography of the kidney in ferrets (*Mustela putorius furo* L. 1758)

In the present study the kidneys of 38 adult non sedated ferrets were analyzed using different methods of ultrasound. Aim of this study was to describe the sonographic appearance of healthy and abnormal kidneys as well as to get detailed information about the influence of extrarenal factors and renal parenchymal changes on renal blood flow.

The B-mode sonography standardized in the dog and the cat has been shown to be an appropriate method demonstrating the kidneys in ferrets as well.

Ultrasonographic examination of the kidneys using a 12 MHz linear transducer revealed renal parenchymal changes in 28 of 38 ferrets. 12 of these ferrets showed cystic alterations in at least one kidney. In 20 animals hyperechoic alterations in the renal medulla could be detected supposed to be expression of nephrocalcinosis. 4 ferrets showed both cystic and hyperechoic alterations.

Dopplersonographically, blood flow parameters in the interlobar arteries of healthy and altered left kidneys were quantified and compared to each other.

Sonographically healthy kidneys showed a median RI of $0,54 \pm 0,04$ and an median PI of $0,83 \pm 0,10$.

Even in severe cases of renal parenchymal changes there was no significant ($p > 0,05$) alteration of blood flow parameters compared to those of healthy kidneys.

However, comparing indices of animals of different age noticeable differences could be measured. Thus, for the first time it was possible to show indices increasing with age in animals.

Furthermore, kidneys of male ferrets revealed significantly higher blood flow velocities than those of females. Explanation for this phenomenon never seen in other species before could not be found. Higher body mass of male individuals could be excluded being the reason for these difference between blood flow velocities.

Further on, the present study revealed indices being influenced by general condition of the animals. Indices of affected ferrets have been shown to be noticeably higher than those of healthy ones.

In conclusion, renal sonography has been demonstrated to be a very well practicable diagnostic imaging method detecting several renal parenchymal changes in ferrets. In contrast, dopplersonographically measured changes of renal blood flow parameters being influenced by numerous extrarenal factors has been shown to be non specific for renal parenchymal changes. Thus, according to the results of this study clinical use of quantifying blood flow parameters must be considered as limited.

VIII. Literaturverzeichnis

- AL-MURRANI B, COSGROVE DO, SVENSSON WE, BLASZCYK M
Echogenic Rings - An ultrasound sign of early nephrocalcinosis. Clin radiology
44, 49 – 51; 1991
- ANDREWS PLR, ILLMAN O, MELLERSH A:
Some observations of anatomical abnormalities and disease states in a
population of 350 ferrets (*Mustela furo* L.). Z Versuchstierk 21: 346 - 353; 1979
- ANTINOFF N:
Urinary Disorders in Ferrets. Seminars in Avian und Exotic Pet Medicine 7(2):
89 - 92; 1998
- BARR FJ, PATTESON MW, LUCKE VM, GIBBS C:
Hypercalcemic nephropathy in three dogs: sonographic appearance. Vet
Radiol 30: 169 - 173; 1989
- BECKER-GAAB C, PEROUANSKY M, ZRENNER M, ZUR NIEDEN J:
Sonographische Nierensteindiagnostik- Vergleichende Untersuchung von
Ultraschall, Ausscheidungsurogramm und Computertomographie bei 310
Patienten. Digit Bilddiagn 6: 128 - 134; 1986
- BELL JA:
Ensuring proper nutrition in ferrets. Vet Med 91: 1098 - 1103; 1996
- BERNSTEIN J:
A Classification of renal cysts. In: K. D: Gardner und J. Bernstein (Hrsg.): The
cystic kidney; Kluwer Academic Publishers: S. 147 – 170; 1976
- BILLER DS, BRADLEY GA, PARTINGTON BP:
Renal medullary rim sign: ultrasonographic evidence of renal disease. Vet
Radiol Ultrasound 33: 286 - 290; 1992
- BILLER DS, CHEW DJ, DI BARTOLA SP:
Polycystic kidney disease in a family of persian cats. J Am Vet Med Assoc
196: 1288 - 1290; 1990
- BOSJE JT, VAN DEN INGH TSGAM, VAN DER LINDE-SIPMAN JS:
Polycystic kidney and liver disease in cats. J Hereditiy 87: 1 - 5; 1996
- BRJKLACIC B, SABLJAR- MATOVINOVIC M, PUTAREK K, SOLDI D, MOROVIC- VERGLES J,
HAUSER M:
Renal vascular resistance in autosomal dominant polycystic kidney disease.
Evaluation with colour doppler ultrasound. Acta Radiologica 38: 840 - 846;
1997
- BUBLAK S:
Sonographie einschließlich Dopplerechographie der Nieren sowie
ausgesuchter Gefäße des Abdomens und der Beckengliedmaße beim Alpaka
(*Lama pacos*). München, Diss. med-vet; 2002

- BUDE RO, RUBIN J:
Relationship between the resistive index and vascular compliance and resistance. *Radiology* 211: 411 - 417; 1999
- BUTUROVIC-PONIKVAR J, VISNAR-PEROVIC A:
Ultrasonography in chronic renal failure. *European Journal of Radiology* 46: 115 - 122; 2003
- CHOI H, WON S, CHUNG W, LEE K, CHANG D, LEE H, EOM K, LEE Y, YOON J:
Effect of intravenous mannitol upon Resistive Index in complete unilateral renal obstruction in dogs. *J Vet Intern Med* 17: 158 - 162; 2003
- COWLEY BD, GUDAPATY S, KRAYBILL AL, BARASH BD, HARDING MA, CALVET JP, GATTONE VH:
Autosomal-dominant polycystic kidney disease in the rat. *Kidney international* 43: 522 - 534; 1993
- CRAMER B, HUSA L, PUSHPANATHAN C:
Nephrocalcinosis in rabbits - correlation of ultrasound, computed tomography, pathology and renal function. *Pediatr Radiol* 28: 9 - 13; 1998
- CROWELL WA, HUBBELL JJ, RILEY JC,
Polycystic renal disease in related cats. *The journal of Am Vet Med Ass* 175, 286 - 288; 1979
- DECKINGER V:
Konventionelle und neue echokardiographische Methoden zur Beurteilung der systolischen und diastolischen Herzfunktion sowie Dopplersonographie der Arteriae interlobares bei gesunden Dachshunden. München, Diss. med-vet; 2003
- DEPKEN U:
Farbkodierte und konventionelle Dopplersonographie von Arterien und Venen verschiedener abdominaler Organe bei adulten Europäischen Hauskatzen München, Ludwig – Maximilians - Universität, Tierärztliche Fak. Diss; 1999
- DICK PT, SHUCKETT BM, TANG B, DANEMAN A, KOOH SW:
Observer reliability in grading nephrocalcinosis on ultrasound examinations in children. *Pediatr Radiol* 29: 68 - 72; 1999
- DILLBERGER JE:
Polycystic kidneys in a ferret. *J Am Vet Med Assoc* 186: 74 - 75; 1985
- EATON KA, BILLER DS, DIBARTOLA SP, RADIN MJ, WELLMANN ML:
Autosomal dominant polycystic kidney disease in Persian and Persian - cross cats. *Vet Pathol* 34: 117 - 126; 1997
- ESTEVEZ MI, MARINI RP, RYDEN EB, MURPHY JC, FOX JG:
Estimation of glomerular filtration rate and evaluation of renal function in ferrets (*Mustela putorius furo*). *Am J Vet Res* 55: 166 - 172; 1994
- EVANS HE, AN NQ:
Anatomy of the ferret. In: Fox J G: *Biology and diseases of the ferret*. S. 19 - 69, Williams and Wilkins, Baltimore; 1998
- FOX RR, KRINSKY WL, CARY DD:
Hereditary cortical renal cysts in the rabbit. *J Hereditiy* 62: 105 - 108; 1971

- GABOW PA, JOHNSON AM, KAEHNY WD, MANCO-JOHNSON ML, DULEY IT, EVERSON GT:
Risk factors for the development of hepatic cysts in Autosomal dominant polycystic kidney disease. *Hepatology* 11: 1033 - 1037; 1990
- GABRISCH K:
Frettchen und Marder. In: GABRISCH K, ZWART P: *Krankheiten der Heimtiere*. S. 235 - 274, Schlütersche, 3. Aufl., Hannover; 1995
- GERWING M, MICHELE U, KRAMER M, SCHIMKE E:
PKD (Polycystic kidney disease) - polyzystisches Syndrom. *Prakt Tierarzt* 80: 374 - 396; 1999
- GIALAMAS J, HÖGER H, ADAMIKER D:
Polyzystische Nierenerkrankung bei infantilen Mäusen. *Zeitschrift für Versuchstierkunde* 30, 217 – 222; 1987
- GÖDDENHENRICH F:
Duplexsonographie der Aorta abdominalis und Vena cava caudalis einschließlich ihrer großen abdominalen Abgänge und Zuflüsse bei der Katze. Hannover, Tierärztl. Hochschule, Diss.; 1997
- GOSLING RG, KING DH:
Arterial assessment by Doppler - shift ultrasound. *Proc. R. Soc. Med.* 67(b): 447 - 449; 1974
- GÖTZ V. I:
Duplex- und Triplexsonographie abdominaler Organe und ihrer Gefäße beim adulten Beagle. Hannover, Diss. vet - med.; 1999
- GROSSMANN H, ROSENBERG ER, BOWIE JD, RAM P, MERTEN DF:
Sonographic diagnosis of renal cystic disease. *AJR* 140: 81 - 85; 1983
- HALPERN EJ, DEANE CR, NEEDLEMAN L, MERTON DA, EAST SA:
Normal renal artery spectral Doppler waveform: A closer look. *Radiology* 196: 667 - 673; 1995
- HANENBERG I:
Duplex - und Triplexsonographie abdominaler Gefäße von Katzenwelpen in den ersten Lebenswochen. München, Diss. med-vet; 1998
- HENRIKSEN P:
Polycystic Disease of the kidney in related Mink. *J Comp Pathol* 99: 101 - 104; 1988
- HILLYER EV:
Urogenital disease.
In: Hillyer, EV, Quesenberry, KE: *Ferrets, rabbits and rodents. Clinical medicine and surgery*. S. 44 - 62, W.B. Saunders, Philadelphia; 1997
- HOFFMANN G:
Frettchen. In: Hoffmann G.: *Kurzer Abriß der Anatomie und Physiologie der Laboratoriumstiere*. S. 17 - 23, VEB Gustav Fischer, Jena; 1956
- HOLLENBECK M:
Niere. In: (Hrsg.) G. Fürst und D. Koschwitz: *Moderne Sonographie*; Thieme Verlag Stuttgart; 2000

- JANTHUR M, LÜERSSEN D:
Nieren und Harnleiter. In: Poulsen Nautrup, C., Tobias, R.(Hrsg.): Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze. S. 210 - 227, Schlütersche, Hannover; 1998
- KLEWS PM:
Physik und Technik der farbkodierten Duplexsonographie (FKDS); in: K.-J. Wolf u. F. Fobbe: Farbkodierte Duplexsonographie. Grundlagen und klinische Anwendung. Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 248 - 295; 1993
- KNAPP R, PLÖTZENEDER A, FRAUSCHER F, HELWEG G, JUDMAIER W, ZUR NEDDEN D, RECHEIS W, BARTSCH G:
Variability of doppler parameters in the healthy kidney. J. Ultrasound Med.14: 427 – 429; 1995
- KONDE LJ, WRIGLEY RH, PARK RD, LEBEL JL:
Ultrasonographic anatomy of the normal canine kidney. Vet Radiol 25: 173 - 178; 1984
- KÜNZEL F, GRÖSSLINGER K, LORINSON D, HASSAN J, SCHILCHER F, HITTMAIR KM:
Unilaterale Hydronephrose als Komplikation einer Ovariohysterektomie bei einem Frettchen. Kleintierpraxis 48: 629 - 632; 2003
- LANDWEHR P:
Hämodynamische Grundlagen; Thieme Verlag Stuttgart. New York, S. 19 - 36; 1993
- LIN GS, SPRATT RS:
Hemodynamic Imaging with Pulsatility-Index and Resistive-Index Color Doppler US. Radiology 204: 870 - 873; 1997
- LÖLIGER H-C:
Krankheiten der Harnorgane.
In: Löligler, H-C: Pelztierkrankheiten. S. 250 - 278, Gustav Fischer Verlag Stuttgart; 1970
- MC ALOOSE D, CASAL M, PATTERSON DF, DAMBACH DM:
Polycystic kidney and liver disease in two related West Highland-White Terrier litters. Veterinary Pathology 35: 77 - 81; 1998
- MC DERMOTT R, TEEFY S, MIDDLETON W:
The resistive index in renal parenchymal disease: no correlation with histopathologic findings. Radiology 217: 560 -563; 2000
- MC KENNA SC, CARPENTER JL:
Polycystic disease of the kidney and liver in the Cairn Terrier. Veterinary Pathology 17: 436 - 442; 1980
- MEYER-LINDENBERG A, JANTHUR M, SOMMER B, NOLTE I:
Untersuchungen zur polyzystischen Nierendegeneration bei Perserkatzen. Prakt. Tierarzt 79 (12): 1122 - 1136; 1998
- MITCHELL SK, TOAL RL, DANIEL GB, ROHRBACH BW:
Evaluation of renal hemodynamics in awake and isoflurane-anesthetized cats with pulsed-wave doppler and quantitative renal szintigraphy. Vet Radiol Ultrasound 39: 451 - 458; 1998

MÖLLER U:

Polyzystisches Nierensyndrom (PKD) bei Perserkatzen – Studie mit verschiedenen Ultraschallverfahren. München, Diss. med-vet; 2001

MORROW KL, SALMAN MD, LAPPIN MR, WRIGLEY R:

Comparasion of the Resistive Index to clinical parameters in dogs with clinical disease. Vet Radiol Ultrasound 37: 193 - 199; 1996

MOSTBECK G, KAIN R, ALLEK R:

Duplex Doppler sonography in renal parenchymal disease: histopathologic correlation. J Ultrasound Med; 10: 189 - 194; 1991

MOSTBECK GH, GÖSSINGER HD, MALLEK R, SIOSTRZONEK P, SCHNEIDER B, TSCHOLAKOFF D:

Effect of heart rate on doppler measurements of Resistive Index in renal arteries. Radiology 175: 511 - 513; 1990

MÜCK-WEYMANN M, WUPPERMANN T: Physiologie und Pathophysiologie des Blutflusses in: Wuppermann T: Ultraschallkurs Gefäße. Urban &Fischer Verlag München, Jena S 21 – 34; 2000

MÜSGEN D:

Physik und Technische Grundlagen. In: (Hrsg.) G. Fürst und D. Koschwitz: Moderne Sonographie; Thieme Verlag Stuttgart; 2000

MYRACLE MR, MCGAHAN JP, GOETZMAN BW:

Ultrasound diagnosis of renal calcification in infants on chronic furosemide therapy. J Clin Ultrasound 14:281; 1986

NELSON TR, PRETORIUS DH:

The Doppler signal: Where does it come from and what does it mean? Am J Roentgenol. 151: 439 - 447; 1988

NELSON WB:

Hydronephrosis in a ferret. Vet Med Small Anim Clin 79: 516 – 521; 1984

NGUYEN HAT, MORELAND AF, SHIELDS RP

Urolithiasis in ferrets (*Mustela putorius*). Laboratory Animal Science 29(2): 243 - 245; 1979

NYLAND TG, FISHER PE, DOVERSPIKE M, HORNOF WJ, HARVEY MS, OLANDER HJ:

Diagnosis of urinary tract obstruction in dogs using duplex doppler ultrasonography. Vet Radiol Ultrasound 34: 348 - 352; 1993

NYLAND TG, MATTOON JS, HERRGESELL EJ, WISNER ER.:

Urinary tract. In: Nyland, T. G., Mattoon, J. S.: Small animal diagnostic ultrasound. W. B. Saunders, Philadelphia; 2002

O'LEARY CA, MACCAY BM, MALIK R, EDMONSTON JE, ROBINSON WF, HUXTABLE CR:

Polycystic kidney disease Bull Terriers: An autosomal dominant inherited disorder. Australian veterinary journal 77(6): 361 - 366; 1999

ORCUTT CJ:

Ferret urogenital disease. Vet Clin Exot Anim 6: 113 - 138; 2003

PEDERSEN KM, PEDERSEN HD, HÄGGSTRÖM J, KOCH J, ERSBOLL AK:

Increased mean arterial pressure and aldosterone-to-renin ratio in persian cats with polycystic kidney disease. J Vet Med 17: 21 - 27; 2003

- PENNINCK DG:
Artifacts. In: Nyland, T. G., Mattoon, J. S.: Small animal diagnostic ultrasound. W. B. Saunders, Philadelphia; 2002
- PETERSON LJ, PETERSEN JR, LADEFOGED SD, MEHLSSEN J, JENSEN HA:
The pulsatility index and the resistive index in renal arteries in patients with hypertension and chronic renal failure. Nephrol Dial Transpl 10: 1376 - 2060-2064; 1995
- PFITZER A., NELLE M., ROHRSCHEIDER W., LINDERKAMP O., TRÖGER J.:
Inzidenz nephrokalzinose-typischer Sonographiebefunde bei Frühgeborenen während enteraler Kalzium- und Phosphatgabe. Z. Geburtsh. Neonatol. 202: 159 - 163; 1998
- PLATT JF, ELLIS JH, RUBIN JM:
Intrarenal arterial doppler sonography in patients with nonobstructive renal disease: Correlation with biopsy findings. Am J Roentgenol 154: 1223 - 1227; 1990
- PLATT JF, RUBIN JM, BOWERMAN RA, MARN CS:
The inability to detect kidney disease on the basis of echogenicity. AJR 151: 317 - 319; 1988
- PLATT JF:
Doppler ultrasound of the kidney. Seminars in ultrasound, CT and MRI 18: 22 - 32; 1997
- POLLARD R, NYLAND TG, BERNSTEIN L, GREGORY CR, HORNOF WJ:
Ultrasonographic evaluation of renal autografts in normal cats. Vet Radiol Ultrasound 40: 380 - 385; 1999
- PONTREMOLI R, VIAZZI F, MARTINOLI C, RAVERA M, NICOLELLA C, BERRUTI V:
Increased renal Resistive Index in patients with essential hypertension: a marker of target organ damage. Nephrol Dial Transplant 14: 360 - 365; 1999
- POULSEN NAUTRUP, C.:
Sonographische Phänomene und Artefakte. In: Poulsen Nautrup, C., Tobias, R.(Hrsg.): Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze. S. 60 - 75, Schlütersche, Hannover; 1998
- POULSEN NAUTRUP, C UND TOBIAS R (HRSG.):
Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze. Schlütersche, Hannover; 1998
- POURCELOT L:
Applications cliniques de l'examen Doppler transcutane. In: P. Peronneau: Velocimetrie ultrasonore Doppler. Seminare INSERM: S. 213 - 240; Paris; 1974
- PRÜFER, A:
Ultraschalldiagnostik von Harnblasen- und Nierenerkrankungen bei Hund und Katze. Kleintierpraxis 39: 83 - 92; 1994
- PUERTO DA, WALKER LM, SAUNDERS HM:
Bilateral perinephric pseudocysts and polycystic kidneys in a ferret. Vet Radiol Ultrasound 39: 309 - 312; 1998

- RADERMACHER J, MENGEL M, ELLIS S, STUHT S, HISS M, SCHWARZ A, EISENBERGER U, BURG M, LUFT F, GWINNER W, HALLER H:
The renal arterial Resistance Index and renal allograft survival. *N Engl J Med* 349: 115 - 124; 2003
- REINDEL JT, MULLANAAY T, MATZAT P, MILLER E:
Polycystic disease of neonatal piglets. *Laboratory investigations* 58: 76; 1988
- RIVERS BJ, JOHNSTON GR:
Diagnostic imaging strategies in small animal nephrology. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 26: 1505 - 1517; 1996
- RIVERS BJ, WALTER PA, LETOURNEAU JG, FINLAY DE, RITENOUR ER, KING VL, O'BRIEN TD, POLZIN DJ:
Duplex doppler estimation of Resistive Index in arcuate arteries of sedated, normal female dogs: implications for use in the diagnosis of renal failure. *J Am Anim Hosp Assoc* 33: 69 - 76; 1997 a
- RIVERS BJ, WALTER PA, O'BRIEN TD, POLZIN DJ:
Duplex doppler estimation of Pourcelot Resistive Index in arcuate arteries of sedated normal cats. *J Vet Intern Med* 10: 28 - 33; 1996
- RIVERS BJ, WALTER PA, POLZIN DJ, KING VL:
Duplex doppler estimation of intrarenal Pourcelot Resistive Index in dogs and cats with renal disease. *J Vet Intern Med* 11: 250 - 260; 1997 b
- ROHRWEBER, I:
Duplex- und Triplexsonographie großer Arterien und Venen bei Hundewelpen in den ersten Lebenswochen. München, Diss. med-vet.; 1999
- ROSENFELD AT, SIEGEL NJ:
Renal parenchymal disease: Histopathologic-sonographic correlation. *AJR* 137: 793 - 798; 1981
- ROSENFELD AT, TAYLOR KJW, CRADE M, DEGRAAF CS:
Anatomy and pathology of the kidney by grey scale ultrasound. *Radiology* 218: 737 - 744; 1978
- ROSENTHAL K:
Ferrets. *Vet Clin of North Am Sm Anim Pract: Exotic Pet Medicine* 24: 1 - 23; 1994
- SCHIEREN G, PEY R, BACH J, HAFNER M, GRETZ N:
Murine models of polycystic kidney disease. *Nephrology, dialysis, transplantation* 11(6): 38 - 45; 1996
- SCHOLZ, S:
Sonographisch-anatomische Darstellung der Bauchhöhlenorgane Leber, Gallenblase, Milz, und Nieren bei der Katze (*Felis domestica*). Diss. Med-vet Hannover; 1992
- SCHWERK WB, RESTREPO IK, PRINZ H:
Semiquantitative Analysen intrarenaler arterieller Dopplerflußspektren bei gesunden Erwachsenen. *Ultraschall in der Medizin* 14: 117 - 122; 1993
- SHUMAN WP, MACK LA, ROGERS JV:
Diffuse nephrocalcinosis: Hyperechoic sonographic appearance. *AJR* 136: 830 - 832; 1981

- SKRODZKI M, KATTINGER P, TRAUTVETTER E:
Polyzystische Veränderungen in Leber, Niere, Pankreas und Bronchialdrüsen bei einer Perserkatze.
Kleintierpraxis 37: 599 - 605; 1992
- STARCK, D:
5. Teil: Säugetiere, 5/II: Ordo 10 - 30, Haustiere, Literatur, Register. In: Starck, D. (Hrsg.): Lehrbuch der speziellen Zoologie, Bd II: Wirbeltiere. S. 589, Gustav-Fischer-Verlag, Jena/ Stuttgart/ NY; 1995
- TERRY JD, RYSAVY JA, FRICK MP:
Intrarenal doppler: Characteristics of aging kidneys. J Ultrasound Med 11: 647 - 651; 1992
- THEODOROPOULOS DS, SHAWKER TH, HEINRICHS C, GAHL WA:
Medullary nephrocalcinosis in nephropathic cystinosis. Pediatr Nephrol 9: 412 - 418; 1995
- TOMLINSON MJ, PERMAN V, WESTLAKE RL:
Urate Nephrolithiasis in Ranch Mink. J of the Am Vet Med Ass 180: 622 - 626; 1982
- TUBLIN ME, BUDE RO, PLATT JF:
The resistive index in renal Doppler sonography: Where do we stand? A J Roentgenol 180: 885 - 892; 2003
- VOLGENAU T, GREENACRE C, SMITH J:
Hydronephrosis in a ferret. Vet Med 93(3):797 - 804; 1998
- WAIBL H, WILKENS H:
Arterien, Venen in: R. Nickel, A. Schummer, E. Seiferle: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. 3. Aufl. ;Bd. 3: Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane. Verlag Parey, Berlin, S.74 – 276; 1996
- WALTER PA, FEENEY DA, JOHNSTON GR, O'LEARY TP:
Ultrasonographic evaluation of renal parenchymal disease in dogs: 32 cases (1981 - 1986). J Am Vet Med Assoc 191: 999 - 1007; 1987 a
- WALTER PA, JOHNSTON GR, FEENEY DA U. O'BRIEN TD:
Application of ultrasonography in the diagnosis of parenchymal kidney disease in cats: 24 cases (1981 - 1986). J Am Vet Med Assoc 192: 92 - 97; 1988
- WALTER PA, JOHNSTON GR, FEENEY DA, O'BRIEN TD
Renal Ultrasonography in healthy cats; Am J Vet Res 48:600 - 607; 1987 b
- WEISS E:
Harn - u. Geschlechtsorgane in: E. Dahme, E. Weiß: Grundriß der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere 5. Aufl.; Verlag Enke, Stuttgart, s. 243 - 271; 1999
- WELLS GAH, HEBERT CN, ROBINS BC:
Renal cysts in pigs: Prevalence and pathology in slaughtered pigs from a single herd. The veterinary record 106, 532 – 535; 1980
- WENZEL DU, BERESTOV VA:
Harnapparat. in: D. U. Wenzel und V. A. Berstov: Pelztierkrankheiten. Nerz und Fuchs. Ursachen, Merkmale, Bekämpfung und Verhütung wichtiger Krankheiten. Schober Verlags-GmbH, Hengersberg; S. 119 – 124; 1987

WIJERATNE WVS, WELLS GAH:

Inherited renal cysts in pigs: Results of breeding experiments. The veterinary record 107: 484 - 488; 1980

WOOD AKW, MC CARTHY PH:

Ultrasonographic-anatomic correlation and an imaging protocol of the normal canine kidney. Am J Vet Res 51: 103 - 108;1990

YEAGER AE, ANDERSSON WI:

Study of association between histologic features and echogenicity of architecturally normal cat kidneys. Am J Vet Res 50: 860 - 863; 1989

Lebenslauf

Name: Daniela Gorgas

Geburtsdatum: 13.04.1977

Geburtsort: Friedrichshafen

Eltern: Birgit Gorgas, geborene Sorge, geb.: 7.09.1942
Gerd Gorgas, geb. 10.10.1941

Geschwister: Angela Gorgas, geb. 15.10.1963
Denise Gorgas, geb. 29.01.1973
Inga Gorgas, geb. 10.12.1974
Anke Gorgas, geb. 15.01.79

Bildungsgang:

1983 – 1987 Ludwig-Dürr-Grundschule Friedrichshafen

1987 – 1996 Margarethe-Steiff- Gymnasium Giengen a. d. Brenz

Juni 1996 Allgemeine Hochschulreife

Nov. 1996 – Dez. 2001 Studium Tiermedizin, Ludwig-Maximilians-Universität München

Beruflicher Werdegang:

Seit 1.01.2002 Assistentin in der Tierärztlichen Klinik für Kleintiere Dr. Martin Unger

April 2003 Beginn der Dissertation

Danksagung

Zunächst möchte ich mich ganz besonders bei Herrn PD Dr. Sven Reese bedanken, für die Überlassung des interessanten Themas sowie für die große Hilfe bei der Durchführung der Untersuchungen und die stets gewährte Unterstützung während der Arbeit.

Ebenfalls danken möchte ich Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. mult. H.-G. Liebich für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes zur Durchführung der Arbeit am Institut für Tieranatomie (I).

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. U. Matis, daß die Untersuchungen in den Räumlichkeiten der Chirurgischen Tierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität durchgeführt werden durften.

Dank sei auch den Mitarbeitern der Medizinischen, der Chirurgischen sowie der Gynäkologischen Tierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität für ihre Hilfe bei der Vermittlung von Patienten gesagt.

Mein besonders herzlicher Dank gilt, stellvertretend für alle anderen Frettchenbesitzer, Frau Gabriele Reil, die unermüdlich bei der Durchführung der Untersuchungen mithalf und ihre eigenen Frettchen für die Untersuchung zur Verfügung gestellt sowie zahlreiche weitere Frettchen vermittelt hat.

Schließlich möchte ich meiner Familie und dabei ganz besonders meinen Eltern und meiner Patentante Mechthild für die Unterstützung während meiner Ausbildung und der Anfertigung der Dissertation von Herzen danken.