

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

Arbeit angefertigt unter der Leitung von PD Dr. Sven Reese

**Dopplersonographische Untersuchung der
Nieren beim Meerschweinchen (*Cavia aperea* f.
porcellus, L. 1758)**

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

von Franziska Helen Holder
aus Tübingen

München 2012

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichtstatter:	Priv.-Doz. Dr. Reese
Korreferent:	Priv.-Doz. Dr. Herbach

Tag der Promotion: 11. Februar 2012

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht.....	3
2.1 Abstammung und zoologische Einordnung	3
2.2 Domestikationsgeschichte	4
2.3 Lebensweise und physiologische Daten.....	8
2.4 Anatomie der Niere	12
2.4.1 Größe, Form und Lage der Niere	12
2.4.2 Blutgefäße der Niere	17
2.5 Pathologisch-anatomische Veränderungen der Niere	18
2.6 Sonographie der Nieren	19
2.6.1 Allgemeine Grundlagen der Sonographie	21
2.6.2 Grundlagen der Dopplersonographie	23
2.6.2.1 Continuous wave-Dopplerverfahren.....	26
2.6.2.2 Pulsed wave-Dopplerverfahren	26
2.6.2.3 Farbkodiertes Dopplerverfahren.....	28
2.6.3 Messbare Parameter und Beurteilung der Flusskurven.....	29
2.6.3.1 Qualitative Beurteilung der mit dem pulsed-wave Doppler erstellten Flusskurven.....	29
2.6.3.2 Quantitative Beurteilung der mit dem pulsed-wave Doppler erstellten Flusskurven.....	30
2.6.3.2.1 Winkelabhängige Parameter	30
2.6.3.2.2 Winkelunabhängige Parameter	32
2.6.3.3 Physiologische Veränderung der Parameter	38
2.6.4 Schallposition	42
2.6.5 Schnittebenen.....	42
2.6.6 Sonographische Lage und Sonoanatomie	43

3 Material und Methode	47
3.1 Material	47
3.1.1 Technische Ausrüstung	47
3.1.1.1 Ultraschallgerät.....	47
3.1.1.2 Schallkopf.....	47
3.1.1.3 Rasierer und Ultraschallgel	48
3.1.2 Tiere.....	48
3.2 Methoden	50
3.2.1 Vorbereitung der Tiere.....	50
3.2.2 Lagerung und Handling	52
3.2.3 Sonographische Untersuchung	53
3.2.3.1 Schallkopfposition.....	53
3.2.3.2 Schnittebenen.....	53
3.2.3.3 Untersuchungsgang	54
3.2.3.4 Messungen	55
3.2.4 Dopplersonograpische Untersuchung	56
3.2.4.1 Darstellung der Gefäße	56
3.2.4.2 Messungen	57
3.2.5 Statistische Auswertung	58
4 Ergebnisse	61
4.1 B-Bild Sonographie	61
4.1.1 Längenmessung	62
4.1.2 Breitenmessung.....	63
4.1.3 Höhenmessung	66
4.1.5 Nierenvolumen	69
4.1.5.1 Abhängigkeit des Nierenvolumens von dem Alter, dem Geschlecht und dem Gewicht des Tieres	70
4.2 Dopplersonographie der intrarenalen Gefäße	72
4.2.1 Darstellung der Nierengefäße	72
4.2.2 Duplex-Dopplersonographie.....	72
4.2.2.2 Reproduzierbarkeit	73

Inhaltsverzeichnis

4.2.2.3 Qualitative Beurteilung des Blutflusses	74
4.2.2.4 Quantitative Beurteilung des Blutflusses.....	75
5 Diskussion	77
5.1 Vorbereitung und Durchführung.....	77
5.2 Reproduzierbarkeit.....	78
5.3 B-Bild Sonographie	79
5.4 Dopplersonographie.....	81
5.4.1 Bewertung der Kurvenmorphologie.....	81
5.4.2 Resistance-Index, Pulsatilitäts-Index und Ratio.....	82
6 Zusammenfassung.....	85
7 Summary	87
8 Literaturverzeichnis	89

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
Diagr.	Diagramm
EDV	Enddiastolische Geschwindigkeit
g	Gramm
HF	Herzfrequenz
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
KM	Körpermasse
max.	Maximal
männl.	Männlich
MHz	Megahertz
Min	Minute
min.	Minimal
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MW	Mittelwert
n	Anzahl
PI	Pulsatilitäts-Index
PS/ED	Ratio
RI	Resistance-Index
s	Sekunde
SPV	Maximal systolische Geschwindigkeit
Tab.	Tabelle
u.	und
vol.	Volumen
weibl.	Weiblich

1 Einleitung

Die Tatsache, dass der Anteil an kleinen Heimtieren in den Haushalten der Großstädter in den letzten Jahren stetig zugenommen hat, ist bekannt. Bereits im Jahre 2009 lag die Gesamtanzahl der gehaltenen Meerschweinchen und Kaninchen bei 5,6 Millionen Tieren, und damit lagen sie sogar höher als die gehaltenen Hunde (5,4 Millionen) (INDUSTRIEVERBAND HEIMTIERBEDARF 2009). Der Stellenwert des Meerschweinchens hat sich jedoch geändert. Mittlerweile ist aus dem Spielgefährten für Kinder ein Partner für Erwachsene geworden. Immer mehr Erwachsene halten sich Meerschweinchen und beschäftigen sich intensiv mit ihnen. Der rege Austausch in Internetforen belegt dies. Mittlerweile sind sogar Meerschweinchen - Apps zum Downloaden für Smartphones erhältlich. Durch den höheren Stellenwert des Meerschweinchens im Vergleich zu früher sind die Besitzer auch bereit, mehr in ihren Gefährten zu investieren, und fordern deswegen von ihrem Tierarzt auch ein breites Wissen über diese Tiere und wollen an Diagnostik und Therapie den Hunde- und Katzenbesitzern in nichts nachstehen. Dies wiederum führt dazu, dass immer mehr Tierärzte bereit sind, sich im Heimtierbereich fortzubilden. Noch nie waren Angebot und Nachfrage in Bezug auf Heimtierfortbildungen so groß. Nierenerkrankungen kommen bei Meerschweinchen, nach Zahn- und Verdauungsproblemen, sehr häufig vor. Allein aufgrund ihres speziellen Calciumstoffwechsels sind Meerschweinchen für Harntraktprobleme prädestiniert. Die beste Möglichkeit in der Diagnostik bietet hier die Sonographie, da sie nicht invasiv ist und wenig Stressbelastung für die Meerschweinchen bedeutet. In den letzten Jahren wurden vermehrt Untersuchungen über die physiologische Sonoanatomie im B-Bild-Verfahren gemacht, welche sich gut zur Darstellung von Parenchymveränderungen an der Niere eignet, jedoch leider keinen Aufschluss über die Funktionalität der Niere bringt. Die dopplersonographische Darstellung der Nierengefäße könnte hier einen Fortschritt in der Diagnostik bringen. Bei Hund und Katze wird die Gefäßdarstellung mittlerweile routinemäßig durchgeführt, auch beim Frettchen wurden bereits Untersuchungen dazu gemacht. Bei dem Meerschweinchen hingegen wurden auf diesem Gebiet noch keine Studien veröffentlicht und es besteht erheblicher Nachholbedarf.

Ziel dieser Arbeit ist es, die dopplersonographische Darstellung der Nierengefäße beim Meerschweinchen zu beschreiben, sowie deren Anwendbarkeit und deren Nutzen zu überprüfen. Erstmals sollen auch Referenzwerte für die Fließparameter der Nierengefäße erfasst werden und durch welche renalen und extrarenalen Faktoren sie beeinflusst werden können.

2 Literaturübersicht

In diesem Teil der Arbeit soll der aktuelle Stand der Literatur, bezüglich der Abstammung und Lebensweise des Meerschweinchens wiedergegeben werden und ein Überblick über den derzeitigen Standpunkt der Wissenschaft, im Bereich der Sonographie und der Dopplersonographie und den bisher, daraus gewonnenen Erkenntnissen geschaffen werden. Die bisher am Meerschweinchen durchgeführten sonographischen und dopplersonographischen Untersuchungen an der Niere werden vorgestellt und die daraus erlangten Ergebnisse zusammengefasst.

2.1 Abstammung und zoologische Einordnung

Das heute als Haustier gehaltene Hausmeerschweinchen (*Cavia aperea* f. *porcellus*) gehört der Ordnung der Nagetiere (Rodentia) an (HERRE 1990, STORCH 1997, WESTHEIDE 2004, WILK 1988). Eine Zeitlang wurde diese taxonomische Einordnung von unterschiedlichen Autoren kritisch hinterfragt, die sich auf die Aminosäuresequenzanalysen (GRAUR et al. 1991, LI et al. 1992) und Forschungsergebnissen des mitochondrialen Genoms (D'ERCHIA et al. 1996) berufen haben. Doch neuere Studien, unter anderem von CAO et al. (1997) sowie PHILIPPE (1997) belegen, dass diese taxonomische Zuordnung doch am wahrscheinlichsten ist. Die Ordnung der Rodentia besitzt drei Unterordnungen, die Myomorpha, Sciuromorpha sowie die Hystricognathi (Stachelschweinverwandten) mit der Teilordnung der Caviomorpha. Diese Unterordnungen wurden aufgrund ihrer Schädel und Kiefermuskulatur eingeteilt (D'ERCHIA et al. 1996, HURST 1999). NOWAK (1999) und VAUGHAN (1986), legen jedoch nach neueren Untersuchungen eine Klassifizierung in nur zwei Untergruppen fest (Sciuromorpha und Myomorpha).

Zu der Teilordnung Caviomorpha gehören unter anderem die Meerschweinchen und Chinchillas. Die Caviomorpha leben, bis auf eine Ausnahme, alle in Süd- und Mittelamerika. Die Überfamilie (Cavioidae) hat neben den Meerschweinchenverwandten

noch 22 andere Arten als Untergruppe, darunter zum Beispiel auch die Wasserschweine (Hydrochoeridae) sowie die Agutis (Dasyproctidae).

Die Familie der Meerschweinchen (Caviidae) wird wiederum in zwei Untergruppen eingeteilt: einerseits die eigentlichen Meerschweinchen (Caviidae) mit vier Gattungen (*Cavia* (Wildmeerschweinchen), *Galea* (Wieselmeerschweinchen), *Microcavia* (Zwergmeerschweinchen) und *Kerodon* (Bergmeerschweinchen)) (COOPER und SCHILLER 1975, HAMEL 2002, STORCH 1997, WAGNER et al. 1976) und 20 Arten, andererseits die Maras (Dolichotinae) mit zwei Arten (HAMEL 2002, STORCH 1997)

Über die als direkte Stammform des heutigen Hausmeerschweinchens in Frage kommenden Vorfahren sind unterschiedliche Meinungen vorhanden. BERGHOFF (1989) sowie GABRISCH und ZWART (1998) behaupten, dass das Tschudimeerschweinchen (*Cavia aperea tschudii*) der Vorfahre sei. WASEL (1995) hingegen ist der Ansicht, dass die Stammform des Hausmeerschweinchens das zu den Wildmeerschweinchen zählende Gebirgsmeerschweinchen (*Cavia aperea cutleri*) ist, welches die Hochebenen in den Anden besiedelt (ROSENGARTEN 2004).

Klasse: Mammalia

Unterklasse: Eutheria

Ordnung: Rodentia

Unterordnung: Hystricognathi

Teilordnung: Caviomorpha

Überfamilie: Cavoidea

Familie: Caviidea

Unterfamilie: Caviinae

Tabelle 1: Zoologische Einordnung des Meerschweinchens

2.2 Domestikationsgeschichte

Das Meerschweinchen zählt zu einem der ersten im Haus gehaltenen Tiere der neuen Welt. Aufzeichnungen belegen, dass schon 1000 v. Chr. die Domestikation

durch die Inkas stattfand (BERGHOFF 1989, HAMEL 2002, KUNSTYR et al. 1977). Fundstücke von alten Vasen aus dieser Epoche zeigen Bilder von Meerschweinchen und bestätigen damit diese Theorie (HAMEL 2002, KUNSTYR et al. 1977).

Einige Autoren (GÖBEL und EWRINGMANN 2005, MOLARES 1995) sind sogar überzeugt, dass Meerschweinchen bereits zwischen 5000 und 4000 v. Chr. von Menschen als Haustiere gehalten wurden (HARTUNG 1999).

Bei den Inkas erfüllten die Meerschweinchen die Funktion von Opfer- und Schlacht-tieren für die Götter und wurden auch oftmals bei Begräbnissen mit ins Grab gelegt (HAMEL 2002, SCHMIDT 1973).

Die ersten domestizierten Tiere wiesen allerdings nur die Farben braun, weiß und braunweiß auf. Die schwarze Fellfarbe oder auch andere Fellarten kamen noch nicht vor und sind auf spezielle Züchtungen aus heutiger Zeit zurück zu führen (HAMEL 2002).

Auch zur heutigen Zeit werden in kleinen Siedlungen in den Anden Meerschweinchen noch zu ähnlichen Bedingungen wie zu Anfangszeiten der Domestikation gehalten (MOLARES 1995, NORTH 1999, STAHNKE und HENDRICHS 1997). Die Tiere werden frei im Haus gehalten und sind nicht im Käfig oder Gehege eingesperrt. Als Futter stehen ihnen Küchenabfälle und ähnliches zur Verfügung. Tradition hat in diesen Dörfern auch das Verschenken von Meerschweinchen an Kinder von Verwandten, sowie als Mahlzeit zu speziellen Anlässen wie Hochzeiten, Taufen und Verhandlungen (BARTENSCHLAGER 1986, MOLARES 1995, SCHMIDT 1973).

Auch in der traditionellen Medizin wurde das Meerschweinchen zur Diagnosefindung eingesetzt. So wurde, bei erfolgloser vorangegangener Therapie, der Patient am ganzen Körper mit dem lebendigen Meerschweinchen eingerieben. Anschließend wurde das Meerschweinchen getötet, aufgeschnitten und anhand der Betrachtung der Organe eine Diagnose gestellt (MOLARES 1995).

Im Jahre 1530, nach der Entdeckung Amerikas, kamen die ersten Meerschweinchen auf das europäische Festland (QUESENSBERRY 1994, SCHMIDT 1973, WAGNER und MANNING 1976). Sie wurden durch Seefahrer aus Spanien und Holland nach

Europa gebracht, und die Züchtung der Tiere wurde dort weiter verfolgt (HAMEL 2002). Außerdem mussten die Tiere auf den langen Seeüberquerungen als Nahrung für die Seefahrer erhalten (HAMEL 2002).

Nach CUMBERLAND (1886) (zitiert nach WAGNER 1976) wurden die Meerschweinchen von den einheimischen Bewohnern Spaniens auf Märkten in Peru zum ersten Mal gesehen und wegen ihrer, dem Schwein sehr ähnlichen, Lautäußerungen und aufgrund ihrer „indischen“ Herkunft, denn damals war man noch in dem Irrglauben, Indien entdeckt zu haben, *Porcella d' India*/*Porco da India*/ *Cochon d'Inde* genannt (WAGNER und MANNING 1976).

Die ersten Aufzeichnungen über das Vorkommen von Meerschweinchen in Mitteleuropa stammen vom Schweizer Arzt und Naturforscher Konrad Gesner aus dem Jahre 1554. Konrad Gesner sah die kleinen Tiere erstmals in Zürich und Augsburg auf Tiermärkten (KUNSTYR et al. 1977) und beschrieb die damals noch unbekannteren Nager (GÖBEL und EWRINGMANN 2005, HAMEL 2002).

Es wird vermutet, dass die Stammform der heute gezüchteten und gehaltenen Rassen aus Holland stammt (HAMEL 2002).

Die genaue Untersuchung des heutigen domestizierten Meerschweinchens erfolgte dann durch den deutschen Zoologen Alfred Nehring. Dieser entdeckte bei Forschungsarbeiten in Peru in Grabstätten der Inkas mumifizierte Meerschweinchen und untersuchte diese näher. 1889 fand er sehr ähnliche, beziehungsweise auch übereinstimmende Merkmale zwischen dem schon domestizierten Meerschweinchen und dem vom Schweizer Zoologen Tschudi beschriebenen *Aperea*-Wildmeerschweinchen (HAMEL 2002).

Es fand recht schnell eine großflächige Verbreitung der Tiere in ganz Europa statt, da die Tiere sehr einfach und anspruchslos in ihrer Haltung und Pflege waren und sehr unterhaltsame Genossen waren. Sowohl in Großbritannien waren sie anzutreffen als auch später im 17. Jahrhundert in den USA (QUESENSBERRY 1994, WAGNER und MANNING 1976).

Allerdings galten sie in Europa nicht als Nahrungstiere der Menschen, sondern wurden nur als Attraktion in zoologischen Gärten und als Spielgefährten für Kinder gehalten (KUNSTYR et al. 1977).

Im 19. Jahrhundert wurden die Meerschweinchen als Versuchstiere für die Forschung in der Biologie und Medizin entdeckt und kamen in der Labortierkunde vermehrt zum Einsatz. Erstmals verwendet in der Versuchstiermedizin wurden sie schon im Jahre 1780 und wurden dort von Lavoisier zur Messung der Wärmeproduktion genutzt (ANDERSON 1987, NORTH 1999). Große Fortschritte in der Forschung zur Tuberkulose gelangen 1870 durch Robert Koch, welcher ebenfalls Meerschweinchen zur Untersuchung verwendete. Emil v. Behring wiederum machte sie sich bei seinen Untersuchungen zur Immunitätslehre und Diphtherie Bekämpfung zu Nutze (KUNSTYR et al. 1977). Den fortpflanzungsfreudigen Tieren kommt seit dem große Bedeutung in der pharmazeutischen Forschung und der Entwicklung in der Immunologie zu, sowie in Untersuchungen und Studien über Infektionskrankheiten, Hypervitaminose D, Gehörfunktion und aufgrund ihres, dem Menschen ähnlichen, Vitamin C-Stoffwechsels, dem Ascorbinsäure-Metabolismus (ANDERSON 1987, NORTH 1999).

In England werden die Meerschweinchen „guinea pig“ genannt. Über die Entstehung dieses Namens gibt es verschiedene Theorien. Die eine Quelle besagt, dass der Name „guinea pig“ eine abgewandelte Form von „Guinea pig“ ist, da die Tiere eventuell aus dem südamerikanischen Guinea nach Europa eingeführt wurden (COOPER und SCHILLER 1975, MOLARES 1995, WAGNER und MANNING 1976). Da die Meerschweinchen von Südamerika aus auf dem Seeweg über die westafrikanische Guineaküste nach Europa kamen, kann es sein, dass die Namensgebung daher rührt, da irrtümlicherweise von ihrer Herkunft aus Guinea ausgegangen wurde (COOPER und SCHILLER 1975, MOLARES 1995, WAGNER und MANNING 1976).

Die andere Möglichkeit der englischen Namensentstehung ist, dass die Tiere, nachdem sie nach Europa importiert wurden, für 1 Guinea verkauft wurden. Guinea war eine englische Goldmünze und entspricht 21 Schilling. Hinzu kam, dass sie aufgrund ihres relativ großen Kopfes, des kurzen und stämmigen Halses und des plumpen Körpers sowie ihrer, den Hausschweinen ähnlichen Lautäußerungen, kleinen

Schweinen ähnelten (COOPER und SCHILLER 1975, MOLARES 1995, WAGNER und MANNING 1976). Die letzte Alternative könnte sein, dass „guinea“ für „ausländisch“, „anders“ und „fremd“ steht.

Über die Entstehung des deutschen Namens „Meerschweinchen“ dagegen gibt es nur eine Version, da es vom Körperbau und den Lautäußerungen großen Schweinen ähnelt und über das Meer nach Deutschland kam, war es sozusagen das Schweinchen, das über das Meer kam, woraus sich die Bezeichnung „Meerschweinchen“ ergab (BARTENSCHLAGER 1986, WAGNER und MANNING 1976). Die wissenschaftliche Bezeichnung *Cavia aperea* f. *porcellus* erhielt das Meerschweinchen im Jahre 1758 mit Linnés 10. Auflage von „Systema Naturae“ (KUNSTYR et al. 1977, WEIR 1974).

2.3 Lebensweise und physiologische Daten

Meerschweinchen sind sehr gesellige, freundliche und anspruchslose Tiere, was sie als Haustiere für Kinder ideal erscheinen lässt. Dennoch müssen auch bei der Meerschweinchenhaltung gewisse Ansprüche erfüllt werden, um ihnen eine artgerechte Lebensweise zu ermöglichen. So sollten Meerschweinchen immer in Gruppen, das heißt mindestens zu zweit, jedoch nach Möglichkeit nie alleine gehalten werden. Die gemischtgeschlechtliche Gruppenhaltung ist meist unkompliziert, sofern zumindest die männlichen Tiere kastriert werden, um Rangordnungskämpfe und unkontrollierte Fortpflanzung zu vermeiden (GÖBEL und EWRINGMANN 2005). Bei Einzelhaltung der Meerschweinchen oder auch mit dem als Partner für Meerschweinchen ungeeigneten Kaninchen (HAMEL 2002) kann es zu Verhaltensstörungen kommen. Der Käfig sollte ausreichend Platz für Bewegung bieten, zusätzlicher Auslauf ist zu empfehlen (HAMEL 2002).

Auch was die Nahrung betrifft, stellen die herbivoren Nagetiere gewisse Ansprüche. So sollte die Nahrung überwiegend rohfaserreiche Bestandteile enthalten, um den Zahnabrieb und die Darmflora und – Peristaltik zu erhalten (HAMEL 2002, ISENBÜGEL 1985, JOHNSTON 1991, KUNTZE 1992). Rohfaserreiche Nahrung,

insbesondere Heu, sollte den Meerschweinchen 24h am Tag, ebenso wie Wasser, zur freien Verfügung stehen, da die Tiere mehrere über den Tag verteilte kleine Portionen an Futter aufnehmen, was wiederum für den Darmvorschub essentiell ist (HAMEL 2002, KÜNZEL 2004). Zusätzlich sind Meerschweinchen auf eine ausreichende Vitamin C-Supplementierung angewiesen, da sie, wie Menschen und Primaten, dieses nicht selbstständig synthetisieren können. (HAMEL 2002, ISENBÜGEL 1985, JOHNSTON 1991, KUNTZE 1992). Der Vitamin-C-Bedarf bei Jungtieren wird mit 3 mg/Tag, für ausgewachsene Tiere mit 10 mg/Tag angegeben. Trächtige Tiere benötigen die doppelte Menge von ausgewachsenen Tieren (HAMEL 2002).

Des Weiteren sollte Meerschweinchen ausreichend frisches Grünfutter, sowie Obst und Gemüse zur Verfügung gestellt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass das Futter immer frisch ist, da es sonst schnell zu einer Entgleisung der empfindlichen Darmflora kommen kann (GÖBEL und EWRINGMANN 2005, HOLLMANN 1993, WASEL 2005). Die im Handel angebotenen Körnerfutter und Mischfuttermittel sind nur vorsichtig zu verfüttern, da sie meist zu wenig Rohfaser und zu viel Fett und Proteine enthalten. Sie sollten, wenn überhaupt, nur als Leckereien zwischendurch gefüttert werden (GÖBEL und EWRINGMANN 2005, KAMPHUES 2004).

Calciumreiche Futtermittel sollten, aufgrund des speziellen Calciumstoffwechsels der Nager, vermieden werden, da es sonst schnell zur Bildung von Harngries oder Harnsteinen kommen kann (HAMEL 2002).

Die dämmerungsaktiven Wildmeerschweinchen (GÖBEL und EWRINGMANN 2005, WASEL 2005) besiedeln in den Anden, in Höhen von 1600m – 4200m, Höhlen oder flachere Erdbauten (BERGHOFF 1989, GÖBEL und EWRINGMANN 2005, HAMEL 2002, HERRE und RÖHRS 1990, KUNSTYR et al. 1977, WASEL 1984), die sie aber nicht selber graben, sondern sie nehmen schon fertige Bauten als Bewohnung an. Sie leben dort in einem Gruppenverband von 4 - 20 Tieren, bei dem sowohl männliche als auch weibliche Tiere friedlich zusammen leben. Als Hauptnahrung dienen ihnen Gras und verschiedene Kräuter, die sie meist in zwei Hauptfressphasen, nämlich früh morgens und am späteren Nachmittag zu sich nehmen (BERGHOFF 1989, KUNSTYR et al. 1977).

Sie sind reviergebundene und sehr gesellige Tiere (GÖBEL und EWRINGMANN 2005, ISENBÜGEL 1985, KUNKEL und KUNKEL 1964, KUNSTYR et al. 1977).

Das heutige Hausmeerschweinchen ist etwas plumper im Erscheinungsbild und insgesamt auch schwerer und größer als die Wildmeerschweinchen. (HAMEL 2002, STAHNKE und HENDRICHS 1997). Die recht plumpe Körperform ist auf ihre Herkunft aus den Anden zurück zu führen, da dort extreme Temperaturschwankungen an der Tagesordnung sind (FEHR 1990). Durch diese Körperform können Meerschweinchen die Körperwärme sehr gut speichern, leiten diese aber nur schlecht wieder ab, was sie für höhere Temperaturen im europäischen Raum, wie sie im Sommer vorherrschen, empfindlich für Hitzschläge macht. Die Umgebungstemperatur sollte deswegen zwischen 18 - 26°C liegen.

Das Gewicht liegt zwischen 1000 - 1200 g, in seltenen Fällen bis 1800 g für ein ausgewachsenes männliches Tier und zwischen 700 - 1100 g für ein ausgewachsenes weibliches Meerschweinchen (BARTENSCHLAGER 1986, BRANDT 1972, SCHMIDT 1973, WASEL 1984). Die Körperlänge schwankt zwischen 20-35 cm (BARTENSCHLAGER 1986, BERGHOFF 1989, GABRISCH und ZWART 1998, HOLLMANN 1993, NORTH 1999). Weibliche Tiere sind meist etwas leichter und kleiner als die männlichen Tiere (BERGHOFF 1989, GABRISCH und ZWART 1998).

Die Lebenserwartung beträgt 6 - 8 Jahre, bei guter Haltung können sogar bis zu 15 Jahre erreicht werden (BERGHOFF 1989, BEYNON und COOPER 1997, ISENBÜGEL 1985, KUNTZE 1992, SCHMIDT 1973).

Die männlichen Tiere sind im Alter von 6 - 10 Wochen geschlechtsreif (HAMEL 2002, WAGNER und MANNING 1976), die Weibchen sind etwas früher geschlechtsreif, und mit 4 - 6 Wochen ist eine Bedeckung möglich. (RICHARDSON 2000, WAGNER und MANNING 1976, WASEL 2005). Die Zucht Reife liegt allerdings erst bei 2,5 - 6 Monaten (HAMEL 2002, ISENBÜGEL 1985) für die männlichen Meerschweinchen und bei 3 - 5 Monaten für die weiblichen Tiere (BERGHOFF 1989, JOHNSTON 1991, RICHARDSON 2000).

Der Hodenabstieg beginnt mit der sechsten Lebenswoche (HAMEL 2002, WASEL 2005); sowohl weibliche als auch männliche Meerschweinchen besitzen ein Zitzen-

paar, welches inguinal liegt und bei den Weibchen meist etwas ausgeprägter ist als bei den männlichen Tieren (ANDERSON 1987, ISENBÖGEL 1985, QUESENSBERRY et al. 2004).

Die Zykluslänge dauert im Durchschnitt circa 16 Tage (BERGHOFF 1989), wird aber in der Literatur auch mit 13 - 21 Tagen angegeben (ANDERSON 1987, GÖBEL und EWRINGMANN 2005, QUESENSBERRY 1994, SCHMIDT 1973, WASEL 2005). Die Östruslänge beträgt 24 -50 Stunden, die Hauptbrunst circa 8 - 12 Stunden (GÖBEL und EWRINGMANN 2005, HAMEL 2002, SCHMIDT 1973, WAGNER und MANNING 1976). Die Ovulation erfolgt bei den Meerschweinchen spontan, meist 10 Stunden nach Brunstbeginn (GÖBEL und EWRINGMANN 2005, HAMEL 2002, KUNSTYR et al. 1977, QUESENSBERRY et al. 2004). Meerschweinchen besitzen eine Placenta haemochorialis (HAMEL 2002).

Die Trächtigkeitsdauer erstreckt sich beim Meerschweinchen über 58-72 Tage, im Durchschnitt liegt sie bei 63-68 Tagen (ANDERSON 1987, BARTENSCHLAGER 1986, RICHARDSON 2000), wobei die Paarung nicht von der Jahreszeit abhängig ist (BERGHOFF 1989, GABRISCH und ZWART 1998). Bei der Geburt werden zwischen 1 und 6 Junge geworfen (BERGHOFF 1989, GABRISCH und ZWART 1998, MOLARES 1995, QUESENSBERRY 1994, RICHARDSON 2000), die vollentwickelt auf die Welt kommen und direkt nach der Geburt in der Lage sind, selbstständig Futter aufzunehmen. Das Geburtsgewicht liegt, je nach Anzahl der Jungen, zwischen 50 und 110 Gramm (BERGHOFF 1989, GABRISCH und ZWART 1998, JOHNSTON 1991, QUESENSBERRY 1994). Pro Tag sollten die Jungtiere 4 - 7 Gramm zunehmen; die Säugeperiode dauert im Schnitt drei Wochen (HAMEL 2002, QUESENSBERRY et al. 2004, WASEL 2005).

Meerschweinchen sind sehr paarungsfreudige Tiere und können bis zu fünfmal im Jahr werfen (BARTENSCHLAGER 1986, HAMEL 2002, SCHMIDT 1973).

Die Körpertemperatur beträgt 37- 39,5 °C, im Durchschnitt 38,6 °C, der Puls liegt, laut Literatur, mit circa 130 - 300 Schlägen pro Minute im Referenzbereich (BEYNON und COOPER 1997, BERGHOFF 1989), das Blutvolumen beträgt 75 ml je Kilogramm Körpergewicht (BEYNON und COOPER 1997). Die Atemfrequenz liegt

bei 90 - 150 Atemzügen pro Minute, wobei während jedem Atemzug circa 1,0 - 4,0 ml Luft eingeatmet werden (BERGHOFF 1989, BEYNON und COOPER 1997).

Das heutige Hausmeerschweinchen unterscheidet sich vom Aussehen her beträchtlich vom Wildmeerschweinchen. Es ist größer und schwerer als dieses und durch die Domestikation ist es deutlich plumper und schwerfälliger geworden. (HAMEL 2002, STAHNKE und HENDRICHS 1997).

Heutzutage gibt es die verschiedensten Variationen hinsichtlich Fellfarbe, -länge und -struktur. Diese stammen jedoch alle von nur drei verschiedenen Rassen ab (HAMEL 2002, NORTH 1999, QUESENSBERRY et al. 2004, WILK 1988). Man unterscheidet das englische Glatthaarmeerschweinchen mit glattem Fell, das abessinische oder auch Rosettenmeerschweinchen genannte, das sich durch kurzes mit Wirbeln durchsetztes Fell auszeichnet, und zum Schluss noch das langhaarige Peruanermeerschweinchen, welches sehr langes Fell besitzt, das glatt und zum Teil mit Wirbeln durchsetzt ist. Alle drei Rassen kommen in den unterschiedlichsten Farbkombinationen vor, woraus durch Verpaarung immer weitere Rassen entstanden sind. Derzeit werden ungefähr 19 verschiedene Rassen unterschieden. Die Anzahl ändert sich jedoch stetig (BEYNON und COOPER 1997, GABRISCH und ZWART 1998, HAMEL 2002, WASEL 2005).

2.4 Anatomie der Niere

2.4.1 Größe, Form und Lage der Niere

Das Meerschweinchen besitzt zwei glatte, einwarzige und ungefurchte Nieren (COOPER und SCHILLER 1975, HOFFMANN 1961, WOERLE und WOLF 1977). Die beiden dunkelbraunroten Nieren des Meerschweinchens liegen extrathorakal, retroperitoneal paramedian der Lendenwirbelsäule (HAMEL 2002, WOERLE und WOLF 1977), hochdorsal im Fettgewebe eingebettet (COOPER und SCHILLER 1975, GÖBEL und EWRINGMANN 2005, GORGAS 2004, HOFFMANN 1961, JUNG 1963, MARTIN 1923, RANDERATH und HIERONYMI 1958).

Die rechte Niere, die etwas weiter kranial liegt als die linke Niere, reicht vom ca. 12. Interkostalraum bis zum 2. oder 3. Lendenwirbel (COOPER und SCHILLER 1975, HAMEL 2002, RANDERATH und HIERONYMI 1958, RICHARDSON 2000). Sie ist vom Rippenbogen bedeckt und berührt kranial das Zwerchfell (HOFFMANN 1961, ISENBÜGEL und FRANK 1985, WOERLE und WOLF 1977), beziehungsweise liegt in die Impressio renalis des Lobus hepatis dexter lateralis eingebettet (COOPER und SCHILLER 1975, NIEBERGALL 2003). Kaudal der rechten Niere befindet sich die Colonspirale (BITZINGER 2008).

Die linke Niere dagegen liegt vollständig kaudal des Rippenbogens (BREAZILE und BROWN 1976, HOFFMANN 1961) und reicht von der 13. Rippe bis zum 3. oder 4. Lendenwirbel (COOPER und SCHILLER 1975, HAMEL 2002, RANDERATH und HIERONYMI 1958, RICHARDSON 2000). An den kranialen Abschnitt der linken Niere grenzen dorsolateral die Milz und ventral der Magen. Kaudal der Niere liegen das Colon transversum und das Caecum (BITZINGER 2008).

Beim weiblichen Meerschweinchen liegt kaudal (HAMEL 2002, JUNG 1962, PREISSECKER 1958, RIECKEN 2008) beziehungsweise kaudolateral (BREAZILE und BROWN 1976, WOELRE und WOLF 1977) zum rechten Nierenpol das rechte Ovar an, das linke Ovar liegt kranial lateral der linken Niere an. Zusätzlich ist die Ventralfläche der linken Niere mit dem fettreichen Ligamentum latum uteri verbunden (O'MALLEY 2008).

Beide Nieren besitzen eine eher flache Dorsalfläche, mit der sie an der dorsalen Bauchwand fest anliegen; die stärker gewölbte Ventralfläche zeigt zum Teil zwei bis drei hiluswärts konvergierende Furchen (MARSCHNER 1937). Die abgerundete laterale Kante ist konvex, die zum Hilus hin vertiefte mediale Kante ist schärfer und konkav (RANDERATH und HIERONYMI 1958).

Der Aufbau der Nieren entspricht den Verhältnissen von Fleischfressern (REESE 2009).

Man trennt die äußere, hellere Nierenrinde vom innen liegenden, dunkleren Nierenmark. Das trichterförmige Pelvis renalis ist verhältnismäßig groß (COOPER und SCHILLER 1975, HAMEL 2002, RANDERATH und HIERONYMI 1958). In das Pelvis

renalis mündet die einzige längliche Papilla renalis mit ihren Ductus papillares in Form rundlicher Einsenkungen (BREAZILE und BROWN 1976, COOPER und SCHILLER 1975). Die Mündung der Ductus papillares kann zum Teil mit bloßem Auge erkannt werden. Die Niere wird von einer Nierenkapsel umgeben, die beim Meerschweinchen auffallend dünn und zart ist (MARSCHNER 1937). Folgende Abbildung 1 zeigt schematische den anatomischen Aufbau der Niere.

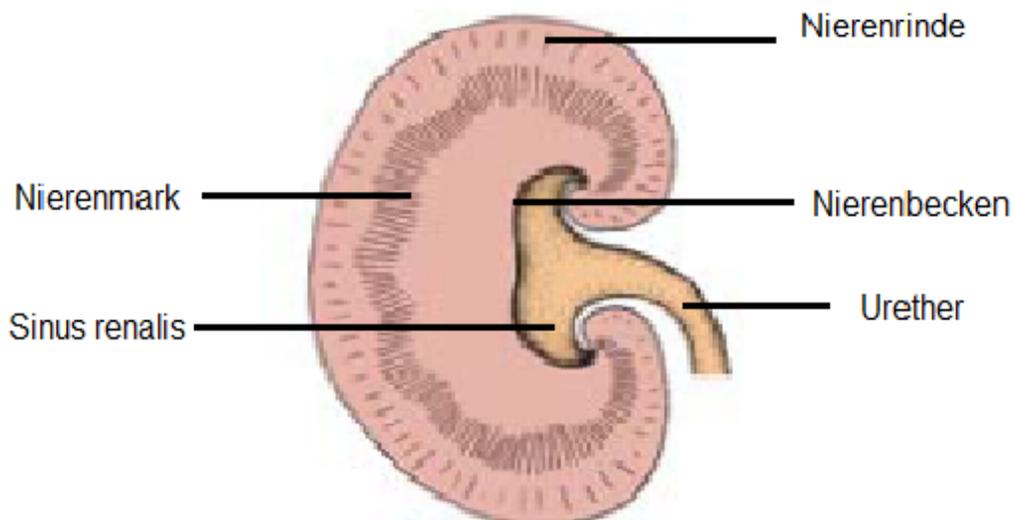


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Nierenanatomie (LIEBICH et al. 2002)

Die Formen der beiden Nieren sind bei jungen Tieren annähernd identisch (MARSCHNER 1937). Mit zunehmendem Alter verändert sich die Form der rechten Niere zu mehr bohnenförmig bis rundlich, während die linke Niere eine mehr dreieckige Gestalt annimmt (COOPER und SCHILLER 1975, HOFFMANN 1961, ISENBÜGEL und FRANK 1985, MARTIN 1923, WOERLE und WOLF 1977). In den Tabellen 2 und 3 werden die Werte der Nierengröße zweier Autoren aufgezeigt.

Mittelwerte sowie Minimal- und Maximalwerte der sonographisch ermittelten Nierendimensionen (in cm) gesunder Meerschweinchen									
	männlich (n = 21)			weiblich (n = 60)			alle (n = 81)		
	min	mittel	max	Min	mittel	max	min	mittel	max
Länge rechts	1,76	2,15	2,67	1,57	2,20	2,87	1,57	2,19	2,87
Breite rechts	0,90	1,16	1,42	0,86	1,27	1,73	0,86	1,24	1,73
Länge links	1,51	2,03	2,53	1,32	2,17	3,18	1,32	2,14	3,18
Breite links	0,86	1,15	1,42	0,91	1,27	1,95	0,86	1,24	1,95
Länge gesamt		2,09			2,19			2,16	
Breite gesamt		1,16			1,27			1,24	

Tabelle 2: Angaben zur Nierengröße in cm, getrennt nach Geschlecht und Seite (NIEBERGALL 2003)

Mittels Ultraschalluntersuchung ermittelte Nierenmaße bei Meerschweinchen (cm)							
Fall-Nummer	linke Niere			rechte Niere			KM (kg)
	lang	breit	hoch	lang	breit	hoch	
2	2,28	1,30	1,40	1,89	1,48	1,45	0,8
3	1,95	2,02	1,76	3,33		1,73	1,0
4	1,57	1,08	1,21	1,76	1,20	1,24	0,4
8		2,15	1,49		2,13	1,21	0,8
9	2,56	1,63	1,34	2,47	1,40	1,34	0,7
12	2,35		1,36				0,9
14	2,82		1,73				0,8
21	2,60		1,40	2,20	1,20		0,9

Tabelle 3: Angaben zur Nierengröße in cm, nach Seite getrennt (RAPPOLO 2003)

Die Breite beider Nieren ist fast identisch, während die Länge unterschiedlich ist; die linke Niere ist geringfügig kürzer als die rechte (NIEBERGALL 2003). Laut NIEBERGALL sind die Nieren bei den weiblichen Tieren länger und breiter als die der männlichen Meerschweinchen, die Maße der linken Niere variieren dabei stärker.

ICHII et al. (2006) hingegen geben für die männlichen Tiere ein höheres Nierengewicht im Vergleich zum Körpergewicht an als bei den weiblichen. Zudem fanden ICHII et al. (2006) heraus, dass Meerschweinchen im Vergleich zu Ratten, Hamstern, Mäusen und Gerbilen die schwersten Nieren bezogen auf ihr Körpergewicht haben.

Zusätzlich stellte NIEBERGALL (2003) einen positiven Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht der Tiere und der Länge der Niere her, schwerere Tiere haben eine längere Niere als leichtere Tiere.

2.4.2 Blutgefäße der Niere

Die Nieren werden, wie bei allen Säugetieren, von den Arteriae renales versorgt, die entweder auf gleicher Höhe bzw. die rechte Arteria renalis etwas weiter kranial als die linke aus der Aorta abgehen.

Laut MARSCHNER (1937) sind die Arteriae renales manchmal von vornherein schon doppelt angelegt; falls das nicht so ist, teilen sie sich aber auf halber Strecke zur Niere in mehrere unterschiedlich große Zweige auf, die in den Hilus oder in die nähere Umgebung eindringen. Andere Autoren bestätigen diese These; nach ihnen haben aber die meisten Meerschweinchen doppelt angelegte Nierenarterien. KÜKENTHAL und PLATZER (1968) fanden eine beidseitig doppelt angelegte Nierenarterie bei 3 von 24 untersuchten Meerschweinchen, und eine einseitig doppelt angelegte bei 8 von 24 Meerschweinchen. Aus den Aa. renales geht zudem bei allen Nagern die caudale Suprarenalarterie ab, bei den Meerschweinchen zusätzlich noch eine Interkostalarterie (KÜKENTHAL und PLATZER 1968).

Nach Eintritt der Nierenarterien in das Nierenbecken, teilen sie sich in mehrere Aa. interlobares auf, die das Mark durchwandern und an der Mark-Rinden-Grenze die bogenförmig verlaufenden Aa. arcuatae verlassen (HOLLE und SCHNEIDER 1961, SCHIEBLER 1959). Die Nierenrinde wird von den Aa. interlobulares versorgt, die in den Aa. arcuatae ihren Ursprung haben (SCHIEBLER 1959, LIEBICH 2002). Aus den Aa. interlobulares entspringen in gleichmäßigen Abständen die Vasae afferentiae, die schließlich im Gefäßpol der Nierenkörperchen das Kapillarknäuel des Glomerulum bilden und wieder als Vasa efferentia den Gefäßpol verlassen. Nachfolgend bil-

den sie ein Kapillarnetz um die Nephronen, anschließend wird das Blut über die Vv. interlobulares in die Vv. arcuatae und Vv. interlobares geleitet. Im Nierenhilus vereinigen sich die Vv. interlobares zu der Vv. renalis, welche dann in die Vena cava caudalis münden. Das Mark wird hauptsächlich durch die Aa. rectae versorgt, welche aus den Aa. efferentes der juxtamedullären Zone hervorgeht. Zusätzlich bestehen beim Meerschweinchen direkte Übergänge zwischen den Aa. lobares und den Rindenskapillaren (SCIEBLER 1959). Vv. stellatae kommen beim Meerschweinchen laut MARSCHNER (1937) nicht vor.

Das Gefäßsystem kann sich bei den Meerschweinchen (sowie bei Kaninchen, Ratten, Hunden, Katzen und Menschen) an die Bedürfnisse des Organismus durch ein niereneigenes „Zwei-Wegesystem“ anpassen. Der Hauptweg führt über die, bei Meerschweinchen in einen subkapsulären Teil mit sternförmig verzweigten Aa. efferentes und einen unteren Abschnitt gegliederten, Glomerula der Rindenzone. Als Nebenweg dienen die Gefäßbahnen der juxtamedullären Rindenzone. Mit Hilfe von diesem System können, falls die Blutzufuhr zur Rinde merklich absinkt, erhebliche Blutmengen abgeleitet werden (WASEL 2005).

2.5 Pathologisch-anatomische Veränderungen der Niere

Pathologische Veränderungen der Niere kommen, wenn sie nicht angeboren sind, meist bei älteren Tieren vor (HOEFER 2004). Die klinischen Anzeichen einer Nierenerkrankung sind im Allgemeinen relativ unspezifisch, beinhalten aber oft Symptome wie: Verschlechterung des Allgemeinbefindens, Dehydratation, Anorexie, und als deren Folge Gewichtsverlust, Schmerzäußerung beim Harnabsetzen, Pressen beim Urin absetzen, sowie blutiger Urin. Auch plötzliche Todesfälle sind beschrieben (HOEFER 2004). Die Diagnose beruht auf der Bestimmung der Harnstoff- und Kreatininwerte, eventuell dem Vorhandensein einer nicht regenerativen Anämie. Bei der Harnuntersuchung können unter anderem eine Proteinurie und/oder eine Hämaturie Anzeichen einer Nierenerkrankung sein.

Zu den hilfreichen bildgebenden Verfahren bei pathologischen Nieren Veränderungen zählen die Ultraschallsonographie sowie das Röntgenverfahren. Im Röntgenbild können zum Beispiel sowohl die röntgendichten Nierensteine erkannt werden, als auch verkalkte Nieren im Falle einer Nierenkalzinose oder auch in ihrer Größe veränderte Nieren, wobei sich hierfür eher die Ultraschalluntersuchung eignet. Das Ultraschallgerät ist ein sehr hilfreiches Mittel in der Diagnosefindung, allerdings müssen gewisse Bedingungen für sein Einsetzen erfüllt sein (Können des Untersuchers, Leistung des Gerätes, Kooperation der Patienten, u.a.).

PERCY (2001) und LABER-LAIRD (1996) führen als chronische Nierenerkrankungen die Amyloidose, die idiopathische Glomerulonephritis, die spontane Hydronephrose und die hypertensive Nierensklerose auf. Die Ursachen sind oft unklar, es werden Autoimmunerkrankungen, infektiöses Geschehen oder auch eine chronische Antigenstimulation sowie Gefäßveränderungen diskutiert (HARKNESS und WAGNER 1995, LABER-LAIRD 1996, PERCY 2001).

Akute Erkrankungen der Niere treten unregelmäßig auf, verlaufen jedoch häufig rapide und enden oft mit dem Tod des Tieres. Die Aufnahme von oxalathaltigen Pflanzen, wie zum Beispiel Philodendron, Rhabarber oder rote Beete (PERCY 2001, RICHARDSON 2000) werden als mögliche Ursachen in Betracht gezogen.

2.6 Sonographie der Nieren

Im Gegensatz zu den Heimtieren wird die Ultraschalluntersuchung des Abdomens und der Nieren bei Hund und Katze mittlerweile routinemäßig durchgeführt. Bei den Heimtieren besteht hingegen noch großer Nachholbedarf bezüglich der sonographischen Untersuchungsdiagnostik.

In letzter Zeit wurden allerdings vermehrt Arbeiten über die sonographische Untersuchung bei Heimtieren veröffentlicht. Insbesondere in der Forschung wird die Sonographie bei Labortieren, speziell Ratten und Mäusen, vermehrt eingesetzt, da sich mit ihrer Hilfe Organ- und Perfusionszustände gut feststellen und Veränderungen verfolgen lassen ohne die Tiere einer Laparotomie zu unterziehen. Besonders im

Bereich der Tumorforschung wurden so große Fortschritte erzielt. 1997 stellten WINTERS et al. (1997) die abdominale Sonographie bei der Maus zur Erkennung von Nierenveränderungen vor. SWEENY et al. (2003) und WINTERS et al. (1997) führten die Untersuchungen weiter, um Therapieerfolge zu kontrollieren. Die B-Bild-Sonographie dient in der Forschung der Darstellung von Organen und deren Veränderungen; die Dopplersonographie wird zur Darstellung von Gefäßen und dem Durchblutungsgrad von Tumoren eingesetzt.

Beim Kaninchen wurde mittels Farbdoppler- und B-Mode-Sonographie 2002 von CHANG eine künstliche Embolisation dokumentiert, die eine Nephrektomie bei einer Hydronephrose ersetzen soll (CHANG 2002). Zur Darstellung der physiologischen Sonoanatomie sowie der Sonopathologie nutzten bereits 1989 und 1998 ACKERMANN et al. (1991) den Ultraschall bei narkotisierten Kaninchen. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Sonographie sich gut zur frühzeitigen Nierentumorerkennung eignet, während sie ungeeignet bei der Unterscheidung von benignen und malignen Veränderungen ist.

Eine Arbeit über die abdominale Ultraschalluntersuchung beim Frettchen wurde 2004 von FRINGS veröffentlicht, welche auffällig oft von Veränderungen an den Nieren berichtete. Die Arbeit wurde daraufhin, ebenfalls 2004, von GORGAS weitergeführt, und konzentrierte sich auf die sonographische Darstellung von physiologischen und pathologischen Nieren. Zusätzlich wurde der Einfluss von extrarenalen Parametern und sonographisch sichtbaren Parenchymveränderungen auf die Nierendurchblutung berichtet. Mit Hilfe eines 12 MHz-Linearschallkopfes wurde die Untersuchung am unseidierten Frettchen durchgeführt. Die Gefäßdarstellung gelang aber, im Gegensatz zu Hund und Katze, nur bei den großen Gefäßen der Niere. Somit wurde auch die Fließgeschwindigkeit nur an den großen Gefäßen gemessen, was den diagnostischen Nutzen zur Früherkennung von Nierentumoren deutlich senkt. Bei der Messung der Fließparameter konnte GORGAS (2004) keinen Unterschied zwischen gesunden und sonographisch veränderten Nieren erkennen, allerdings fanden sich Abweichungen bei den Werten, die mit dem Alter und dem Geschlecht der Tiere zusammenhängen. Es bestand ein positiver Zusammenhang zwischen Alter der Tiere und der Fließgeschwindigkeit. Warum Rüden signifikant höhere Werte aufwiesen,

konnte nicht geklärt werden. Bei gestörtem Allgemeinbefinden wiesen die Tiere ebenfalls erhöhte Werte auf. Der praktische Nutzen dieser Untersuchung stellte sich aber als gering heraus, da die Fließgeschwindigkeiten vor allem von extrarenalen Parametern abhängig sind, weniger von Parenchymveränderungen der Niere.

Bei Degus gestaltete sich die farbdopplersonographische Untersuchung der Niere aufgrund der hohen Atemfrequenz und somit der Atembewegung der Niere sowie der kleinen Gefäßdurchmesser als schwieriger als beim Frettchen. 2004 stellte GNEISER bei drei Degus die Nierengefäße dar. Dies war allerdings nur im Transversalschnitt und im Dorsalschnitt möglich, beim Sagittalschnitt wurde die Niere auf der linken Seite vom Blinddarm und auf der rechten Körperseite vom Colon ascendens verdeckt.

GRODTMANN führte 2007 Untersuchungen zur Sonographie bei der Rennmaus durch; LEHMANN (2007) veröffentlichte eine ähnliche Arbeit zum Thema abdominale Sonographie bei der Ratte. In beiden Arbeiten erfolgten jedoch keine speziellen Untersuchungen an der Niere.

SILVERMAN (1993) schildert die Sonographie beim Kaninchen zur Diagnostik bei Harn- und Geschlechtserkrankungen nur sehr allgemein und oberflächlich. THIELE und FEHR (1999) hingegen sind schon etwas detaillierter und setzen den Ultraschall als Diagnosekriterium bei Untersuchungen des Harn- und Geschlechtstraktes bei Kaninchen und Meerschweinchen ein. GASCHEN et al. setzten 1998 ebenfalls den Ultraschall zur Darstellung von Urolithiasis beim Meerschweinchen ein.

2.6.1 Allgemeine Grundlagen der Sonographie

Ultraschall ist per definitionem der Schallbereich von über 20000 bis 100 Millionen Schwingungen pro Sekunde (20 kHz – 100 MHz), und liegt somit außerhalb des Hörbereichs des Menschen. In der Medizin werden zumeist Frequenzen im Bereich von 1 – 20 MHz verwendet. Die Schallwellen entstehen in piezoelektrischen Kristallen, die sich im Schallkopf befinden, durch Erzeugen einer Wechselspannung (KAARMAN und WESSELS 1983, KAEMMERER 1984, KIEFER und KIEFER 2003,

POULSEN NAUTRUP 2009). Dieselben piezoelektrischen Kristalle können zeitgleich auch Informationen speichern.

Die Geschwindigkeit, mit der die Ausbreitung der Schallwellen entsteht, hängt - unter anderem - von drei bedeutenden Faktoren ab: von der Frequenz und der Wellenlänge der erzeugten Schallwellen und von dem Gewebe, das von den Schallwellen durchdrungen werden soll. Dabei gilt, je dichter das Gewebe ist, desto höher die Geschwindigkeit. In flüssigem sowie gasförmigem Medium ist die Ausbreitung also deutlich langsamer als zum Beispiel in parenchymatösen Organen. Die Geschwindigkeit schwankt hierbei zwischen 1520 m/s bis 1950 m/s (POULSEN NAUTRUP 2007).

Zusätzlich müssen beim Ultraschall noch einige Gesetzmäßigkeiten beachtet werden. Zum einen ist es wichtig zu wissen, dass nur im 90 Grad-Winkel getroffene Strukturen beziehungsweise Grenzflächen eindeutig bezüglich ihrer Dicke beurteilt werden können, was unter anderem für die Dickenmessung der Harnblasenwand bei Zystitiden von Bedeutung ist. Zum anderen sollte bekannt sein, dass je dichter das Gewebe und je höher die Frequenz der erzeugten Schallwellen, desto größer ist die Absorption. Sehr hochfrequente Schallköpfe sollten deswegen eher für kleine Tiere benutzt werden, für große Hunde reicht durchaus auch ein 5 MHz-Schallkopf aus. Früher wurden bei der Sonographie bei kleinen Heimtieren Frequenzen von 7,5 MHz (ACKERMANN Et al. 1989, GASCHEN et al. 1989, HIDA et al. 1999, SUZUKI et al 1991) und 10 MHz (KNIPP et al 2003, KURIYAMA et al 1999, YAREMENITIS et al 2000) verwendet. Laut LEHMANN (2007) waren zum damaligen Zeitpunkt Untersuchungen mit Transducern, die Frequenzen von 20 MHz erzeugen, nur am toten, eröffneten Tier möglich, also nicht transkutan (REIDT 1995). Zum Zeitpunkt dieser Arbeit ist jedoch schon die transkutane Ultraschalluntersuchung an kleinen Heimtieren und in der Versuchstierkunde mit Sonden von Frequenzen bis zu 22 MHz möglich.

An Grenzflächen muss außerdem beachtet werden, dass die Schallwellen vollständig oder nur zum Teil reflektiert werden können. Knöchernes Gewebe können die Schallwellen nicht durchdringen (KIEFER und KIEFER 2003, POTEMPA und RASSWEILER 1997).

Die Dauer und Länge des Schallimpulses bestimmt die axiale Ausbreitung der Ultraschallwellen, die seitliche Ausbreitung hingegen ist von Schallkopf zu Schallkopf ver-

schieden, sprich, abhängig von Form, Anordnung und Eindringtiefe der piezoelektrischen Kristalle (POULSEN NAUTRUP 2009).

Die zur heutigen Zeit verwendete Darstellung der gewünschten Strukturen geschieht primär im Brightness-Mode, abgekürzt auch als B-Mode bezeichnet (COATNEY 2001). Das für den Untersucher sichtbare Bild ist schwarz-weiß, dabei werden bis zu 256 Graustufen unterschieden. Schwarze, beziehungsweise sehr dunkle Gebiete, entsprechen dabei einem schwachen Echo, weiße, beziehungsweise sehr helle Areale, hingegen einem sehr starken Echo (KLEWS 2002). Je mehr Graustufen vorhanden sind, desto besser erkennbar ist das darzustellende Bild (POULSEN NAUTRUP 2009).

Bei den üblicherweise benutzten Schallköpfen, auch Sonden genannt, unterscheidet man zwischen Linear-, Konvex- und Sektorschallkopf. Im Rahmen dieser Arbeit wird nicht genauer auf die Grundlagen der Sonographie eingegangen, auch andere für diese Arbeit nicht relevante Darstellungsverfahren, wie zum Beispiel der M-Mode, werden nicht besprochen. Details sind einschlägiger Literatur zu entnehmen.

2.6.2 Grundlagen der Dopplersonographie

Die Dopplersonographie wird in der Medizin dazu genutzt, die Geschwindigkeit und die Richtung des Blutflusses in einem Gefäß zu bestimmen. Sie gilt als kostengünstige und umfangreiche Methode in der nichtinvasiven Angiographie (HUCK 2001). Man unterscheidet die continuous wave-Dopplersonographie, die pulse wave-Dopplersonographie sowie die farbkodierte Duplexsonographie.

Der sogenannte Dopplereffekt, benannt und erforscht von dem aus Österreich stammenden Forscher Christian J. Doppler, beruht auf der Tatsache, dass die reflektierten Schallwellen an Objekten, die sich fortbewegen, in diesem Fall die Blutkörperchen, eine Frequenzverschiebung, auch als Doppler-Shift bezeichnet, erfahren (DOPPLER 1843).

Dieses Phänomen wurde in der Medizin allerdings erst zu Beginn der sechziger Jahre zunehmend angewendet (FRANKLIN et al. 1961, SATUMURA und KANEKO 1960).

Bei der Dopplersonographie ist zu berücksichtigen, dass die Frequenz der von den sich auf den Schallkopf zu bewegenden Teilchen reflektierten Schallwellen, durch die Frequenzverschiebung größer ist als die ausgesandte Frequenz. Umgekehrt ist die Frequenz der sich vom Schallkopf fortbewegende Teilchen reflektierten Schallwellen, kleiner als die ursprüngliche Frequenz der emittierten Schallwellen (MARSHALL 1993, POULSEN NAUTRUP 2009).

Das sich auf den Schallkopf zu bewegendes Blut wird in der Regel im farbkodierten Dopplerverfahren rot dargestellt, beziehungsweise oberhalb der Nulllinie in der konventionellen Dopplersonographie. Dem vom Schallkopf abgewandten Blutfluss wird die Farbe Blau zugeordnet, oder stellt sich unterhalb der Nulllinie dar (POULSEN NAUTRUP 2007).

Die Messung der Geschwindigkeiten der roten Blutkörperchen, also des Blutflusses, erfolgt mit Hilfe des Dopplershifts. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass dieser Dopplershift vom Winkel zwischen Schallwellen und dem Gefäß, der Strömungsgeschwindigkeit und der Richtung des Blutflusses abhängig ist. Auch die Geschwindigkeit der Schallwellen spielt dabei eine Rolle.

Berücksichtigt man all diese Faktoren, ergibt sich daraus folgender Zusammenhang:

$$\Delta f = 2fv \frac{\alpha}{c}$$

v = Strömungsgeschwindigkeit

α = Winkel zwischen Schallwellen und Gefäßachse

c = Schallgeschwindigkeit im Gewebe

Δf = Frequenz der Dopplerverschiebung in Hz

Die Genauigkeit der ermittelten Blutfließgeschwindigkeit hängt stark vom Winkel ab, mit dem die Schallwellen auf das zu messende Gefäß treffen. Bei einem Winkel von 90° kann zum Beispiel keine Strömungsgeschwindigkeit mehr registriert werden, da $\cos 90^\circ = 0$.

Bei einer nahezu parallelen Anschallung des Gefäßes ist der Messfehler am kleinsten, da in diesem Fall die Intensität des Dopplersignals am größten ist, die Streuung und der Intensitätsverlust am geringsten. Aus diesen Überlegungen folgt: um die

Strömungsgeschwindigkeit möglichst exakt zu messen, sollte der Anschallwinkel so klein wie möglich sein oder eine rechnerische Korrektur der Winkelabweichung erfolgen (MARSHALL 1993).

MARSHALL (1993) sieht einen Beschallungswinkel von 45° als optimal an. 60° sollte er nicht überschreiten, da die dann auftretenden Messfehler auch rechnerisch nur schwer auszugleichen sind. An den meisten Ultraschallgeräten gibt es heutzutage mittlerweile die Möglichkeit des Beam steering, auch Phasenverschiebung genannt. Mit dieser Hilfsmethode kann der Beschallungswinkel so geändert werden, dass immer ein Winkel unter 60° erreicht werden kann (SCHÄBERLE 1998). Aus der folgenden Abbildung 2 geht hervor, dass eine falsche Winkeleinstellung große Messfehler zur Folge hat. So entsteht bei einem Fehler der Winkeleinstellung von 5° im Zusammenhang mit einem Beschallungswinkel von 60° ein Messfehler von 20%.

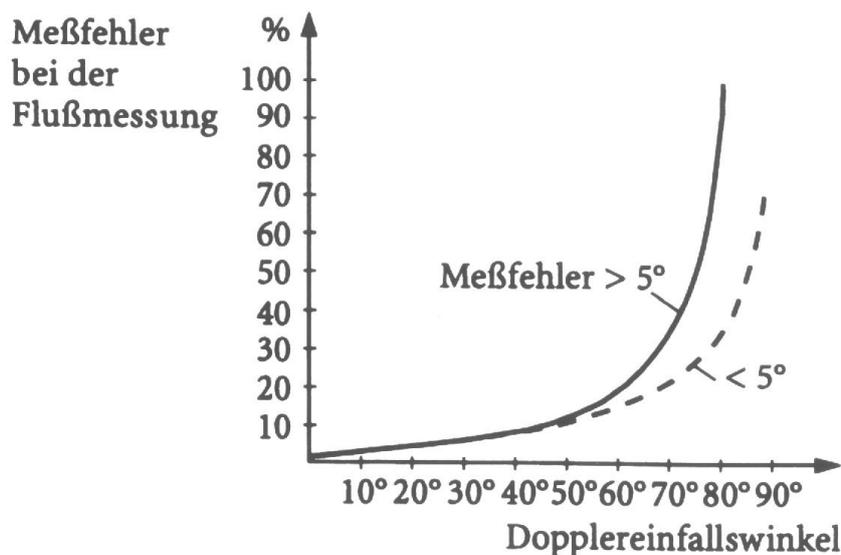


Abbildung 2: Zusammenhang von Dopplereinfallswinkel und Messfehler

Bei einem angenommenen Winkeleinstellfehler von $\pm 5\%$ zeigt die Abbildung den Messfehler bei der Flussmessung abhängig vom Beschallungswinkel. Der Fehler ist bei Überschätzung höher als bei Unterschätzung des Winkels (SCHÄBERLE 1998)

Die in der Angiographie angewendeten Dopplershifts lassen sich akustisch nachweisen. Die Frequenzen liegen im für den Menschen hörbaren Bereich von 20 bis

18000 Hz. Hohe Töne werden einem schnellen, meist arteriellen, tiefe Töne einem langsameren Blutfluss zugeordnet. Es werden dabei Geschwindigkeiten von 0,1 bis 8 m/s gemessen (MARSHALL1993).

2.6.2.1 Continuous wave-Dopplerverfahren

Das kontinuierliche Dopplerverfahren, auch CW-Dopplerverfahren oder continuous wave-Dopplerverfahren genannt, bezeichnet das Verfahren der klassischen Messung der Blutströmung und wird heutzutage allerdings fast nur noch in der Kardiologie eingesetzt, da mit diesem Verfahren besonders Stenosen sehr gut dargestellt werden können (POULSEN NAUTRUP 2007).

Der Name kommt daher, dass ein piezoelektrischer Kristall kontinuierlich ein Signal aussendet, während ein anderer kontinuierlich die reflektierten Signale aufnimmt. Auf diese Weise können nahezu alle Strömungsgeschwindigkeiten gemessen werden, auch sehr hohe, wie sie hinter Stenosen an Herzklappen vorkommen (ARNING 1996). Nachteil dieses Verfahren ist, dass es eine sehr genaue Anschallung der Gefäße erfordert, was die Untersuchung unruhiger Tiere erheblich erschwert. Zudem kann die Messung nicht auf einen bestimmten Bereich im Gefäß eingegrenzt werden, sondern es werden alle im untersuchten Strömungsbereich erfassten Gefäße gemessen. Eine zeitgleiche Darstellung der zweidimensionalen Sonographie ist technisch nicht zu erreichen (ARNING 1996, KIEFER und KIEFER 2003).

2.6.2.2 Pulsed wave-Dopplerverfahren

Dieses Verfahren zählt im Grunde genommen auch zu den kontinuierlichen Verfahren und ist ebenfalls nicht in Farbe darstellbar. Der große Unterschied zum continuous wave-Verfahren ist, dass es nur einen piezoelektrischen Kristall gibt, der gleichzeitig Sender und Empfänger der Schallwellen ist. Dabei sendet der Kristall ein Signal aus und wird kurz darauf auf den Empfängermodus umgeschaltet. Somit wird nur aus einem bestimmten Bereich ein Signal empfangen. Wenn das Signal empfangen wurde, wird erneut eines gesendet.

Die Menge der Signale, die maximal pro Sekunde gesendet werden können, ist proportional abhängig von der Schallgeschwindigkeit und umgekehrt proportional abhängig von der doppelten Eindringtiefe (POULSEN NAUTRUP 2007).

Das heißt, mit zunehmender Eindringtiefe erhöht sich die Laufzeit entsprechend. Sie wird als Puls Repetition Rate bezeichnet. Die Abkürzung PRF leitet sich hierbei aus dem Englischen ab (pulse repetition frequency).

$$PRF = c / 2R$$

PRF = Pulsrepetitionsrate

c = mittlere Schallwellengeschwindigkeit

R = Eindringtiefe

(POULSEN NAUTRUP 2007).

Die PRF sollte immer so gewählt werden, dass sie mindesten das Zweifache der Dopplerfrequenz beträgt, da sonst die Möglichkeit besteht, dass die Messungen ungenau werden (ARNING 1996), das besagt die „Nyquist-Theorie“ (HENNERICI und NEUERBURG-HEUSLER 1988). Ist dies nicht der Fall, sprich die PRF ist zu niedrig, tritt das sogenannte Aliasing-Phänomen auf. Dabei kommt es im Auge des Betrachters zu einer Umkehr der Strömungsrichtung, was auch als Stroboskop-Effekt bezeichnet wird. Durch den Einsatz der „High-Pulse-Repetition-Frequency“ (HPRF) kann die PRF vergrößert werden. Dabei werden neben dem ersten Echo, das empfangen wird, bereits vorher zwei weitere Echos gemessen. Die beiden vorherigen Echos liegen exakt auf der halben, beziehungsweise einem Drittel der Strecke der eigentlichen Distanz. Somit kann der Nyquist-Bereich zum Teil verdoppelt und verdreifacht werden. Es entstehen jedoch Einbußen in der Genauigkeit der Messung (ARNING 1996). Die zweite Methode zur Verschiebung der Nyquist-Frequenz nach oben besteht in der Versetzung der Nulllinie (ARNING 1996, BURCKHARDT 1993). Der Vorteil des pulse wave-Dopplerverfahrens liegt in dem exakt bestimmbar Bereich der Messung und in der Winkelkorrektur. Dadurch können auch Messungen in Blutgefäßen vorgenommen werden, die nicht parallel zu den ausgesandten Schallwellen verlaufen. Das definierbare Messfenster, auch als „sample volume“ oder „gate“ bezeichnet, muss dem Durchmesser des ausgewählten Gefäßes ent-

sprechend angepasst werden. Ist es zu klein, können nicht alle Blutflüsse erfasst werden, bei einem zu großen Messtor können eventuell benachbarte Gefäße mit erfasst werden und dadurch zu Ungenauigkeiten in der Messung führen (SCHÄBERLE 1998).

Nachteil des Verfahrens ist, dass meist mehrere Messungen an einem Gefäß notwendig sind, um einen aussagekräftigen Überblick zu bekommen, was oft eine lange Untersuchungsdauer erfordert, die wiederum von vielen Tieren nicht geduldet wird. Ebenso ist die Messung hoher Geschwindigkeiten nicht durchführbar.

Die entstehenden akustischen Signale liegen zwischen 0 KHz und 16 KHz und geben oft schon Aufschluss über eventuell vorliegende pathologische Veränderungen (POULSEN NAUTRUP 2007).

Zusammen mit dem Graubildverfahren ist die pulse wave-Dopplersonographie die Grundlage des Duplexverfahrens (SCHÄBERLE 1998).

2.6.2.3 Farbkodiertes Dopplerverfahren

Bei der farbkodierten Dopplersonographie, welche ebenfalls ein gepulstes Verfahren ist, wird ein ein- oder zweidimensionales Bild mit einem Farbdopplerverfahren kombiniert. Dabei wird in einem konventionellen Ultraschallbild ein ausgewählter, relativ großer Bereich mit einem Farbspektrum abgedeckt, wodurch man dann die örtliche Dopplerfrequenz, sprich die mittlere Blutflussgeschwindigkeit, messen kann (POULSEN NAUTRUP 2007, SCHÄBERLE 1998).

Im Gegensatz zum PW-Verfahren werden hier jedoch mehrere Messtore über den ausgewählten Bildbereich gelegt und das Graubild damit abgetastet. Der entsprechende Sektor empfängt dann die Farbsignale und wertet sie, allerdings nicht wie bei dem PW-Dopplerverfahren, durch Auftrennung in Einzelteile aus (SCHÄBERLE 1998). Da dies aber durch die Menge an Informationen oft sehr aufwändig ist und selbst für hochwertige Geräte eine Herausforderung darstellt, wird zur Analyse der Echos oftmals eine automatische Korrelationsmethode angewendet, was bedeutet, es werden Phasen und Echos von mehreren aufeinander folgenden Schallwellen gemessen und daraus die durchschnittliche Ge-

schwindigkeit und Richtung des Blutflusses bestimmt. Dies führt allerdings dazu, dass keine so exakten Messungen wie im PW-Verfahren möglich sind.

Eine rote Farbe im Ultraschallbild entspricht dabei einem laminaren Blutfluss auf den Schallkopf zu, blau hingegen deutet auf einen Blutfluss, der vom Schallkopf abgewandt ist, hin. Je heller die roten oder blauen Farbtöne sind, desto schneller ist der Blutfluss des Gefäßes. Grüne oder gelbe Farbcodes sind ein Hinweis für Turbulenzen im Gefäß.

Diese Methode in der Ultraschalldiagnostik am lebenden Tier spielt mittlerweile eine große Rolle, insbesondere für die Diagnostik an Gefäßen und parenchymatösen Organen. Es kann schnell und sicher eine Diagnose über die Hämodynamik erstellen, und selbst kleine Gefäße können problemlos erkannt und zugeordnet werden. Damit sind diese Untersuchungsmethoden auch bei unruhigen Tieren gut anwendbar.

2.6.3 Messbare Parameter und Beurteilung der Flusskurven

2.6.3.1 Qualitative Beurteilung der mit dem pulsed-wave Doppler erstellten Flusskurven

Die Niere zählt zu den parenchymatösen Organen, was bedeutet, dass in den intrarenalen Nierenarterien ein sehr geringer peripherer Widerstand vorliegt. Dies ist von großer Bedeutung, da nur so eine permanente Versorgung des entsprechenden Organs sicher gestellt ist. Man spricht deshalb von einem low resistance flow und bezeichnet die Nierenarterien als Niedrigwiderstandsgefäße.

Die aufgezeichneten Kurven weisen dabei ein klassisches Bild auf. Es besteht ein ununterbrochener Vorwärtsfluss der Kurven mit einem monophasischen Auftreten. Die Kurven steigen in der Systole steil an und werden während der Diastole langsamer und verlaufen wieder in Richtung Nulllinie (LANDWEHR 1993). Das Flussmuster ist sowohl von dem intravasalen Widerstand abhängig als auch von der Compliance (BUDE und RUBIN 1999), denn eine hohe Compliance kann eine Erniedrigung und zeitliche Verschiebung zur Folge haben. Unter Umständen kann der systolische Peak sogar im sogenannten „Compliance-Peak“ der darauffolgenden Systole verschwinden (HALPERN et al. 1995). GÖDDENHENRICH (1997),

JANTHUR und LÜERSSSEN (1998) und DEPKEN (1999) konnten bei Katzen, HANENBERG (1998) bei Katzenwelpen und RIVERS ET AL. (1997) bei Hunden dieses typische Bild des Gefäßflusses darstellen.

GORGAS (2004) gelang in ihrer Arbeit erstmals die Darstellung des ebenfalls typischen Flussprofils beim Frettchen. Sie konnte keine individuellen Unterschiede bei den einzelnen Tieren feststellen, lediglich das Absinken nach dem systolischen Peak war unterschiedlich. Der Peak zeigte sich bei allen untersuchten Tieren jedoch immer nur mit einem Gipfel und einem ununterbrochenen Abfall der Flusskurve. Ein Compliance-peak wie HALPERN et al. (1995) in ihren Untersuchungen gesehen haben, konnte beim Frettchen jedoch, selbst bei niedrigen Herzfrequenzen, nicht festgestellt werden (GORGAS 2004).

2.6.3.2 Quantitative Beurteilung der mit dem pulsed-wave Doppler erstellten Flusskurven

Bei der quantitativen Beurteilung muss man zum einen die Parameter, die vom Winkel abhängig sind, beachten, zum anderen die vom Winkel unabhängigen Parameter.

2.6.3.2.1 Winkelabhängige Parameter

Blutfließgeschwindigkeit

Um die Blutfließgeschwindigkeit korrekt zu messen, ist, wie bereits erwähnt, der An-schallwinkel von großer Bedeutung, da sich mit ihm der Doppler-Effekt und die Fre-quenzverschiebung verändern.

Das Blut sollte also eigentlich möglichst parallel zur Ausbreitung der Schallwellen fließen (POULSEN NAUTRUP 1998). Wenn dies nicht möglich ist, muss eine Win-kelkorrektur vorgenommen werden. Bei einem falsch eingestellten Winkel entstehen Messfehler, die positiv abhängig vom An-schallwinkel sind. Das bedeutet, je größer der An-schallwinkel desto größer die Messungenauigkeit. Der Untersucher sollte also im B-Bild ein Gefäß auswählen, welches im ausgewählten Messbereich möglichst gerade verläuft und keine Krümmung aufweist, und den An-schallwinkel zwischen

Ultraschallwellen und Gefäßachse so bestimmen, dass er möglichst unter 60° liegt (MÜCK-WEYMANN und WUPPERMANN 2000). Das Gerät berechnet dann mittels korrekt eingestellten Winkels aus den ermittelten Dopplerfrequenzen die Geschwindigkeit anhand der Dopplerformel (MÜCK-WEYMANN und WUPPERMANN 2000). Wie ebenfalls weiter oben schon ausgeführt, entstehen schon bei falscher Winkeleinstellung von 5° bei einem Messwinkel von 60° Abweichungen in der Messung von 20 %. Bei der weiteren Messung und Berechnung von zahlreichen anderen Parametern, wie zum Beispiel der systolischen Maximalgeschwindigkeit, der enddiastolischen Geschwindigkeit, der diastolischen Maximalgeschwindigkeit und der zeitlich gemittelten Geschwindigkeit sowie der mittleren amplitudengewichteten Geschwindigkeit, entstehen dann zusätzliche Ungenauigkeiten (KLEWS 1993, MÜCK-WEYMANN und WUPPERMANN 2000).

Es können, abhängig von der Frequenz und der Distanz des Schallkopfes von dem zu messenden Gefäß, Geschwindigkeiten bis zu 5 m/s mit dem PW-Doppler ermittelt werden. Probleme bereiten oft die kleineren Gefäße mit eher langsamen Blutfließgeschwindigkeiten, da bei diesen die Amplitude und der Dopplershift sehr klein ausfallen. Um dem entgegen zu kommen, kann die Verstärkung, auch als „gain“ bezeichnet, erhöht werden, was allerdings ein verstärktes Rauschen zur Folge hat.

Bezüglich der Platzierung des Messtores bestehen Uneinigigkeiten. So werden von einigen Autoren die Interlobargefäße zur Quantifizierung der gemessenen Parameter bevorzugt, da sie besonders leicht darzustellen sind und oft nur eine geringe Winkelkorrektur aufgrund ihres steilen Verlaufs in Sondenrichtung vorgenommen werden muss (HOLLENBECK 2000). Des Weiteren sprechen die gute Farbkodierung (HOLLENBECK 2000) und die Genauigkeit der gemessenen Parameter (KNAPP 1995) für diese Methode.

Andere Autoren wiederum sind der Meinung, dass die Platzierung des Messtores keine Rolle in Bezug auf die Messung der Fließgeschwindigkeiten spielt (TERRY et al. 1992).

Bei Menschen (KNAPP et al. 1995, LINGS und SPRATT 1997) und bei Katzen (DEPKEN 1999) konnte gezeigt werden, dass die ermittelten Geschwindigkeiten abfallen, je weiter das Gefäß in Richtung Nierenrinde verläuft. Es konnten bislang jedoch keine Differenzen in der Blutfließgeschwindigkeit zwischen der rechten und der

linken Niere nachgewiesen werden, weder bei Hunden (GÖTZ 1999) noch bei Katzen (GÖDDENHENRICH 1997, HANENBERG 1998, DEPKEN 1999). Auch GORGAS (2004) konnte keine signifikanten Unterschiede der Geschwindigkeiten in den Nierengefäßen zwischen rechter und linker Niere feststellen. Hier hingegen, wurden beim Frettchen jedoch geschlechtsspezifische Unterschiede nachgewiesen. So waren die Flussgeschwindigkeiten beim Rüden höher als bei der Fähe (GORGAS 2004). Dieser Befund ist unabhängig von der Körpermasse. Auch ein verändertes Nierenparenchym bei ungestörtem Allgemeinbefinden beeinflusste nicht die Geschwindigkeiten des Blutflusses in der Frettchenniere.

Sowohl bei der Katze (HANENBERG 1998), beim Hund (ROHRWEBER 1999) als auch beim Frettchen wurde eine Abhängigkeit der Werte vom Alter des Tieres festgestellt. So stiegen bei Hund und Katze die Blutfließgeschwindigkeiten bis zur achten Lebenswoche kontinuierlich an und stagnierten dann, beziehungsweise entsprachen dann denen adulter Tiere. Beim Frettchen konnte keine genaue Angabe über das exakte Alter der Tiere gemacht werden, lediglich eine positive Korrelation von Alter und Fließgeschwindigkeiten wurde festgestellt (GORGAS 2004).

Die Geschwindigkeitsmessung des Blutflusses kann sehr hilfreich sein, um Hinweise auf eine eventuelle pathologische Veränderung des Organs zu erhalten. So können unter anderem eine Gefäßverengung sowie eine Bestimmung des Blutvolumens erfolgen.

2.6.3.2.2 Winkelunabhängige Parameter

Zu den Parametern, die unabhängig vom Winkel sind, zählen unter anderen der Resistance Index (Resistive Index oder Pourcelot Index, RI), der Pulsatilitäts Index (Gosling Index, PI) und die Ratio (A/B Quotient, B/A Quotient, PS/ED). Mit diesen Parametern, kann die Pulsatilität der beschriebenen Kurve der Dopplerfrequenz rechnerisch ermittelt werden.

Resistance-Index

Wie schon oben erwähnt, gestaltet sich die Messung der Blutfließgeschwindigkeit bei kleinen Gefäßen relativ schwierig, beziehungsweise zieht nicht akzeptable Mess-

fehler nach sich. Um dennoch Messungen auch bei Gefäßen mit geringem Durchmesser vornehmen zu können, wird hierzu unter anderem der sogenannte „Resistance-Index“ (RI) verwendet, der den Widerstand im Gefäß misst.

Der Resistance-Index ist definiert als „Differenz zwischen maximal systolischer Geschwindigkeit und enddiastolischer Geschwindigkeit (POURCELOT 1974).

Der Resistance-Index ist winkelunabhängig und dimensionslos, da sich bei Erfassung der Einzelwerte die systematischen Fehler durch gleichzeitiges Auftreten sowohl im Zähler als auch im Nenner gegenseitig kürzen. Erstmals beschrieben wurde der Resistance-Index von Pourcelot (POURCELOT 1974):

$$RI = \frac{\text{maximale systolische Geschwindigkeit} - \text{enddiastolische Geschwindigkeit}}{\text{maximale systolische Geschwindigkeit}}$$

Der Resistance-Index kann einen Wert von 1 nicht überschreiten. Dieser maximale Wert entsteht nur, wenn die enddiastolische Flusskomponente gegen Null tendiert. Je höher also der gemessene Widerstand distal des Messtores ist, desto geringer ist die Geschwindigkeit in der enddiastolischen Phase. Dadurch erhöht sich der Resistance-Index (HUCK 2001, PLATT 1997). Nimmt die enddiastolische Blutfließgeschwindigkeit jedoch aufgrund geringer werdenden Gefäßwiderstands mehr zu, als die maximale systolische Geschwindigkeit, erniedrigt sich der RI. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet dies, je höher der periphere Widerstand umso höher der RI, je geringer der periphere Widerstand umso kleiner der RI (HUCK 2001).

Die Ermittlung des Resistance-Index eignet sich jedoch nur bei Gefäßen mit monophasischem Verlauf der Kurven, da nur die maximal systolische und die enddiastolische Geschwindigkeit zur Berechnung herangezogen werden. Die dazwischen liegenden Geschwindigkeiten werden, im Gegensatz zum Pulsatilitäts-Index (GOSLING und KING 1974), vernachlässigt. Gefäße mit einem low resistance flow sind unter anderem fetale Gefäße, Karotiden und Gefäße aller parenchymatösen Organe (HOLLENBECK 2000). In der Humanmedizin wird er derzeit als Früherkennungskriterium zur Transplantatabstoßung bei Nierentransplantationen genutzt, da er bereits 48 h vor Erhöhung der Nierenwerte ansteigt. Das ist aber kein spezifisches Kriterium für eine Abstoßung, da auch andere Faktoren einen Anstieg des

Resistance-Index bewirken können (HOLLENBECK 1999, RESTREPO-SCHAFER et al. 1999). Beim Menschen wurde keine geschlechtsabhängige Veränderung des Resistance-Index festgestellt, dafür jedoch eine positive Abhängigkeit mit steigendem Alter und der Messstelle im Gefäß (HOLLENBECK 1999). Andere Ursachen, die zu einer Erhöhung des Wertes führen können, sind alle Faktoren, die eine Kompression der Gefäße bewirken. Dazu zählen sowohl eine Erhöhung des intrarenalen Druckes, beispielsweise durch einen Rückstau ins Nierenbecken (FLUCKIGER et al. 1990, FRAUSCHER et al. 1999), oder eine Organschwellung beim akuten Nierenversagen durch ein interstitielles Ödem (FRAUSCHER et al. 1999). Zu den extrarenalen Ursachen, die eine Gefäßkompression verursachen können, zählen, unter anderem, Tumore, die auf die Niere drücken oder auch ein Hämatom (SCHWERK et al. 1993). Einen bedeutenden Einfluss auf den Resistance-Index hat dagegen die Herzfrequenz.

Es besteht hier eine negative Korrelation zwischen RI und Herzfrequenz. Je höher also die Schlagfrequenz des Herzens, umso niedriger ist der Resistance-Index. Bei einer Bradykardie hingegen ist der enddiastolische Blutfluss langsamer und führt deswegen zu einer Erhöhung des Pourcelot-Indizes (SCHWERK et al. 1993). Des Weiteren beeinflussen die Atmung, die Körperhaltung, die Funktion der Herzklappen und die Elastizität der Gefäße die Höhe des Resistance-Index (HUCK 2001). Auch pathologische Veränderungen in der Arteria renalis können Abweichungen des RI bedingen. So ist unter anderem durch Autoregulation bei einer Stenose genannter Arterie der Parenchymwiderstand im Organ herabgesetzt (KOPP und LUDWIG 1999). In der Humanmedizin wird das als Hinweis auf eine Stenose registriert, ersetzt jedoch nicht, aufgrund der Abhängigkeit des Resistance-Index von anderen Faktoren, die Untersuchung der Arteria renalis (SCHÄBERLE 1998).

Ferner werden in der Humanmedizin Messungen an mehreren Stellen (mindestens 6 verschiedenen Stellen) im Gefäß empfohlen, um falsche Rückschlüsse auszuschließen (KOPP und LUDWIG 1999, WUPPERMANN 2000). Optimal ist es auch, wenn die Patienten während der Messungen den Atem anhalten (KOPP und LUDWIG 1999).

Da dieses in der Tiermedizin jedoch nicht durchführbar ist, wird hier nicht weiter darauf eingegangen. Ebenso spielt die Organtransplantation in der Tiermedizin eine

noch zu vernachlässigende Rolle. Die dafür und dagegen sprechenden Argumente zur Verwendung des Resistance-Index bei Transplantatabstoßungen werden daher hier nicht weiter diskutiert.

Der Einfluss von Medikamenten, insbesondere Narkosemitteln, auf den Resistance-Index, ist hingegen auch in der Veterinärmedizin von Bedeutung. So wurden bei Katzen keine Veränderungen des Resistance-Index unter Einsatz von Ketamin und Valium festgestellt (POLLARD et al. 1999). Bei Hunden jedoch kamen RIVERS et al. (1997) zu dem Ergebnis, dass eine Narkose mit Ketamin und Valium eine Erniedrigung zur Folge hat.

Die erfassten Referenzwerte für den Resistance-Index bei Hunde liegen mit 0,63 beim Hund (0,62 (rechte Niere Hund) und 0,63 (linke Niere Hund)) etwas niedriger als beim Menschen (0,7 (FRAUSCHER et al. 1999)), bei der Katze mit 0,71 bei beiden Nieren der Katze (MORROW et al. 1996) etwa im gleichen Bereich wie beim Menschen.

RIVERS et al. (1996) ermittelten Werte von 0,59 (rechte Niere) und 0,56 (linke Niere) bei Katzen unter Ketamin-, Azepromazin- und Atropin-Narkose. Für nicht sedierte Hunde gibt er einen Wert von 0,62 (rechte Niere) und 0,63 (linke Niere) an. Bei sedierten Hunden wurden von NYLAND et al. (1993) deutlich niedrigere Werte von 0,45 (rechte Niere) und 0,44 (linke Niere) gemessen. MÜCK-WEYMANN UND WUPPERMANN (2000) hingegen raten zu einer Verlaufskontrolle anstatt Referenzwerte zu verwenden, da der Wert ihnen zu ungenau erscheint.

Dachshunde scheinen einen deutlich höheren Referenzbereich von $0,73 \pm 0,05$ des Resistance-Index zu besitzen (DECKINGER 2003).

GORGAS (2004) hat beim gesunden Frettchen Werte zwischen $0,54 \pm 0,07$ gemessen. Bei Frettchen mit gestörtem Allgemeinbefinden lagen die Werte mit $0,64 \pm 0,089$ deutlich höher. Parenchymveränderungen bei ungestörtem Allgemeinbefinden führten beim Frettchen nicht zu einer Erhöhung des Resistance-Index. Mit zunehmendem Alter stiegen die Werte jedoch an.

Ein Unterschied zwischen rechter und linker Niere wurde weder beim Frettchen (GORGAS 2004) noch bei Hund und Katze festgestellt (NYLAND et al. 1993, RIVERS et al. 1996, MITCHELL et al. 1998).

Pulsatilitäts-Index

Der Pulsatilitäts-Index ist ebenfalls ein winkelunabhängiger Parameter (KLWES 2002), der den peripheren Flusswiderstand bestimmt (GOSLING und KING 1974). Er ist definiert als Differenz zwischen der systolischen Maximalgeschwindigkeit und der enddiastolischen minimalen Fließgeschwindigkeit, dividiert durch die zeitlich gemittelte Fließgeschwindigkeit. Der Pulsatilitäts-Index nach GOSLING (1974) ist wie der Resistance-Index dimensionslos. Eine weitere Gemeinsamkeit mit dem Resistance-Index ist, dass mit steigendem (sinkendem) peripheren Widerstand der Pulsatilitäts-Index steigt (sinkt) (HUCK 2001).

$$PI = \frac{\text{maximale systolische Geschwindigkeit} - \text{enddiastolische Geschwindigkeit}}{\text{mittlere Geschwindigkeit eines Herzzyklus}}$$

Im Gegensatz zum Resistance-Index werden beim Pulsatilitäts-Index jedoch nicht nur die maximale systolische Geschwindigkeit und die minimale enddiastolische Geschwindigkeit zur Berechnung herangezogen, sondern auch die ermittelten Werte zwischen diesen beiden Punkten während einer Herzaktion. Dieser Umstand führt dazu, dass die Fließgeschwindigkeit und der Blutfluss im Gefäß genauer aufgezeigt werden können, was ihn wiederum auch tauglich für nicht monophasische Blutflüsse macht. Es können also auch triphasische Spektren damit gemessen werden (NELSON und PRETORIUS 1988).

Um ein triphasisches Strömungsprofil zu beurteilen, wird in der Gleichung die enddiastolische Geschwindigkeit durch die minimale diastolische Geschwindigkeit ersetzt, welche bei triphasischen Strömungsmustern immer negativ ist (HUCK 2001). Trotz der Tatsache, dass es ein winkelunabhängiger Parameter ist, geben KLWES und STIEGLER (2002) an, dass der Winkel nicht mehr als 60° betragen soll und damit die Vorgaben der Dopplergleichung gelten.

Die Anwendung des Pulsatilitäts-Index betrifft unter anderem die Stenosedagnostik, da distal einer Stenose sich, laut ARNING (2002), dieser reduziert. Auch Aussagen in der Messung des intrakraniellen Druckes sind damit möglich, da mit steigendem Druck der Index steigt (BECKER 2002). Des Weiteren werden in der Humanmedizin mit Hilfe des Pulsatilitäts-Index Aussagen über Leberparenchymveränderungen

(WESKOTT und KUBALE 2002) und über die Abgrenzung von metastatisch veränderten Lymphknoten gegenüber entzündlich veränderten Lymphknoten gemacht (DELORME 2002).

In gleicher Weise wie der RI zeigt der PI ebenfalls 48 h vor Erhöhung der Nierenwerte eine Transplantationsabstoßung an. Die Spezifizierung ist wie beim RI jedoch genauso gering (HOFER 1999). In der Humanmedizin gibt es noch weitere Anwendungsgebiete, die hier aber, aufgrund ihrer geringen Relevanz für die Tiermedizin, nicht näher diskutiert werden.

Obwohl der Pulsatilitäts-Index im Vergleich zum Resistance-Index genauer ist bezüglich der Messfehlerrate, wird er seltener angewendet, da die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit wesentlich aufwendiger ist als die Bestimmung der, für den Resistance Index, notwendigen Fließparameter (RESTREPO-SCHAFER et al. 1999). Zudem sind die RI und PI Werte sich oft sehr ähnlich (RESTREPO-SCHAFER et al. 1999). In der Veterinärmedizin findet der Einsatz des PI's noch weniger Anwendungen als in der Humanmedizin. Lediglich wenige Autoren bestimmten den PI an Tieren. So ermittelten unter anderen zum Beispiel MITCHELL et al. (1998) Referenzwerte von anästhesierten und wachen Katzen. GUMBSCHE et al. (2002) geben Referenzwerte für Hunde an. GELATT-NICHOLSON et al. (1999) geben ebenfalls Referenzwerte für Hunde an, jedoch für die intraokularen Gefäße. Auch Untersuchungen an der Arteria femoralis beim sedierten Pferd wurden durchgeführt (RAISIS et al. 2000).

GORGAS (2004) veröffentlichte erstmals Referenzwerte für die intrarenalen Gefäße beim Frettchen und zeigte in ihrer Arbeit gleichzeitig, dass Tiere mit gestörtem Allgemeinbefinden einen deutlich höheren PI aufwiesen als die gesunde Kontrollgruppe. Der mittlere Wert bei Frettchen mit ungestörtem Allgemeinbefinden lag bei $0,86 \pm 0,22$, der Wert der Frettchen mit gestörtem Allgemeinbefinden lag mit Werten von $1,16 \pm 0,37$ deutlich höher.

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

Die Ratio bezeichnet die systolische Maximalgeschwindigkeit dividiert durch die diastolische Endgeschwindigkeit bzw. umgekehrt. MÜSGEN (2000) definierte so das Verhältnis der beiden Geschwindigkeiten zueinander und benutzte sie bei niedrig

Widerstandsgefäßen als erstes Anzeichen für einen erhöhten Gefäßwiderstand hinter der Messstelle:

$$\text{Ratio} = \frac{\text{maximale systolische Geschwindigkeit}}{\text{enddiastolische Geschwindigkeit}}$$

oder

$$\text{Ratio} = \frac{\text{enddiastolische Geschwindigkeit}}{\text{maximale systolische Geschwindigkeit}}$$

2.6.3.3 Physiologische Veränderung der Parameter

Die oben aufgezählten Parameter unterliegen verschiedenen Einflüssen. Dazu zählen unter anderem die physiologischen Parameter, die bei jeder Messung bei jedem Patienten auftreten. MÜSGEN (2000) definiert unter anderem:

- die Viskosität des Blutes
- den Durchmesser des Gefäßes
- die Elastizität des Gefäßes
- die Geschwindigkeit des Blutflusses
- die Herzfrequenz
- das Alter des jeweiligen Patienten

Entsprechende Untersuchungen über den genauen Einfluss dieser Faktoren gibt es beim Heimtier bisher noch nicht. Bisher sind nur Studien am Menschen, sowie Hunden und Katzen vorhanden.

Welchen Einfluss die Blutfließgeschwindigkeit auf den Widerstandsindex hat, wurde von MITCHELL et al. (1998) an Katzen untersucht. Dabei wurden bei den untersuchten Tieren einmal im wachen und einmal im narkotisierten Zustand mit Isofluran die Resistance-Indizes gemessen. Der Resistance Index lag bei wachen Katzen im Durchschnitt bei 0,55, bei den Katzen, die unter Isoflurannarkose standen, deutlich höher bei 0.93. Die Doppleruntersuchungen belegten, dass der Widerstand im Gefäß unter der Anästhesie steigt, die Geschwindigkeit des Blutstromes im Gefäß hingegen jedoch abnimmt. Beide Faktoren, sowie der Blutdruck, beeinflussen den RI. MITCHELL et al. (1998) stellte somit Untersuchungen zum Resistance-Index am se-

dierten Tier bezüglich der Übereinstimmung der Messungen am wachen Tier in Frage. Studien an Menschen (MOSTBECK et al. 1990 und SCHWERCK 1993) sowie an Katzen (DEPKEN 1992) zeigten eine deutliche Abhängigkeit des Resistance-Index von der Herzfrequenz, denn mit steigender Schlagfrequenz des Herzens sank der RI.

Der Gefäßdurchmesser hängt hauptsächlich von der Messstelle ab, denn je weiter entfernt vom ankommenden Hauptgefäß gemessen wird, umso geringer ist der Durchmesser der Gefäße. Je kleiner jedoch der Durchmesser des Gefäßes ist, umso langsamer ist der Blutfluss. Die Meinungen zu dem Einfluss des Gefäßdurchmessers und dem Messort gehen sowohl in humanmedizinischen Studien als auch in veterinärmedizinischen Studien auseinander.

KNAPP et al. (1995) und LINGS und SPRATT (1997) zeigten in Studien an Menschen, dass die Fließgeschwindigkeit mit zunehmend kleiner werdendem Durchmesser der Gefäße, von den Segmentalarterien bis zu den Interlobulararterien hin, abnehmen, DEPKEN folgte 1999 dem Ergebnis und zeigte vergleichbare Ergebnisse über Studien an Katzen zu dem selben Thema. Somit stellten die Autoren fest, dass eine aussagekräftige Messung immer am selben Ort im Gefäß durchgeführt werden sollte, optimal in den Aa. Interlobares. KNAPP et al. (1995) und TERRY et al. (1992) hingegen sind anderer Auffassung und behaupten, dass der Messort die Werte der Messung nicht beeinflusst. Auch MITCHELL et al. (1998) nahmen sowohl Messungen an den Aa. renales und den intrarenalen Gefäßen bei Katzen vor und konnten bei dem Vergleich der beiden Werte keine signifikanten Unterschiede feststellen. Die Elastizität der Gefäße hängt vom Alter der Patienten ab, da mit zunehmendem Alter die Gefäßcompliance steigt. TERRY et al. (1992) zeigten in ihren Untersuchungen, dass beim Menschen der Resistance-Index ab ungefähr dem 60. Lebensjahr ansteigt. GORGAS (2004) wies in ihren Untersuchungen an der Frettcheniere ebenfalls nach, dass bei älteren Tieren der RI höher lag als bei jüngeren Tieren.

Alle physiologisch vorkommenden Faktoren müssen bei der Auswertung der Messergebnisse mit einberechnet und die Ergebnisse entsprechend beurteilt werden.

2.6.3.4 Pathologische Veränderungen der Parameter

Weitere Faktoren, die die oben aufgezählten Parameter beeinflussen, jedoch nicht in physiologischer Weise bei jedem gesunden Tier eine Rolle spielen, sind solche, die nur bei einem pathologisch veränderten Zustand auftreten, sprich bei jeglicher Art von Nierenerkrankung. Jedoch darf daraus nicht geschlossen werden, dass jede krankhaft veränderte Niere Faktoren aufweist, die den Resistance Index und die anderen Parameter beeinflussen könnten.

Zu den die Parameter beeinflussenden Faktoren zählen Vasokonstriktionen, unabhängig davon ob durch äußere Kompression, zum Beispiel durch Parenchymveränderungen, oder durch gefäßbedingte Konstriktionen verursacht. Auch Druck von außerhalb auf die Niere, bedingt durch Umfangsvermehrungen jeglicher Art, können zur Beeinflussung der Parameter führen, denn dadurch kommt es zu einer Veränderung des peripheren Gefäßwiderstandes, was wiederum eine Verringerung des Blutstromes in der Diastole zur Folge hat. Daraufhin steigt der RI (LANDWEHR 1993, PETERSEN et al. 1995, PLATT 1997).

Untersuchungen an Hunden und Katzen zeigten, dass eher akute tubulointerstitielle Erkrankungen sowohl bei Hunden als auch bei Katzen zu einem Anstieg des RI führten (MORROW et al. 1996). Ein normaler bis geringer RI trat bei gesunden Tieren sowie Patienten mit glomerulären Problemen auf. Bei vaskulären Veränderungen wurden sowohl erhöhte als auch erniedrigte Werte beobachtet. Bei obstruktiven Erkrankungen, zum Beispiel Verlegungen der harnableitenden Wege durch Urolithien, bei Katzen konnten keine Aussagen gemacht werden (RIVERS et al. 1997). Bei Hunden hingegen lag die Sensitivität des RI zur Erkennung einer Uretherobstruktion bei 73 %, die Spezifität betrug 77 %. Es wurde ein Wert von 0,7 als physiologisch angesehen. Damit ist bei 27 % der Fälle jedoch ein falschnegatives Ergebnis möglich, was auch beim Hund die Aussagekraft des RI über Obstruktionen einschränkt (NYLAND et al. 1993). Eine Messung über den Verlauf des Resistance-Index kann jedoch Auskunft über eine Obstruktion geben, da innerhalb von 5 Tagen ein deutlicher Anstieg erfolgt (CHOI et al. 2003). Für die Erkennung von tubulären Erkrankungen der Niere mit Hilfe des Resistance-Index besteht eine Sensitivität von 38 % und eine Spezifität von 96 % (MORROW et al. 1996). Nach RIVERS et al. (1997)

hat der endgültige Wert des Resistance-Index bei einer Nierenerkrankung keine Aussagekraft über die Schwere der Veränderungen. Auch hier deutet lediglich der Anstieg der Werte an, dass eine Nierenerkrankung vorliegt. Nach erfolgreicher Behandlung konnten RIVERS et al. (1997) bei einigen Tieren den Rückgang der Werte auf die Norm feststellen.

Untersuchungen an Perserkatzen mit PKD zeigten, dass nur bei Tieren mit klinischen Symptomen eine Erhöhung des Resistance-Index und des Pulsatilitäts-Index vorlag, bei Tieren mit PKD, aber ohne klinische Symptome, wurden keine Veränderungen der Werte nachgewiesen (MÖLLER 2001). Bei Alpakas mit Nierenzysten lagen die Werte der erkrankten Tiere jedoch unter dem Referenzwert (BUBLAK 2002). In der Humanmedizin wird der RI, wie erwähnt, zur Früherkennung von Transplantatabstoßungen verwendet, sowie zur Untersuchungen bei Langzeitstudien zur Verträglichkeit von Transplantaten (RADEMACHER et al. 2003). Auch bei Katzen wurden dazu schon Studien mit ähnlichen Ergebnissen wie beim Menschen durchgeführt (POLLARD et al. 1999).

Die Genauigkeit des Resistance-Index im Hinblick auf pathologische Veränderungen des Parenchyms und anderer Nierenerkrankungen ist jedoch noch zweifelhaft. Anfänglich ging man davon aus, dass pathologische Veränderungen immer eine Veränderung des Resistance-Index nach sich ziehen (ORCUTT et al. 1990), was jedoch in darauffolgenden Studien nicht reproduzierbar war (MC DERMOTT 2000, MOSTBECK 2001). Andere Autoren hingegen beurteilen die Bestimmung des Resistance-Index und die vorausgehenden dopplersonographischen Untersuchungen als bedeutenden Teil des Untersuchungsganges in der Diagnostik der Nierenveränderungen, allerdings nur unter Berücksichtigung aller oben genannter physiologischer und pathologischer Faktoren, die den Resistance-Index eventuell beeinflussen könnten (TUBLIN et al. 2003).

GORGAS (2004) hat in ihrer Studie einen Zusammenhang zwischen gestörtem Allgemeinbefinden der Frettchen und Veränderungen des Resistance-Index feststellen können, macht aber in ihrer Arbeit deutlich, dass die diagnostische Aussagekraft von den bei der dopplersonographischen Untersuchung erstellten Fließparametern gering ist, weil eine Erhöhung oder Erniedrigung dieser keine sehr hohe Spezifität im Hin-

blick auf pathologische Veränderungen an der Niere hat, zudem auch noch andere Faktoren den RI beeinflussen können.

2.6.4 Schallposition

Die Untersuchung der Nieren und des restlichen Harntraktes erfolgt, wie bei Fleischfressern und anderen Heimtieren, vom ventralen Abdomen aus (FRITSCH und GERWING 1993, MATTOON et al. 2002, POULSEN NAUTRUP 2001, STÜTZEL 1994). Da bisher nur wenige Arbeiten über die Sonographie beim Meerschweinchen veröffentlicht wurden, gibt es hierzu auch nur wenige genaue Angaben.

BITZINGER (2008) untersuchte die linke Niere paramedian, der Schallkopf wurde dazu kaudal des Rippenbogens aufgesetzt. Die Auffindung der rechten Niere wurde auf die gleiche Weise durchgeführt, da sie jedoch mit dem kranialen Pol in der Leber liegt, ist es zum Teil nötig, den Schallkopf bis auf den rippengestützten Bereich der Bauchwand vorzuschieben (NIEBERGALL 2003, BITZINGER 2008). Eine Darstellung der Niere im Sagittalschnitt wäre von dorsal sehr leicht möglich, jedoch muss das Tier dazu sehr weit ausgeschoren werden, was die meisten Besitzer nicht tolerieren.

Auch SCHOLZ (1992) beschreibt das Auffinden der Niere ähnlich. Begonnen wird in der Regio umbilicalis beidseits paramedian, und dann wird der senkrecht aufgesetzte Schallkopf nach links und rechts geschwenkt.

2.6.5 Schnittebenen

Es werden in der Regel, außer eventuell bezüglich einer speziellen Fragestellung, drei Standardschnittebenen verwendet, die sich bereits auch bei anderen Tierarten bewährt haben. Um die Niere richtig einsehen zu können, sollten bei jeder Untersuchung auch alle drei Schnitte dargestellt und gut durchgemustert werden (JANTHUR und LUERSSEN 1998).

Dazu zählen der Sagittal- und der Dorsalschnitt, welche die Niere in der Längsachse zeigen, sowie der Transversalschnitt, der den Querschnitt der Niere darstellt (SCHOLZ 1992). Die Nierenrinde mit mittlerer Echogenität, das Nierenmark, echo-

ärmer als die Nierenrinde, und der sehr echogene Sinus renalis lassen sich im Saggittalschnitt gut voneinander unterscheiden. Man kann in dieser Schnittebene ebenfalls gut die Pseudopapillen erkennen. Der Dorsalschnitt kennzeichnet sich durch den sehr breiten Hilus renalis aus, das Nierenmark erscheint dreiteilig (REESE 2009). In dieser Schnittebene gelang GORGAS beim Frettchen die Messung der Widerstandindex, da sich hier der Gefäßbaum besonders gut darstellen lässt.

Im letzten Schnitt, dem Transversalschnitt, sieht die Nierenpapille relativ spitz aus und wird von der echoreicheren Nierenrinde umgeben.

2.6.6 Sonographische Lage und Sonoanatomie

Die sonographische Untersuchung bei Hund und Katze wird standardmäßig bei beiden Tierarten in Rückenlage, in Einzelfällen auch von der Flankengegend aus in Seitenlage oder am stehenden Tier, durchgeführt.

Für die Untersuchung wird von allen Autoren bei Katzen und kleinen bis mittelgroßen Hunden ein 7,5 MHz-Sektorschallkopf benutzt, bei großen Rassen oder sehr adipösen Tieren und Hunden mit tiefem Brustkorb, wird ein 5 MHz-Sektorschallkopf eingesetzt.

Die linke Niere des Hundes wird für gewöhnlich zuerst aufgesucht, da sie - im Gegensatz zur rechten Niere - nicht so weit unter dem Rippenbogen liegt und somit leichter aufzufinden ist. Die Darstellung erfolgt am besten links paramedian, ein Stück kaudal vom Rippenbogen aus. Unter Umständen kann die Milz als Schallfenster genutzt werden. Die rechte Niere liegt, wie bereits erwähnt, unter dem Rippenbogen, wodurch es oft nötig ist, sie zwischen dem elften oder zwölften Interkostalraum mit dem Schallkopf zu erfassen. Der kraniale Pol wird dabei des Öfteren vom Magen-Darm-Trakt verdeckt.

Bei der Katze, dagegen, liegen zwar beide Nieren außerhalb des Rippenbogens, sind allerdings so verschiebbar, dass sie oft durch zu großen Druck des Schallkopfes diesem ausweichen und im sonographischen Bild nicht mehr sichtbar sind. Um dem vorzubeugen, kann der erfahrene Untersucher die Nieren mit der Hand leicht fixieren. Im Gegensatz zum Hund, bei dem die Nierenform zwischen längsoval und bohnenförmig schwankt, sind sie bei Katzen meistens etwas rundlicher. Sowohl bei Hunden

als auch bei Katzen erscheinen die Nieren im Transversalschnitt in Hilushöhe oval, auf Höhe der Pole etwas kreisförmiger. Man kann gut Nierenrinde und Nierenmark unterscheiden. Die Rinde der Niere stellt sich physiologischerweise als feinkörnig und homogen dar, zu dem ist sie echoärmer als das Parenchym von Leber und Milz. Das Mark der Niere ist fast echofrei, und es lassen sich Pseudopapillen beziehungsweise Rindensäulen darstellen (LAMB 1990, ACKERMANN 1991, BARR 1992, STÜTZEL 1994, KEALY und McALLISTER 2000, JANTHUR und LÜERSSEN 2001). Das Nierenbecken liegt im sehr echoreichen Sinus renalis und ist im physiologischen Zustand nicht darstellbar, nur in sehr seltenen Ausnahmen lässt sich eine echofreie Linie erkennen (BARR 1992, LAMB 1990, JANTHUR und LÜERSSEN 2001). ACKERMANN (1991) hingegen behauptet, dass das Nierenbecken auch in physiologischem Zustand zusammen mit dem Ursprung des Harnleiters Y-förmig darstellbar ist.

Bei den kleinen Heimtieren gilt die Sonographie des Harntraktes noch nicht als Standarduntersuchung, und es gibt nur wenig Literatur über eine ultraschallgestützte Untersuchung des Harntraktes sowie über die Sonoanatomie. Das Auffinden der Nieren ist beim Meerschweinchen problemlos möglich. Die Darstellung der Standardschnittebenen, insbesondere der Sagittalschnitt, bereitet jedoch oft Probleme, da der Magen die linke Niere von kranial, das Colon transversum und das Zäkum die Niere von kaudal überlagert. Die rechte Niere wird oft von dem Colon ascendens überlagert (FUCHS et al. 2011).

ENGELKE (1997) führte die Ultraschalluntersuchungen bei Meerschweinchen und Kaninchen sehr ausführlich durch und beschreibt sie sehr detailliert. Er verwendete für seine Untersuchungen am wachen Tier einen 7,5 MHz-Sektor- und 7,5 MHz-Linierschallkopf. Die Tiere wurden bei Untersuchung des Harn- und Geschlechttraktes alle in aufrechter Haltung oder „auf dem Schallkopf sitzend“ geschallt. Für die explizite Untersuchung der Nieren wurde die Flankengegend verwendet. Er unterscheidet einen echogeneren Rindenbereich von einem echoärmeren Markbereich beim Kaninchen, beim Meerschweinchen hingegen ist die Nierenrinde in seinen Untersuchungen häufig weniger echogen im Vergleich zum Kaninchen.

NIEBERGALL (2003) hat sowohl von Meerschweinchen als auch von Kaninchen den Harn- und Geschlechtstrakt sonographisch untersucht und kam zu folgenden Ergebnissen. Die Tiere wurden von ihr ohne Sedation in Rückenlage geschallt und von einer Hilfsperson fixiert. Die Nieren konnten am besten von der Seite aus dargestellt werden. Sowohl bei Meerschweinchen als auch bei Kaninchen stellte sich die Rinde homogen und echoreich dar, das Nierenmark dagegen, wie auch schon von den anderen Autoren beschrieben, echoärmer bis fast anechogen. Die Nierenrinde war bei den Kaninchen allerdings besser vom Mark abgegrenzt als bei den Meerschweinchen. Bei Meerschweinchen wirkte die Rinde etwas breiter als bei den Kaninchen (wird von NIEBERGALL (2003) mit circa 2-3 mm angegeben). Bei beiden Tierarten ließen sich echogenere Rindensäulen darstellen, die in das Mark hineinreichten. NIEBERGALL (2003) beschreibt den Sinus renalis als echoreich, das Nierenbecken war auch in ihren Untersuchungen an gesunden Tieren nicht darstellbar. Bei beiden Tierarten konnten mittels Farbdoppler die Blutgefäße der Nieren dargestellt werden.

Bei der Ausmessung der Nieren ergaben sich für Meerschweinchen die bereits weiter oben im Text aufgeführten Werte (siehe Tabelle 2 und 3).

BITZINGER (2008) untersuchte die Nieren ebenfalls eher seitlich von der Flanke aus, lediglich für den Sagittalschnitt beschreibt sie die Untersuchung von ventral aus. Die Tiere wurden, wie bei den anderen Autoren auch, in Rückenlage ohne Sedation untersucht und von einer Hilfsperson fixiert. Die Darstellung aller drei Standardschnittebenen beschreibt BITZINGER (2008) als schwierig aufgrund der Überlagerung und teilweisen völligen Verdeckung durch den Magen-Darm-Trakt. Die Nieren werden im Sagittalschnitt als längsoval beschrieben, in den beiden anderen Schnittebenen als eher rundlich. Die Oberfläche stellt sich immer glatt dar. Die Nierenkapsel wird erstmals als echoreiche Linie beschrieben, welche am Hilus unterbrochen ist. Die Darstellung ist jedoch nur beim orthograden Auftreffen der Schallwellen auf die Niere möglich (FUCHS et al. 2011). BITZINGER (2008) unterscheidet zudem im Nierenparenchym drei unterschiedliche Bereiche: die außen liegende Rindenschicht, welche sich feinkörnig und homogen sowie von mittlerer Echogenität

darstellt; das Leber und Milzparenchym wird, wie bereits von Hund und Katze bekannt, als echoärmer im Vergleich zur Nierenrinde beschrieben; der Markbereich wird, übereinstimmend mit den anderen Autoren, als echoärmer beziehungsweise fast anechogen bezeichnet. Die Abgrenzung von Nierenmark zur Nierenrinde war bei einigen Tieren undeutlich. Als dritten, echogenen linienförmigen Bereich im Nierenparenchym grenzt BITZINGER (2008) die Ausbuchtungen des Nierenbeckens ab, die sich allerdings nur im Sagittalschnitt mit Hilfe des umliegenden Fettgewebes darstellen lassen. Der Sinus renalis ist, wie bereits beschrieben, sowohl im Dorsal- als auch im Transversalschnitt, echoreich. Im Gegensatz zu ACKERMANN (1991), der ihn bei Hund und Katze als Y-förmig beschreibt, scheint er bei Meerschweinchen eher V-förmig, jedoch auch echoreich zu sein.

3 Material und Methode

In diesem Abschnitt der Doktorarbeit wird auf die Vorbereitung zur Untersuchung der Tiere, auf die genaue Vorgehensweise während der Untersuchung, sowie auf die zur Verfügung gestellten Tiere und technischen Geräte und sonstiges Zubehör eingegangen.

3.1 Material

3.1.1 Technische Ausrüstung

3.1.1.1 Ultraschallgerät

Für die sonographischen und dopplersonographischen Untersuchungen der Meerschweinchen wurden die hochmodernen Ultraschallgeräte MyLab 70 XVision Gold und MyLab 40 XVision der Firma Esaote, sowie das tragbare Ultraschallgerät MyLab 1 verwendet.

An allen drei Geräten erfolgten sowohl die Dokumentation der sonographischen Untersuchung als auch die Messungen digital. Die gespeicherten Daten, Bilder und Messungen wurden mittels integrierten USB-Anschluss im Gerät über einen USB-Stick auf einen Laptop der Firma Sony Modell Vaio S übertragen.

Zum Betrachten, Nachvermessen und Auswerten der gespeicherten Bilder und Messungen auf dem Laptop, stand ein spezielles Computerprogramm der Firma Esaote zur Verfügung (MyLab Desk – Esaote Viewer), das auf dem Laptop installiert wurde. Dasselbe Programm ist auch auf allen drei Ultraschallgeräten installiert, so dass die dort ausgeführten Messungen identisch mit den Messungen am Laptop sind.

3.1.1.2 Schallkopf

Bei den Untersuchungen mit den Geräten MyLab 40 XVision und MyLab 70 XVision Gold wurde ein Linearschallkopf des Typs LA523 verwendet, der über eine Sende-

frequenz von 7 - 14 MHz verfügt. Für die Untersuchungen wurde eine Frequenz von 12 MHz eingestellt.

Das tragbare Ultraschallgerät MyLab 1 wurde in Kombination mit einem Linear-schallkopf vom Typ SL 3116 Linear benutzt, der eine variable Sendefrequenz von 14 - 22 MHz besitzt. Dieser Schallkopf wurde insbesondere für sehr kleine und/oder sehr junge Tiere verwendet. Die benutzte Frequenz lag hier bei 20 MHz.

3.1.1.3 Rasierer und Ultraschallgel

Für die Rasur wurde ein Akkuschergerät benutzt. In diesem Falle handelte es sich um einen Akkuscherer namens Contura von Wella (Contura von Wella, Darmstadt), der sehr klein und leise ist, was eine genaue Schur ermöglicht und den Vorteil hat, dass die Tiere durch das leise Geräusch nicht so sehr beunruhigt werden.

Das Ultraschallgel war ein herkömmliches Gel auf Wasserbasis, wie es üblicherweise im Handel erhältlich ist.

3.1.2 Tiere

Die Meerschweinchen, die im Rahmen der Doktorarbeit untersucht wurden, stammten alle ausschließlich aus privater Haltung und wurden in der Klinik zum allgemeinen Gesundheitscheck vorgestellt. In Anschluss an diese Untersuchung wurde die Sonographie der Nieren durchgeführt.

Vor der Ultraschalluntersuchung wurde von jedem Tier eine ausführliche Anamnese erstellt, das genaue Gewicht ermittelt und eine gründliche Allgemeinuntersuchung durchgeführt. Bei keinem der Tiere wurden Anzeichen auf eine die Untersuchung beeinträchtigende Krankheit festgestellt. Insgesamt wurden 25 klinisch gesunde Meerschweinchen untersucht. Davon waren 17 Tiere weiblich und 8 Tiere männlich. Von den männlichen Tieren waren alle, bis auf zwei Ausnahmen, kastriert. Von den weiblichen Tieren hatten zwei schon Nachwuchs zur Welt gebracht.

Das Durchschnittsalter der Tiere lag bei 2,4 Jahren, das jüngste Tier war 10 Wochen alt, das älteste Meerschweinchen war 8 ½ Jahre alt.

Das durchschnittliche Körpergewicht der untersuchten Meerschweinchen betrug 719 Gramm. Bei den weiblichen Tieren lag das Durchschnittsgewicht bei 801 Gramm, bei den Böcken bei 655 Gramm. Das Tier mit dem geringsten Gewicht war auch das jüngste und wog 210 Gramm, das schwerste Tier brachte 1390 Gramm auf die Waage.

Es waren sechs verschiedene Meerschweinchenrassen vertreten, darunter auch seltenere wie zum Beispiel Satin-, Sheltie- und Texelmeerschweinchen. Am häufigsten waren Rosetten- und Glatthaarmeerschweinchen bei den untersuchten Tieren vertreten.

Die ungefähre Gewichts- und Altersverteilung beider Geschlechter ist dem nachfolgenden Diagramm 1 zu entnehmen.

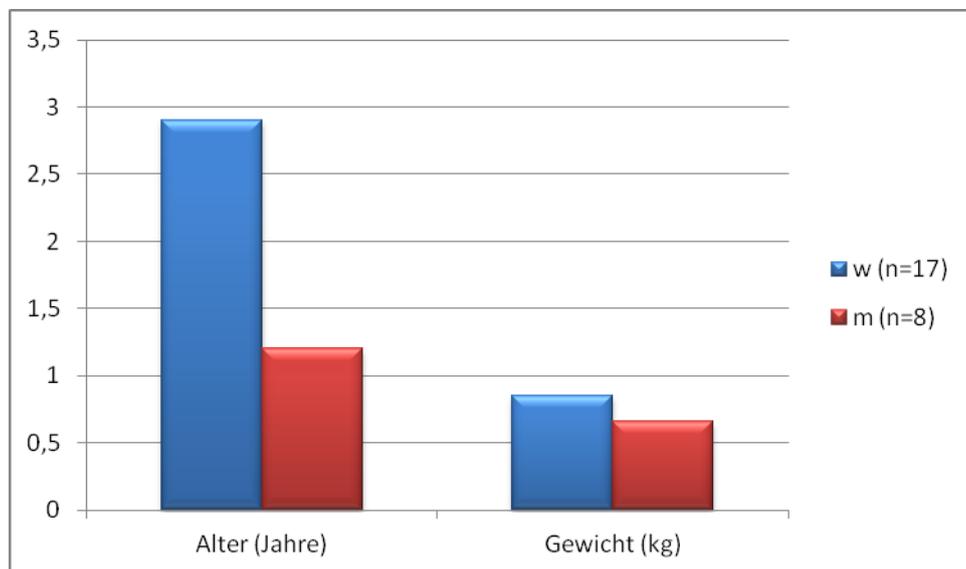


Diagramm 1: Alters- und Gewichtsverteilung aller männlichen und weiblichen Meerschweinchen (n = 25)

Alle Tiere wurden in Gruppen von mindestens zwei Meerschweinchen gehalten. Jedem Tier standen Wasser und Heu ad libitum zur Verfügung, und die Fütterung erfolgte artgerecht ohne zusätzliches Kraftfutter.

Um den Stress für die Tiere möglichst gering zu halten, wurde die Untersuchungsdauer auf 20 Minuten pro Meerschweinchen begrenzt.

Alle Tiere waren das tägliche Handling gewohnt, was die Ultraschalluntersuchung erheblich erleichterte.

3.2 Methoden

In diesem Abschnitt wird auf die Durchführung der Untersuchungen und der Messungen eingegangen, sowie auf die entsprechend notwendigen Vorbereitungen für die Untersuchungen.

3.2.1 Vorbereitung der Tiere

Die Ultraschalluntersuchung erfolgte bei den Meerschweinchen nicht mit vorherigem Futterentzug über bis zu 24 Stunden (MATTOON et al. 2002, POULSEN NAUTRUP 1998) wie bei Hund und Katze empfohlen. Im Gegenteil, gerade bei den herbivoren Heimtieren ist aufgrund ihres besonders empfindlichen Magen-Darm-Traktes das Nüchtern halten kontraindiziert, und die Tiere sollten, wenn möglich, bis kurz vor der Untersuchung noch Futter zur freien Aufnahme zur Verfügung haben. Ein Nachteil ist allerdings, dass aufgrund der ständigen Futteraufnahme im Magen-Darm-Trakt immer mit Gas- und Ingestaansammlungen gerechnet werden muss, was eine Untersuchung oft erschweren kann.

Um eine möglichst optimale Ankopplung und Bildqualität zu gewährleisten, ist eine Rasur der Tiere im zu untersuchenden Bereich notwendig. Die Rasur sollte so gründlich wie möglich erfolgen, dabei sollte jedoch auch nach dem Prinzip „so viel wie nö-

tig und so wenig wie möglich“ verfahren werden, da die Tiere durch eine zu großzügige Schur auch leicht auskühlen können.

Sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Tieren muss bei der Rasur auf die beiden Mammilen am kaudalen Abdomen geachtet werden, da diese sehr schnell verletzt werden können und es zu heftigen und unnötigen Blutungen kommen kann.

Die Rasur erfolgte in diesem Falle über das gesamte Abdomen vom Becken bis zu dem Rippenbogen, um die Blase, die Urethra, und die Nieren darstellen zu können, sowie ca. zwei bis drei Fingerbreit nach lateral in den Flanken, um eine gute Darstellung der Nieren im Dorsalschnitt zu erreichen. Wie schon erwähnt, sollte die Rasur gründlich erfolgen, da selbst einzelne Haare schon zu einer starken Schallauslöschung führen können, und so die Bildqualität erheblich herabgesetzt wird. Generell kann man davon ausgehen, dass das Fell der Meerschweinchen nach ungefähr drei Wochen wieder vollständig nachgewachsen ist. Jedoch sollte man die Besitzer darauf hinweisen, dass es bei weiblichen Tieren mit hormonbildenden Ovarialzysten erheblich länger dauert, beziehungsweise erst nachwächst, wenn eine Therapie der Zysten erfolgt.

Genauso wichtig wie eine gründliche Rasur ist die Verwendung von Ultraschall- oder Kontaktgel. Das Gel wurde fünf Minuten vor der Untersuchung aufgetragen, damit es einwirken konnte. Direkt vor der Untersuchung wurde nochmals Ultraschallgel sowohl auf die Tiere als auch auf den Schallkopf selber appliziert. Falls es notwendig war, wurde diese Prozedur während der Untersuchung wiederholt.

Auf die Verwendung von Alkohol wurde aufgrund der Auskühlungsgefahr bei den kleinen Heimtieren verzichtet. Außerdem ist belegt, dass Alkohol die Ankopplung zwar kurzfristig verbessert, das Ultraschallgel aber schlechter an der Haut haftet. Zusätzlich werden Hautirritationen durch die Verwendung von Alkohol begünstigt (FUCHS et al. 2011).

Nach der Untersuchung sollten die Reste des Kontaktgels gründlich mit Hilfe von Papiertüchern oder Zellstoff entfernt und das umgebende Fell gesäubert werden, um eine Aufnahme des Gels durch die Tiere beim Putzen zu verhindern.

Eine Sedation war bei keinem der Tiere notwendig.

3.2.2 Lagerung und Handling

Im Allgemeinen sind Meerschweinchen sehr angenehme Patienten, wenn man ruhig mit ihnen umgeht. Da die Tiere immer in handelsüblichen Transportboxen zur Untersuchung gebracht wurden, war das Einfangen und Herausnehmen der Tiere schnell, unkompliziert und mit wenig bis keinem Stress für die Tiere verbunden.

Für die Ultraschalluntersuchung gibt es verschiedene Lagerungsmöglichkeiten. Zum einen können die Tiere auf einem Kissen oder einer anderen weichen Unterlage auf dem Rücken gelagert werden und von einer Hilfsperson leicht am Schultergürtel und an den Hintergliedmaßen fixiert werden. Diese Position wird jedoch nicht von allen Tieren länger geduldet und kann zu Abwehrbewegungen führen. Eine weitere Möglichkeit ist die Fixierung am Schultergürtel mit der einen Hand und die Unterstützung der Hintergliedmaßen mit der anderen Hand, während das Tier von der Hilfsperson aufrecht vor den Oberkörper der Hilfsperson gehalten wird. Für den Fall, dass keine zweite Person zur Verfügung steht, kann das Tier auch im Schoß des Untersuchers auf dem Rücken gelagert und mit einer Hand leicht am Schultergürtel fixiert werden. Diese Lagerung wurde von den Tieren am besten toleriert und deswegen für die Untersuchung der Blase und Harn ableitenden Organe auch hier verwendet. Für die Sonographie der Nieren wurden die Tiere im aufrechten Sitzen auf dem Schoß des Untersuchers leicht am Schultergürtel fixiert. Bei dieser Position wurde keines des Tieres unruhig, und auch längere Untersuchungen wurden erstaunlich gut geduldet. Sie ist deswegen für die Untersuchung der Nieren sehr zu empfehlen, da sie auch gut angewendet werden kann, wenn keine Hilfsperson zur Verfügung steht. Nachteil an dieser Position ist, dass bei den Tieren nur noch das Ovar und die Nebennieren beurteilt werden können. Eine gute Betrachtung der restlichen Organe ist in dieser Lagerung nicht möglich.

3.2.3 Sonographische Untersuchung

Bei der sonographischen Untersuchung des Urogenitaltraktes der Heimtiere wird im Prinzip, wenn kein spezieller Untersuchungsgang beschrieben ist, wie bei Hund und Katze vorgegangen (NYLAND und MATTOON 2002, POULSEN NAUTRUP und TOBIAS 1998, SCHOLZ et al. 1993).

3.2.3.1 Schallkopfposition

Die genaue Schallkopfposition ist den nachfolgenden Abbildungen 3, 4 und 5 zu entnehmen, wobei der Schallkopf als schwarzer Balken dargestellt ist (Schemazeichnung aus BITZINGER 2008). Eine präzise Beschreibung der Schallkopfposition erfolgt im Laufe der Arbeit.

3.2.3.2 Schnittebenen

Es werden die, von der Sonographie des Harntraktes bei Hund und Katze bekannten, üblichen Schnittebenen verwendet. Sie sind in den soeben erwähnten Abbildungen 3 – 5 dargestellt.

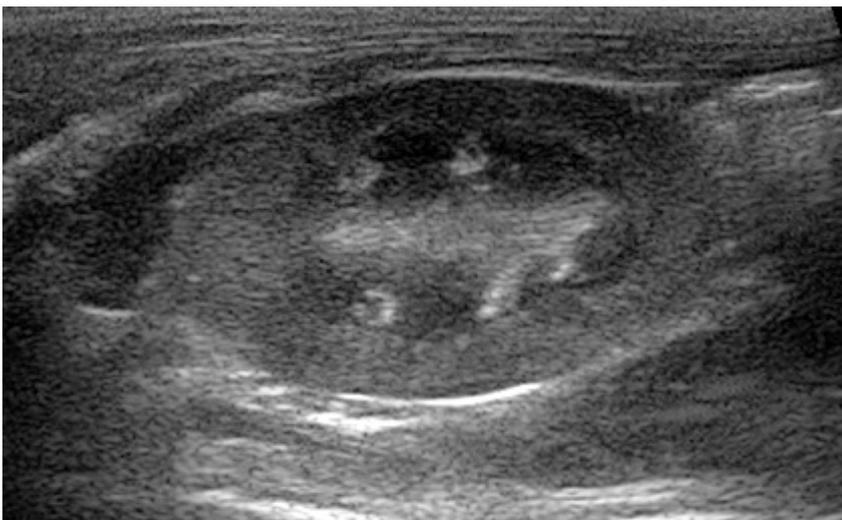


Abbildung 3: Sagittalschnitt der rechten Niere

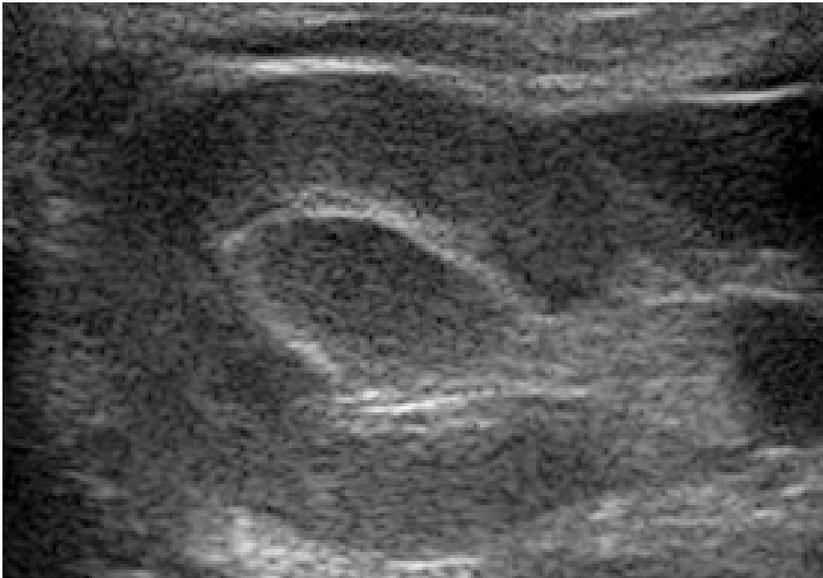


Abbildung 4: Transversalschnitt der rechten Niere



Abbildung 5: Dorsalschnitt der rechten Niere

3.2.3.3 Untersuchungsgang

Generell wurde im kaudalen Abdomen mit der Darstellung der Harnblase begonnen, wo auch eine Anpassung und Nachjustierung der Geräteeinstellung an die individuellen Bedingungen bei dem jeweiligen Patienten erfolgen sollte (REESE 2009).

Es empfiehlt sich, bei der Darstellung der Harnblase im Transversalschnitt zu beginnen. Dafür wird der Schallkopf direkt kranial dem Schambein aufgesetzt und nach

vorne Richtung Blasenpol geschoben. Es sollte dabei möglichst sanft vorgegangen werden, da es bei zu viel Druck zur Entleerung der Harnblase kommen kann und diese dann nicht mehr gut dargestellt werden kann. Danach folgt die Untersuchung im Sagittalschnitt. Hierbei wird der Schallkopf jeweils nach rechts und links geführt, um die Harnblase vollständig abzufahren. Die Blase wurde auf pathologische Veränderungen, wie zum Beispiel Harngrieß, Urolithiasis, Wandverdickungen und Zubildungen untersucht.

Anschließend erfolgte zuerst die Untersuchung der linken und danach der rechten Niere. Beide Nieren wurden im Sagittal-, Transversal- und Dorsalschnitt untersucht. Nur bei einem untersuchten Tier war die Darstellung des Dorsalschnittes aufgrund von Überlagerungen des Magen-Darm-Traktes nicht möglich. Im Sagittalschnitt sollte der Sinus renalis möglichst als gerade zentrale Linie sichtbar sein, im optimalen Transversalschnitt sollte die Nierenrinde hufeisenförmig zu sehen sein, und im Dorsalschnitt kann das Nierenmark dreiteilig dargestellt werden, mit einem medial gerichteten Hilus (REESE 2009). Bei der Untersuchung der Niere wurde, wie schon bei der Betrachtung der Harnblase, auf pathologische Veränderungen geachtet, wie zum Beispiel Nierenkalzinose, Hydronephrose, Pyelonephritis, Nierenzysten oder ähnliches. Außerdem wurden die Echogenität des Nierenmarkes und der Nierenrinde und die Lage und Form der Nieren berücksichtigt.

Die Bilder von jedem Tier wurden zur Dokumentation gespeichert.

3.2.3.4 Messungen

Jede Niere wurde in ihrer Länge, Breite und Höhe gemessen. Dabei wurde die Länge als Abstand zwischen dem kranialen und kaudalen Nierenpol im Sagittalschnitt und im Dorsalschnitt definiert, die Breite als Abstand zwischen Margo medialis und Margo lateralis an der breitesten Stelle gemessen (NIEBERGALL 2003), ebenfalls im Sagittalschnitt sowie im Transversalschnitt, und die Höhe wurde als Strecke zwischen medialer und lateraler Wand auf Höhe des Nierenhilus im Dorsal- und im Transversalschnitt gemessen, definiert. Zusätzlich wurde die Fläche durch Umfahren der Niere in allen drei Schnitten gemessen, das Nierenvolumen mit Hilfe der Formel

$$Länge \cdot Breite \cdot Höhe \cdot \frac{\pi}{6}$$

ausgerechnet. Bei der Berechnung des Nierenvolumens wurden die Länge des Saggittalschnittes sowie die Höhe und Breite des Transversalschnittes verwendet. Die Gründe dafür werden in dem Teil der Arbeit, welcher die Ergebnisse umfasst, angegeben. Anschließend wurde noch die dopplersonographische Untersuchung durchgeführt, bei der auch die Herzfrequenz bestimmt wurde. Alle Messung wurden pro Seite dreimal durchgeführt und daraus der Mittelwert errechnet.

3.2.4 Dopplersonograpische Untersuchung

Bei der dopplersonographischen Untersuchung wurde in allen, bis auf zwei Fällen der Transversalschnitt zur Darstellung der Gefäße gewählt. In den beiden Fällen, wo mit diesem Schnitt keine gute Darstellung der Gefäße erfolgen konnte, wurde mit Erfolg der Dorsalschnitt verwendet. Generell bekam man im Laufe der Arbeit aber den Eindruck, dass die Gefäßdarstellung im Transversalschnitt leichter ist.

3.2.4.1 Darstellung der Gefäße

Die Gefäßdarstellung und subjektive Beurteilung der Nierendurchblutung erfolgte in allen Fällen an beiden Nieren mittels Farb- und Powerdoppler. Durch die Farbsättigung der dargestellten Gefäße konnte bereits im Voraus abgeschätzt werden, ob sich das Gefäß zur Messung des Resistance-Index eignet oder nicht. Hellrot dargestellte Gefäße eignen sich in der Regel am besten, während durch flächige auffallend dunkelrote oder bis ins gelbliche reichende Pixel häufig Artefakte bedeuten (DREWES 2001). Ziel war es, an einer Niere mindestens zwei bis drei Aa. interlobares darzustellen und an diesen die Blutfließparameter zu bestimmen.

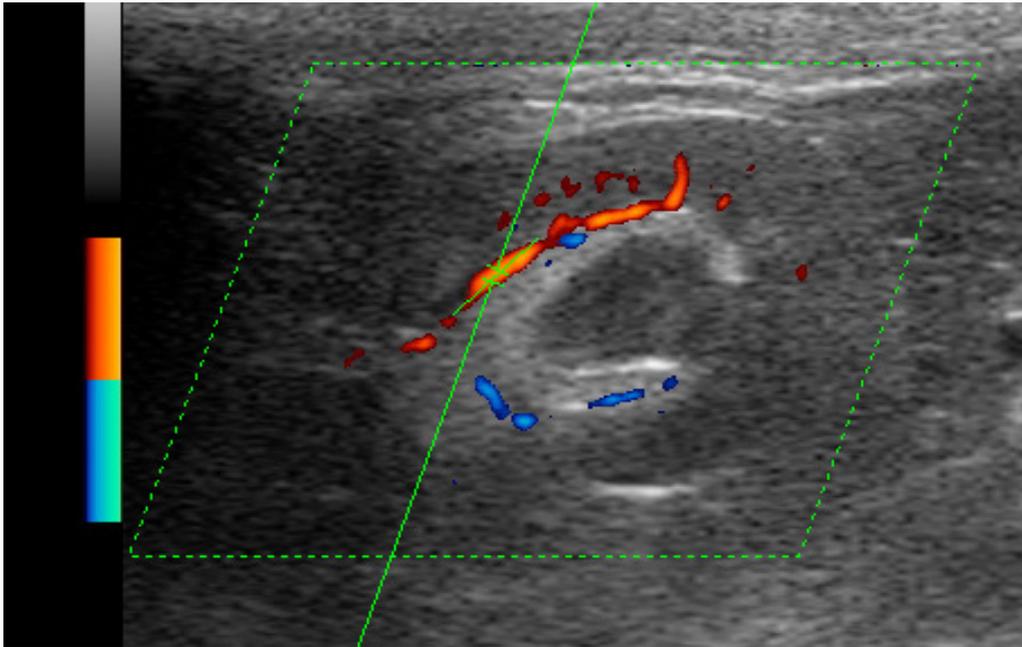


Abbildung 6: Dopplersonographische Gefäßdarstellung im Transversalschnitt

3.2.4.2 Messungen

Um die Blutflußparameter zu bestimmen, wurden die Aa. interlobares dargestellt. In das Lumen des am besten darstellbaren Gefäßes wurde das Messtor gelegt, wobei darauf geachtet wurde, dieses möglichst klein zu wählen, und, wenn möglich, immer auf dieselbe Höhe zu legen. Gleichzeitig erfolgte die Winkelkorrektur, wobei versucht wurde, den Winkel der Schallwellen zum ausgewählten Blutgefäß möglichst klein zu halten und generell immer unter 55° . Die Obergrenze von 55° wurde deswegen gewählt, weil bei Gefäßen, die fast senkrecht zu den Schallwellen verlaufen, trotz Winkelkorrektur Messungenauigkeiten auftreten können. Auch Gefäße, die nahezu parallel zu den Schallwellen verlaufen, wurden, wenn möglich, gemieden, da es dort durch die Atembewegung schwierig war, das Messtor im Gefäß zu halten. Angestrebt wurde ein Winkel zwischen Gefäß und Schallwellen zwischen 15° - 40° . Bei jeder Untersuchung wurde die schnellst mögliche Durchlaufgeschwindigkeit verwendet.

Das Ultraschallgerät berechnete an Hand der Dopplerkurven die Pulsfrequenz des untersuchten Tieres.

Folgende Werte wurden bei der dopplersonographischen Untersuchung gemessen:

Berechnungsparameter	Abkürzung	Einheit
Systolischen Maximalgeschwindigkeit	SVEL	cm/sec
Enddiastolische Geschwindigkeit	DVEL	cm/sec
Resistence Index	RI	dimensionslos
Pulsatilitäts Index	PI	dimensionslos
Herzfrequenz	HF	Schläge/min

Tabelle 4: gemessene Blutfließparameter

3.2.5 Statistische Auswertung

Insgesamt wurden 25 Tiere untersucht. Von jedem dieser 25 Tiere wurden im Laufe der Untersuchung 84 Werte ermittelt. Das bedeutet, dass für alle Tiere am Ende der Untersuchung insgesamt 2100 Werte vorlagen. Diese Daten wurden zur Auswertung in die Statistiksoftware IBM SPSS 19.0.0 eingegeben und statistisch ausgewertet.

Alle Parameter wurden nach Erstellung eines Histogrammes visuell auf das Vorliegen einer Normalverteilung überprüft. Dies war in allen Fällen gegeben.

Als Kennwerte wurden für die verschiedenen Parameter das arithmetische Mittel, die Standardabweichung sowie der kleinste und größte Wert bestimmt.

Unterschiede in den jeweiligen Messwerten der linken und rechten Niere, sowie der gleichen Distanzwerte bestimmt an unterschiedlichen Schnittebenen einer Niere wurde mit Hilfe des t-Tests für abhängige Variablen auf statistische Signifikanz untersucht.

Unterschiede der mittleren absoluten und relativen Volumina der Nieren männlicher und weiblicher Tiere wurde mit dem t-Test für unabhängige Variablen auf statistische Signifikanz getestet.

Als Maß für den Zusammenhang zwischen den Nierenvolumina mit dem Alter oder der Körpermasse wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet. Da die Körpermasse in Abhängigkeit vom Alter deutlich variierte, wurde zusätzlich der partielle Korrelationskoeffizient der Beziehung Alter und Nierenvolumen unter Berücksichtigung der Kovariante Körpermasse berechnet. Gleichfalls wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson zur Bestimmung eines Zusammenhanges zwischen RI sowie PI mit der Körpermasse, dem Alter und der Herzfrequenz ermittelt.

Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt.

Genauigkeit der Messungen

Die Genauigkeit einer Messung ist im Grunde ein Maß für die Übereinstimmung zwischen dem ermittelten Wert und dem wahren Wert. Eine möglichst große Genauigkeit ist nur durch eine gute Präzision und Richtigkeit zu erzielen. Ein Ergebnis wird als genau bezeichnet, wenn es möglichst frei von zufälligen und systematischen Fehlern ist (ANDERMANN 2007).

Die Präzision einer Messung, und damit die Reproduzierbarkeit, bezeichnet das Maß der Übereinstimmung zwischen bereits vorliegenden unabhängigen Messwerten unter unveränderbaren Bedingungen und den ermittelten Ergebnissen. Wenn die ermittelten Ergebnisse nur geringfügig voneinander abweichen, spricht das für eine hohe Präzision der Messung. Die Präzision oder Genauigkeit bezeichnet somit die zufällige Streuung von Messwerten, was jedoch nicht bedeutet, dass die ermittelten Werte korrekt sind. Die Richtigkeit bezeichnet die Abweichung des ermittelten Wertes von dem angegebenen Referenzwert. Eine Untersuchung kann somit präzise, sprich reproduzierbar aber ungenau sein (ANDERMANN 2007).

Fehler können in einem Messverfahren an unterschiedlichen Stellen auftreten und sind von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Zum einen hängen sie, und damit die

Genauigkeit, von dem Untersucher ab, zum anderen von dem zu untersuchenden Objekt (hier die Meerschweinchen) und von dem Messgerät (in diesem Fall das Ultraschallgerät). Der Messfehler des Gerätes ist meist wenig beeinflussbar, da konstruktionsbedingt, der Messfehler des Untersuchers lässt sich jedoch durch möglichst große Erfahrung und Übung minimieren. Wenn mehrere Untersucher an der Messung beteiligt waren, musste dies ebenfalls bei der Auswertung berücksichtigt werden. In dieser Untersuchung wurde dies nicht berücksichtigt, man spricht hier von einer intraobserver Variabilität. Die Messfehler, welche objektbedingt sind, sind am wenigsten zu beeinflussen (BLAND 2000).

Die Relevanz für die praktische Anwendung liegt darin, zu wissen, ab wann ein unterschiedliches Messergebnis, zum Beispiel im Rahmen einer Folgeuntersuchung, vom Probanden abhängt oder ob es sich um einen Messfehler handelt.

Dies kann mit Hilfe der folgenden Formel relativ leicht erfasst werden, welche besagt, dass sich zwei Messwerte mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % unterscheiden wenn

$$[x_1 | x_2] > \Delta V$$

$$\text{mit } \Delta V = 1.96 \times \sqrt{2} \cdot \sigma = 2.77 \times \sigma$$

$$\text{dass heißt: } [x_1 | x_2] > 2.77 \cdot \text{Streuung}(x)$$

x_1 = erster Messwert

x_2 = zweiter Messwert

ΔV = Mindestabstand zwischen zwei Messungen, um mit 95% iger Sicherheit unabhängig von der Messgenauigkeit zu sein.

σ = Mittel der Quadrate

1,96 = Gaußsche Summenfunktion

4 Ergebnisse

4.1 B-Bild Sonographie

Die Untersuchung erfolgte bei allen Tieren problemlos, auch die Darstellung aller drei Schnittebenen konnte mit Erfolg bei allen Tieren, bis auf eine Ausnahme, erreicht werden. Bei einem Tier war die Darstellung des Dorsalschnittes auf Grund der Überlagerung des Magen-Darm-Traktes nicht möglich. Für die Arbeit wurden nur klinisch gesunde Meerschweinchen mit sonographisch unauffälligen Nieren untersucht. Pathologische Beschreibungen fallen somit weg. Die Nieren waren gut abgegrenzt von umliegenden Organen. Die Oberfläche der Nieren war bei allen Tieren, in jeder Schnittebene, glatt.

Im Sagittalschnitt stellten sich beide Nieren als längsoval dar, im Dorsal- und Transversalschnitt zeigten sie sich eher von rundlicher bis rund-ovaler Form. In allen drei Schnittebenen konnte eine, wenn auch oft unscharfe, Abgrenzung von Nierenrinde und Nierenmark festgestellt werden. Das Parenchym der Nierenrinde war homogen, von feinkörniger Struktur und zeigte eine mittlere Echogenität auf. Im Vergleich zum Nierenmark war die Nierenrinde echoreicher. Das Nierenmark stellte sich ebenfalls homogen, aber deutlich echoärmer als die Nierenrinde dar. In das Nierenmark strahlten die echoreichen Rindensäulen ein. Bei einem senkrechten Auftreffen der Schallwellen auf die Nierenkapsel wurde diese als dünne, sehr echoreiche Linie gesehen. Das Nierenbecken war bei keinem der Tiere darstellbar, der Sinus renalis war jedoch sehr echoreich, im Dorsal- und Transversalschnitt zeigte er sich V- bis U-förmig.

Die Ausmessung der Nieren konnte, dank der guten Abgrenzung zum umliegenden Gewebe, problemlos erfolgen.

Es wurden, wie schon erwähnt, jeweils zwei Längen-, Breiten- und Höhenmessungen in unterschiedlichen Schnittebenen an der Niere durchgeführt. Danach wurde zum einem überprüft ob beide Messungen zu denselben Ergebnissen führten, bezie-

ungsweise wie sehr die Messungen voneinander abweichen. Zur Beurteilung, welche Schnittebene für die Ausmessung der Nieren am besten geeignet ist, wurde im Anschluss noch die Reproduzierbarkeit ausgerechnet und die praktische Durchführbarkeit bewertet. Messunterschiede zwischen rechter und linker Niere wurden erst ab einer Abweichung von $> 5 \%$ als signifikant und somit erwähnenswert betrachtet. Die Flächenmessung der Niere erfolgte durch Umfahren mit dem Cursor.

4.1.1 Längenmessung

Die Ausmessung der Nierenlänge wurde sowohl im Sagittal- als auch im Dorsalschnitt durchgeführt. Beide Schnittebenen führten zu denselben Längenergebnissen, auch Unterschiede in der Länge zwischen rechter und linker Niere konnten nicht festgestellt werden. Bei der Reproduzierbarkeit konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in der Anwendung der beiden Schnittebenen ermittelt werden. Man muss in beiden Fällen mit Messungenauigkeiten zwischen $\pm 10 - 15 \%$ rechnen. Erst Abweichungen, die darüber liegen, sind als pathologisch zu bewerten. Da sowohl die Messergebnisse als auch die Reproduzierbarkeit in beiden Schnittebenen sich nicht voneinander unterscheiden, spielte im Hinblick der Wahl der Schnittebene nur die Durchführbarkeit der Untersuchung eine Rolle. Hierbei wurde der Sagittalschnitt bevorzugt, da er, selbst für den ungeübten Untersucher, leicht und sicher darstellbar ist. Die Darstellung des Dorsalschnittes hingegen erfordert gute Ultraschallkenntnisse seitens des Untersuchers, und das Tier musste hierfür deutlich weiter ausgeschoren werden. Aufgrund der länger dauernden Untersuchung (da die Auffindung der Niere im Dorsalschnitt meist mehr Zeit in Anspruch nimmt) ist diese Schnittebene zur Längenmessung für das Tier mit erheblich mehr Stress verbunden und somit nicht zu empfehlen.

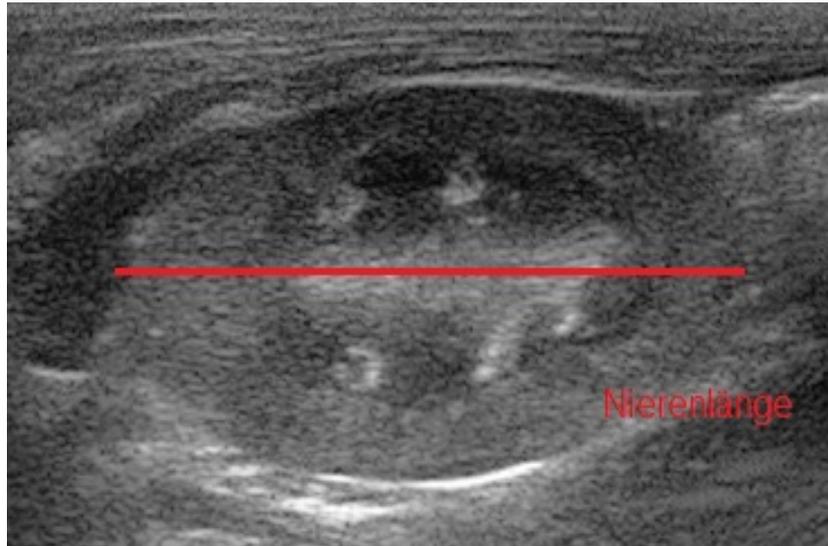


Abbildung 7: Nierenlänge, gemessen im Sagittalschnitt

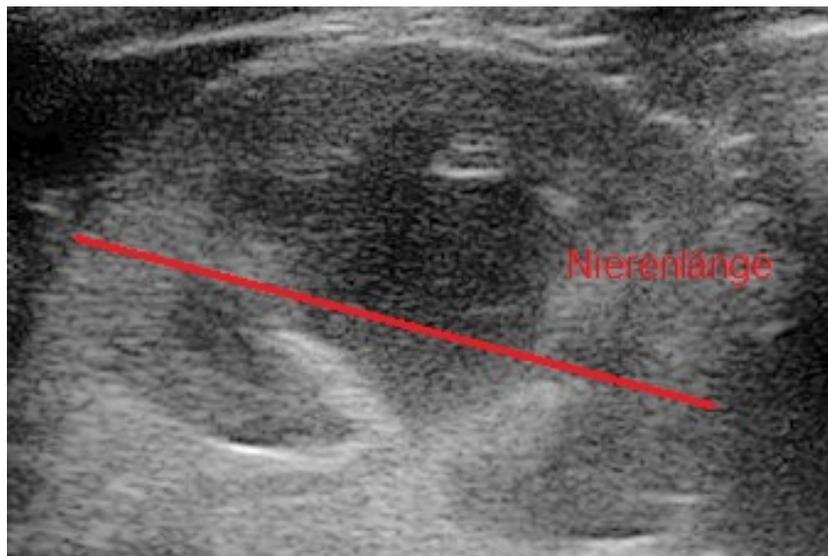


Abbildung 8: Nierenlänge, gemessen im Dorsalschnitt

4.1.2 Breitenmessung

Die Ausmessung der Nierenbreite ist sowohl im Transversal- als auch im Sagittalschnitt möglich. Im Sagittalschnitt waren keine relevanten Unterschiede in der Breite zwischen rechter und linker Niere zu erkennen. Im Transversalschnitt hingegen wiesen die Messergebnisse der linken Niere durchgehend minimal größere,

wenn auch noch immer keine relevanten Werte auf. Die ermittelten Werte im Sagittalschnitt waren allerdings kleiner als die Messergebnisse im Transversalschnitt, sowohl von der linken als auch von der rechten Niere. Dies liegt daran, dass man sich bei der Darstellung des Sagittalschnittes vor allem an der zentralen echoreichen Linie, dem Sinus renalis, orientiert (siehe Abbildung 9). Da dieser aber, im Querschnitt betrachtet, nicht an der breitesten Stelle der Niere liegt, sondern etwas unterhalb dieser, fallen die Messergebnisse bei Anwendung dieser Schnittebene zur Breitenmessung etwas kleiner aus.

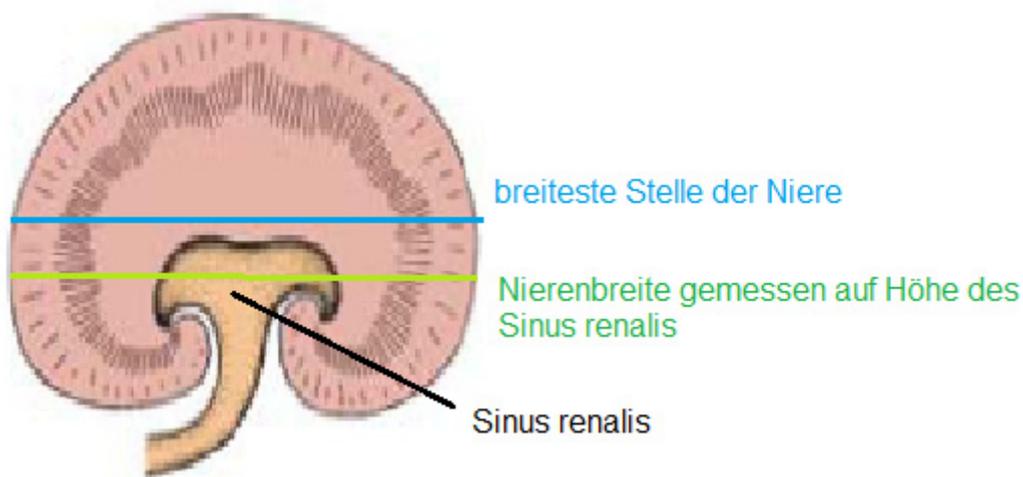


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Messebene des Sagittalschnittes auf Höhe des Sinus renalis, sowie der breitesten Stelle der Niere im Querschnitt betrachtet (LIEBICH et al. 2002)

Die größeren Messwerte der linken Niere im Transversalschnitt sind dadurch zu erklären, dass man hier dazu neigt, den Schallkopf etwas zu kippen und den Transversalschnitt „schön“ darzustellen, wodurch sich die Schnittfläche vergrößert. An der rechten Niere führt dieses Verkippen des Schallkopfes dazu, dass Lebergewebe die Niere überlagert, weshalb man das rechts vermeidet.

Die Reproduzierbarkeit der Breitenmessung in beiden Schnittebenen war ungefähr gleich. Die messfehlerbedingten Abweichungen lagen zwischen $\pm 10 - 20\%$. Die schlechteste Reproduzierbarkeit wurde an der rechten Niere im Transversalschnitt erzielt, was daran liegt, dass hier die Niere oft von der Leber überlagert ist. Die Durchführbarkeit des Sagittalschnittes ist, wie schon bei der Längenmessung, einfa-

cher. Da man hier jedoch zu kleine Werte erhält, wird empfohlen, dieses entweder zu berücksichtigen oder sich am Transversalschnitt zu orientieren. Beim Transversalschnitt sollte generell versucht werden, die Breite der rechten Niere als Anhaltspunkt zu nehmen.

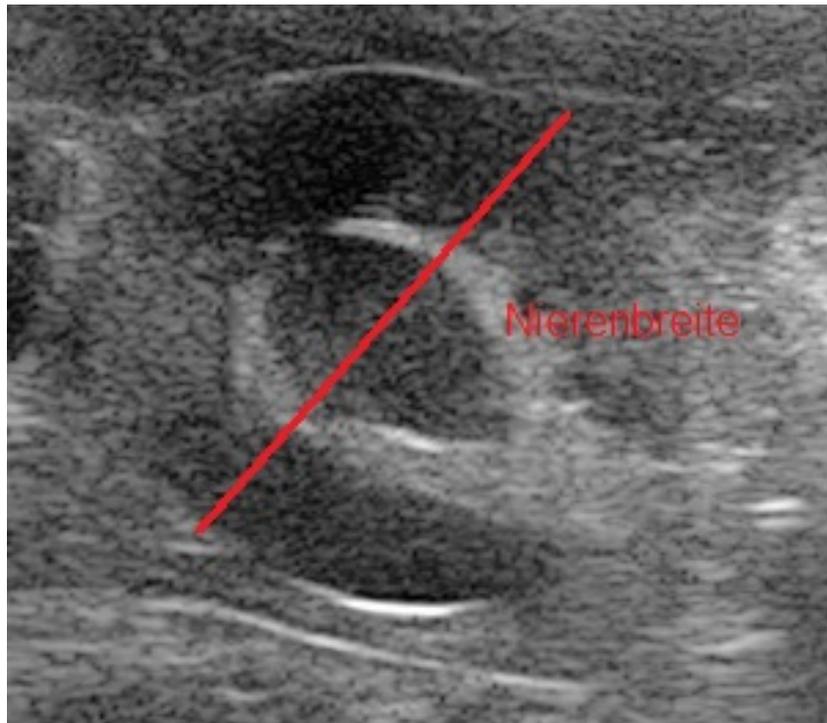


Abbildung 10: Nierenbreite, gemessen im Transversalschnitt

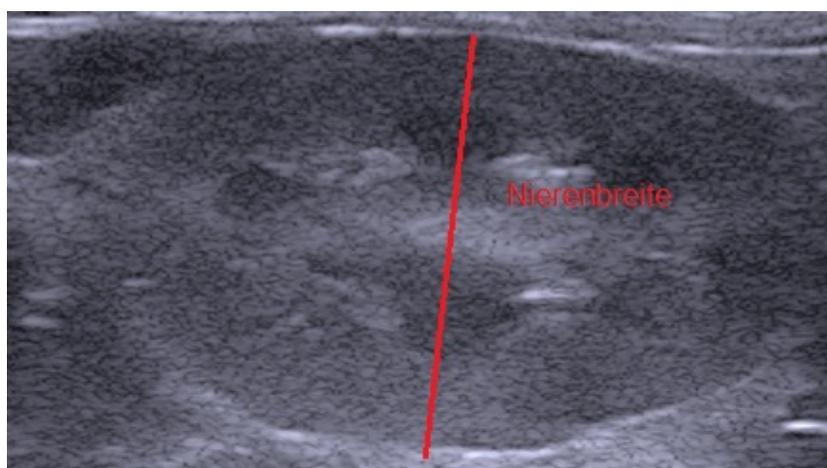


Abbildung 11: Nierenbreite, gemessen im Sagittalschnitt

4.1.3 Höhenmessung

Die Höhenmessung ist im Dorsal- und im Transversalschnitt durchführbar. Ein relevanter Höhenunterschied zwischen rechter und linker Niere konnte in keiner der beiden Schnittebenen festgestellt werden. Im Transversalschnitt fielen die Messergebnisse im Durchschnitt etwas größer aus als im Dorsalschnitt, doch die Unterschiede waren so gering, dass sie als nicht relevant betrachtet wurden. Die Reproduzierbarkeit war beim Dorsalschnitt höher, hier können Abweichungen der Messergebnisse ab $\pm 9 - 10\%$ als relevant angesehen werden, während das im Transversalschnitt erst ab $\pm 15\%$ zutrifft. Kleinere Werte müssen als Messungenauigkeit in Betracht gezogen werden. Generell wird aber der Transversalschnitt zur Höhenmessung empfohlen, da das Tier hierfür nicht so weit nach lateral ausgeschoren werden muss, die Untersuchung meistens schneller geht und die Schnittebene sich zum Ausmessen besser eignet, da im Dorsalschnitt, insbesondere rechts, sich oft Lebergewebe vor die Niere legt, was eine Abgrenzung der Niere und damit die Ausmessung erschwert. Die etwas bessere Reproduzierbarkeit hängt unter Umständen auch von dem Erfahrungswert des Untersuchers ab und ist bei ungeübten Untersuchern etwas schlechter.

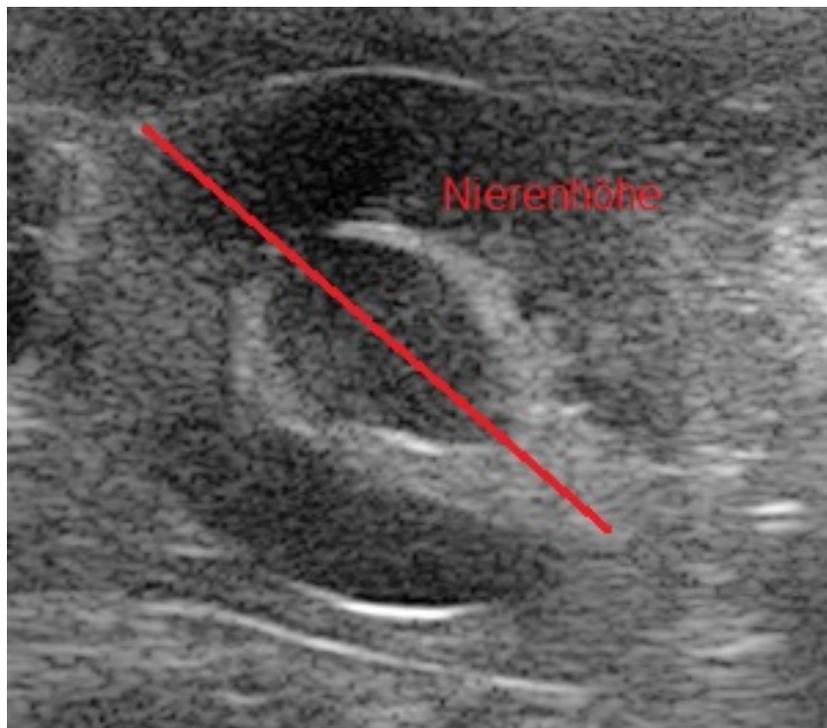


Abbildung 12: Nierenhöhe, gemessen im Transversalschnitt

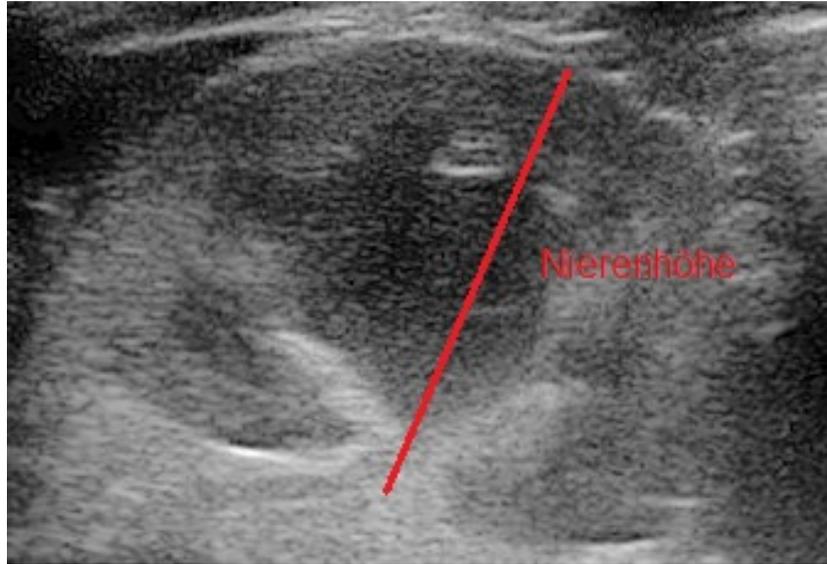


Abbildung 13: Nierenhöhe im Dorsalschnitt

4.1.4 Flächenausmessung

Bei der Ausmessung der Fläche, welche ebenfalls in allen drei Schnittebenen erfolgte, wurde insbesondere darauf geachtet, ob diese sich besser zur Größeneinschätzung der Nieren eignet als die bisher angewendeten Längen-, Breiten- und Höhenmessung. Da jedoch auch hier Messfehler von $\pm 10 - 20\%$ einkalkuliert werden müssen und das Umfahren der Niere mit dem Cursor sich oft, durch Überlagerung der Niere durch umliegendes Gewebe als schwierig und zeitaufwendig erweist, kann dieses Verfahren zur Einschätzung der Nierengröße nicht als Standard empfohlen werden. Zusätzlich zu den bisherigen Standardmessungen kann die Flächenausmessung jedoch ergänzend einen guten Überblick bieten. Generell lässt sich sagen, dass auch hier keine relevanten Rechts- und Linksunterschiede festgestellt werden konnten.



Abbildung 14: Bestimmung der Nierenfläche durch Umfahren, am Beispiel des Sagittalschnittes

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ausmessung der Nierenlänge im Sagittalschnitt erfolgen sollte. Für die Breiten- und Höhenmessung eignet sich der Transversalschnitt am besten. Die Berechnung der Fläche bietet ergänzend einen guten Überblick. Relevante Größenunterschiede zwischen rechter und linker Niere gab es keine. Tabelle 5 zeigt die Messergebnisse dieser Arbeit in den verschiedenen Schnittebenen der Niere.

	Nierenlänge (mm)	Nierenbreite (mm)	Nierenhöhe (mm)	Fläche (cm ²)
Sagittalschnitt	20,5 ± 0,24	12,7 ± 0,17		2,17 ± 0,48
Transversalschnitt		13,8 ± 0,18	14,4 ± 0,22	1,69 ± 0,40
Dorsalschnitt	20,9 ± 0,25		12,7 ± 0,19	2,39 ± 0,62

Tabelle 5: Vergleich der Nierenlänge, -breite und -höhe sowie der Fläche in den verschiedenen Schnittebenen

Tabelle 6 zeigt die Mittel-, Minimal- und Maximalwerte der Messergebnisse von den empfohlenen Schnittebenen.

	Länge (mm) Sagittalschnitt	Breite (mm) Transversalschnitt	Höhe (mm) Transversalschnitt
MW	20,5	13,8	14,4
SD	± 0,24	± 0,18	± 0,22
Max	24,5	18,1	18,9
Min	15,2	10,4	10,4

Tabelle 6: Mittelwerte, sowie Minimal- und Maximalwerte der Distanzmaße

4.1.5 Nierenvolumen

Das Nierenvolumen wurde mit Hilfe folgender Formel berechnet:

$$\text{Nierenlänge im Sagittalschnitt} * \text{Nierenbreite im Transversalschnitt} * \text{Nierenhöhe im Transversalschnitt} * \frac{\pi}{6}$$

Dies ist die allgemein gültige Formel zur Volumenberechnung eines ellipsoiden Körpers.

Danach wurde das relative Volumen, also das Volumen der Niere pro 100g Körpergewicht, ausgerechnet. Auch bei dem Nierenvolumen konnten keine Seitenunterschiede festgestellt werden.

4.1.5.1 Abhängigkeit des Nierenvolumens von dem Alter, dem Geschlecht und dem Gewicht des Tieres

Um eine eventuelle Abhängigkeit der Nierengröße von dem Alter, dem Geschlecht und dem Gewicht des Tieres zu ermitteln, wurde das Nierenvolumen benutzt, da diese am besten die Größe eines Organs repräsentiert.

Die im Mittel deutlich leichteren männlichen Tiere besaßen entsprechend auch deutlich kleinere Nieren. Beim Vergleich der relativen Nierenvolumina hob sich dieser scheinbare Unterschied aber komplett auf (Tabelle 7, Diagramm 2).

Generell bekam man im Laufe der Arbeit zuerst den Eindruck, dass die männlichen Tiere kleinere Nieren hatten als die weiblichen Tiere, auch die jüngeren weisen kleinere Werte auf als die meisten älteren Tiere. Dieser Statistisch gesehen gab es jedoch keine Abhängigkeit der Nierengröße, also des Nierenvolumens, von dem Alter oder dem Geschlecht des Tieres. Lediglich das Gewicht des Tieres spielt bei der Nierengröße eine bedeutende Rolle. Die Berechnung des relativen Volumens/100 Gramm Körpergewicht brachte folgende Ergebnisse (Tabelle 7, Diagramm 2).

Geschlecht	Nierenvolumen (ml)	rel. Nierenvolumen (ml/100g KGW)
Weiblich	2,40 ±0,65	2,96 ±0,68
Männlich	1,95 ±0,87	2,95 ±0,61

Tabelle 7: absolutes und relatives Nierenvolumen in Abhängigkeit vom Geschlecht

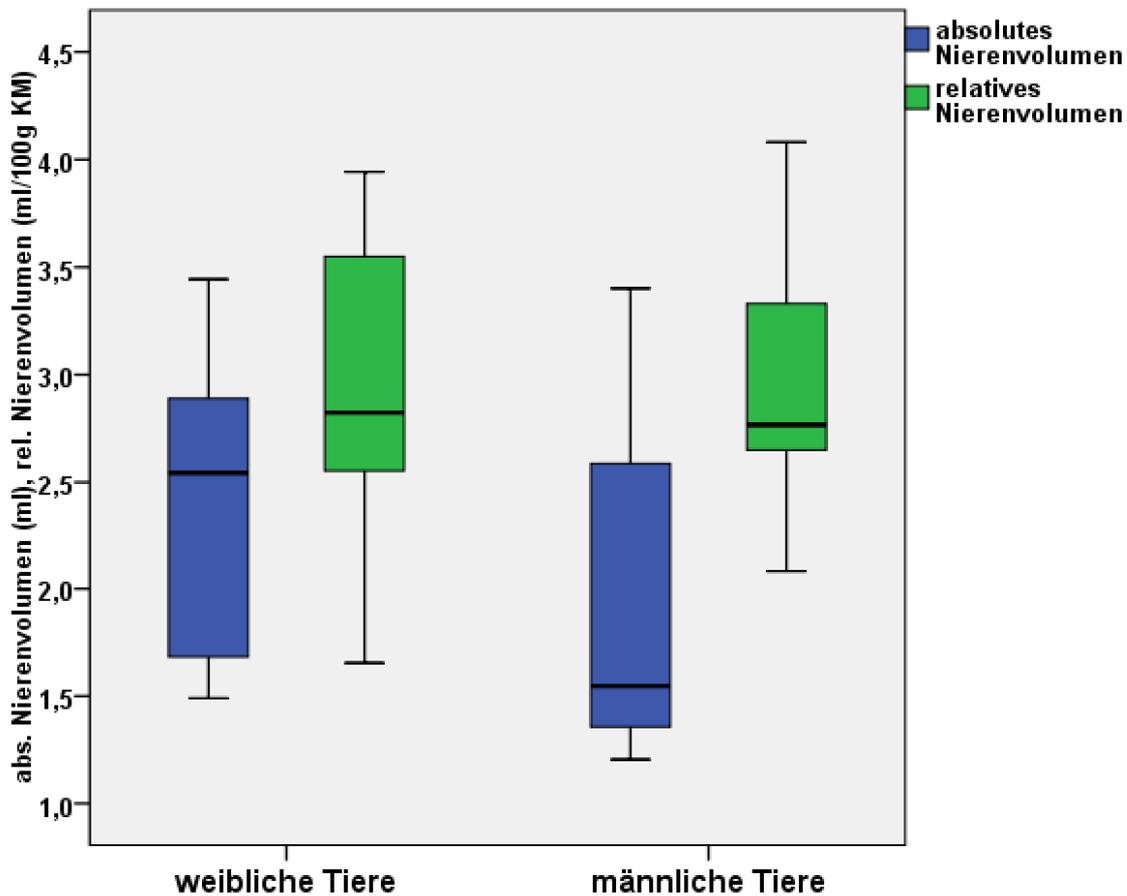


Diagramm 2: absolutes und relatives Nierenvolumen in Abhängigkeit vom Geschlecht

Zwischen dem Nierenvolumen und der Körpermasse der Tiere besteht erwartungsgemäß ein deutlicher positiver Zusammenhang ($r = 0,75$, $p < 0,001$). Bei Betrachtung der relativen Volumina kehrt sich dieser Zusammenhang zu einer schwach negativen Korrelation um ($r = -0,433$, $p = 0,031$). Dieser leicht negative Zusammenhang erklärt sich über die Adipositas der schwereren Tiere.

Das Lebensalter korreliert weder mit dem absoluten ($r = 0,028$) noch mit dem relativen Nierenvolumen ($r = -0,155$) in relevantem Ausmaß und zudem sind diese Werte nicht signifikant ($p > 0,05$).

4.2 Dopplersonographie der intrarenalen Gefäße

4.2.1 Darstellung der Nierengefäße

Es konnten bei allen 25 untersuchten Meerschweinchen an beiden Nieren die intrarenalen Gefäße, sowohl die Arterien als auch die parallel verlaufenden Nierenvenen, mittels farbkodierter Dopplersonographie gut dargestellt werden. In der Dorsalschnittebene konnten zwischen zwei und vier, in wenigen Fällen bis zu fünf Aa. interlobares, im Transversalschnitt nur zwei Aa.interlobares nachgewiesen werden (Abbildung 15).

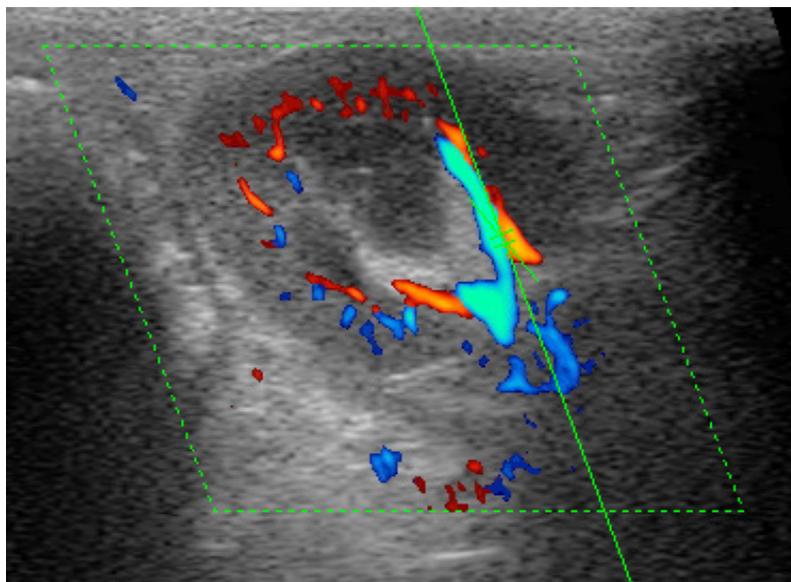


Abbildung 15: Darstellung der Aa. und Vv. interlobares und des parallelen Verlaufes von Arterie und Vene

4.2.2 Duplex-Dopplersonographie

4.2.2.1 Pulsfrequenz

Mittels der Dopplersonographie wurde bei allen Tieren während der Untersuchung die Pulsfrequenz gemessen. Diese wurde sowohl an der linken Niere, welche zuerst untersucht wurde, als auch an der rechten, welche im Anschluss an die Untersuchung der linken Niere erfolgte, bestimmt. Die Messung der Pulsfrequenz an beiden Nieren wurde durchgeführt, um festzustellen, ob und wie sehr sich die Herzfrequenz bei länger andauernden Untersuchungen verändert. Ein signifikanter Unterschied der

Pulsfrequenz zwischen weiblichen und männlichen Tieren, sowie eine Abhängigkeit der Pulsfrequenz von dem Alter und dem Gewicht der Tiere konnten nicht festgestellt werden. Die mittlere Herzfrequenz, gemessen während der Untersuchung der linken Niere, lag bei 259 ± 43 Schlägen pro Minute, bei der Untersuchung der rechten Niere, welche circa 10-15 Minuten später erfolgte, lag sie mit 287 ± 31 Schlägen pro Minute signifikant höher ($p = 0,001$) (Tabelle 8).

	linke Niere	rechte Niere
Pulsfrequenz Mittelwert (Schläge pro Minute)	259 ± 43	287 ± 31
Minimalwert	190	237
Maximalwert	342	341

Tabelle 8: Pulsfrequenz, gemessen mit dem PW-Doppler an der rechten und linken Niere aller untersuchten Tiere (n = 25)

4.2.2.2 Reproduzierbarkeit

Auch bei der Messung des Resistance-Index und des Pulsatilitäts-Index wurde zuerst wieder überprüft, wie exakt die Messungen sind, was bedeutet, wie reproduzierbar die Messergebnisse sind. Beim Resistance-Index wurden Abweichungen von bis zu $\pm 13,2$ % als Messfehler angesehen, beim Pulsatilitäts-Index war die Spanne der messfehlerbedingten Abweichungen fast dreimal so hoch wie die des Resistance-Index, sie lag bei ± 30 %. Die Ergebnisse dieser Arbeit bedeuten für die Praxis jedoch, dass der Resistance-Index als Fließparameter deutlich verlässlicher und reproduzierbarer ist als der Pulsatilitäts-Index. Deswegen sollte in erster Linie bei Bestimmung der Fließparameter der RI bestimmt werden. Ergänzend kann dann im Anschluss noch der PI erfasst werden.

	RI	PI
Messfehler bedingte Abweichung	$\pm 13,2 \%$	$\pm 30 \%$
absoluter Wert	$\pm 0,08$	$\pm 0,24$

Tabelle 9: Reproduzierbarkeit der Fließparameter RI und PI

4.2.2.3 Qualitative Beurteilung des Blutflusses

Die von den arteriellen Nierengefäßen abgeleitete Flusskurve entsprach bei jedem Tier dem klassischen Verlauf eines Niedrigwiderstandsgefäßes. Der Peak war in jedem Fall eingipflig, und es folgte ein konstanter Abfall, welcher von Tier zu Tier in seiner Steilheit verschieden war. Ansonsten waren die Kurven bei allen Tieren und bei der rechten und linken Niere einheitlich, nur der Abfall der Kurve nach dem Peak war von Tier zu Tier etwas unterschiedlich. Alle zeigten einen kontinuierlichen Vorwärtsfluss, sowie ein einphasiges Flussprofil, wie es einem Niedrigwiderstandsgefäß entspricht. Abbildung 16 zeigt ein typisches Bild eines Blutflusses in einer A. interlobaris beim Meerschweinchen.

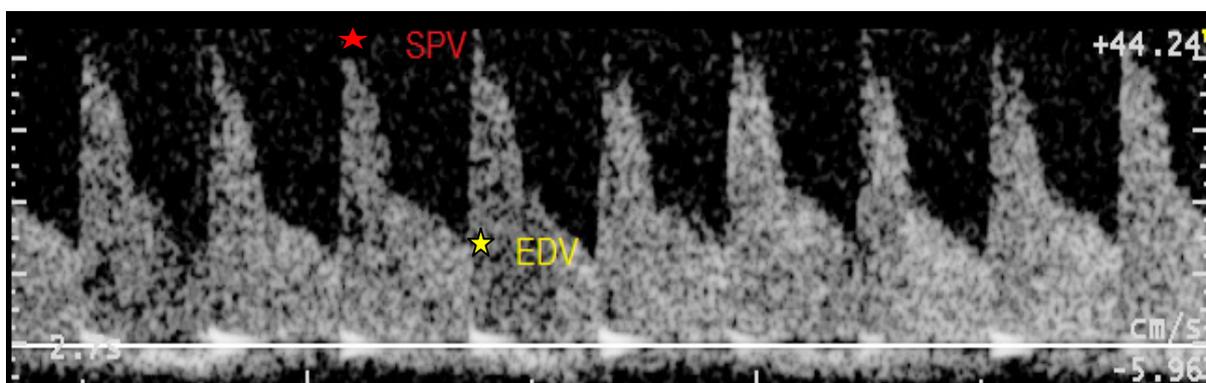


Abbildung 16: Blutfluss einer A. interlobaris, Darstellung mit dem PW-Doppler (3 – jähriges weibliches Meerschweinchen)

4.2.2.4 Quantitative Beurteilung des Blutflusses

Mit Hilfe des PW-Dopplers konnten verschiedene Parameter ermittelt werden und die Blutflüsse dadurch quantifiziert werden. Es wurden jeweils an beiden Nieren der Resistance Index, der Pulsatilitäts Index, die enddiastolische Geschwindigkeit und die maximal systolische Geschwindigkeit ermittelt. Es konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich der Werte zwischen männlichen und weiblichen Tieren festgestellt werden, weshalb es bei folgender Tabelle 9 keine Differenzierung nach Geschlecht gibt. Ein signifikanter Unterschied zwischen rechter und linker Niere wurde ebenfalls nicht gefunden. Der Resistance Index lag im Durchschnitt bei $0,61 \pm 0,057$, der kleinste gemessene Wert lag bei 0,52, der höchste Wert lag bei 0,78. Der Pulsatilitätsindex lag im Durchschnitt bei $0,79 \pm 0,15$. Hierbei ist zu sagen, dass der Resistance Index von 0,78, als auch der höchste Pulsatilitäts Index mit 1,25 bei einem sehr alten Tier (8,5Jahre) gemessen wurde. Aus Interesse wurden die Nierenwerte bei dem Tier untersucht, wobei sowohl Harnstoff als auch Kreatinin im Referenzbereich lagen. Sonographisch konnten keine Nierenveränderungen festgestellt werden. Die Erklärung für einen so hohen Wert könnte zum einen sein, dass das Tier, welches keine klinischen Symptome zeigte, an Bluthochdruck, Arteriosklerose oder einer Herzkrankheit litt, zum anderen könnte der hohe Resistance Index ein Hinweis auf eine beginnende Nierenerkrankung sein. Die Ratio, welche ein Anzeichen für einen erhöhten Gefäßwiderstand distal der Messstelle ist, hatte bei diesem Tier einen Wert von 5, also deutlich höher als der Durchschnitt.

Ergebnisse

	PF	RI	SPV	EDV	PI	PS/ED
MW	273	0,61	0,36	0,14	0,79	2,57
SD	± 36	± 0,056	± 0,11	± 0,05	± 0,15	± 0,08
min	190	52	0,20	0,04	0,59	2,1
max	342	78	0,68	0,32	1,25	5

Tabelle 10: : Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte sowie Standardabweichung der gemessenen Blutfließparameter aller untersuchten Tiere (n = 25)

Eine signifikante Abhängigkeit des Resistance Index und auch aller anderen Werte von dem Alter, dem Gewicht oder der Herzfrequenz der Tiere konnte nicht festgestellt werden.

5 Diskussion

In der Literatur wird bereits von einigen Autoren über die Sonographie der Meerschweincheniere berichtet. Ziel dieser Arbeit war es, die einzelnen Untersuchungen mit kleinen Tierzahlen zu verifizieren sowie erstmals Normwerte für die Fließparameter in der A. interlobaris an der Meerschweincheniere zu ermitteln.

5.1 Vorbereitung und Durchführung

Wie bereits von BITZINGER (2008) und NIEBERGALL (2003) beschrieben, ist eine gründliche und großzügige Rasur bei der Ultraschalluntersuchung von Vorteil. Insbesondere zur Darstellung der Nieren im Dorsalschnitt sollte sehr weit nach lateral geschoren werden. Das Auftragen des Ultraschallgels sollte circa fünf Minuten vor Beginn der Untersuchung erfolgen, um das Gel etwas in die sehr derbe Haut des Meerschweinchens einwirken zu lassen. Auf das Auftragen von Alkohol, wie bei Hunden und Katzen üblich, wurde verzichtet, weil es zum Auskühlen der Tiere führen kann. Der Anamnese und klinischen Untersuchung folgte die sonographische Untersuchung. Dafür wurden die Tiere aufrecht sitzend auf dem Schoß des Untersuchers gelagert, was von allen Tieren äußerst gut geduldet wurde. Die Lagerung in Rückenlage auf einem Kissen oder einem ähnlich weichen Untergrund, wie sie von BEREGLI et al. (2000), KIEFER et al. (2004), NIEBERGALL (2003) sowie BITZINGER (2008) angewendet wurde, war für die Tiere mit erheblich mehr Stress verbunden, diese Lagerung wurde von keinem Tier länger als zehn Minuten geduldet. Von Vorteil bei der Lagerung auf dem Schoß des Untersuchers ist auch, dass keine Hilfsperson zum Fixieren benötigt wird, es sei denn das Tier, was in dieser Arbeit nicht der Fall war, ist sehr unruhig. Die Untersuchung wurde, trotz der sehr ruhigen Tiere auf maximal 20 Minuten begrenzt. Die Nierendarstellung erfolgte in den drei Standardschnittebenen und war bei allen Tieren problemlos möglich, lediglich bei einem Tier konnte die Dorsalschnittebene nicht dargestellt werden. Es konnten somit bei jedem Tier aussagekräftige Ultraschallbilder erlangt werden. Für die Untersuchung wurde,

wie schon von BITZINGER (2008) dargestellt, ein 12 MHz Schallkopf für die großen Tiere verwendet. Für sehr junge und sehr kleine Tiere wurde erstmals ein Schallkopf mit 22 MHz eingesetzt, welcher bei diesen Tieren ein sehr gutes Auflösungsvermögen und sehr gute Bilder lieferte. Die in älteren Untersuchungen verwendete Frequenz von 7,5 MHz (ENGELKE 1997, GASCHEN et al. 1998, HARTMANN et al. 2001) ist nicht mehr empfehlenswert, da die Auflösung zu gering ist um eine detailreiche Darstellung zu ermöglichen. Wie auch schon von den bisherigen Untersuchern bevorzugt, erwies sich die Verwendung einer Linearsonde als deutlich vorteilhaft. Die probeweise Durchführung der sonographischen Nierenuntersuchung mit einer hochauflösenden (11 MHz) Phased Array Sonde erwies sich bei den Meerschweinchen als ungeeignet.

5.2 Reproduzierbarkeit

Um zu überprüfen, ob Abweichungen vom Mittelwert, sowohl bei der Nierengröße als auch bei den Fließparametern, „tierbedingt“ oder als Messungenauigkeit zu werten sind, wurde die Reproduzierbarkeit aller in dieser Arbeit erhobenen Parameter berechnet. Bei der Größenmessung der Nieren müssen Messungenauigkeiten von $\pm 10 - 20\%$ kalkuliert werden. Bei unerfahrenen und ungeübten Untersuchern ist evtl. mit einer noch deutlich schlechteren Reproduzierbarkeit der Werte zu rechnen. Beim Resistance-Index müssen Abweichungen von bis zu $\pm 13\%$ einkalkuliert werden, bevor man von einer tierbedingten Erhöhung oder Erniedrigung des Resistance-Index z. B. bei Wiederholungsmessungen im Verlaufe einer Krankheit ausgehen kann. Beim Pulsatilitäts-Index war, entgegen den Erfahrungen von RESTREPO-SCHAFFER et al. (1999) beim Menschen, die den PI als verlässlicher im Vergleich zu dem RI beschreiben, die Spanne der Messungenauigkeit so groß (bis zu $\pm 30\%$), dass dieser nicht als alleiniger Parameter zur Beurteilung des Blutflusses in der Niere beim Meerschweinchen herangezogen werden sollte. Nur in Kombination mit dem Resistance-Index ist dies vertretbar.

5.3 B-Bild Sonographie

Die sonographischen Befunde an der Niere und deren Lage entsprachen weitestgehend den bisher in der Literatur beschriebenen Verhältnissen. Nur die Darstellung der Dorsalschnittebene wurde als einfacher empfunden als von bisherigen Autoren beschrieben. Die Größenmessung an der Niere wurde sowohl für die Länge, als auch die Breite und Höhe jeweils an zwei unterschiedlichen Schnittebenen durchgeführt. Die Ergebnisse aus der Ebene, in der die Messungen reproduzierbarer und einfacher durchführbarer waren, wurden für die weiteren Betrachtungen verwendet.

NIEBERGALL (2003) führt für die Nierengröße in ihrer Arbeit lediglich Längen- und Breitenangaben an, eine Höhenmessung wurde nicht durchgeführt. Sowohl die Längen- als auch die Breitenmessungen erfolgten bei NIEBERGALL (2003) im Dorsalschnitt, welcher in dieser Arbeit für die Ausmessung der Nierengröße aufgrund der schwierigeren Durchführbarkeit für den ungeübten Untersucher und der damit länger dauernden Untersuchung nicht bevorzugt wurde. Nach den Erfahrungen aus dieser Arbeit ist zu empfehlen die Längenmessung im Sagittalschnitt, die Breitenmessung im Transversalschnitt durchzuführen. Wie von REESE (2009) beschrieben, wurde zur vollständigen Größenbeschreibung der Niere zusätzlich die Höhe vermessen. Als besonders geeignet für die Höhenmessung hat sich dabei der Transversalschnitt herausgestellt. Im Vergleich der eigenen Ergebnisse der Größenmessungen der Meerschweinchennieren mit den Angaben von NIEDERGALL (2003), RAPPOLD (2001) und REESE (2009) ist festzustellen, dass die Werte aller vier Untersuchungen in der gleichen Größenordnung liegen (Tabelle 9) NIEBERGALL (2003) unterscheidet bei ihren Größenangaben zusätzlich sowohl zwischen männlichen und weiblichen Tieren, als auch zwischen rechter und linker Niere. Männliche Tiere sollen demnach im Durchschnitt kleinere Nieren aufweisen als weibliche Tiere. Durch die Berechnung der relativen Nierengröße konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass es sich hierbei um einen nur scheinbar geschlechtsabhängigen Effekt handelt, der rein durch die unterschiedlichen Körpermassen männlicher und weiblicher Tiere in den Untersuchungsgruppen erklärt.

	eigene Werte	REESE (2009)	NIEBERGALL (2003)	RAPPOLD (2001)
Länge (mm)	20,5	20,3	21,6	23,9
Breite (mm)	13,8	13,9	12,4	14,2
Höhe (mm)	14,4	15,0		14,3

Tabelle 11: Angaben verschiedener Autoren zur mittleren Nierengröße beim Meerschweinchen im Vergleich zu den eigenen Ergebnissen

NIEBERGALL (2003) stellte zudem eine deutliche Abhängigkeit zwischen der Nierenlänge und dem Körpergewicht fest. Eine Abhängigkeit der Nierenbreite vom Körpergewicht konnte nicht nachgewiesen werden. In dieser Arbeit wurde als beste Möglichkeit zur Feststellung der Nierengröße das Nierenvolumen verwendet, das die Ergebnisse aller drei Messungen (longitudinal, transversal, sagittal) vereint. Für das absolute Nierenvolumen konnte eine deutliche positive Korrelation mit der Körpermasse nachgewiesen werden. Dieser Effekt relativiert sich, wenn das relative Volumen betrachtet wird. Mit steigender Körpermasse ist sogar ein leicht sinkendes Nierenvolumen festzustellen. Dies erklärt sich wahrscheinlich durch die bei vielen schwereren Tiere bestehende Adipositas. Auch NIEBERGALL (2003) weist schon darauf hin, dass man berücksichtigen muss, dass sehr adipöse Tiere eventuell im Verhältnis kleinere Nieren als gleichschwere aber größere Tiere besitzen.

Die Bestimmung des relativen Volumens ergibt somit ein von der individuell sehr unterschiedlichen Körpermasse unabhängiges Maß für die Größe der Niere und ist daher für die diagnostische Bewertung der Nierengröße zu empfehlen. Nur eine starke Abmagerung oder eine ausgeprägte Adipositas sollte bei der diagnostischen Bewertung relativer Nierenvolumina berücksichtigt werden.

5.4 Dopplersonographie

Während der dopplersonographischen Untersuchung wurde die Pulsfrequenz der untersuchten Meerschweinchen ermittelt. Diese lag zu Beginn der Untersuchung, also während der Sonographie der linken Niere, im Mittel bei 259 Schlägen pro Minute. Während der Untersuchung der rechten Niere, welche im Anschluss erfolgte, stieg die Herzfrequenz auf im Durchschnitt 285 Schläge pro Minute. Dies weist klar darauf hin, dass mit zunehmender Untersuchungsdauer der Stress für die Tiere steigt. Aus diesem Grund sollte die Untersuchungsdauer möglichst kurz gehalten werden, beziehungsweise bei einer länger andauernden Untersuchung sollte dem Tier eine Möglichkeit zur Erholung und zur Futter- und Wasseraufnahme gegeben werden. Doch auch die höhere Herzfrequenz liegt noch in dem, von anderen Autoren angegebenen, Referenzbereich von 130 – 300 Schlägen pro Minute (BEYNON und COOPER 1997, BERGHOFF 1989). Eine Abhängigkeit der Herzfrequenz von dem Alter, dem Geschlecht oder dem Gewicht des Tieres wurde nicht festgestellt.

Da in der zugänglichen Literatur keine Beschreibung einer dopplersonographischen Untersuchungen an der Meerschweinchenniere gefunden werden konnte, können zum Vergleich nur die Ergebnisse, die an anderen Spezies erhoben wurden, herangezogen werden. GORGAS führte 2004 eine dopplersonographische Untersuchung an der Frettchenniere durch. Wie bei den Frettchen gestaltete sich die Darstellung der peripheren Nierengefäße der Meerschweinchen als schwierig, eine gute Gefäßdarstellung konnte nur bis zu den Aa. intralobares erfolgen. Im Gegensatz zu der dopplersonographischen Untersuchung bei Hunden und Katzen ist mit den zur Verfügung stehenden Ultraschallsystemen keine dopplersonographische Darstellung der Aa. arcuatae beim Meerschweinchen möglich.

5.4.1 Bewertung der Kurvenmorphologie

Da die Meerschweinchen alle das tägliche Handling gewohnt waren und dadurch bei der Untersuchung relativ ruhig blieben, war es problemlos möglich, qualitativ gute Flussprofile zu erhalten, welche alle dem Verlauf eines Niedrigwiderstandsgefäßes

entsprachen. Das Besondere an Niedrigwiderstandsgefäßen ist das Fehlen eines Compliance Peaks, der eigentlich dem vorangehenden systolischen Peak folgen sollte (HALPERN 1995). Das Fehlen des Compliance Peaks wird damit begründet, dass mit steigender Herzfrequenz die Gefäßcompliance sinkt.

5.4.2 Resistance-Index, Pulsatilitäts-Index und Ratio

Die Fließparameter wurden in dieser Arbeit erstmals für gesunde Meerschweinchen ermittelt. Der Resistance-Index lag im Durchschnitt bei $0,61 \pm 0,057$, der Pulsatilitäts-Index lag im Mittel bei $0,79 \pm 0,14$, die Ratio bei 2,57. GORGAS (2004) stellte in ihren Untersuchungen einen Anstieg des RI's bei Frettchen mit gestörtem Allgemeinbefinden fest. Ob dies für Meerschweinchen auch zutrifft, muss noch weiter untersucht werden. Desweiteren wurde, im Gegensatz zu Studien an Hunden und Katzen, beim Frettchen ein Geschlechtsunterschied bezüglich des Resistance-Index festgestellt. So wiesen Rüden signifikant höhere Werte auf als Fähen. Die Ursache für dieses Phänomen wurde nicht geklärt. Im Rahmen dieser Arbeit konnte kein Einfluss des Geschlechts auf keinen der untersuchten Fließparameter festgestellt werden.

DEPKEN (1992) stellte eine Abhängigkeit der Parameter von der Herzfrequenz bei Studien an Katzen fest, auch in der Humanmedizin wurde eine herzfrequenzbedingte Abhängigkeit des Resistance-Index ermittelt (MOSTBECK et al. 1990, SCHWERK et al. 1993). Die Untersuchungen an Frettchen konnten dies nicht bestätigen, was GORGAS damit begründete, dass die Herzfrequenz innerhalb der Gruppe nur sehr gering variierte. Aber auch bei den Meerschweinchen konnte keine Korrelation des Resistance-Index mit der Herzfrequenz nachgewiesen werden, obwohl die Pulsfrequenz bei den vorgestellten Tieren stark schwankte. Im Vergleich zu anderen Tierarten liegt der Resistance-Index bei Meerschweinchen in einem ähnlichen Bereich wie der von Hunden, welcher bei ungefähr 0,62 liegt (NYLAND et al. 1993). Im Vergleich zu Katzen (0,57) (RIVERS et al. 1996) und Frettchen (0,54) (GORGAS 2004) liegt der Resistance-Index beim Meerschweinchen somit höher. Der Pulsatilitäts-Index bei Meerschweinchen (0,79) liegt dagegen in der gleichen Größenordnung wie für Frettchen (0,81) und Katzen (0,8) angegeben (GORGAS, 2004, RIVERS et al. 1996). GORGAS (2004) begründet die relativ niedrigen Werte des Resistance-Index

beim Frettchen mit dem Argument, dass die beim Frettchen relativ hohe Herzfrequenz eine Abnahme der Compliance bedingt und damit die Indizes weniger von dem Gefäßwiderstand beeinflusst werden, wie schon von BUDE et al. (1999) beschrieben. Da bei Meerschweinchen aber ähnlich hohe, zum Teil sogar noch höhere Herzfrequenzen auftreten als bei Frettchen, der RI aber über den Werten der Frettchen liegt, scheint dieser Effekt zumindest tierartübergreifend nicht vorzuliegen. Eine Abhängigkeit des Resistance-Index vom Alter der Tiere, wie beim Menschen (TERRY et al. 1992, SCHWERK et al. 1993) und bei Hundewelpen (HANENBERG 1998), konnte beim Frettchen nicht festgestellt werden. In dieser Arbeit war bis zu einem Alter der Tiere von 6 Jahren ebenfalls keine Abhängigkeit des Resistance-Index vom Alter festzustellen. Bei dem einzigen älteren Meerschweinchen (8,5 J) lagen sowohl der RI, der PI, als auch die Ratio signifikant höher als bei den jüngeren Tieren. Bei diesem Tier konnte in einer folgenden labordiagnostischen Untersuchung kein Anzeichen für eine Nierenerkrankung gefunden werden. In weiteren Untersuchungen ist zu klären, ob es sich in diesem Einzelfall um ein zufälliges Phänomen bzw. ein nicht erkannte evtl. extrarenale Ursache für die extremen Blutfließparameter handelt, oder ob dies für Meerschweinchen im hohen Alter typisch ist.

In wieweit Parenchymveränderungen der Nieren die Indizes beeinflussen, wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht. Beim Frettchen konnte, solange das Allgemeinbefinden ungestört war, aber bereits Parenchymveränderungen vorlagen, kein Anstieg der Parameter gemessen werden. Erst bei einem gestörten Allgemeinbefinden stieg auch der RI an. Auch Untersuchungen von MÖLLER (2001) an Perserkatzen mit Parenchymveränderungen konnten keine Änderung der Indizes nachweisen. Nur Katzen, die auch an einem gestörten Allgemeinbefinden litten, zeigten Veränderungen des Resistance-Index. Dies deckt sich auch mit Angaben aus der Humanmedizin (MOSTBECK et al. 1990).

Insgesamt zeigten sich die Fließparameter beim Meerschweinchen als von Herzfrequenz, Alter, Geschlecht und Körpermasse sehr unabhängige Indizes. In wie weit sie sich deshalb zur Diagnostik von Nierenerkrankungen eignen, muss in einer weiteren Studien geklärt werden. GORGAS (2004) stellte den klinischen Nutzen des Resistance-Index bei Heimtieren, insbesondere Frettchen, in Frage, da er Verän-

derungen aufwies, wenn bereits das Allgemeinbefinden durch extrarenale Krankheiten gestört war. Somit eignet er sich laut GORGAS nicht zur Früherkennung von Nierenerkrankungen. Nach TUBLIN et al. (2003) kann jedoch diese Art der Nierenuntersuchung und die korrekte Auswertung der Dopplerkurve einen bedeutenden Hinweis zur eingeschränkten Nierenfunktion geben, wobei auch hier dem Untersucher bewusst sein muss, dass die Blutfliessparameter durch mehrere Faktoren beeinflusst werden können.

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die Fließparameter an der Niere von gesunden Meerschweinchen zu bestimmen und Normwertewerte zu ermitteln, sowie die Größenangaben der Nieren aus der Literatur zu verifizieren.

Dafür wurden 25 klinisch gesunde Meerschweinchen im Alter von 10 Wochen bis zu 8,5 Jahren untersucht. Die Untersuchung erfolgte bei größeren Tieren mit einer 12 MHz Linearsonde, bei den jungen Tieren mit einer 22 MHz Linearsonde, welche sich beide hervorragend für die Untersuchung eigneten. Während der circa 15 – 20 Minuten dauernden Untersuchung saßen die relativ entspannten Tiere aufrecht auf dem Schoß des Untersuchers. Die Herzfrequenz stieg mit Dauer der Untersuchung, weshalb man sich nicht unbedingt von dem ruhigen Äußeren der Tiere täuschen lassen und die Untersuchung so kurz wie möglich halten sollte.

Die Schnittebenen für die Größenmessungen wurden nach Durchführbarkeit, Reproduzierbarkeit und Stress für die Tiere bewertet. Die ermittelten Werte für die Nierengröße stimmen weitestgehend mit denen der anderen Autoren überein. Zusätzlich wurde noch das absolute und relative Nierenvolumen berechnet, wobei sich das relative Nierenvolumen sich als bestes Kriterium zur Beurteilung der Nierengröße herausstellte. Das mittlere relative Volumen lag bei 2,95 ml pro 100 Gramm Körpergewicht.

Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen hängt unter anderem von der Erfahrung des Untersuchers, den geräteabhängigen Einstellungen und dem Patienten ab. Die Genauigkeit der Distanzmessungen an der Niere liegt ungefähr bei $\pm 10 - 20 \%$.

Die Bestimmung der Fließparameter gestaltete sich nach einer kurzen Übungsphase als relativ einfach und ließ sich bei allen Tieren gut durchführen. Der Transversalschnitt eignete sich für die dopplersonographische Untersuchung am besten. Die Referenzwerte des Resistance-Index liegen mit $0,61 \pm 0,056$ in einem ähnlichen Bereich wie die von Hunden. Der Pulsatilitäts-Index wiederum lag mit $0,79 \pm 0,15$ eher

in der Größenordnung von Katzen und Frettchen. Die Indizes erwiesen sich als für Herzfrequenz, Alter, Geschlecht und Körpermasse unabhängige Parameter. In wie weit sich die Fließparameter zur (Früh-) Diagnostik von Nierenerkrankungen beim Meerschweinchen eignen, muss in einer folgenden Arbeit untersucht werden.

7 Summary

The aim of the present work was a determination of the flow parameters of a healthy guinea pig kidney. In addition, reference values have been measured and size specifications determined and compared to previously performed studies.

In this study 25 healthy guinea pigs aged between 10 weeks and 8.5 years have been investigated. The examination of the animals was carried through with a 12 MHz transducer for larger animals, whereas a 22 MHz transducer was employed for younger and smaller ones. During the 15 to 20 minutes lasting examination the relaxed and stress free animals were positioned upright in the lab of the investigator. Their heart frequency increased significantly with increasing experimental time. This observation suggests to keep the examination as short as possible in spite of the quiet apparel of the animals.

The sectional planes for the size measurements have been evaluated according to their feasibility, reproducibility, and the animals stress factor tolerance. The thus determined values are in gross agreement with previously published data. In addition, the sizes of the kidney planes in all three sectional planes have been determined and the relative kidney volume calculated. The latter turned out to be the best criterion for the estimation of the kidney size. The relative volume was 2.95 ml per 100 gram body weight.

The exactness and reproducibility of the measurements depends on the investigator's experience, the instrumental details, and the patient. Deviations from the average values of 10 – 20 % have to be considered as being due to measuring inaccuracy. Only values deviating above or below this threshold indicate pathological processes and need more intensive investigations.

The determination of the flow parameters turned out to be rather easy and could be well carried through for all animals. The transversal section was found to be the best suited for the Doppler ultrasound examination. The reference value of the resistance index was determined to be $0.61 \pm 0,056$ comparable to the one for dogs. On the

other hand, the pulsatility index of $0.79 \pm 0,15$ is of the order of the one observed for cats or ferrets. Both indices are found to be rather constant and independent parameters which were easy to determine. It remains open in how far the flow parameter is suited for the diagnostic of kidney diseases which has to be pursued in another work.

8 Literaturverzeichnis

Ackermann N., Hager D., Kaude J., 1989

Ultrasound appearance and early detection of Vx2 carcinoma in the rabbit kidney
Veterinary Radiology 30 (2): 88 – 96

Ackermann N., 1991

Radiology and ultrasound of urogenital disease in dogs and cats
Iowa State University Press, Ames, Iowa

Andermann P., 2007

Evaluierung der Intra- und Interobserver-Variabilität bei der 2D-Ultraschall-Schilddrüsenvolumetrie an einem Schilddrüsenphantom – Vergleich zu 3D-Ultraschall-Referenzmessungen an gesunden Probanden
Vet Med Diss, Würzburg

Anderson LC., 1987

Exotic Pet Medicine – Guinea Pig Husbandry and Medicine
Vet Clin North Am Small Anim Pract 17 (5): 1045 – 1060

Arning C., 1996

Dopplersonographie-Verfahren und Prinzip der Farbdopplertechnik
In: Farbkodierte Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien, Hrsg. Arning C.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 1 – 13

Arning C., 2002

In: Extrakranielle hirnversorgende Arterien, Hrsg. Kubale R., Stiegler H.,
Farbkodierte Duplexsonographie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 123-52.

Barr F., Patterson MW., Lucke WM., Gibbs C., 1989

Hypercalcemic nephropathy in three dogs: sonographic appearance
Vet Radiol 30: 169 – 173

Barr F., 1992

Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze
Fischer Verlag, Stuttgart, Jena

Bartenschlager EM., 1986

Die Tiersprechstunde – Alles über Meerschweinchen
Falken Verlag GmbH, S. 7 – 15

Becker G., 2002

Gehirn und Hirngefäße
In: Farbkodierte Duplexsonographie, Hrsg. Kubale R., Stiegler H.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 153 – 186

Beregi A., Molnar V., Zorn S., Felkai C., Voros K., 2000

Abdominal ultrasonography in pet guinea pigs
Acta Veterinaria Hungarica 48 (3): 261 – 269

Beregi A., Zorn S., Felkai F., 1999

Ultrasound diagnosis of ovarian cysts in ten guinea pigs
Vet Radiol Ultrasound 40 (1): 74 - 76

Berghoff P., 1989

Kleine Heimtiere und ihre Erkrankungen
Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg
Band 1, S. 10 – 15

Beynon PH., Cooper JE., 1997

Kompendium der Heimtiere Haltung – Diagnostik – Therapie
Schlütersche Verlag, Hannover

Bitzinger NH., 2008

Abdominale Sonographie beim Meerschweinchen (*Cavia aperea* f. *porcellus*, L. 1758)
Vet Med Diss, München

Bland M., 2000

An Introduction to medical statistics
3. Auflage, Medical Publication, Oxford, S. 270 - 272

Brandt, H-P., 1972

Goldhamster, Meerschweinchen und andere Liebhabertiere in der Allgemeinpraxis
Der Praktische Tierarzt 13: 539 – 542

Breazile JE., Brown EM., 1976

Kapitel 6: Anatomy
In: Wagner u. Manning: The biology of the guinea-pig
Academic Press, New York, San Francisco, S. 60 – 61

Bublak S., 2002

Sonographie einschließlich Dopplerechographie der Nieren sowie ausgesuchter Gefäße des Abdomens und der Beckengliedmaße beim Alpaka (*Lama pacos*)
Diss Med Vet, München

Bude RO., Rubin J., 1999

Relationship between the resistive index and vascular compliance and resistance
Radiology 211: 411 – 417

Burckhardt CB., 1993

Signal processing in ultrasound imaging, Doppler and Doppler imaging
Ultraschall Med 14 (5): 220 – 224

Cao Y., Okada N., Hasegawa M., 1997

Phylogenetic Position of Guinea Pigs Revisited
Mol Biol Evol 14 (4): 461 – 464

Chang D., Seo M., Choi H., Lee H., Lee K., Eom K. et al., 2002

Applications of Transarterial Embolization of Renal Artery in Rabbits with
Experimental Hydronephrosis
J Vet Med Sci 64: 693 – 698

**Choi H., Won S., Chung W., Lee K., Chang D., Lee H., Eom K., Lee Y., Yoon J.,
2003**

Effect of intravenous mannitol upon Resistive Index in complete unilateral renal
obstruction in dogs
J Vet Intern Med 17: 158 – 162

Coatney RW., 2001

Ultrasound Imaging: Principles and Applications in Rodent Research
ILAR Journal 42 (3): 233 – 247

Cooper G., Schiller AL., 1975

Anatomy of the guinea pig
Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts

Deckinger V., 2003

Konventionelle und neue echokardiographische Methoden zur Beurteilung der
systolischen und diastolischen Herzfunktion sowie Dopplersonographie der Arteriae
interlobares bei gesunden Dachshunden
Vet Med Diss, München

Delorme S., 2002

Tumorvaskularisation
In: Farbkodierte Duplexsonographie, Hrsg. Kubale R., Stiegler H.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 483 – 498

Depken U., 1999

Farbkodierte und konventionelle Dopplersonographie von Arterien und Venen
verschiedener abdominaler Organe bei adulten europäischen Hauskatzen
Vet Med Diss, München

D'Erchia AM., Gissi C., Pesole G., Saccone C., Amason U., 1996

The guinea-pig is not a rodent
Nature 381: 597 – 600

Doppler JC., 1843

Über das farbige Licht der Dopplersterne und einiger anderer Gestirne des Himmels
Abh königl böhm Ges Wiss 2: 465 – 482

Drewes K., 2001

Stellenwert der Messung des renalen Widerstandsindex bei Patienten mit Leberzirrhose
Vet Med Diss, Hannover

Engelke A., 1997

Ultraschalluntersuchung der Harn- und Geschlechtsorgane beim Meerschweinchen und Zwergkaninchen
In: 43. Jahrestagung der Fachgruppe Kleintierkrankheiten der dtsh. Veterinärmed. Ges., Hannover 1997
Kongressbericht, S. 276 – 279

Ewringmann A., Glöckner B., 2005

Leitsymptome bei Meerschweinchen, Chinchilla und Degu
Enke Verlag, Stuttgart

Ewringmann A., Glöckner B., 2008

Erkrankungen der Harn- und Geschlechtsorgane
Schwerpunkt Heimtiere mit ECAMS-Symposium
LBH: Proceedings 4. Leipziger Tierärztekongress, 422 - 425

Fehr M., 1990

Urolithiasis bei Kaninchen und Meerschweinchen
Der Praktische Tierarzt 10: 36

Fehr, M. 1997

Erkrankungen und chirurgische Eingriffe am Urogenitaltrakt des Kleinsäugers
In: 18. Bayerische Tierärztetag, München 1997
Vortragszusammenfassungen, S. 109 – 110

Fehr M., Rappold S., 1997

Harnsteinbildung bei 20 Meerschweinchen (*Cavia porcellus*)
Tierärztliche Praxis 25: 543 – 547

Fehr M., Sagawe J., Klawitter A., 1999

Operationen am Harnapparat beim Heimtier
Klinik für kleine Haustier, Tierärztliche Hochschule Hannover

Fehr M., 1999

Diagnosen und Gründe für die Vorstellung von Heimtieren in der tierärztlichen Praxis
In: Praxisrelevante Fragen zur Ernährung kleiner Heimtiere, Hrsg. Kamphues J., Wolf P., Fehr M.
Aus: Beiträge einer Fortbildungsveranstaltung des Institutes für Tierernährung und der Klinik für kleine Haustiere der Tierärztlichen Hochschule Hannover, 02,10,1999, S. 1 – 3

Fluckinger F., Steiner H., Horn S., Ratschek M., DEu E., 1990

Color-coded duplex sonography and the resistive index in dysfunctional kidney transplants

Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahre 153 (6): 692 – 697

Frankling DL., Schlegel W., Rushmer RF., 1961

Blood flow measurement by doppler frequency shift of back-scattered ultrasound

Science: 134, 564

Frauscher F., Radmayr C., Klauser A., Helweg G., Amort B., Zur ND. Et al., 1999

Assessment of renal resistance index in children with vesico-uretral reflux

Ultraschall Med 20 (3): 93 – 97

Frings B., 2004

Abdominale Sonographie beim Frettchen (*Mustela putorius f. furo* L. 1758)

Vet Med Diss, München

Fritsch R., Gerwing M., 1993

Physikalische und technische Grundlagen der Sonographie

In: Sonographie bei Hund und Katze, Hrsg. Fritsch R., Gerwing M.

Enke Verlag, Stuttgart, S. 18 – 20

Fuchs S., Köhler C., Oechtering G., Alef M., Kiefer I., 2011

Ultraschall Abdomen bei Kaninchen und Meerschweinchen – sonographische Anatomie und Normalbefunde

In: Kleintier Konkret (4), Enke Verlag, Stuttgart, S. 19 – 31

Gabrisch K., Zwart. P., 1998

Krankheiten der Heimtiere

3 Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover

Gaschen L., Ketz C., Lang J., Weber U., Bacciarini L., Kohler I., 1998

Ultrasonographic detection of adrenal gland tumor and ureterolithiasis in a guinea pig

Vet Radiol & Ultrasound 39 (1): 43 – 46

Gelatt-Nicholson KJ., Gelatt KN., MacKay E., Brooks DE., Newell SM., 1999

Doppler imaging of the ophthalmic vasculature of the normal dog: blood velocity measurements and reproducibility

Vet Ophthalmol 2 (2): 87 – 96

Gneiser B., 2006

Abdominale Sonographie beim Degu

Vet Med Diss, München

Göbel T., 1993

Häufige Krankheitsbilder bei Kleinsäugetern in der tierärztlichen Praxis

In: 18, Weltkongress der WSAVA, Berlin

Göbel T., Ewringmann A., 2005

Meerschweinchen
In: Heimtierkrankheiten
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 69f.

Göddenhenrich F., 1997

Duplexsonographie der Aorta abdominalis und Vena cava caudalis einschließlich ihrer großen abdominalen Abgänge und Zuflüsse bei der Katze
Vet Med Diss, Hannover

Gorgas D., 2004

Sonographische Untersuchung der Nieren beim Frettchen (*Mustela putorius f. furo* L. 1758)
Vet Med Diss, München

Gosling R., King DH., 1974

Arterial assessment by Doppler-shift ultrasound
Proc R Soc Med: 447 – 449

Götz VI., 1999

Duplex- und Triplexsonographie abdominaler Organe und ihrer Gefäße beim adulten Beagle
Vet Med Diss, Hannover

Graur D., Hide WA., Li W-H., 1991

Is the guinea pig a rodent?
Nature 351: 649 – 651

Grodtmann E., 2007

Abdominale Sonographie der Mongolischen Rennmaus (*Meriones unguiculatus* Milne-Edwards 1867)
Vet Med Diss, München

Gumbsch P., Gabler C., Holzmann A., 2002

Colour-coded duplex sonography of the testes of dogs
Vet Rec 151 (5): 140 – 144

Halpern EJ, Deane CR., Needman L., Merton DA., East SA., 1995

Normal renal artery spectral Doppler waveform: A closer look
Radiology 196: 667 - 673

Hamel I., 2002

Das Meerschweinchen als Patient
Enke Verlag, Stuttgart, 2. Auflage

Hanenberg I., 1998

Duplex- und Triplexsonographie abdominaler Gefäße von Katzenwelpen in den ersten Lebenswochen
Vet Med Diss, München

Harkness JE., Wagner JE., 1995

The biology and medicine of rabbits and rodents
4 Auflage, Williams und Wilkins, Baltimore, Philadelphia

Hartmann K., Hein J., Ripken A., Majzoub M., Hirschberger J., Schulz B., 2001

Leukämisches malignes Lymphom beim Meerschweinchen – zwei Fälle
Tierärztliche Praxis 29: 256 – 263

Hartung J., 1999

Empfehlung zur artgerechten Haltung kleiner Heimtiere am Beispiel von Frettchen und Meerschweinchen
In: Praxisrelevante Fragen der Ernährung kleiner Heimtiere
Beiträge einer Fortbildungsveranstaltung des Institutes für Tierernährung und der Klinik für kleine Haustiere der Tierärztlichen Hochschule Hannover, 02.10.1999, S. 35 – 38

Hennerici M., Neuerburg-Heusler D., 1988

Gefäßdiagnostik mit Ultraschall
Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Herre W., Röhrs M., 1990

Haustiere – zoologisch gesehen
Gustav Fischer Verlag, 2. Auflage, S. 36

Hida Y., Matsui N., Kawada T., Fushiki T., 1999

Ultrasonography evaluation of abdominal fat in live rats
Journal of Nutritional Science and Vitaminology 45 (5): 609 – 619

Hofer HL., 2004

Urolithiasis in Rabbits and Guinea Pig
Selected Papers from the international conference on exotics
Exotics – Small Mammals, DVM, Orlando, Florida, Vol. 6 (2), S. 23 - 25

Hofer M., 1999

Dopplerindizes
In: FKDS-Kursbuch, Hrsg. Hofer M.
Matthias Hofer Verlag, Düsseldorf, Didamed

Hoffmann G., 1961

Abriß der Laboratoriumstiere
Fischer Verlag, Jena, S. 120 – 123, 155 - 157

Holle G., Schneider H-J., 1961

Über das Verhalten der Nierengefäße bei einseitiger experimenteller Hydronephrose
Virchows Arch path Anat 334: 475 - 488

Hollenbeck M., 1999

Nephrologie

In: FKDS-Kursbuch, Hrsg. Hofer M.

Matthias Hofer Verlag, Düsseldorf, Didamed, S. 44 - 50

Hollenbeck M., 2000

Niere

In: Moderne Sonographie, Hrsg. Fürst G., Koschwitz D.

Thieme Verlag, Stuttgart

Hollmann P., 1993

Das Meerschweinchen

Bayerische Landestierärztekammer, München

Huck K., 2001

Funktionell orientierte angiologische Untersuchung mit dem Dopplerverfahren

In: Kursbuch Doppler- und Duplexsonographie, Hrsg. Huck K.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 31 – 110

Huck K., 2001

Hämodynamik

In: Kursbuch Doppler- und Duplexsonographie, Hrsg. Huck K.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 5 – 28

Huck K., 2001

Ultraschalldiagnostik bei Gefäßerkrankungen

In: Kursbuch Doppler- und Duplexsonographie, Hrsg. Huck K.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 1 – 3

Hurst JL., 1999

Introduction to rodents

In: The UFAW Handbook on the care and management of laboratory animals, Hrsg. Poole T.

7. Auflage, Blackwell Science, Oxford, S. 262 - 274

Ichii O., Yabuki A., Ojima T., Matsumoto M., Suzuki S., 2006

Rodent Renal Structure Differs among Species

J Vet Med Sci 68 (5): 439 – 445

Industrieverband Heimtierbedarf (IHV) e.V. 2009

Der deutsche Heimtiermarkt, Struktur und Umsatzdaten

www.ihv-online.de

Isenbügel E., Frank W., 1985

Kap. 2: Meerschweinchen

In: Heimtierkrankheiten, Hrsg: Isenbügel E., Frank W.

Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 17f.

Janthur M., Lüerssen D., 2001

Nieren und Harnleiter

In: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik, Hrsg. Poulsen Nautrup C., Tobias R.

3. Auflage, Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover, S. 210 – 227

Johnston DE., 1991

The Compendium Collection – Exotic Animal Medicine in Practice

Veterinary Learning Systems, Trenton, New Jersey, S. 15f.

Jung S., 1962

Grundlagen für die Zucht und Haltung der wichtigsten Versuchstiere

Fischer Verlag, Stuttgart

Kamphues J., 1991

Calcium Metabolism of Rabbits as an Etiological Factor for Urolithiasis

J. Nutr. 121: 95 – 96

Kamphues J., 2004

Häufige Fütterungsfehler und Hinweise zur Diätetik (Kaninchen und Meerschweinchen)

Fortbildungskurs der AG Gastroenterologie der DVG und ATF

(Fortbildungszusammenfassung) Hannover, S. 25 – 27

Kaarmann H., Wessels G., 1983

Physikalische Grundlagen

In: Ultraschalldiagnostik, Lehrbuch und Atlas, Hrsg. Braun B., Günther R., Schwerk WB.

Ecomed Verlagsgesellschaft mbH, Landsberg, Zürich, S. 1 – 36

Kaemmerer H., 1984

Die sonographische Untersuchung des Abdomens bei Kleintieren

Dtsch Tierarztl Wochenschr 91: 267 – 273

Kealy JK., McAllister H., 2000

Diagnostic Radiology and Ultrasonography of the Dog and Cat

Saunders Company, Philadelphia, London

Kiefer I., 2005

Sonographisch erfassbare Parameter der Nierendurchblutung beim Hund unter dem Einfluss ausgewählter Anästhesieprotokolle

Vet Med Diss, Leipzig

Kiefer J., Kiefer I., 2003

Prinzipien klinischer Anwendungen, Allgemeine Radiologie
Parey Buchverlag im Blackwell Verlag GmbH, Berlin, S. 20 -23

Kiefer J., Kiefer I., 2003

Nicht ionisierende Strahlen und Ultraschall. Allgemeine Radiologie
Parey Buchverlag im Blackwell Verlag GmbH, Berlin, S. 49 -74

Kiefer J., Kiefer I., 2003

Ultraschall. Allgemein Radiologie
Parey Buchverlag im Blackwell Verlag GmbH, Berlin, S. 10 -13

Kiefer I., Himmelsbach P., Müller F., Bosch B., Hause A., Oechtering MA., 2008

Spezifische Aspekte der Ultraschalluntersuchung bei Kaninchen und Nagern
Schwerpunkt Heimtiere mit ECAMS-Symposium
LBH: Proceedings 4. Leipziger Tierärztekongress, 420 – 421

Klews PM., 1993

Physik und Technik der farbkodierten Duplexsonographie (FKDS)
In: Farbkodierte Duplexsonographie. Grundlagen und klinische Anwendung, Hrsg.
Wolf K-J., Fobbe F.
Thieme Verlag, Stuttgart, New York

Klews PM., 2002

Die Physik der Ultraschallverfahren
In: Farbkodierte Duplexsonographie, Hrsg. Kubale R., Stiegler H.
Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 1 – 70

Klews PM., Stiegler H., 2002

Die Physik und Technik der Ultraschalldiagnoseverfahren
In: Farbkodierte Duplexsonographie, Hrsg. Kubale R., Stiegler H.
Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 1 – 69

Knapp R., Plötzeneder A., Frauscher F., Helweg G., Judmaier W., Zur Nedden D., Rehceis W., Bartsch G., 1995

Variability of doppler parameters in the healthy kidney
J Ultrasound Med 14: 427 – 429

Knipp BS., Ailawadi G., Sullivan VV., Roelofs KJ. et al., 2003

Ultrasound measurement of aortic diameters in rodent models of aneurysm disease
Journal of Surgical Research 112 (11): 97 – 101

Kopp H., Ludwig M., 1999

Abdominale Arterien
In: Checkliste Doppler- und Duplexsonographie, Hrsg. Kopp H., Ludwig M.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 198 - 232

Kükenthal WG., Platzer W., 1968

Morphologie der Nieren und ihrer Ableitungswege
In: Handbuch der Zoologie, Bd. Mammalia, Hrsg. Krumbach T.
W. de Gruyter Verlag, Berlin

Kunkel P., Kunkel I., 1964

Beiträge zur Ethologie des Hausmeerschweinchens
Cavia aperea f. *porcellus* (L.)
Zeitschrift für Tierpsychologie 21: 602 – 641

Kunstyr I., Heimann W., Gärtner K. 1977

Meerschweinchen als Liebhabertiere und Patienten
Tierärztliche Praxis 5: 99 – 113

Kuntze A., 1992

Praxisrelevante Erkrankungen bei Meerschweinchen und Goldhamster
Monatshefte für Veterinärmedizin 47: 143 – 147
Kuriyama S., Tsujimoto T., Nakatani Y., Tsujinoue H. et al., 1999
Sonography estimation of liver tumor development induced by oral administration of
thioacetamide in rat
In Vivo 13 (2): 129 – 134

Künzel F., 2004

Gastrointestinale Erkrankungen von Kaninchen und Nagern
Fortbildungskurs der AG Gastroenterologie der DVG und der ATF
(Fortbildungszusammenfassung) Hannover, S. 6 – 13

Laiber-Laird K., Swindle MM., Flecknell PA. 1996

Handbook of rodents and rabbits medicine
Pergamon Press, Oxford: 183 - 219

Lamb CR., 1990

Abdominal ultrasonography in small animals: Intestinal tract and mesentery, kidneys,
adrenal glands, uterus and prostate
J. of small Anim Pract: 31: 295 – 304

LAMB CR., 1998

Ultrasonography of the urethers
Vet Clin North Am Small Anim Pract 28 (4): 799 - 821

Landwehr P., 1993

Hämodynamische Grundlagen
Thieme Verlag, Stuttgart, New York

Lehmann J., 2007

Abdominale Sonographie bei der Ratte (*Rattus norvegicus* f. *domestica*)
Vet Med Diss, München

Li W-H., Hide WA., Zharkikh A., Ma D-P., Graur D., 1992

The Molecular Taxonomy and Evolution of the Guinea Pig
J Hered 83: 174 – 181

Liebich H.-G., König HE., Maierl J., 2002

Harnorgane

In: Anatomie der Haussäugetiere, Organe, Kreislauf- und Nervensystem, Hrsg.

Liebich H.-G., König HE.

2.Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart, New York, S.103f.

Lings S., Spratt RS., 1997

Hemodynamic Imaging with Pulsatility-Index and Resistive-Index Color Doppler US
Radiology 204: 870 – 873

Marschner H., 1937

Art- und Altersmerkmale der Nieren der Haussäugetiere (Pferd, Rind, Schaf, Ziege,
Hund, Katze, Kaninchen, Meerschweinchen)

Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte 107, 353-377

Marshall M., 1993

Kurzer Abriss der direktionalen Ultraschall-Doppler-Untersuchung

In: Praktische Duplex-Sonographie, Hrsg. Marshall M.

Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 5 – 48

Martin P., 1923

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere

2. Auflage, Schickhardt und Ebner, Stuttgart, S. 313 . 337

Mattoon JS., Auld DM., Nyland TG., 2002

Abdominal ultrasound scanning techniques

In small animal diagnostic ultrasound, Hrsg. Nyland TG, Mattoon JS.

Saunders Company, Philadelphia, S. 49 - 81

Mc Dermott R., Teefy S., Middleton W., 2000

The resistive index in renal parenchymal disease: no correlation with histopathologic
findings

Radiology 217: 560 – 563

Mitchell SK., Toal RL., Daniel GB., Rohrbach BW., 1998

Evaluation of renal hemodynamics in awake and isofluran-anesthetized cats with
pulsed-wave Doppler and quantitative renal szintigraphy

Vet Radiol Ultrasound 39 (5): 451 -458

Molares E., 1995

The Guinea Pig

The University of Arizona Press, Arizona

Möller U., 2001

Polyzystisches Nierensyndrom (PKD) bei Perserkatzen – Studie mit verschiedenen Ultraschallverfahren
Vet Med Diss, München

Morrow KL., Salman MD., Lappin MR., Wrigley R., 1996

Comparison of the Resistive Index to clinical parameters in dogs with clinical disease
Vet Radiol Ultrasound 37: 193 – 199

Mostbeck GH., Gössinger HD., Mallek R., Siostrzonek P., Schneider B., Tscholakoff D., 1990

Effect of heart rate on doppler measurements of Resistive Index in renal arteries
Radiology 175: 511 – 513

Mück-Weymann M., Wuppermann T., 2000

Physiologie und Pathophysiologie des Blutflusses
In: Ultraschallkurs Gefäße, Hrsg. Wuppermann T.
Urban & Fischer Verlag, München, Jena

Müsgen D., 2000

Physik und Technische Grundlagen
In: Moderne Sonographie, Hrsg. Fürst G., Koschwitz D.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Nelson TR., Pretorius DH., 1988

The Doppler signal: Where does it come from and what does it mean?
Am J Roentgenol 151: 439 – 447

Niebergall A., 2003

Sonographische Befunderhebung am männlichen und weiblichen Geschlechtsapparat von Zwergkaninchen und Meerschweinchen
Vet Med Diss, Hannover

North D., 1999

Kap. 23: The Guinea-Pig
In: The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals ,
Hrsg. Poole, T.
Blackwell Science Ltd., Oxford
5 Auflage, Band 1: Terrestrial Vertebrates, S. 367f.

Nowak RM., 1999

Walker's mammals of the world
Baltimore, John Hopkins University Express
6. Auflage, Band 11, Order Rodentia

Nyland T., Mattoon JS., Herrgesell ER., Wisner E., 2002

Urinary tract

In: Small Animal Diagnostic Ultrasound, Hrsg. Nyland T., Mattoon JS.
Saunders Company, Philadelphia, London, S. 158 – 195

Nyland T., Mattoon JS., 1995

Veterinary Diagnostic Ultrasound

Saunders Company, Philadelphia, London

Nyland TG., Fisher PE., Doverspike M., Hornof WJ., Harvey MS., Olander HJ., 1993

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

O'Malley B., 2008

Meerschweinchen

In: Klinische Anatomie und Physiologie bei kleinen Heimtieren, Vögeln, Reptilien und Amphibien, Hrsg. O'Malley B.

Urban & Fischer Verlag, München, Jena, S. 229 - 243

Orcutt CJ., 2003

Ferret urogenital disease

Vet Clin Exot Anim 6: 113 - 138

Percy DH., Barthold SW., 2001

Pathology of laboratory rodents and rabbits

2. Auflage, Blackwell Publishing Ltd, Iowa

Peterson LJ., Petersen JR., Ladefoged SD., Mehlsen J., Jensen HA., 1995

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

Philippe H., 1997

Rodent Monophyly: Pitfalls of Molecular Phylogenies

J Mol Evol 45: 712 – 715

Platt JF., Ellis JH., Rubin JM., 1990

Intrarenal arterial doppler sonography in patients with nonobstructive renal disease: Correlation with biopsy findings

Am J Roentgenol 154: 1223 – 1227

Platt JF., 1997

Doppler ultrasound of the kidney

Seminars in ultrasound, CT and MRI 18: 22 – 32

Pollard R., Nyland TG., Bernstein L., Gregory CR., Hornof WJ., 1999

Ultrasonographic evaluation of renal autografts in normal cats
Vet Radiol Ultrasound 40 (4): 380 – 385

Potempa DM., Rassweiler J., 1997

Technische Grundlagen

In: Ultraschall in der Urologie, Hrsg. Rassweiler J., Merkle W.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 2 – 11

Poulsen Nautrup C., 1998

Sonographische Phänomene und Artefakte

In: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, Hrsg. Poulsen Nautrup C., Tobias R.

2. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 60 -75

Poulsen Nautrup C., 2001

Technische Grundlagen

In: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, Hrsg. Poulsen Nautrup C., Tobias R.

3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 31 -59

Poulsen Nautrup C., 2001

Untersuchungstechniken

In: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, Hrsg. Poulsen Nautrup C., Tobias R.

3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 76 -82

Poulsen Nautrup C., 2007

Physikalische Grundlagen

In: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, Hrsg. Poulsen Nautrup C., Tobias R.

4. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 21- 30

Pourcelot L., 1974

Applications cliniques de l'examen Doppler transcutané, Les colloques de l'institute national de la santé et de la recherche médicale

INSERM (34): 213 – 240

Preissecker E., 1958

Urogenitalsystem. Weibliche Genitalorgane

In: Pathologie der Laboratoriumstiere, Hrsg. Cohrs P., Jaffé R., Meessen H.

Springer Verlag, Berlin, Band 1, S. 392f.

Quesensberry KE., 1994

Exotic Pet Medicine 2 – Guinea Pigs

Vet Clin North Am Small Anim Pract 24 (1): 67 – 87

Quesensberry KE., Donnelly TM., Hillyer EV., 2004

Kapitel 23: Biology Husbandry, and Clinical Techniques of Guinea Pigs and Chinchillas

In: Ferrets, Rabbits, and Rodents, Hrsg: Quesensberry KE., Carpenter JW. Saunders, 2. Auflage, S. 232 – 244

Rademacher J., Mengel M., Ellis S., Stucht S., Hiss M., Schwarz A., Eisenberger U., Burg M., Luft F., Gwinner W., Haller H., 2003

The renal arterial Resistance Index and renal allograft survival
N Engl J Med 349: 115 – 124

Raisis AL., Young LE., Meire HB., Taylor PM., Blissitt KJ., Marlin D. et al., 2000

Measurements of hindlimb blood flow vasoactive agents in halothane-anesthetized horses

Vet Radiol Ultrasound 41 (1): 64 – 72

Randerath E., Hieronymi G., 1958

Urogenitalsystem, Erkrankungen der Harnorgane

In: Pathologie der Laboratoriumstiere, Hrsg. Cohrs P., Jaffé R., Meessen H. Springer Verlag, Berlin, Band 1, S. 358f.

Rappold S., 2001

Vergleichende Urolithiasis bei Kaninchen und Meerschweinchen
Vet Med Diss, Hannover

Reese S., 2009

Sonographische Anatomie, Abdomen

In: Atlas der bildgebenden Diagnostik bei Heimtieren, Hrsg. Krautwald-Junghanns M-e., Pees M., Reese S., Tully T.

Schlütersche Verlag, Hannover, S. 176 - 236

Reidt M., 1995

Hochfrequente 20 MHz Sonographie zur Gewebediagnostik an gesunden und pathologisch veränderten Rattenharnblasen
Bochum

Restrepo-Schafer IK., Schwerk WB., Muller TF., Prinz H., Gorg C., Arnold R., 1999

Intrarenal doppler flow analysis in patients with kidney transplantation and stable transplant function

Ultraschall Med 20 (3): 87 -92

Richardson VCG., 2000

Disease of Domestic Guinea Pigs

Blackwell Science Ltd., Oxford

2. Auflage, S. 14f., 39f., 50f.

Riecken A., 2008

Untersuchungen zu Ovarialzysten beim Meerschweinchen
Vet Med Diss, Hannover

Rivers BJ., Johnston GR., 1996

Diagnostic imaging strategies in small animal nephrology
Vet Clin North Am Small Anim Pract 26: 1505 – 1517

**Rivers BJ., Walter PA., Letourneau JG., Finlay DE., Ritenour ER., King VL.,
O'Brien D., Polzin DJ., 1997**

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

Rivers BJ., Walter PA., O'Brien TD., Polzin DJ., 1996

Duplex doppler estimation of Pourcelot Resistive Index in arcuate arteries of sedated
normal cats
J Vet Intern Med 10: 28 – 33

Rivers BJ., Walter PA., Polzin DJ., King VL., 1997

Duplex doppler estimation of Pourcelot Resistive Index in dogs and cats with renal
disease
J Vet Intern Med 11: 250 – 260

Rohrweber I., 1999

Duplex und Triplexsonographie großer Arterien und Venen bei Hundewelpen in den
ersten Lebenswochen
Vet Med Diss, München

Rosengarten A., 2004

Untersuchungen zur kurzfristigen Ernährung von Kaninchen und Meerschweinchen
über eine orogastrale Sonde bei der Variation der Zusammensetzung
(Komponenten, Nährstoffgehalt und Energiedichte) des applizierten Futters
Vet Med Diss, Hannover

Satumora S., Kaneko Z., 1960

Ultrasonic blood rheography
Proceedings of the 3rd international conference of medical electronics: 254

Schäberle W., 1998

Grundlagen
In: Ultraschall in der Gefäßdiagnostik, Hrsg. Schäberle W.
Springer Verlag, New York, Berlin

Schiebler TH., 1959

Morphologie der Nieren
In: Handbuch der Zoologie, Bd. 8, Hrsg. Krumbach T.
W. de Gruyter Verlag, Berlin

Schmidt G., 1973

Kleinsäuger
Verlag Eugen, Stuttgart, S. 17f., 150f.

Scholz S., 1992

Sonographisch-anatomische Darstellung der Bauchhöhlenorgane Leber, Gallenblase, Milz und Nieren der Katze (*Felis domestica*)
Vet Med Diss, Hannover

Scholz S., Poulsen Nautrup C., Wissdorf H., 1993

Die abdominale Ultraschalluntersuchung bei der Hauskatze
Kleintierpraxis 38: 615 - 688

Schwerk WB., Restrepo IK., Prinz H., 1993

Semiquantitative Analyse intrarenaler arterieller Dopplerflußspektren bei gesunden Erwachsenen
Ultraschall in der Medizin 14: 117 -122

Silvermann S., 1993

Diagnostic imaging of exotic pets
In: Exotic pet medicine 1
Vet Clin North Am 23: 1287 – 1299

Spink RR., 1978

Urolithiasis in a Guinea Pig
Veterinary Medicine / Small Animal Clinician 73: 501 - 502

Stahnke A., Hendrichs H., 1997

Meerschweinchenverwandte Nagetiere
In: Grzimeks Enzyklopädie Säugetiere, Hrsg. Bernhard Grzimek
Kindler Verlag GmbH, München, Band 3, S. 314 – 357

Storch G., 1997

Nagetiere – Einleitung
In: Grzimeks Enzyklopädie Säugetiere, Hrsg. Bernhard Grzimek
Kindler Verlag GmbH, München, Band 3, S. 4 – 13

Stützel K., 1994

Praktische Durchführung der Ultraschalluntersuchung des Abdomens
In: Abdominelle Sonographie bei Hund und Katze, Hrsg. Stützel K.
Verlag Medicus-Partner, Budapest, S. 34 - 40

Stuppy DE., Douglass PR., Douglass PJ., 1979

Urolithiasis and Cystotomy in a guinea pig
Veterinary Medicine / Small Animal Clinician 74: 565 – 567

Suzuki T., Takezawa Y., Tamura Y., Mashimo T. et al., 1991

Sectional anatomy of the pelvis in the male rat with ultrasound correlations
Anatomical Record 231 (2): 275 – 285

Sweeny WE., Hamahira K., Sweeny J., Garcia-Gatrell M., Frost P., Avner ED., 2003

Combination treatment of PKD utilizing dual inhibition of EGF-receptor activity and ligand bioavailability
Kidney Int 64 (4): 1310 – 1319

Terry JD., Rysavy JA., Drick MP., 1992

Intrarenal Doppler: Characteristics of aging kidneys
J Ultrasound Med 11: 647 - 651

Thiehle A., Fehr M., 1999

Klinische Diagnostik des Harnapparates bei Heimtieren
In: Praxisrelevante Fragen zur Ernährung kleiner Heimtiere, Hrsg. Kamphues J., Wolf P., Fehr M.
Aus: Beiträge einer Fortbildungsveranstaltung des Institutes für Tierernährung und der Klinik für kleine Haustiere der Tierärztlichen Hochschule Hannover, 02.10.1999, S. 95 – 97

Tublin PA, Feeney DA., Johnston GR., O'Leary TP., 1987

The resistive index in renal Doppler sonography: Where do we stand?
A J Roentgenol 180: 885 – 892

Vaughan TA., 1986

Carnivora
In: Mammalogy
3. Auflage, Saunders College Publishing, Philadelphia

Wagner JE., Manning PJ., 1976

The Biology of the guinea pig
Academic Press, S. 1 – 11

Walter PA., Feeney DA., Johnston GR., O'Leary TP., 1987

Ultrasonographic evaluation of renal parenchymal disease in dogs: 32 cases (1981 – 1986)
J Am Vet Med Assoc 191: 999 – 1007

Walter PA., Feeney DA., Johnston GR., O'Brien TD., 1987

Renal Ultrasonography in healthy cats
Am J Vet Res 48: 600 -607

Wasel E., 1984

Innere Erkrankungen beim Meerschweinchen und Hamster
Der Praktische Tierarzt 6: 498 – 502

Wasel E., 2005

Kapitel 2: Meerschweinchen

In: Krankheiten der Heimtiere, Hrsg. Gabrisch K., Zwart P.

Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover

6. Auflage, S. 51- -80

Weir BJ., 1974

Notes on the Origin of the Domestic Guinea-Pig

Symp Zool Soc Lond 34: 437 – 446

Weskott HP., Kubale R., 2002

Leber und portovenöses System

In: Farbkodierte Duplexsonographie, Hrsg. Kubale R., Stiegler H.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart; New York, S. 298 - 341

Westheide W., Rieger R., 2004

Spezielle Zoologie

Teil 2: Wirbel- oder Schädeltiere

Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin

Wilk W., 1988

Krankheiten der Hasenartigen und der Nagetiere

In: Kompendium der Heimtierkrankheiten, Hrsg. Wiesner E.

Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Band 1, S. 30f.

Winters WD., McDonald RA., Krauter LD., 1997

The detection of murine autosomal recessive polycystic kidney disease using real-time ultrasound

Pediatr Nephrol 11 (3): 337 – 338

Woerle R., Wolf G., 1977

Großes zoologisches Praktikum

Das Hausmeerschweinchen – Eine Präparationsanleitung

Fischer Verlag, Stuttgart, New York

Wuppermann T., 2000

Ultraschallkurs Gefäße

1. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München, Jena

Yarmenitis SD., Kalogeropoulou CP., Hatjikoni O., Ravazoula P. et al., 2000

An experimental approach of the Doppler perfusion index of the liver in detecting occult hepatic metastasis: histological findings related to the hemodynamic measurements in Wistar rats

European radiology 10 (3): 417 – 424

Danksagung

Als erstes möchte ich mich ganz besonders bei Herrn PD Dr. Sven Reese bedanken, für die Überlassung des sehr interessanten Themas sowie für die großartige Betreuung und Hilfe bei der Durchführung der Untersuchungen und der Ausarbeitung der Dissertation, wo er stets mit Rat und Tat und sehr viel Geduld und wertvollen Tipps zur Seite stand.

Ein großer Dank geht an die Meerschweinchenbesitzer, insbesondere Carina Neukomm, die mir ihre Meerschweinchen im Anschluss an den Gesundheitscheck zur Untersuchung zur Verfügung gestellt haben.

Sehr herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Willi Pütz, für die Hilfe und große Geduld bei Erklärungen zur Anwendung des Ultraschallgerätes und den wertvollen Tipps zur Bedienung des dazu gehörigen Computerprogramms.

Mein größter Dank geht an meine Familie, insbesondere meine Eltern, für die geduldige Unterstützung während meiner Ausbildung und der Anfertigung der Dissertation.