

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 Kaninchen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde

der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität

München

von

Christina Ullrich

aus Landau

München 2013

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Sven Reese

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Gerhard Wess

Tag der Promotion: 09. Februar 2013

**Meiner Familie**

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>I.</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>Literaturübersicht</b> .....	<b>2</b>
<b>1.</b>	<b>Anatomie der Niere</b> .....	<b>2</b>
1.1	Topographie .....	2
1.2	Form, Typ, Größe.....	2
1.3	Aufbau der Niere.....	4
1.4	Blutgefäße der Niere .....	5
<b>2.</b>	<b>Krankheiten der Niere beim Kaninchen</b> .....	<b>6</b>
2.1	Akute Niereninsuffizienz .....	7
2.2	Chronische Niereninsuffizienz.....	7
2.3	Nephrolithiasis, Urolithiasis.....	8
2.4	Nierenzysten.....	9
2.5	Nierentumor .....	9
2.6	Nephrokalzinose.....	9
<b>3.</b>	<b>Sonographische Darstellung der Nieren beim Kaninchen</b> .....	<b>10</b>
3.1	Vorbereitung und Lagerung der Kaninchen.....	10
3.2	Wahl des Schallkopfes und Schallposition .....	11
3.3	Sonographische Anatomie.....	12
3.4	Sonographische Darstellung der pathologisch veränderten Niere .....	14
3.4.1	Nephritis.....	14
3.4.2	Nephrolithiasis, Urolithiasis.....	15
3.4.3	Nierentumor .....	16
3.4.4	Nephrokalzinose.....	16
3.4.5	Hydronephrose .....	17
<b>4.</b>	<b>Dopplersonographie der Nierengefäße</b> .....	<b>17</b>

---

4.1	Qualitative Beurteilung von PW-Dopplerkurven.....	18
4.2	Quantitative Beurteilung von PW-Dopplerkurven.....	18
4.2.1	Winkelabhängige Parameter .....	19
4.2.1.1	Blutfließgeschwindigkeit .....	19
4.2.2	Winkelunabhängige Parameter .....	22
4.2.2.1	Resistance-Index .....	22
4.2.2.2	Pulsatilitäts-Index.....	25
4.2.2.3	Ratio (A/B Quotient, B/A Quotient) .....	27
4.2.3	Physiologische Beeinflussung der Parameter .....	28
4.2.4	Pathologische Veränderungen der Blutfließparameter .....	29
<b>III.</b>	<b>Material und Methode .....</b>	<b>32</b>
<b>1.</b>	<b>Material.....</b>	<b>32</b>
1.1	Technische Ausrüstung .....	32
1.2	Dokumentation .....	32
1.3	Tierpool .....	32
<b>2.</b>	<b>Methode.....</b>	<b>33</b>
2.1	Klinische Allgemeinuntersuchung .....	33
2.2	Vorbereitung und Lagerung der Kaninchen auf die sonographische Untersuchung .....	34
2.3	Sonographische Untersuchung.....	35
2.3.1	Schallkopfposition und Schnittebenen .....	36
2.3.2	Messungen.....	38
2.3.3	Festlegung der Messebenen .....	38
2.4	Dopplersonographische Untersuchung .....	40
2.4.1	Messungen.....	40
2.5	Statistische Auswertung .....	42
<b>IV.</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>44</b>

---

<b>1.</b>	<b>B-Bild Sonographie .....</b>	<b>44</b>
<b>2.</b>	<b>Sonographische Messung der Nierengröße.....</b>	<b>46</b>
2.1	Distanzmessungen der rechten und linken Niere .....	46
2.2	Nierenvolumen .....	50
2.2.1	Abhängigkeit des Nierenvolumens von Gewicht, Geschlecht und Alter des Tieres.....	51
2.3	Rinden-Mark-Verhältnis .....	55
2.4	Hilus-Breiten-Verhältnis .....	55
2.5	Reproduzierbarkeit der Distanzmessungen.....	56
<b>3.</b>	<b>Dopplersonographie der intrarenalen Gefäße.....</b>	<b>57</b>
3.1	Darstellung der Nierengefäße.....	58
3.2	Duplex-Dopplerverfahren .....	58
3.2.1	Pulsfrequenz .....	58
3.2.2	Qualitative Beurteilung des Blutflusses .....	59
3.2.3	Quantitative Beurteilung des Blutflusses .....	59
3.2.4	Abhängigkeit der Blutfließparameter von Gewicht, Geschlecht und Alter des Tieres.....	62
3.2.5	Reproduzierbarkeit der Blutfließparameter.....	64
<b>V.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>65</b>
<b>VI.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>75</b>
<b>VII.</b>	<b>Summary .....</b>	<b>77</b>
<b>VIII.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>79</b>

## I. Einleitung

Im Jahr 2011 lag die Anzahl der in Deutschland gehaltenen Kleintiere bei 5,1 Millionen. Die Anzahl der gehaltenen Hunde lag mit 5,4 Millionen Tiere nur knapp darüber (INDUSTRIEVERBAND HEIMTIERBEDARF 2011). Darunter hat sich das Zwergkaninchen mittlerweile als eines der beliebtesten Heimtiere etabliert. Kaninchen genießen heute einen hohen Stellenwert und sind zu gängigen Patienten in der Kleintierpraxis geworden. Auch die Besitzer haben höhere Ansprüche an deren Diagnostik und Therapie entwickelt, somit wird die Sonographie als nicht invasive und schnell durchführbare Untersuchungsmethode zunehmend in der Heimtierpraxis angewandt. Erkrankungen der Harnwege sind beim Kaninchen aufgrund des besonderen Kalziumstoffwechsels von klinisch großer Bedeutung. Die sonographische Nierenuntersuchung ist bei Hund und Katze ein weit verbreitetes diagnostisches Verfahren, das routinemäßig eingesetzt wird. Aber auch bei Heimtieren wurden in den letzten Jahren mehrere Untersuchungen über die sonographische Anatomie angefertigt. Im B-Bild-Modus lassen sich allerdings nur Veränderungen des Nierenparenchyms gut darstellen. Es können jedoch keine Auskünfte über den Einfluss dieser Veränderungen auf die Nierenfunktion getroffen werden. Die Dopplersonographie der Nierengefäße wird bei Hund und Katze in standardisierter Form routinemäßig angewandt. Auch beim Frettchen und Meerschweinchen wurden bereits dopplersonographische Untersuchungen der renalen Gefäße beschrieben. Beim unsedierten Zwergkaninchen sind keine Studien zu dieser Thematik bekannt, hier besteht noch Forschungsbedarf.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, beim unsedierten Zwergkaninchen die dopplersonographische Darstellung der renalen Gefäße zu beschreiben und Referenzwerte für die Fließparameter der Nierengefäße für sonographisch unauffällige Nieren zu erstellen. Desweiteren wurden mögliche renale und extrarenale Einflussfaktoren untersucht.

## **II. Literaturübersicht**

### **1. Anatomie der Niere**

#### **1.1 Topographie**

Beide Nieren liegen, umgeben von einem dicken Fettpolster (HOFFMANN 1961), der dorsalen Bauchwand und der Lendenmuskulatur an (CRAIGIE 1969, GERHARDT 1909, KOCH und BERG 1990, SCHAUDER 1923, WINGERD 1985). Die linke Niere erstreckt sich von der Mitte des zweiten Lendenwirbels bis zur Mitte des vierten Lendenwirbels und ist damit weiter kaudal als die rechte Niere (CRUISE und BREWER 1994), die vom kaudalen Rand der elften Rippe bis zum kranialen Rand des zweiten Lendenwirbels ragt (GERHARDT 1909, KOCH und BERG 1990, KRAUSE 1884, MARSCHNER 1937, SCHAUDER 1923). Letztere grenzt an den Lobus caudatus der Leber, in dem sie eine Impressio renalis bewirkt (KOCH und BERG 1990). Ihre Lage wird als retroperitoneal bezeichnet (MARSCHNER 1937, SCHAUDER 1923, WINGERD 1985).

#### **1.2 Form, Typ, Größe**

Die Kaninchennieren sind bohnenförmig und von rotbrauner Farbe (CRAIGIE 1969, GERHARDT 1909, HOFFMANN 1961, SCHAUDER 1923). Sie besitzen nur eine Papille (Papilla renalis) die in das kelchförmige Nierenbecken ragt und die in den Ureter eintritt (BREWER und CRUISE 1994, CRAIGIE 1969, CRUISE und BREWER 1994). Somit werden sie dem glatten, einwarzigen Nierentyp zugeordnet (KOZMA et al. 1974). Nach LATIMER und SAWIN (1957) wiegen die Nieren etwa 13 g, während KRAUSE (1884) das Gewicht der Nieren mit 7,3 – 7,5 g angibt.

In der Literatur sind folgende Werte für die Nierengröße beim Kaninchen beschrieben (Tabelle 1). Die Autoren machten keine speziellen Rasseangaben, allerdings gab FEHÉRVÁRI (1935) das Gewicht der Kaninchen mit 0,7 kg bis 3,0 kg an.

Tab.1: Nierengröße bei Kaninchen (in mm)

Messung am Organ	Nierenlänge (mm)	Nierenbreite (mm)	Nierendicke (mm)
SCHAUDER (1923)	35	30	20
FEHÉRVÁRI (1935) (n=40)	25 – 40	20 – 30	12 – 20
MARSCHNER (1937) (n=10)	40	28	21

Die graurote Nierenrinde hat eine Breite von nur 3 bis 4 mm, das hellere Mark dagegen ist mit 20 mm wesentlich breiter (SCHAUDER 1923).

Nach Angaben von DONNELLY (1997) ist die Größe der Nieren bei den verschiedenen hasenartigen Spezies sehr variabel. Die Variationen sollen dabei vor allem im Bereich der Medulla liegen. Tiere, die in ariden Gebieten leben, haben nach dieser Untersuchung eine große Medulla. Tiere, die eher in bergigen Regionen leben, dagegen eine kleinere.

In einer Studie von KOCK (1990) wurden fünf männliche Tiere verschiedener Kaninchenrassen und unterschiedlichen Gewichtes miteinander verglichen. Die Untersuchung ergab eine signifikant positive Korrelation zwischen Nieren- und Körpermasse.

### 1.3 Aufbau der Niere

WINGERD (1985) beschrieb die Anatomie der Niere des Kaninchens von außen nach innen. Zur visuellen Vorstellung wurde Abbildung 1 eingefügt.

**Fascia renalis:** Eine äußere Schicht aus fibrösem Bindegewebe, das die Niere mit der Bauchdecke verbindet.

**Capsula fibrosa:** Eine dünne Schicht aus durchsichtigem, fibrösem Bindegewebe, die beide Nieren umschließt.

**Hilus renalis:** In der Nähe des Zentrums jeder Niere am medialen Rand, befindet sich eine Einziehung, der sogenannte Nierenhilus, durch den Blutgefäße, Lymphgefäße und Nerven ein- und austreten.

**Sinus renalis:** Ein Hohlraum im Zentrum jeder Niere, der über den Hilus betreten wird.

**Pelvis renalis:** Das Nierenbecken liegt im Zentrum jeder Niere und beinhaltet den Sinus renalis. Entlang seiner Umrandung sind kelchförmige Erweiterungen, die als Calices renales majores und minores bezeichnet werden und die den Urin sammeln und in das Nierenbecken leiten.

**Cortex renis:** Die Nierenrinde bildet den äußeren Teil der Niere. Die glatte Oberflächenstruktur grenzt die innere Peripherie ab und erstreckt sich von der Nierenkapsel in den inneren Bereich, der Medulla.

**Medulla renis:** Das Nierenmark bildet den inneren Teil der Niere. Es enthält zwischen sechs bis 18 kegelförmig angelegte Markpyramiden (Pyramides renales). Die Pyramidenbasen sind der Nierenrinde zugewandt, während die Pyramidenspitzen (Papillae renales) zum Nierenbecken zeigen. Die Bereiche zwischen den angrenzenden Markpyramiden werden Columnae renales genannt.

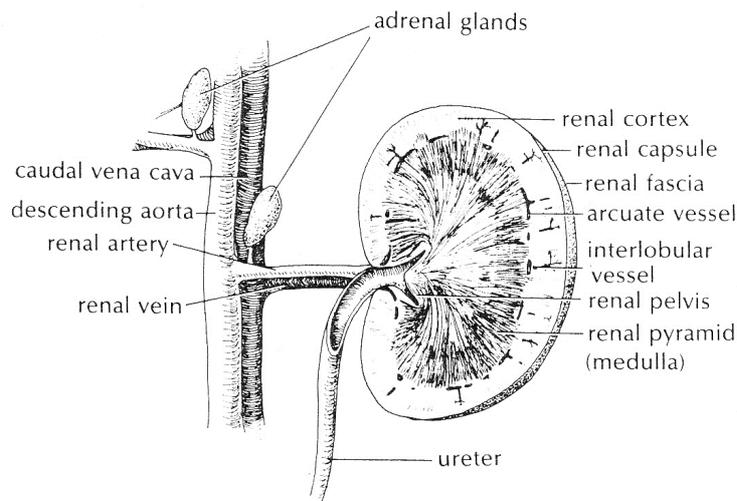


Abb.1: Niere des Kaninchens (WINGERD, 1985)

Nach SHEEHAN und DAVIS (1959) ist das Nierenmark beim Kaninchen geformt wie ein Segment einer Orange, wobei die schmalen Enden um den oberen und unteren Pol der Niere gerollt sind, so dass sie in Richtung Hilus zeigen. Die Medulla bildet eine einzige kegelförmige Papille. Die Strukturen des Nierenmarkes sind auf die Papille ausgerichtet und formen dabei vier bis fünf peripelvinische Säulen. Das Nierenbecken bildet zwei Septen, die die Markpyramide umschließen. Die Beckenhöhle erstreckt sich zwischen der inneren Seite der Hauptsepten des Sinus und der zentralen Markpapille. Das Nierenbecken wendet sich an der freien Seite der Septen nach außen, um eine Reihe von Sekundärtaschen zu bilden. Die Blutgefäße verlaufen in fünf Hauptleitbündel, die in die Septen ausstrahlen. In Abständen geben diese Blutgefäße Äste ab, die in das Nierenparenchym eindringen.

#### 1.4 Blutgefäße der Niere

Aus der Aorta abdominalis gehen die Aa. renales dextra und sinistra hervor und betreten über den Hilus die Niere. Die rechte Nierenarterie entspringt etwa einen halben Zentimeter weiter kranial als die linke Nierenarterie aus der Aorta. Die beiden Nierenvenen haben eine ähnliche Ausgangsposition (CRAIGIE 1969). Genaue Angaben über die intrarenale Gefäßaufzweigung beim Kaninchen sind in

der Literatur nicht beschrieben. Der Gefäßbaum in der Niere ist bei den verschiedenen Säugetieren weitestgehend uniform. Der anatomische Nierentyp des Kaninchens, glatt und einwarzig, entspricht dem Nierentyp von Hund und Katze. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass das Gefäßsystem der Kaninchen dem von Fleischfressern gleicht. Daher wird auf die Literaturangaben von Hund und Katze zurückgegriffen.

Die A. renalis teilt sich im Hilusbereich in die Aa. interlobares auf, welche zwischen den Nierenlappen verlaufen. An der Mark-Rinden-Grenze verzweigen sich die Arterien in mehrere kleine Aa. arcuatae. Aus diesen gehen die Aa. interlobulares hervor, die die Nierenrinde versorgen und jederseits einen Lobulus begrenzen. Die Interlobulararterien entlassen zahlreiche Arteriolae glomerulares afferentes, die am Gefäßpol der Nierenkörperchen in ein Kapillarknäuel (Glomerulum) übergehen und wieder als Arteriolae glomerulares efferentes aus dem Gefäßpol heraustreten.

Die Nierenarterien bilden keine Anastomosen und stellen somit Endarterien dar. Im Gegensatz zu den Arterien, bilden die Venen zahlreiche Anastomosen. Die Venen verlaufen weitestgehend parallel mit den Arterien. Somit erfolgt der venöse Abfluss über die Vv. interlobulares, Vv. arcuatae, Vv. interlobares und schließlich in die V. renalis, welche dann in die Vena cava caudalis mündet (KÖLLE 2012, WAIBL und WILKENS 2005).

## **2. Krankheiten der Niere beim Kaninchen**

In diesem Kapitel wird auf die Nierenerkrankungen beim Kaninchen genauer eingegangen. Laut EWRINGMANN und GLÖCKNER (2008) kommen Erkrankungen des Harn- und Geschlechtsapparates häufig bei Kleinsäugetern vor. Die chronisch fortschreitenden Erkrankungen der Nieren spielt hinsichtlich der Morbidität eine wichtige Rolle. Das Risiko einer Neuerkrankung kann 25% oder höher betragen. Die Krankheit kann sich klinisch äußerst variabel zeigen, die am häufigsten vorkommenden Arten werden nachfolgend beschrieben (HARKNESS et al. 2010).

## 2.1 Akute Niereninsuffizienz

Bei Kaninchen sind akute bakterielle Nephritiden häufig die Ursache einer akuten Niereninsuffizienz. Die Erkrankung verläuft meist hochakut. Der Vorbericht und die klinische Symptomatik sind oft unspezifisch. Die Besitzer berichten über plötzliche Apathie und Inappetenz. Außerdem zeigen die Tiere ein deutlich gestörtes Allgemeinbefinden. Die klinische Allgemeinuntersuchung lässt meistens keinen besonderen Befund erkennen. Die Diagnose kann anhand von Blut- und Harnuntersuchungen gestellt werden. Die Nierenwerte sind massiv erhöht und zusätzlich lässt sich eine begleitende Leukozytose beim Kaninchen beobachten. Desweiteren muss eine bakteriologische Urinuntersuchung eingeleitet werden. Therapeutisch wird ein Antibiotikum verabreicht. Zusätzlich werden die Patienten mit Infusionen sowie Analgetika versorgt und müssen zwangsernährt werden. Die Nierenwerte sind regelmäßig zu kontrollieren (EWRINGMANN 2005a, EWRINGMANN 2005b, EWRINGMANN und GLÖCKNER 2008, HILLYER 1994, REDROBE 2000). Nach Angaben von PAUL-MURPHY (1997) sind bei einer Niereninsuffizienz folgende Untersuchungsergebnisse des Harns zu beobachten: Isosthenurie und eventuell Hämaturie, Proteinurie, Pyurie oder Zellkonglomerate.

## 2.2 Chronische Niereninsuffizienz

Bei älteren Kaninchen tritt sehr häufig eine chronische Niereninsuffizienz auf. Die Ursache liegt vor allem in chronisch interstitiellen Nephritiden, aufgrund einer Infektion mit *Encephalitozoon cuniculi*. Weitere Auslöser können chronische Pyelonephritiden, beidseitige Nephrolithiasis und Neoplasien der Nieren sein. Die chronische Niereninsuffizienz führt erst relativ spät zu klinischen Symptomen. Als Zufallsbefund bei Blutuntersuchungen fallen lediglich moderat erhöhte Nierenwerte auf. Polyurie und Polydipsie werden gelegentlich beobachtet. Chronisch kranke Tiere sind apathisch, inappetent und weisen Exsikkosen in unterschiedlichen Ausprägungsgraden auf. Die Patienten sind abgemagert, haben ein ungepflegtes, struppiges Fell, das sich speckig anfühlt und süßlich riecht. Die Blutuntersuchung im fortgeschrittenen Stadium zeigt eine drastische Erhöhung von Harnstoff und Kreatinin. Normochrome, normozytäre Anämien, Elektrolytverschiebungen und erhöhte Leberwerte können ebenfalls diagnostiziert

werden. Der Urin ist oft klar und kann Epithelien, Leukozyten, Blut, Glucose und Proteine enthalten. Die Prognose für eine chronische Niereninsuffizienz ist äußerst ungünstig. Ein Therapieversuch kann mit Infusionen und Antibiotika unternommen werden (EWRINGMANN 2005a, EWRINGMANN 2005b, EWRINGMANN und GLÖCKNER 2008, HARKNESS et al. 2010, HILLYER 1994, REDROBE 2000). Im Jahr 1981 untersuchte HINTON 312 Kaninchen, davon wurden 237 Kaninchen tot aufgefunden oder als Folge ihrer Krankheit euthanasiert. Die restlichen 75 Tiere schienen klinisch gesund. Histologische Veränderungen der Niere konnten bei 32,5 % der tot aufgefunden oder erkrankten Tiere und bei 25 % der klinisch gesunden Kaninchen beobachtet werden.

### **2.3 Nephrolithiasis, Urolithiasis**

Konkremente kommen beim Kaninchen in der Niere und in den ableitenden Harnwegen (Ureter, Harnblase, Urethra) vor. Da Kaninchen einen speziellen Kalziumstoffwechsel besitzen, häufen sich Blasensteine und Harngries. Nierensteine und Konkremente im Bereich der Harnröhre sind gelegentlich zu finden. Das Kalzium wird beim Kaninchen im Überschuss aus dem Darm resorbiert, d.h. mit einer gesteigerten Kalziumaufnahme, wird auch mehr Kalzium resorbiert. Kalzium wird also nicht bedarfsorientiert resorbiert. Hauptausscheidungsorgan für überschüssiges Kalzium ist die Niere. Der Harn-pH-Wert beim Kaninchen liegt normalerweise mit 8,2 im alkalischen Bereich. Ein pH-Wert von 8,5 – 9,5 begünstigt ein verstärktes Ausfällen von Kalziumkristallen. Zu den Ursachen zählen eine mangelnde Flüssigkeitsversorgung und eine kalziumreiche Fütterung (z.B. Luzerneheu, Petersilie, Dill, Grünrollis, Kohlrabiblätter). Klinisch werden die Tiere meist wegen eines gestörten Allgemeinbefindens mit Inappetenz, urinverschmierter Anogenitalregion, Strangurie, Pollakisurie und Hämaturie vorgestellt. Bei einer Nephrolithiasis leiden die Kaninchen oft unter kolikartigen Bauchschmerzen. Die Diagnose ergibt sich vor allem anhand der klinischen Untersuchung, Harnuntersuchung, Röntgen des Abdomens und ggf. Blutuntersuchung. Die Therapie ist abhängig von der Lokalisation und Art der Konkremente. In jedem Fall ist eine Behandlung mit Antibiotika und Analgetika einzuleiten. Bei Blasensteinen gilt die Zystotomie als Therapie der Wahl. Kleine Steinchen und Harngries können mittels Infusionstherapie mit manueller

Blasenentleerung, ggf. Blasenspülung eliminiert werden. Prophylaktisch sollten kalziumhaltige Futtermittel reduziert und auf rohfaserreiches und frisches Futter umgestellt werden (EWRINGMANN 2005a, EWRINGMANN 2005b, EWRINGMANN und GLÖCKNER 2008, HARKNESS et al. 2010, HILLYER 1994, REDROBE 2000).

#### **2.4 Nierenzysten**

Nierenzysten treten relativ häufig bei älteren Tieren auf. Sie befinden sich fast ausschließlich in der Nierenrinde. Die Größe der singular oder multipel auftretenden Zysten liegt zwischen 1 – 3 mm. Die dadurch vergrößerten Nieren können bei der klinischen Untersuchung meistens gut palpirt werden. Die Tiere zeigen meist keine klinischen Symptome (LÖLIGER 1986, PAUL-MURPHY 1997, REDROBE 2000).

#### **2.5 Nierentumor**

Neoplasien der Nieren kommen beim Kaninchen nur selten vor. Meistens werden sie durch leukotische Erkrankungen hervorgerufen und betreffen beide Nieren. Die Symptome gleichen denen einer chronischen Niereninsuffizienz. Die Tiere fressen schlecht, magern ab und haben ein struppiges, glanzloses Fell. Eine Diagnosesicherung kann durch eine sonographische Beurteilung der Nierenstruktur erfolgen. Kaninchen, die bereits unter gestörtem Allgemeinbefinden leiden, sollten euthanasiert werden (EWRINGMANN 2005a).

#### **2.6 Nephrokalzinose**

Es kann zu Kalkablagerungen in der Nierenrinde sowie in den Arterien und der Herzmuskulatur bei einer Überversorgung mit Kalzium kommen. Klinische Symptome sind bei einer Nephrokalzinose selten, obwohl die Oberfläche höckrig wird und die Nieren später leicht hypertrophiert sind (LÖLIGER 1986).

### **3. Sonographische Darstellung der Nieren beim Kaninchen**

Die Sonographie bei Kaninchen findet in den letzten Jahren vermehrt Einzug in der tierärztlichen Praxis, vor allem im Bereich der Erkrankungen des Harn- und Geschlechtsapparates, da sie als nicht invasives Verfahren einfach und schnell durchführbar ist.

Die sonographische Untersuchung der Niere gibt Auskunft in Bezug auf die Größe, Form, Lage, Innenstruktur und Nachbarstrukturen des Organs (WIDMER et al. 2004).

Indikationen für eine Ultraschalluntersuchung sind häufig palpierbare Umfangsvermehrungen im Abdomen, palpable Hepato-, Nephro- und Splenomegalie, Schmerzen beim Abtasten der Niere, Dysurie und Hämaturie sowie urinverschmiertes Fell im Perineum (REESE 2009a).

#### **3.1 Vorbereitung und Lagerung der Kaninchen**

Vor der Ultraschalluntersuchung muss die Haut der Kaninchen unbedingt geschoren werden (ANGELI 2008, ENGELKE 1997, NIEBERGALL 2003, RAPPOLD 2001, REDROBE 2001). Am besten eignet sich dafür eine kleine, leise Schermaschine mit einem speziellem Scherkopf für dünnes Haar (KIEFER et al. 2008). Kaninchen besitzen eine sehr elastische Haut, die bei der Untersuchung verschoben werden kann. Aus diesem Grund reicht es aus, ein verhältnismäßig kleines Areal zu scheren (RINCK et al. 1993). Schermaschinen können sehr leicht die äußerst empfindliche Kaninchenhaut verletzen, deshalb ist es notwendig behutsam zu arbeiten und die Haut beim Scheren glatt zu ziehen (HILLYER 1994).

Für eine gute Ankopplung des Schallkopfes an die Haut sollte großzügig Ultraschallgel verwendet werden. Das Ultraschallgel sollte einige Minuten einwirken bevor mit der Sonographie begonnen wird, um die Bildqualität zu verbessern (ENGELKE 1997, GIRLING 2002). Es ist jedoch stets darauf zu achten, dass es nicht zu einer Auskühlung des Patienten kommt (GIRLING 2002).

In der Regel müssen Kaninchen für die sonographische Untersuchung nicht sediert werden (ANGELI 2008, ENGELKE 1997, MEREDITH und RAYMENT 2000, NIEBERGALL 2003).

Die Lagerung für die sonographische Untersuchung der Niere erfolgt in Rückenlage (ANGELI 2008). NIEBERGALL (2003) und NASTAROWITZ-BIEN (2007) lassen die Patienten für die Sonographie des Urogenitaltrakts in Rückenlage auf dem Schoß einer Hilfsperson fixieren. ENGELKE (1997) dagegen untersucht die Kaninchen in aufrechter Haltung oder auf dem Schallkopf sitzend. RAPPOLD (2001) empfiehlt für die Nieren- und Blasenultraschalluntersuchung, die Kaninchen in Rückenlage in leicht sitzender Position zu fixieren.

### **3.2 Wahl des Schallkopfes und Schallposition**

KIEFER und Mitarbeiter (2008) empfehlen für die sonographische Diagnostik bei Heimtieren Linearschallköpfe mit Frequenzen von mindestens 10 MHz, besser 12 bis 14 MHz. Der Linearschallkopf sollte beim Heimtier eine Breite von vier Zentimeter nicht überschreiten, aufgrund der geringen Auflagefläche und der damit verbundenen Schwierigkeiten bei der korrekten Positionierung des Schallkopfes.

NASTAROWITZ-BIEN (2007) verglich in ihrer Studie den Einsatz von drei Schallköpfen (5 MHz-Linearschallkopf, 7,5 und 10 MHz-Sektorschallkopf) hinsichtlich ihrer Eignung für die Abdomensonographie beim Kaninchen. Von Vorteil, aufgrund ihrer Form und ihres Auflösungsvermögens, erwiesen sich der 7,5 MHz-Sektorschallkopf und der 10 MHz-Sektorschallkopf.

GIRLING (2002) dagegen ist der Meinung, dass eine 5 MHz-Sektorsonde zufriedenstellende Ergebnisse bei der Sonographie von Kaninchen liefert. Jedoch sind Sonden mit höherer Frequenz zu bevorzugen, da mit steigender Frequenz ein besseres Auflösungsvermögen bei geringerer Eindringtiefe erreicht wird.

ENGELKE (1997) verwendete für seine Ultraschalluntersuchungen am nicht sedierten Tier einen 7,5 MHz-Sektorschallkopf und einen 7,5 MHz-Linearschallkopf.

Die Nieren lassen sich bei der Positionierung des Schallkopfes an den Flanken sehr gut darstellen (ENGELKE 1997, NIEBERGALL 2003, REDROBE 2001).

NASTAROWITZ-BIEN (2007) untersuchte die Nieren sonographisch von ventral und lateral. Der Schallkopf wurde für die ventrale Darstellung beidseits paramedian kaudal des Umbilicus senkrecht zur Bauchdecke aufgesetzt und nach lateral gekippt. Für den lateralen Zugang der Niere wurde der Schallkopf kaudal des letzten Rippenbogens platziert und zwar ventral der Lendenwirbelquerfortsätze. Die Auffindung der rechten Niere wurde auf dieselbe Weise durchgeführt, jedoch musste der Schallkopf nach kranial gekippt werden.

### **3.3 Sonographische Anatomie**

Der sonographische Untersuchungsgang der Niere beim Kaninchen ist analog zu dem Untersuchungsgang bei Hund und Katze.

Beide Nieren sollten für eine umfassende Beurteilung der Nierenrinde, des Nierenmarkes und Nierenbeckens von kranial nach kaudal und von lateral nach medial in mehreren Quer- und Längsschnitten durchgemustert werden (D'ANJOU 2008).

Besondere Schwierigkeiten bei der Sonographie der Kaninchen stellt der voluminöse Verdauungsapparat dar, denn große Mengen an Gas im Darm können die Abdomensonographie erheblich erschweren (GIRLING 2002, HOCHLEITHNER 2000, REDROBE 2001).

SILVERMAN (1993) empfiehlt die Sonographie zur Untersuchung des Harn- und Geschlechtstraktes bei Kaninchen.

Über das sonographische Bild gesunder Kaninchennieren existiert im Vergleich zu Hund und Katze relativ wenig Literatur.

Die Niere erscheint im Dorsalschnitt bohnenförmig, im Transversalschnitt rundlich und im Sagittalschnitt oval (ANGELI 2008). Die normale Niere lässt sich sonographisch in drei abgrenzbare Regionen aufteilen: Nierenrinde, Nierenmark und Sinus renalis. Sonographisch lassen sich folgende Strukturen der gesunden Kaninchenniere darstellen. Die Nierenkapsel ist als sehr hyperechogener Streifen zu erkennen. Die Nierenrinde erscheint homogen und von mittlerer Echogenität.

Das nachfolgende Nierenmark ist ebenfalls homogen und in der Regel echoarm. Die Markpapille stellt sich fast echolos dar. Ein typisches Merkmal für die Niere beim Kaninchen ist der mit Fett gefüllte, weite, inhomogene, hyperechogene Sinus renalis (ANGELI 2008, ENGELKE 1997, NASTAROWITZ-BIEN 2007, NIEBERGALL 2003). NASTAROWITZ-BIEN (2007) beschreibt den Nierensinus mit Recessus pelvis im Dorsalschnitt als breites Y mit abgerundeten Spitzen. Die unveränderten Ureteren lassen sich sonographisch nicht darstellen (REESE 2009b).

Zur Beurteilung der Echogenität der Niere sollten andere parenchymatöse Organe zum Vergleich herangezogen werden. Bei gesunden Nieren von Hund und Katze stellt sich die Nierenrinde im Vergleich zur Milz deutlich und im Vergleich zur Leber geringgradig echoärmer dar (JANTHUR und LÜERSSSEN 2007, NYLAND et al. 2002a, WALTER et al. 1987).

Bei gesunden Kaninchen erscheint die Nierenrinde echoärmer als das Leberparenchym und eindeutig echoärmer als die Milz (ANGELI 2008).

Eine sonographische Messung der Nierengröße führten NIEBERGALL (2003), NASTAROWITZ-BIEN (2007) und ANGELI (2008) durch.

NIEBERGALL (2003) misst im Dorsalschnitt auf Höhe des Nierenhilus die Nierenlänge (Abstand zwischen kranialem und kaudalem Nierenpol) und die Nierenbreite (Abstand zwischen Margo lateralis und Margo medialis). ANGELI (2008) hat im Sagittalschnitt Nierenlänge und Breite, im Dorsalschnitt die Nierentiefe vermessen. NASTAROWITZ-BIEN (2007) dagegen bestimmt die Nierengröße in allen drei Schnittebenen. In Tabelle 2 werden die sonographisch gemessenen Nierengrößen besagter dreier Autoren aufgezeigt.

Tab.2: sonographisch ermittelte Nierengröße (Spanne aller Messwerte in mm)

Autoren	Gewicht (kg)	Nierenlänge (mm)		Nierenbreite (mm)		Nierentiefe (mm)	
		links	rechts	links	rechts	links	rechts
<b>NIEBERGALL (2003)</b> (n= 41)	0,7 – 3,5	16,7 – 38,0	19,9 – 34,8	11,4 – 20,4	10,8 – 18,5		
<b>NASTAROWITZ-BIEN (2007)</b> (n=38-42)	Zwerg (bis 2 kg)	23-28	23-29	14-21	14,5-23,0	12,5 – 18,0	12,5 – 18,5
	Klein (>2 - 3kg)	25,5 – 31,5	25- 33	18,0 – 22,5	18-22	14-19	14,0 – 17,5
	Mittelgroß (>3 - 4kg)	31-33	30-36	20,5 – 24,0	20,0 – 23,5	17,5 – 20,5	17-19
	Groß (>4 kg)	36-43	34,5 – 42,5	24-28	21,5 – 27,5	18,5 – 24,5	17,5 – 23,5
<b>ANGELI (2008)</b> (n=63)	1,5 – 3,5	27,2 ± 2,6	26,3 ± 2,9	13,8 ± 1,6	13,8 ± 1,7	16,3 ± 1,5	15,5 ± 1,7

### 3.4 Sonographische Darstellung der pathologisch veränderten Niere

Die Sonographie eignet sich sehr gut zur Detektion von morphologischen Veränderungen der Niere. Die am häufigsten vorkommenden Pathologien beim Kaninchen werden nachfolgend beschrieben.

#### 3.4.1 Nephritis

Bei der Sonographie eines an hochgradiger Nephritis erkrankten Kaninchens fand NASTAROWITZ-BIEN (2007) eine Niere aus inhomogenem Gewebe mit rauer

Nierenoberfläche und subkapsulärem, echolosem Randsaum. Bei der Sektion wurde eine hochgradige interstitielle Nephritis mit narbigen Einziehungen aufgrund einer Encephalitozoon cuniculi Infektion festgestellt. Die Autorin vermutet, dass eine raue Nierenoberfläche, eine unscharfe Abgrenzung der Niere von ihrer Umgebung, eine radiäre Streifung der Nierenrinde sowie ein Verlust der Abgrenzung zwischen Nierenrinde und Nierenmark sehr verdächtig für eine Nephritis sind.

Ein weiterer Patient von NIEBERGALL (2003) zeigte eine einseitige Nierenatrophie infolge einer Niereninsuffizienz. Die betroffene Niere stellte sich im Ultraschall mit einheitlicher Echogenität dar. Sie ist echogener als das Lebergewebe und weist vereinzelt echoreiche Rindensäulen auf. Die Nierengröße wies hierbei nur eine Länge von 1,54 cm und eine Breite von 0,81 cm auf.

### **3.4.2 Nephrolithiasis, Urolithiasis**

NIEBERGALL (2003) diagnostizierte bei zwei Kaninchen Nierenbeckensteine. Diese stellten sich bei der Sonographie als extrem echoreiche Strukturen mit Schallschatten dar. Bei allen beiden Kaninchen waren beide Nieren betroffen, jedoch unterschiedlich stark. Die stärker betroffene Niere wies ein dilatiertes Nierenbecken auf. Bei einem Patienten mit Blasengrieß beschreibt die Autorin eine Verkalkung des Nierenbeckens als kleine echogene Strukturen mit undeutlichem Schallschatten und unebener Nierenoberfläche. Bei weiteren Patienten konnte NASTAROWITZ-BIEN (2007) Nierenbeckenausgusssteine nachweisen. Die Ausgusssteine lagen im Bereich des Sinusreflexes und stellten sich sehr echogen mit distalem Schallschatten dar, wobei das Nierenbecken erweitert und flüssigkeitsgefüllt war.

RAPPOLD (2001) untersuchte sonographisch die Nierengröße bei Zwergkaninchen mit Urolithiasis ohne genaue Angaben über die Lokalisation der Harnsteine. Die Ergebnisse sind aus Tabelle 3 zu entnehmen. Sie weist darauf hin, dass durch eine sonographische Untersuchung sekundäre Veränderungen wie Harnleiterstau, Nierenbeckenstau und Hydronephrose diagnostiziert werden können.

Tab.3: sonographisch ermittelte Nierenmaße bei Kaninchen mit Urolithiasis (RAPPOLD, 2001)

		Körpergewicht 1 bis 2 kg	Körpergewicht 2 bis 3 kg
<b>Nierenlänge</b> (mm)	linke Niere	24,5 – 28,6	26,0 – 39,6
	rechte Niere	23,0 – 32,8	24,1 – 39,0
<b>Nierenbreite</b> (mm)	linke Niere	13,3 – 19,1	11,9 – 27,4
	rechte Niere	13,3 – 20,0	15,0 – 25,7
<b>Nierenhöhe</b> (mm)	linke Niere	11,2 – 20,7	17,2 – 22,1
	rechte Niere	13,2 – 18,2	14,5 – 24,9

### 3.4.3 Nierentumor

In einer tierexperimentellen Studie wurden Vx2 Nierenkarzinome bei Kaninchen durch Injektion einer Tumor-Zell-Suspension in die Niere induziert. Die Tiere wurden in wöchentlichen Abständen mit einer 7,5 MHz- und einer 5 MHz Linearsonde sonographiert. Der Nierentumor konnte ab einem Durchmesser von 0,5 bis 1 cm dargestellt werden. Im Ultraschallbild fiel eine Veränderung der kortikalen Kontur auf, wobei das Tumorgewebe Rindenechogenität aufwies. In der Tumormasse waren echoarme sowie echolose Zonen zu beobachten, die histologisch Nekroseherden, Blutungen und Flüssigkeitsansammlungen entsprechen. Die Sonographie eignet sich hervorragend als Screening-Verfahren bei Verdacht auf Nierentumoren (ACKERMAN et al. 1989).

Die Arbeitsgruppe um WARDROP und Mitarbeiter (1982) stellte ein Nephroblastom sonographisch als nicht-zystische Masse am Nierenpol dar.

### 3.4.4 Nephrokalzinose

CRAMER und Mitarbeiter (1998a; 1998b) beschrieben in zwei Studien die sonographische Darstellung einer phosphat-induzierten Nephrokalzinose bei Kaninchen. Es stellte sich heraus, dass die Nephrokalzinose mit einer Sensitivität von 96 % und einer Spezifität von 84 % mittels Ultraschall nachgewiesen werden

konnte. Die Sensitivität der Computertomographie lag nur bei 64 %, die Spezifität jedoch bei 96 %. Bei 81 % der Kaninchen konnte ein echogener Ring an der Rinden-Mark-Grenze festgestellt werden. 69 % der Tiere zeigten eine erhöhte Echogenität der Nierenrinde, seltener des Nierenmarkes.

### **3.4.5 Hydronephrose**

KAUDE und Mitarbeiter (1984) untersuchten im Rahmen von Tierversuchen die sonographische Darstellung von Hydronephrosen an Kaninchen. Ergebnis war, dass sich das Nierenbecken dilatiert darstellte und es zu einem Verlust des normalen Nierenparenchyms kam. Dabei waren Nierenrinde und Nierenmark nicht mehr voneinander abgrenzbar.

In einer weiteren Studie wurde sonographisch die Entwicklung der Nierengröße bei Kaninchen mit experimentell induzierter Hydronephrose und Nierenembolie verfolgt. Im Dorsalschnitt wurden Länge und Durchmesser der Niere sowie Dicke der Nierenrinde gemessen. Nach zwei bis drei Monaten konnte eine signifikante Verringerung der Nierenlänge nach künstlicher Embolisation festgestellt werden (CHANG et al. 2002).

## **4. Dopplersonographie der Nierengefäße**

Die Grundlagen der Dopplersonographie und die dazugehörigen Dopplerverfahren, wie Continuous-wave-Doppler, Pulsed-wave-Doppler und Farbdoppler sind in der Literatur ausreichend beschrieben, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird. Sie können den einschlägigen Werken zur Ultraschalldiagnostik für Hund und Katze sowie humanmedizinischer Literatur entnommen werden (ARNING 2002a, MÜSGEN 2000, NYLAND et al. 2002b, POULSEN NAUTRUP und TOBIAS 2007, SCHÄBERLE 2010, THRUSH und HARTSHORNE 2007). Bisher sind nur tierexperimentelle Studien über die Dopplersonographie der Niere beim Kaninchen bekannt.

Dopplersonographische Flusskurven von Arterien und Venen werden jeweils qualitativ und quantitativ beurteilt.

#### **4.1 Qualitative Beurteilung von PW-Dopplerkurven**

Bei der qualitativen Beurteilung von Dopplerkurven handelt es sich um eine deskriptive Auswertung der Flussprofile. Beurteilt werden dabei die Flussmuster, Strömungsrichtung, die Art der Strömung und die Geschwindigkeitsverteilung im Gefäß (DEEG und WILD 1990).

Der Fluss in parenchymatösen Organen ist gekennzeichnet durch einen niedrigen peripheren Widerstand und somit auch der Fluss der intrarenalen Nierenarterien. Charakteristisch für parenchymversorgende Arterien ist daher die kontinuierliche Versorgung des Organs. Diese Gefäße werden auch als low resistance vessel, also Niedrigwiderstandsgefäße, bezeichnet und zeigen den daraus resultierenden Niedrigwiderstandsfluss (low resistance flow) (MÜSGEN 2000, SCHÄBERLE 2010).

Bei diesem Flussmuster besteht ein permanenter Vorwärtsfluss mit einem monophasischen Auftreten. Nach einem steilen systolischen Anstieg kommt es zu einem anhaltenden diastolischen Fluss bis in die Enddiastole (SCHÄBERLE 2010). Das Flussmuster ist sowohl vom Widerstand der Gefäße, als auch von der Compliance abhängig (BUDE und RUBIN 1999). Eine hohe Compliance hat eine Erniedrigung und eine Verzögerung des systolischen Peaks zur Folge. Der systolische Peak kann sogar vollständig im „Compliance-Peak“ der nachfolgenden Systole verschwinden (HALPERN et al. 1995). Dieses typische Flussprofil konnte auch bei Hunden (RIVERS et al. 1997a), Katzenwelpen (HANENBERG 1998) und bei Katzen (DEPKEN 1999, GÖDDENHENRICH 1997, JANTHUR und LÜERSSSEN 2007) beobachtet werden.

GORGAS (2004) stellte beim Frettchen sowie HOLDER (2012) beim Meerschweinchen erstmals das charakteristische Flussprofil dar. Es lag ein typisches monophasisches Flussprofil mit einem ununterbrochenen Vorwärtsfluss vor. Die Autorinnen konnten keine interindividuellen Unterschiede nachweisen.

#### **4.2 Quantitative Beurteilung von PW-Dopplerkurven**

Zur quantitativen Beurteilung von Flusskurven werden die winkelabhängigen Parameter sowie die winkelnunabhängigen Parameter bestimmt.

## 4.2.1 Winkelabhängige Parameter

### 4.2.1.1 Blutfließgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit des Blutflusses kann mit Hilfe der Dopplersonographie gemessen werden. Das Blut sollte möglichst parallel zur Schallwellenausbreitung fließen, um genaue Blutflussgeschwindigkeiten zu errechnen (POULSEN NAUTRUP 2007). Sollte dies nicht der Fall sein, muss eine Winkelkorrektur vorgenommen werden. Der Beschallungswinkel sollte für die quantitativen Messungen nicht größer als  $60^\circ$  betragen, denn schon bei Fehleinstellungen von  $\pm 5^\circ$  bei einem Messwinkel von  $60^\circ$  entstehen Messfehler von über 20 % bei der Blutflussmessung. Je kleiner der Anschallwinkel desto geringer ist der Messfehler (SCHÄBERLE 2010). Die Blutfließgeschwindigkeiten sind also stark winkelabhängig und oft resultieren daraus Schwierigkeiten, die folgenden Parameter wie die systolische Maximalgeschwindigkeit (SPV), die enddiastolische Geschwindigkeit (EDV), die diastolische Maximalgeschwindigkeit (DPV) und die zeitlich gemittelte Geschwindigkeit (TAMAX) sowie die mittlere amplitudengewichtete Geschwindigkeit (TAV), korrekt zu bestimmen (MÜCK-WEYMANN und WUPPERMANN 2000). Zu diesem Zweck greift man auf die winkelunabhängigen Indizes zurück.

HANENBERG (1998) untersuchte bei Katzen und ROHRWEBER (1999) bei Hunden eine Altersabhängigkeit der Werte. Beide Autorinnen konnten einen kontinuierlichen Anstieg der Fließgeschwindigkeiten bis zur achten Lebenswoche nachweisen, danach stimmten sie mit den Werten adulter Katzen und Hunde überein. Beim Frettchen konnte eine positive Korrelation von Alter und Geschwindigkeit des Blutflusses festgestellt werden, allerdings konnten keine präzisen Angaben über das Alter der Tiere gemacht werden (GORGAS 2004).

Zwischen der rechten und linken A. renalis beim Hund (GÖTZ 1999) und bei der Katze (DEPKEN 1999, GÖDDENHENRICH 1997, HANENBERG 1998) ließen sich keine Unterschiede der Fließgeschwindigkeiten nachweisen. Auch beim Frettchen (GORGAS 2004) und beim Meerschweinchen (HOLDER 2012) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den rechten und linken Aa. interlobares beobachtet werden.

Beim Meerschweinchen konnte keine alters- und geschlechtsspezifischen Unterschiede festgestellt werden (HOLDER 2012). Die Blutfließparameter beim Frettchen waren bei der Fähe niedriger als beim Rüden. Dabei hatten die

Körpermasse, das Alter und die Pulsfrequenz keinen Einfluss auf die Blutfließgeschwindigkeit (GORGAS 2004).

In einer Studie an sedierten, adulten Weißen Neuseeländern konnte gezeigt werden, dass die ermittelten Blutfließgeschwindigkeiten abfallen, je weiter das Gefäß in Richtung Nierenrinde verläuft (CHU et al. 2011).

Die gemessenen Blutfließgeschwindigkeiten sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Tab.4: Dopplersonographisch ermittelte Blutfließgeschwindigkeiten gemessen bei verschiedenen Spezies und an verschiedenen Lokalisationen, Angaben in cm/s

Messgröße	Spezies	Alter	Messort	Wert	Autor
SPV, links rechts	Hund	adult	A. renalis	77,2±18,4 71,5±13,1	GÖTZ (1999)
SPV, links rechts	Katze	>1 Jahr	A. renalis	51,49±9,03 51,70±9,73	GÖDDEN- HENRICH (1997)
SPV, links rechts	Katze	>1 Jahr	A. renalis	48,35±6,32 48,29±4,77	DEPKEN (1999)
SPV	Meerschweinchen	adult	A. interlobaris	36,0±11,0	HOLDER (2012)
SPV	Frettchen	adult	A. interlobaris	46,8±7,8	GORGAS (2004)
SPV, links rechts	Kaninchen sedierte	adult	A. renalis	41,70±10,25 36,30±6,89	CHU et al. (2011)
EDV, links rechts	Hund	adult	A. renalis	22,8±6,5 22,0±5,7	GÖTZ (1999)
EDV, links rechts	Katze	>1 Jahr	A. renalis	21,52±5,17 20,91±5,38	GÖDDEN- HENRICH (1997)
EDV, links rechts	Katze	>1 Jahr	A. renalis	21,35±2,92 21,06±3,01	DEPKEN (1999)
EDV	Meerschweinchen	adult	A. interlobaris	14,0±5,0	HOLDER (2012)
EDV	Frettchen	adult	A. interlobaris	21,6±3,8	GORGAS (2004)
EDV, links rechts	Kaninchen sedierte	adult	A. renalis	19,55±7,90 17,64±5,58	CHU et al. (2011)
TAMAX links rechts	Hund	adult	A. renalis	37,6±9,6 36,0±7,1	GÖTZ (1999)
TAMAX links rechts	Katze	>1 Jahr	A. renalis	31,98±4,07 31,24±3,57	DEPKEN (1999)

## 4.2.2 Winkelunabhängige Parameter

### 4.2.2.1 Resistance-Index

Der Resistance-Index (RI), auch als Widerstandsindex bezeichnet, ist definiert als Differenz zwischen der systolischen Maximalgeschwindigkeit und der enddiastolischen Geschwindigkeit, dividiert durch die systolische Maximalgeschwindigkeit. Der RI ist vom Dopplerwinkel unabhängig und dimensionslos (POURCELOT 1974).

Berechnet wird er nach folgender Formel:

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

Benannt wurde der RI erstmals nach seinem Beschreiber POURCELOT (1974) und wird deshalb auch Pourcelot Index genannt.

Der Widerstandsindex ist ein Indikator für den Gefäßwiderstand distal der Messstelle. Angewandt wird er in Niedrigwiderstandsgefäßen wie fetalen Gefäßen, Karotiden und Gefäßen aller parenchymatösen Organe. Der Resistance-Index wird nicht ausschließlich vom Gefäßwiderstand bestimmt, ebenso spielen die Blutviskosität, der Gefäßdurchmesser, die Gefäßelastizität, die Flussgeschwindigkeit und der Herzrhythmus eine zusätzliche Rolle (MÜSGEN 2000). Beim Widerstandsindex werden nur zwei Punkte der Dopplerkurve, die maximale systolische Geschwindigkeit und die enddiastolische Geschwindigkeit zur Bestimmung herangezogen. Deshalb eignet er sich nur zur Charakterisierung bei Gefäßen mit monophasischem Kurvenverlauf (MÜCK-WEYMANN und WUPPERMANN 2000, MÜSGEN 2000).

Der RI ist bei niedrigem peripherem Widerstand klein und bei hohem peripherem Widerstand groß. Das liegt daran, dass bei einer Zunahme des peripheren Widerstandes die enddiastolische Geschwindigkeit stärker abnimmt als die maximale systolische Geschwindigkeit. Der RI nimmt folglich zu (HUCK 2005).

Mit sinkendem Gefäßdurchmesser vermindert sich gleichermaßen die Strömungsgeschwindigkeit in den Gefäßen distal der Messstelle, wodurch sich der

Resistance-Index erhöht. Sistiert die enddiastolische Flusskomponente, d.h. nähert sich dem Wert Null an, dann erreicht der Resistance-Index sein Maximum 1 (PLATT 1997).

BUDE und RUBIN (1999) sind der Auffassung, dass die Bezeichnung RI inkorrekt ist. Da der RI nicht nur vom Gefäßwiderstand, sondern auch von der Gefäßelastizität beeinflusst wird, wäre die Bezeichnung „Impedanz Index“ treffender. In einem in vitro Modell konnte gezeigt werden, dass ohne vaskuläre Compliance der RI unabhängig vom Gefäßwiderstand war. Mit zunehmender Elastizität kam es zu einem Anstieg des RI bei zunehmendem Gefäßwiderstand.

Der RI spielt hinsichtlich der Transplantatdiagnostik eine bedeutende Rolle in der Humanmedizin. Eingesetzt werden der RI und der Pulsatilitäts-Index zur Früherkennung von Transplantatabstoßungsreaktionen von Nieren (RESTREPOSCHAFER et al. 1999). Beim Menschen können Altersabhängigkeiten des Widerstandsindex beobachtet werden. Mit steigendem Alter erhöht sich der Wert, da der Blutfluss pulsatiler wird. Die Windkesselfunktion nimmt ab und der renale Flusswiderstand nimmt aufgrund interstitieller Fibrosierung zu (HOLLENBECK 2009).

RIVERS und Mitarbeiter (1996) ermittelten Referenzwerte für gesunde, adulte, mit Ketamin sedierten Katzen. Der Wert für die rechte Niere lag bei  $0,59 \pm 0,05$  und für die linke Niere bei  $0,56 \pm 0,06$ . Die Arbeitsgruppe um POLLARD (POLLARD et al. 1999) stellte keine Auswirkungen einer Ketamin und Valium Narkose auf den Widerstandsindex fest. NYLAND und Mitarbeiter (1993) geben für nicht sedierte Hunde einen Wert von  $0,62 \pm 0,05$  (rechte Niere) und  $0,63 \pm 0,05$  (linke Niere) an. Bei sedierten Hunden waren die Werte für den RI deutlich niedriger, folglich konnte in der rechten Niere ein Wert von 0,45 und in der linken Niere ein Wert von 0,44 gemessen werden. Auch RIVERS und Mitarbeiter (1997a) kamen zu dem Ergebnis, dass eine Ketamin und Valium Narkose bei Hunden einen Abfall des RI zur Folge hat.

CARVALHO und CHAMMAS (2011) haben bei 25 gesunden Perserkatzen Werte zwischen  $0,54 \pm 0,07$  in der A. renalis und den Interlobararterien Werte von  $0,52 \pm 0,06$  gemessen. In einer weiteren Studie zum gleichen Thema, wurden mittels Dopplersonographie Referenzwerte für die sedierte Koreanische Kurzhaarkatze ermittelt. Die Werte für den RI in der A. interlobaris und A.

arcuatae lagen bei  $0,52 \pm 0,05$  in der linken Niere und  $0,50 \pm 0,07$  in der rechten Niere (PARK et al. 2008).

Einen Seitenunterschied konnte weder beim Frettchen (GORGAS 2004) und Meerschweinchen (HOLDER 2012), noch bei Hund und Katze (MITCHELL et al. 1998, NYLAND et al. 1993, RIVERS et al. 1996) nachgewiesen werden.

GORGAS (2004) konnte jedoch eine Altersabhängigkeit des Widerstandsindex nachweisen. Mit zunehmendem Alter stiegen die Werte an.

BUBLAK (2002) ermittelte für die rechte Niere beim Alpaka einen RI Mittelwert von  $0,50 \pm 0,04$  und für die linke Niere einen RI Wert von  $0,49 \pm 0,04$  in den Aa. interlobares.

DECKINGER (2003) untersuchte die Nierendurchblutung in den Aa. interlobares an 11 gesunden Dachshunden. Diese Hunderasse scheint einen höheren RI zu besitzen, der Referenzbereich lag bei  $0,73 \pm 0,05$ .

In einer Studie an zehn gesunden, adulten, sedierten Weißen Neuseeländern wurde mittels dopplersonographischer Untersuchung Referenzwerte für die Blutfließgeschwindigkeiten und den RI ermittelt. Die rechte und linke Niere wurde an verschiedenen Lokalisationen, zu einem in der A. renalis am Ursprung der Aorta, im Hilusbereich und in den Segmentalarterien gemessen. Ein signifikanter Unterschied des RI in den verschiedenen Abschnitten der Segmentalarterien konnte nicht beobachtet werden (CHU et al. 2011). Die ermittelten Werte können der nachfolgenden Tabelle 5 entnommen werden.

Tab.5: RI Werte verschiedener Autoren und Spezies

Messgröße	Spezies	Alter	Messort	Wert	Autor
RI, links rechts	Hund	adult	A. renalis	0,70±0,07 0,69±0,08	GÖTZ (1999)
RI, links rechts	Katze	>1 Jahr	A. renalis	0,60±0,08 0,60±0,08	GÖDDEN- HENRICH (1997)
RI, links rechts	Katze	>1 Jahr	A. renalis	0,56±0,05 0,56±0,05	DEPKEN (1999)
RI	Meer- schweinchen	adult	A. interlobaris	0,61±0,056	HOLDER (2012)
RI	Frettchen	adult	A. interlobaris	0,54±0,04	GORGAS (2004)
RI, links rechts	Kaninchen sediert	adult	A. renalis am Hilus	0,54±0,11 0,52±0,07	CHU et al. (2011)
RI, links rechts	Kaninchen sediert	adult	A. renalis am Ursprung der Aorta	0,57±0,10 0,57±0,08	CHU et al. (2011)

#### 4.2.2.2 Pulsatilitäts-Index

Der Pulsatilitäts-Index (PI) nach Gosling (GOSLING und KING 1974) ist wie der Resistance-Index ebenfalls winkelunabhängig und dimensionslos (KLEWS 2002). Der PI ist definiert als Differenz zwischen der maximalen systolischen Geschwindigkeit und der minimalen enddiastolischen Geschwindigkeit, dividiert durch die zeitlich gemittelte Fließgeschwindigkeit (GOSLING und KING 1974). Er wird nach folgender Formel berechnet:

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

Der PI ist ein Indikator für den Gefäßwiderstand distal der Messstelle und für die Gefäßelastizität. Anwendung findet er in „low resistance vessels“ und wird nicht

ausschließlich vom Gefäßwiderstand und Compliance bestimmt, sondern ist auch von anderen Faktoren wie Blutviskosität, Gefäßdurchmesser, Fließgeschwindigkeit und Herzrhythmus abhängig (MÜSGEN 2000).

Die Differenz zwischen maximaler und minimaler Strömungsgeschwindigkeit wird mit zunehmendem peripheren Widerstand größer, genau wie beim RI (HUCK 2005). Laut NELSON und PRETORIUS (1988) eignet sich der Pulsatilitäts-Index zur Beurteilung des Gefäßwiderstandes auch bei triphasischen Flussmustern, da im Unterschied zum RI nicht nur die maximale systolische Geschwindigkeit und die minimale enddiastolische Geschwindigkeit zur Berechnung herangezogen werden, sondern auch die mittlere Geschwindigkeit des Blutflusses während einer Herzaktion. Hierfür wird in der Gleichung die enddiastolische Geschwindigkeit im Zähler durch die minimale diastolische Geschwindigkeit ersetzt, die beim triphasischem Strömungsprofil immer negativ ist (HUCK 2005). Obwohl der PI ein winkelunabhängiger Parameter ist, sollte der Anschallwinkel laut STIEGLER und KLEWS (2002) nicht über  $60^\circ$  liegen, es gelten die Vorgaben der Dopplergleichung.

In der klinischen Diagnostik wird der PI seltener angewandt als der RI, obwohl er weniger anfällig gegenüber Messfehlern ist. Der Grund hierfür liegt in der wesentlich aufwendigeren Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit, als nur die Bestimmung der maximalen systolischen Geschwindigkeit und der enddiastolischen Geschwindigkeit (RESTREPO-SCHAFFER et al. 1999). In der Humanmedizin spielt der PI in der Stenoseerkennung eine bedeutende Rolle, da sich der Wert distal einer Stenose reduziert (ARNING 2002b). Darüber hinaus wird der PI unter anderem zur Diagnostik bei Parenchymveränderungen der Leber (WESKOTT 2002) sowie zur Abgrenzung entzündlich veränderter Lymphknoten gegenüber metastatisch veränderter Lymphknoten eingesetzt (DELORME 2002).

Im Gegensatz zur Humanmedizin wird der PI in der Veterinärmedizin selten für diagnostische Zwecke eingesetzt. GUMBSCH und Mitarbeiter (2002) untersuchten in einer Studie Referenzwerte für Hunde am Hoden. GELATT-NICHOLSON und Mitarbeiter (1999) bestimmten ebenfalls Referenzwerte beim Beagle für die intraokulären Gefäße. In einer weiteren Studie wurden Untersuchungen der A. femoralis beim anästhesierten Pferd durchgeführt (RAISIS et al. 2000). Eine andere Arbeitsgruppe untersuchte erstmalig Referenzwerte von wachen und sedierten Katzen. Es konnte eine deutliche

Erhöhung bei narkotisierten Katzen festgestellt werden (MITCHELL et al. 1998). GORGAS (2004) bestimmte erstmals Normwerte für den PI beim Frettchen und HOLDER (2012) beim Meerschweinchen für die Aa. interlobares. Bei Frettchen mit gestörtem Allgemeinbefinden konnte ein deutlicher Anstieg der Werte beobachtet werden. Der PI Wert lag hier bei  $1,16 \pm 0,37$  (GORGAS 2004).

Die Referenzwerte verschiedener Autoren sind der nachfolgenden Tabelle 6 zu entnehmen.

Tab.6: PI Werte verschiedener Autoren und Spezies

Messgröße	Spezies	Alter	Messort	Wert	Autor
PI, links rechts	Hund	adult	A. renalis	1,48±0,33 1,48±0,91	GÖTZ (1999)
PI, links rechts	Katze	>1 Jahr	A. renalis	1,01±0,24 1,01±0,26	GÖDDEN- HENRICH (1997)
PI, links rechts	Katze	>1 Jahr	A. renalis	0,85±0,13 0,86±0,14	DEPKEN (1999)
PI	Meer- schweinchen	adult	A. interlobaris	0,79±0,15	HOLDER (2012)
PI	Frettchen	adult	A. interlobaris	0,83±0,10	GORGAS (2004)

#### 4.2.2.3 Ratio (A/B Quotient, B/A Quotient)

Die Ratio ist ein Indikator für den Gefäßwiderstand hinter der Messstelle und wird nach folgender Formel berechnet:

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

oder

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

Somit ist sie der Quotient aus systolischer Maximalgeschwindigkeit und enddiastolischer Geschwindigkeit oder umgekehrt. Verwendet wird der Parameter bei niedrigen Widerstandsgefäßen wie fetalen Gefäßen, Karotiden und parenchymatösen Organen. Die Ratio wird nicht ausschließlich vom Gefäßwiderstand bestimmt, sondern auch von anderen Faktoren beeinflusst (MÜSGEN 2000).

#### 4.2.3 Physiologische Beeinflussung der Parameter

Der Resistance-Index, der Pulsatilitäts-Index und die Ratio werden durch den Gefäßwiderstand und durch weitere physiologische Parameter beeinflusst (MÜSGEN 2000):

- Blutviskosität
- Gefäßdurchmesser
- Elastizität des Gefäßes (Compliance)
- Flussgeschwindigkeit
- Herzrhythmus
- Alter des Patienten

MITCHELL und Mitarbeiter (1998) untersuchten in ihrer Studie bei Katzen den Einfluss von Anästhetika auf den Resistance-Index. Die Studie ergab einen deutlichen Anstieg des Widerstandsindex und Pulsatilitäts-Index bei anästhesierten Tieren. Der RI lag bei wachen Katzen im Durchschnitt bei 0,55 und bei Katzen unter Isoflurananästhesie bei 0,93, wobei auch Änderungen des Blutdruckes eine signifikante Wirkung auf den RI haben, während die Herzfrequenz keinen Effekt auf RI und PI hat. Die Autoren wiesen mit der dopplersonographischen Untersuchung bei narkotisierten Katzen einen Anstieg des Gefäßwiderstandes und einen verminderten renalen Blutfluss nach. Beide Faktoren beeinflussen den RI. Jedoch ist die Interpretation des RI laut MITCHELL und Mitarbeiter (1998) am sedierten Tier in Bezug auf die Messungen am wachen Tier in Frage zu stellen.

Im Gegensatz zu MITCHELL und Mitarbeiter (1998) konnte DEPKEN (1999) bei Katzen einen Einfluss der Herzfrequenz feststellen. Auch Studien an Menschen

(MOSTBECK et al. 1990, SCHWERK et al. 1993) zeigten einen signifikanten Abfall des RI und PI mit steigender Herzfrequenz.

KNAPP und Mitarbeiter (1995) sowie LINGS und SPRATT (1997) untersuchten in humanmedizinischen Studien die Abhängigkeit des Messortes auf die Fließgeschwindigkeiten. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass mit abnehmendem Gefäßdurchmesser von den Segmentalarterien bis zu den Aa. interlobulares die Fließgeschwindigkeiten gleichermaßen abnehmen. DEPKEN (1999) konnte vergleichbare Ergebnisse für die Katze aufweisen. KNAPP und Mitarbeiter (1995) sind der Meinung, dass die konstantesten Ergebnisse durch Messungen an den Aa. interlobares erzielt werden können, während TERRY und Mitarbeiter (1992) keine Unterschiede zwischen Messwert und Messort feststellen konnten.

Auch MITCHELL und Mitarbeiter (1998) nahmen Messungen an den Aa. renales und den intrarenalen Gefäßen bei Katzen vor, stellten jedoch keine Unterschiede bei den Fließparametern fest.

Beim Menschen sind RI-Werte altersabhängig, d.h. ältere Patienten haben einen höheren RI als jüngere. Laut TERRY und Mitarbeiter (1992) steigt der Widerstandsindex ab einem Alter von über 60 Jahren auf einen mittleren Wert von 0,68 an.

GORGAS (2004) konnte in ihrer Studie beim Frettchen ebenfalls eine Altersabhängigkeit des RI nachweisen.

#### **4.2.4 Pathologische Veränderungen der Blutfließparameter**

Nicht nur physiologische Faktoren beeinflussen die Blutfließparameter, sondern auch pathologische Faktoren spielen eine Rolle. Nierenerkrankungen führen häufig zu einer Veränderung des peripheren Gefäßwiderstandes, aufgrund von Parenchymveränderungen oder einer Vasokonstriktion (LANDWEHR 1993). Infolge der Reduktion des diastolischen Flusses kommt es zu einem Anstieg des RI (PETERSEN et al. 1995, PLATT 1997).

In einer Studie über den Einfluss von Lebererkrankungen auf den renalen Gefäßwiderstand bei Hunden wurde bei über 50% der Tiere ein Anstieg festgestellt. Zusätzlich wurde eine signifikante Korrelation zwischen den Indizes und der Alkalischen Phosphatase gefunden (NOVELLAS et al. 2008). In einer weiteren Studie dieser Arbeitsgruppe wurden die Auswirkungen von

Nierenerkrankungen bei Hund und Katze auf den systolischen Blutdruck und den renalen Gefäßwiderstand untersucht. Bei beiden Tierarten konnte eine signifikante Erhöhung des RI und PI dokumentiert werden (NOVELLAS et al. 2010). Nach ihrer Auffassung kann ein erhöhter RI auf eine Nierenerkrankung hindeuten (NOVELLAS et al. 2006).

Der Resistance-Index lässt Rückschlüsse auf das Vorliegen und teilweise auf die Art der Nierenerkrankung ziehen. So gehen akute tubuläre Erkrankungen bei Hunden mit einem RI-Anstieg einher, während glomeruläre Nephropathien sich durch einen normalen bis geringen RI auszeichnen. Handelt es sich um eine vaskuläre Veränderung kann keine allgemeine Vorhersage über den RI getroffen werden, d.h. dieser kann sowohl erhöht als auch erniedrigt sein. Unter der Voraussetzung, dass ein  $RI > 0,7$  als erhöht gilt, konnten Nierenerkrankungen mit einer Sensitivität von 38 % und einer Spezifität von 96 % diagnostiziert werden (MORROW et al. 1996). In einer ähnlichen Studie bei Hund und Katze konnten RIVERS und Mitarbeiter (1997b) zusätzlich feststellen, dass die Höhe des RI nicht mit der Schwere der Nierenveränderung korreliert. Nach erfolgreicher Therapie normalisierte sich bei einigen Tieren der RI wieder. Die Pathologie, die zu einer Erhöhung des RI führt, kann auch distal der Niere lokalisiert sein. Beispielsweise studierten NYLAND und Mitarbeiter (1993) die Auswirkungen von Ureterobstruktionen auf den RI. Angenommen, es wird ein  $RI > 0,7$  als pathologisch angesehen, liegt mit einer Sensitivität von 73 % und einer Spezifität von 77 % eine Ureterobstruktion vor. Aufgrund der hohen Zahl von 27 % an falsch negativen Ergebnissen, sollte der RI zur Erkennung von Obstruktionen nicht herangezogen werden (NYLAND et al. 1993).

Bei Hunden mit operativ verschlossenem Harnleiter konnte allerdings im Verlauf von 5 Tagen ein deutlicher Anstieg des RI von im Mittel  $0,63 \pm 0,02$  auf  $0,75 \pm 0,2$  verzeichnet werden. Dopplersonographische Verlaufskontrollen sind somit zur Erkennung von Ureterobstruktionen als sinnvoll zu werten (CHOI et al. 2003).

In einer Studie über die dopplersonographische Untersuchung der Niere an Perserkatzen mit PKD, zeigten nur die Tiere mit klinischen Symptomen einer Niereninsuffizienz einen Anstieg der Indizes. Bei Tieren ohne klinische Symptome mit PKD konnten keine Veränderungen festgestellt werden (MÖLLER 2001).

Bei dopplersonographischen Untersuchungen der Niere beim Alpaka wurden bei vier Tieren mit Nierenzysten niedrigere Indizes gemessen, im Gegensatz zu den Normwerten (BUBLAK 2002).

GORGAS (2004) konnte in ihrer Studie über die Nierendurchblutung beim Frettchen einen Zusammenhang zwischen gestörtem Allgemeinbefinden ohne pathologisches Korrelat und Veränderungen des RI feststellen. Die Werte lagen mit  $0,64 \pm 0,089$  deutlich höher als bei gesunden Tieren. Bei Tieren mit morphologischen Nierenveränderungen ohne klinische Symptome einer Niereninsuffizienz konnte keine Erhöhung des RI festgestellt werden.

LEE und Mitarbeiter (2001) untersuchten in ihrer Studie den Einfluss einer experimentell induzierten einseitigen Hydronephrose durch Ligatur des Ureters auf den RI an 14 Weißen Neuseeländern. Im Verlauf dieser Untersuchung stieg der RI bei anästhesierten Kaninchen von  $0,56 \pm 0,04$  vor der Ligatur auf  $0,67$  sechs Stunden post Ligatur. Obstruierte Kaninchennieren hatten einen signifikant höheren RI als die kollaterale Niere.

Eine weitere Studie an Weißen Neuseeländern von COLEY und Mitarbeiter (1995) zeigte eine signifikante Erhöhung des RI bei vollständig obstruierten Nieren im Gegensatz zur partiellen Obstruktion.

In einer tierexperimentellen Studie an zehn Weißen Neuseeländern wurde durch eine intramuskuläre Injektion einer Glycerol Lösung ein reversibles akutes Nierenversagen herbeigeführt. Die dopplersonographische Untersuchung in der A. arcuatae und den Interlobulararterien wurden jeweils vor und nach der Injektion unter Sedation durchgeführt. Als Ergebnis, zeigte sich ein signifikanter Anstieg des RI vom Ausgangswert  $0,54 \pm 0,04$  auf  $0,80 \pm 0,10$  nach 12 Stunden. Sieben Tage post Injektion waren wieder die ursprünglichen Ausgangswerte zu vermessen. Die Autoren sind der Meinung, dass der RI zur Verlaufskontrolle des akuten Nierenversagens eingesetzt werden kann (YOON et al. 1995).

### **III. Material und Methode**

#### **1. Material**

##### **1.1 Technische Ausrüstung**

Die Ultraschalluntersuchungen und die Quantifizierung der Blutflüsse wurden mit dem Ultraschallgerät LOGIQ 5 PRO der Firma GE Medical Systems durchgeführt. Das Gerät war mit einem 10 L-Linearschallkopf ausgestattet. Für die B-Bildsonographie wurde bei einer Arbeitsfrequenz von 10 MHz gearbeitet und die Dopplersonographie bei 8 MHz durchgeführt.

Für zwei Kaninchen stand das Ultraschallgerät MyLab 40 XVision der Firma Esaote zur Verfügung. Verwendet wurde ein Linearschallkopf des Typs LA523, der über eine Sendefrequenz von 7 – 14 MHz verfügt.

##### **1.2 Dokumentation**

Beide Ultraschallgeräte verfügen über die Möglichkeit der digitalen Aufzeichnung. Das gespeicherte Bildmaterial wurde mittels USB-Stick auf einen Laptop der Firma Sony übertragen und anschließend auf einer externen Festplatte archiviert.

Die mit dem Ultraschallgerät LOGIQ 5 Pro erstellten Bilder wurden mittels Softwareprogramm ImageGrab 5.0.6 in Dateien des Formates jpg umgewandelt. Für das Ultraschallgerät MyLab 40 XVision stand ein Computerprogramm der Firma Esaote (MyLab Desk – Esaote Viewer) zur Verfügung. Dieses Programm wurde auf dem Laptop installiert und zur Auswertung des gespeicherten Bildmaterials verwendet.

##### **1.3 Tierpool**

Bei 46 Kaninchen erfolgte eine allgemeine Gesundheitskontrolle inklusive sonographischer Untersuchung des Abdomens. Anamnestisch fielen keine Erkrankungshinweise auf. Aufgrund von sonographischen Auffälligkeiten wurden

im Rahmen dieser Untersuchung zwei Kaninchen aus der Bewertung ausgeschlossen.

Bei jedem Tier wurde das Gewicht ermittelt und das Geschlecht bestimmt.

Von den 44 Kaninchen waren 25 weiblichen Geschlechts, davon 2 kastriert und 19 Tiere waren männlich, davon 10 kastriert.

Das Alter der Kaninchen lag zwischen 6 Monaten und 6 Jahren, bei einem Durchschnittsalter von 2,7 Jahren.

Das Körpergewicht der Kaninchen variierte zwischen 1,1 kg und 2,6 kg. Die durchschnittliche Gewichts- und Altersverteilung der Kaninchen ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tab.7: Alter und Gewicht der untersuchten Kaninchen (n=44)

	<b>gesamt</b>	<b>Rammler</b>	<b>Häsinnen</b>
Alter in Jahren (MW ± SD)	2,7 ± 1,7	2,7 ± 1,8	2,7 ± 1,7
Gewicht in kg (MW ± SD)	1,7 ± 0,4	1,9 ± 0,4	1,6 ± 0,4

Bei den Kaninchen wurden Tiere der unterschiedlichsten Rassen untersucht, darunter Farbenzwerge, Rexzwerge, Löwenkopfkkaninchen, Zwergwidder und Zwergkaninchen. Letztere waren am häufigsten vertreten.

## **2. Methode**

### **2.1 Klinische Allgemeinuntersuchung**

Bei allen Tieren wurde vor der Sonographie eine ausführliche Anamnese erhoben und eine klinische Allgemeinuntersuchung durchgeführt. Bei der klinischen Untersuchung wurden der Ernährungs- und Pflegezustand, Haltung und Verhalten sowie die Adspektion von Schleimhäuten, die Palpation von Abdomen und Lymphknoten und die Auskultation von Herz und Lunge beurteilt. Es wurden nur

klinisch gesunde Zwergkaninchen in die weiteren Untersuchungen mit einbezogen.

## **2.2 Vorbereitung und Lagerung der Kaninchen auf die sonographische Untersuchung**

Alle Tiere hatten bis zur Ultraschalluntersuchung Heu und Wasser ad libitum zur Verfügung. Im Gegensatz zu Hund und Katze ist eine Nahrungskarenz beim Kaninchen kontraindiziert, da die Gefahr der Entstehung einer Magen-Darm-Tympanie besteht.

Bei allen untersuchten Tieren wurde das Fell sorgfältig geschoren. Verwendet wurde dafür eine Aesculap-Favorita Schermaschine mit einem Scherkopf von 1/10 mm Schnitthöhe. Für die Sonographie der Nieren wurde das Haarkleid beidseits zwischen der letzten Rippe und der Kniefalte geschoren. Für eine optimale Darstellung der Niere im Dorsalschnitt erfolgte eine Rasur relativ weit laterodorsal. Aufgrund der sehr dünnen Haut der Tiere musste beim Scheren eine sehr gute Fixierung erfolgen, um Hautirritationen und Verletzungen durch den Scherkopf zu vermeiden. Um jedoch eine optimale Bildqualität zu erreichen, war eine gründliche Rasur von großer Notwendigkeit. Aus diesem Grund beanspruchte das Scheren relativ viel Zeit.

Für die Rasur und Ultraschalluntersuchung wurde das Tier vorsichtig auf einem Handtuch und einer Lagerungsmatte in Rückenlage von einer Hilfsperson fixiert. Dabei reichte es aus, Kopf und Vordergliedmaße leicht zu fixieren, so dass ein Drehen des Kopfes zur Seite verhindert wurde. In dieser Position verfallen die Kaninchen in eine sogenannte Schreckstarre, in der die Hintergliedmaßen leicht angezogen sind und meistens ein Zittern zeigen. In der Regel mussten deshalb die Beckengliedmaße nicht fixiert werden, außer bei sehr nervösen und unruhigen Tieren.

Ein Beispiel für die Lagerung eines Kaninchens zur Ultraschalluntersuchung ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.



Abb.2: Lagerung eines Kaninchens zur Ultraschalluntersuchung

Als Ankopplungsmedium wurde ein herkömmliches Ultraschallgel auf Wasserbasis verwendet und großzügig auf Schallkopf und Untersuchungsbereich aufgetragen. Alkohol zum Entfetten der Haut kam bei keinem Kaninchen zum Einsatz. Nach einer Einwirkzeit von fünf Minuten konnte mit der Sonographie begonnen werden. Nach der Ultraschalluntersuchung wurden die Reste des Ultraschallgels mit Hilfe von Zellstoff und Papiertüchern entfernt.

Keines der Tiere musste für die Ultraschalluntersuchung sediert werden.

### 2.3 Sonographische Untersuchung

Der sonographische Untersuchungsgang der Niere beim Kaninchen wurde entsprechend dem in der Tiermedizin etablierten Untersuchungsverfahren bei Hund und Katze durchgeführt (KNAUFF 1987, NYLAND et al. 2002a, PRÜFER 1994). Beide Nieren wurden in Quer- und Längsschnitten durchgemustert. Dabei wurden die Größe, Lage, Form, Echogenität und Echotextur der Nieren beurteilt. In Abbildung 3 sind die verschiedenen Anschallebenen der Niere bildlich dargestellt.

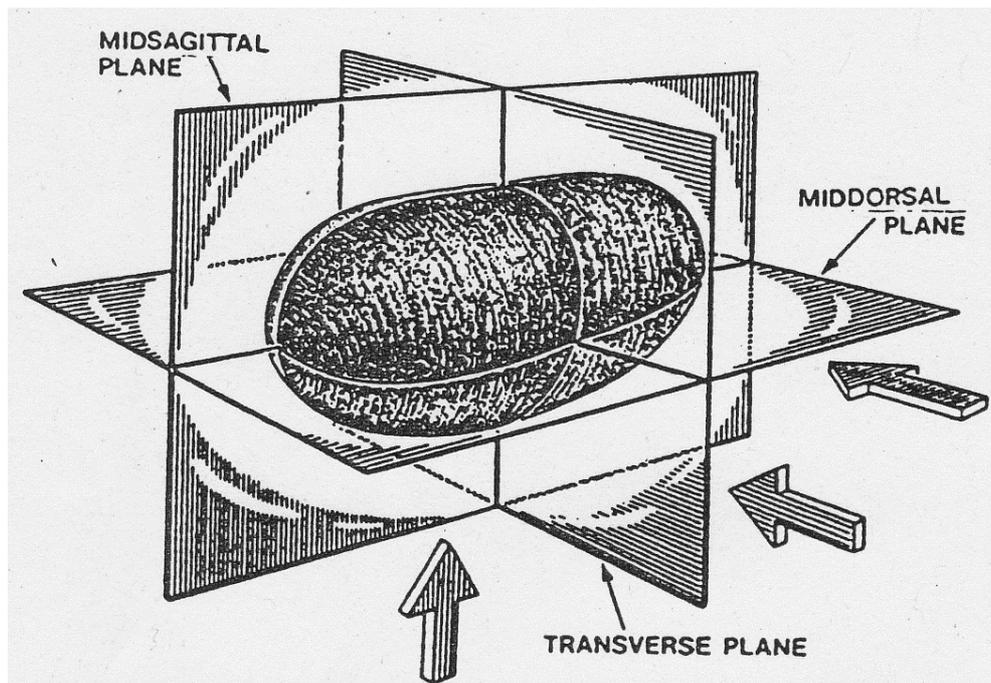


Abb.3: Darstellung der Anschallebenen der linken Niere (WOOD und McCARTHY 1990)

Es erfolgte zuerst die Untersuchung der linken Niere und nach ca. 15 Minuten die Untersuchung der rechten Niere.

### 2.3.1 Schallkopfposition und Schnittebenen

Die genaue Position des Schallkopfes zur Darstellung der Niere ist in der neben dem Bild befindlichen Zeichnung eines Kaninchens (Schemazeichnung aus ANGELI 2008) in Form eines schwarzen Balkens dargestellt. Jede Niere wurde in drei Schnittebenen angeschallt (siehe Abbildung 4 - 6).

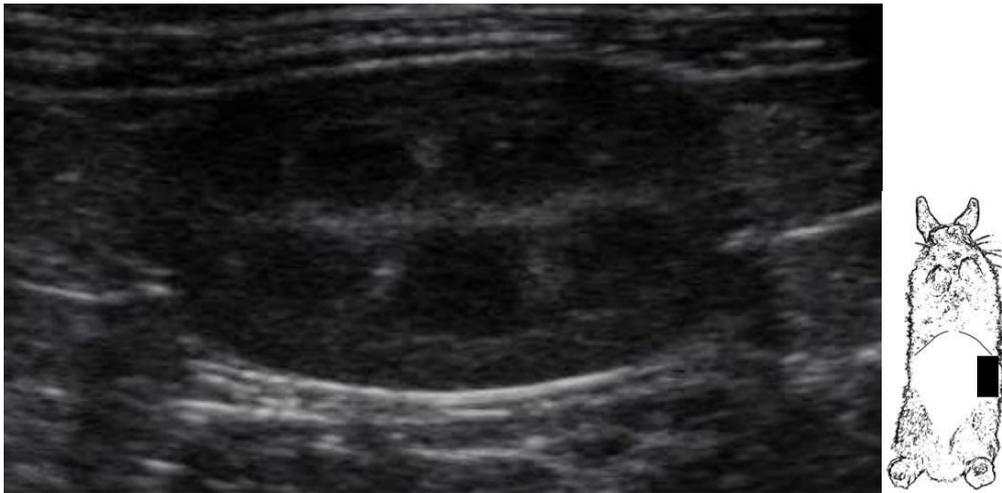


Abb.4: Sagittalschnitt der linken Niere

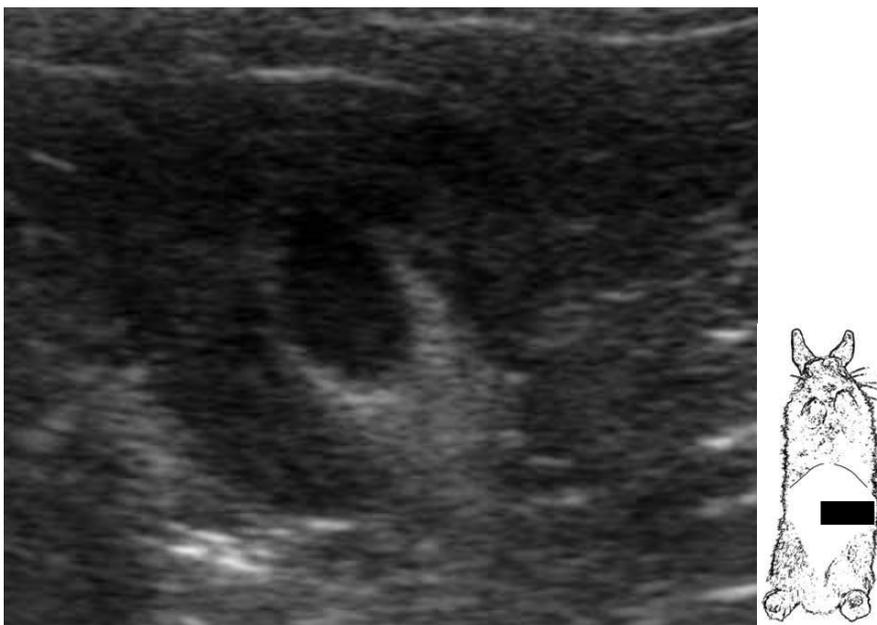


Abb.5: Transversalschnitt der linken Niere

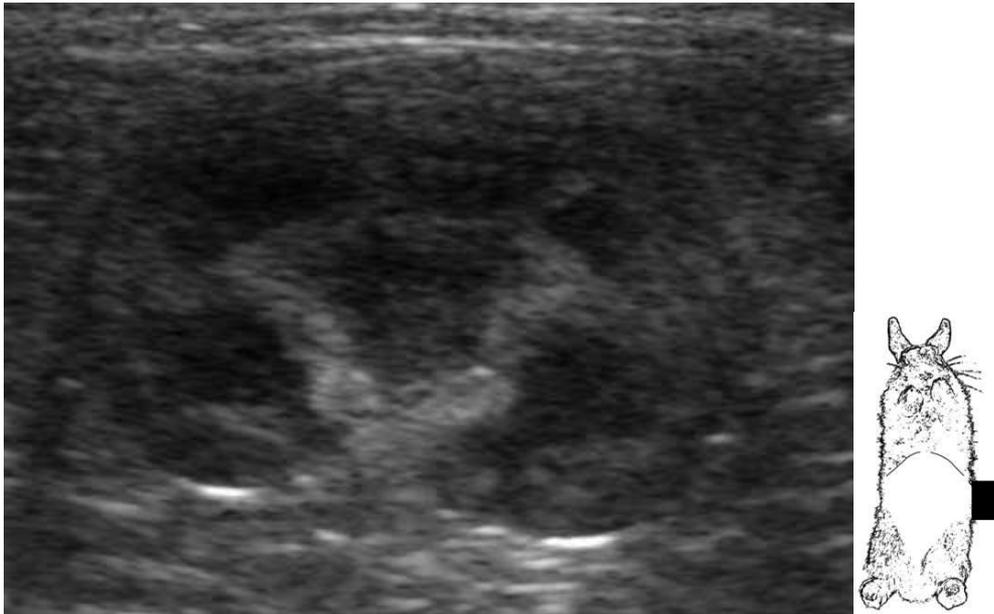


Abb.6: Dorsalschnitt der linken Niere

### 2.3.2 Messungen

Die Vermessung der Nierengröße erfolgte im B-Bild Modus. Zur Beurteilung der Nierengröße wurde die rechte und linke Niere in zwei Ebenen dargestellt. Hierzu wurden im Sagittalschnitt Länge und im Transversalschnitt Höhe, Breite und Hilus bestimmt. Die Nierenmaße wurden nachträglich mit dem Cursor auf dem Monitor im gespeicherten Bildmaterial im Anschluss jeder Untersuchung vermessen.

Alle Messung wurden pro Seite zweimal durchgeführt und daraus der Mittelwert errechnet.

### 2.3.3 Festlegung der Messebenen

Die Längenmessung der rechten und linken Niere erfolgte im Sagittalschnitt auf Höhe der Crista renalis.

#### **Messung der Länge:**

Nierenlänge = Verbindung zwischen dem kaudalen und kranialen Nierenpol (KNAUFF 1987).

Die Messung der Höhe, der Breite und des Hilus erfolgten im Transversalschnitt auf Höhe des Nierenhilus.

#### **Messung der Höhe:**

Nierenhöhe = Verbindung zwischen Margo lateralis und Margo medialis der Niere (KNAUFF 1987).

#### **Messung der Breite:**

Nierenbreite = Verbindung zwischen Facies ventralis und Facies dorsalis der Niere (KNAUFF 1987).

#### **Messung des Hilus:**

Der Nierenhilus ist die Verbindung zwischen den zwei spitzen Enden der Nierenrinde im Transversalschnitt (Abbildung 7).

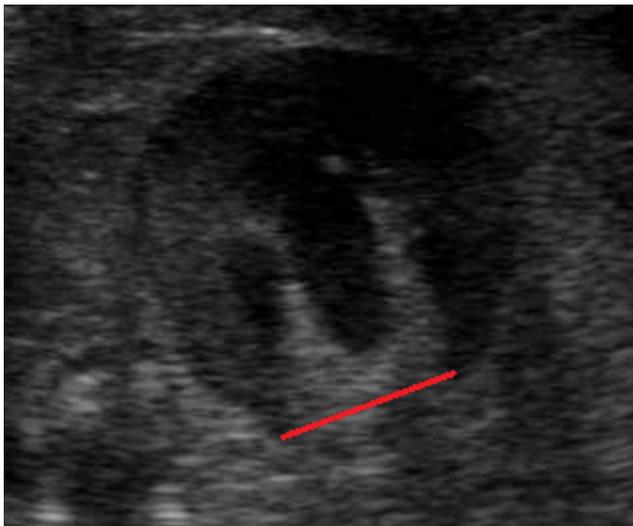


Abb.7: Messung des Nierenhilus

#### **Bestimmung des relativen Hilus:**

Zur Bestimmung des relativen Hilus wurde die Hilusbreite ins Verhältnis zur Breite der Niere gesetzt, also Hilusbreite dividiert durch Nierenbreite.

#### **Bestimmung des Rinden-Mark-Verhältnis:**

Die Breite der Nierenrinde und des Nierenmarkes wurden im Sagittalschnitt vermessen. Dazu wurde eine senkrechte Linie zum deutlichen zentralen Sinusreflex (Crista renalis) durch die Mitte zwischen zwei Columnae renales bis zur Nierenkapsel gezogen (Abbildung 8). Anschließend wurde das Verhältnis

Rinde zu Mark berechnet, also Markbreite dividiert durch Rindenbreite. Es wurde keine Unterscheidung zwischen der rechten und linken Niere vorgenommen. Ein Beispiel für die Messungen kann der Abbildung 8 entnommen werden.

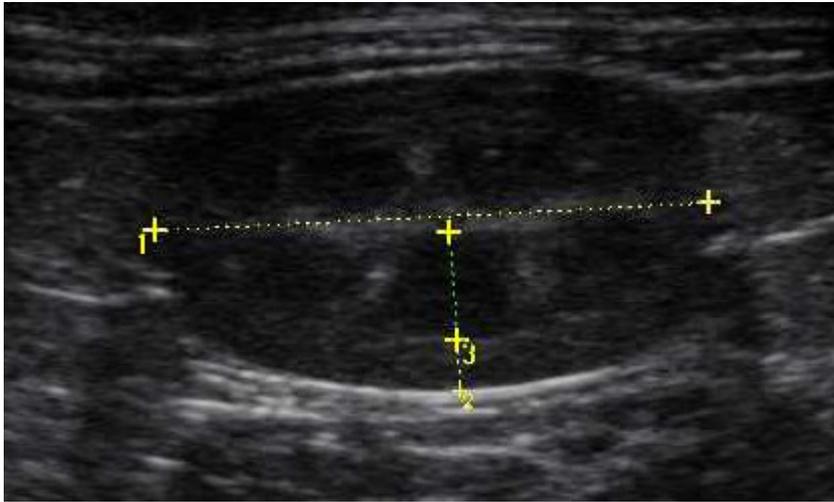


Abb.8: Messung der Breite von Nierenrinde und Nierenmark

### **Messung des Nierenvolumens:**

Das Nierenvolumen ist das geeignetere Maß, um die Abhängigkeiten der Nierengröße von Parameter wie Alter, Geschlecht, Gewicht zu eruieren, da alle drei Einzelwerte (Länge, Breite, Höhe) gemeinsam berücksichtigt werden. Die Berechnung des Nierenvolumens wurde schon erfolgreich in einer anderen Studie durchgeführt (MÖLLER 2001). Das Nierenvolumen wurde anhand der Formel für ein Rotationsellipsoid berechnet:

$$V = \text{Länge} * \text{Breite} * \text{Höhe} * \frac{\pi}{6}$$

## **2.4 Dopplersonographische Untersuchung**

### **2.4.1 Messungen**

Die Gefäßdarstellung erfolgte im Dorsalschnitt auf Höhe des Organhilus. Mit Hilfe des Farbdopplers wurden zunächst die Aa. interlobares identifiziert. Meistens konnte die kraniale, mittlere oder kaudale A. interlobaris gut dargestellt werden. Anschließend wurde mit Hilfe des Trackballs ein Messfenster zentral im

Lumen des gewählten Gefäßes positioniert und der Powerdoppler aktiviert. Um korrekte absolute Fließgeschwindigkeiten über das Doppler-Frequenz-Spektrum zu erhalten, musste eine Winkelkorrektur gemäß dem Verlauf der Arterie vorgenommen werden. Der Winkel wurde unter  $55^\circ$  gehalten. Es wurden jeweils an der rechten und linken Niere zwei Aa. interlobares dargestellt und an diesen die Blutfließparameter bestimmt. Jede Messung wurde drei- bis fünfmal wiederholt und daraus der Mittelwert bestimmt. Die Kurven wurden direkt am Ultraschallgerät ausgemessen. Es wurden nur qualitativ gute, scharf begrenzte Dopplerkurven mit gleichmäßigem Fluss zur Messung verwendet.

Für die Bestimmung der zeitlich gemittelten Maximalgeschwindigkeit und des Pulsatilitäts-Index wurde manuell eine Hüllkurve um die Dopplerpulsquelle gelegt und das Integral unter der Kurve automatisch berechnet.

Es wurde bei jeder Untersuchung die schnellstmögliche Durchlaufgeschwindigkeit eingestellt.

Folgende Parameter wurden dann aus der Dopplerkurve ermittelt (Tabelle 8).

Tab.8: Berechnungsparameter arterieller Blutgefäße

Berechnungsparameter	Abkürzungen	Einheit
systolische Maximalgeschwindigkeit	SPV	cm/s
enddiastolische Geschwindigkeit	EDV	cm/s
zeitlich gemittelte Maximalgeschwindigkeit	TAMAX	cm/s
Resistance-Index	RI	dimensionslos
Pulsatilitäts-Index	PI	dimensionslos
Pulsfrequenz	PF	Schläge/min

## 2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm IBM SPSS 19.0.0.

Im ersten Schritt der statistischen Auswertung wurde mit der Hilfe eines Histogramms visuell beurteilt, ob eine Normalverteilung der Daten vorlag.

Von allen Werten wurde eine deskriptive Statistik erstellt, welche die Stichprobengröße (n), das arithmetische Mittel (MW), den Median, die Standardabweichung (SD), das Minimum (Min) und das Maximum (Max) beschreibt.

Der t-Test für unabhängige sowie der für gepaarte Stichproben kamen zur Anwendung bei der Überprüfung, ob Unterschiede in Mittelwerten statistisch signifikant waren.

Bei Mehrfachvergleichen erfolgte eine Adjustierung nach Bonferroni. Die Abhängigkeiten wurden nach dem Korrelationskoeffizient (r) nach Pearson berechnet, wobei das Signifikanzniveau auf 5 % ( $p \leq 0,05$ ) festgelegt wurde.

### Evaluation der Messungen

Die Richtigkeit beschreibt, wie weit ein ermittelter Messwert vom wahren Wert abweicht. Ein Versuch kann somit präzise, also reproduzierbar sein, aber unrichtig (ANDERMANN 2007). Zur Bestimmung der Richtigkeit müsste allerdings der wahre Wert bekannt oder mit einer Referenzmethode ermittelt worden sein. Dies lag weder für die Distanzmessung noch für die dopplersonographischen Messungen vor. Die Richtigkeit der in dieser Arbeit verwendeten Messmethoden konnte daher nicht bestimmt werden.

Die Präzision oder Genauigkeit ist ein Maß für die Übereinstimmung unabhängig voneinander ermittelter Messwerte. Wenn die ermittelten Messwerte nah beieinander liegen, spricht das für eine hohe Präzision (Reproduzierbarkeit) einer Messmethode. Die Präzision beschreibt die zufällige Streuung von Messwerten, was jedoch nicht zwangsläufig bedeutet, dass die gemessenen Werte dem wahren Wert entsprechen (ANDERMANN 2007).

Für die Bestimmung der Genauigkeit werden mehrere Messwerte aus Wiederholungsmessungen benötigt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Distanzmessungen jeweils zweimalig bestimmt und die dopplersonographischen Messungen dreimalig.

Als Maß für die Reproduzierbarkeit wurde der Variationskoeffizient und der Mindestabstand ( $\Delta D$ ) zwischen zwei Messungen, der bestehen muss, um mit 95%iger Sicherheit unabhängig von der Messgenauigkeit zu sein, berechnet.

Der Variationskoeffizient und der Mindestabstand wurden entsprechend den Beschreibungen nach BLAND (2000) berechnet.

## IV. Ergebnisse

### 1. B-Bild Sonographie

Für diese Arbeit wurden lediglich Tiere mit ungestörtem Allgemeinbefinden und sonographisch unauffälligen Nieren ausgewertet. Untersucht wurden insgesamt 46 Kaninchen. Bei zwei Kaninchen lagen pathologische Veränderungen der Niere vor, wodurch diese aus der Studie ausgeschlossen werden mussten. Beide Nieren konnten problemlos in jeweils drei senkrecht aufeinanderstehenden Schnittebenen dargestellt werden. Aufgrund der einfacheren sonographischen Darstellung empfiehlt es sich mit der Untersuchung der linken Niere zu beginnen. Die optimale Darstellung der rechten Niere bereitete jedoch aufgrund ihrer weit kranialen Lage einen etwas größeren Zeitaufwand. Auch die Positionierung des Schallkopfes wurde durch den angrenzenden Rippenbogen geringgradig erschwert.

Die rechte und linke Niere stellten sich im Sagittalschnitt (Abbildung 9) oval, im Transversalschnitt (Abbildung 10) rundlich und im Dorsalschnitt (Abbildung 11) bohnenförmig dar. Bei allen Kaninchen waren Rinde und Mark in allen drei Schnittebenen, wenn auch teils undeutlich, voneinander abgrenzbar. Die Nierenkapsel war bei optimal senkrechter Anschallung als dünner hyperechogener Streifen darstellbar. Die Nierenrinde zeigte sich von einer homogenen, feinkörnigen Struktur mit mittlerer Echogenität. Sie besitzt eine ähnliche Echogenität wie das angrenzende Leberparenchym. Die Milz mit ihrer geringgradigen Echogenität beim Kaninchen ließ sich häufig schlecht darstellen, weswegen der beim Hund übliche Milz-Rinden-Vergleich problematisch war.

Das Parenchym des Nierenmarkes erschien im Ultraschallbild ebenfalls homogen von feiner Körnung, aber im Vergleich zur Nierenrinde echoärmer. Das Nierenbecken konnte nicht dargestellt werden. Der Sinus renalis stellte sich stark hyperechogen und weit dar, im Transversal- und Dorsalschnitt zeigte er sich Y-förmig.

Die Nierengefäße waren im Bereich des Organhilus im Transversal- sowie im Dorsalschnitt als echoloses Lumen erkennbar. Im B-Bild-Modus konnten nur die V. renalis und die Anfangsabschnitte der Vv. interlobares dargestellt werden

(Abbildung 10). Die weitere Aufzweigung der Nierengefäße war im B-Bild nicht erkennbar.

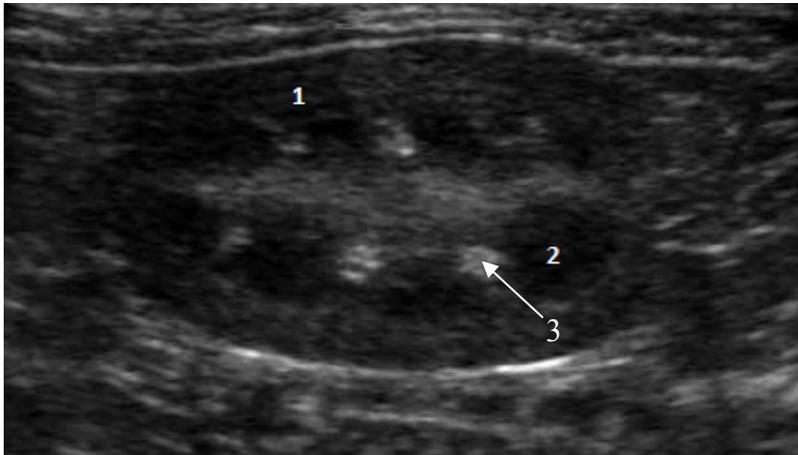


Abb.9: linke Niere im Sagittalschnitt (Zwergkaninchen, Rammler, 2,2 kg, 4 Jahre)

1 Nierenrinde, 2 Nierenmark, 3 Recessus renalis

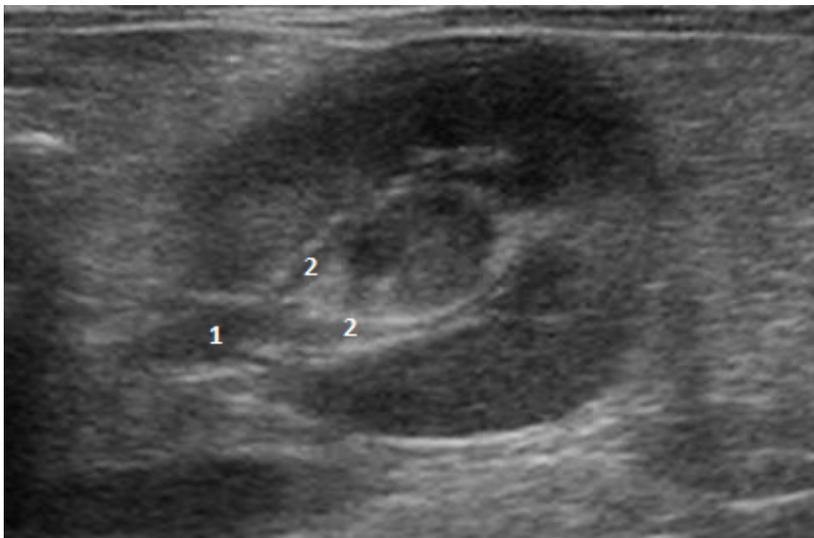


Abb.10: linke Niere im Transversalschnitt (Zwergkaninchen, Häsin, 1,9 kg, 4 Jahre)

1 V. renalis, 2 Vv. interlobares

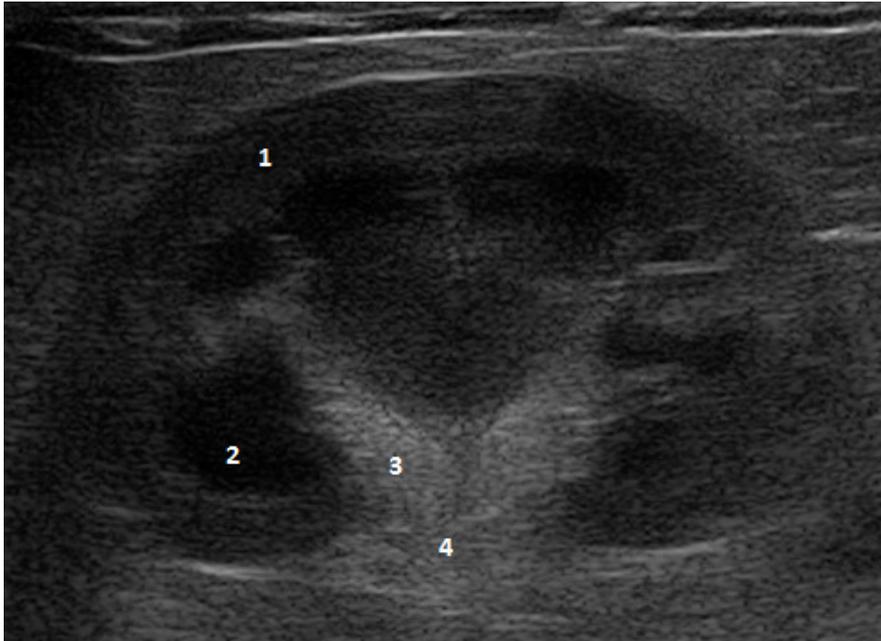


Abb.11: linke Niere im Dorsalschnitt (Zwergwidder, Häsin, 2,4 kg, 5 Jahre)

1 Nierenrinne, 2 Nierenmark, 3 Sinus renalis, 4 Hilus renalis

## 2. Sonographische Messung der Nierengröße

Die Messungen der linken Niere konnten bei allen 44 Kaninchen ausgewertet werden. Die rechte Niere ließ sich im Transversalschnitt bei vier Kaninchen aufgrund mangelnder Kooperationsbereitschaft und somit schlechter Bildqualität nicht auswerten. Die Nieren waren sehr gut vom umliegenden Gewebe abgrenzbar und somit konnte die Vermessung der Nieren ohne Probleme durchgeführt werden.

Die Nierengröße (Länge, Höhe, Breite, Hilus) wurde, wie schon im Methodenteil ausführlich erläutert, jeweils in zwei Ebenen vermessen.

### 2.1 Distanzmessungen der rechten und linken Niere

Die Messung der Nieren erfolgte im Sagittalschnitt auf Höhe der Crista renalis und im Transversalschnitt auf Höhe des Nierenhilus. Die Abbildungen 12 und 13 veranschaulichen visuell die angelegten Messebenen.

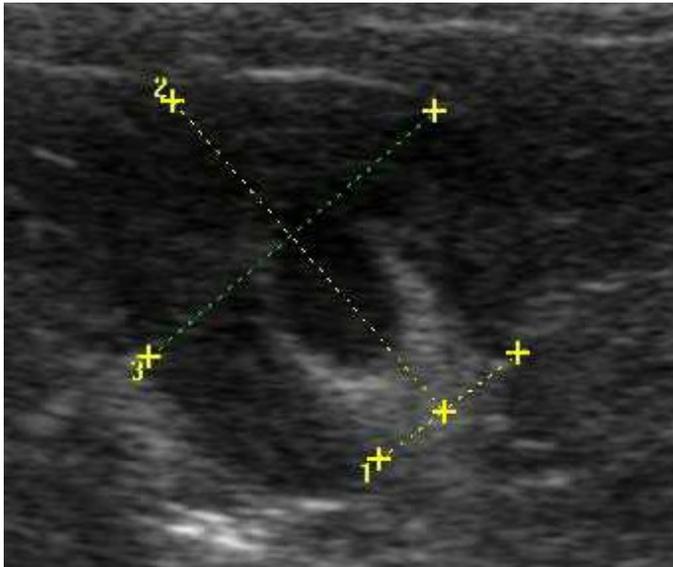


Abb.12: Nierenbreite, -höhe, -hilus, gemessen im Transversalschnitt der rechten Niere (Zwergkaninchen, Rammler, 1,4 kg, 5 Jahre)



Abb.13: Nierenlänge, gemessen im Sagittalschnitt der linken Niere (Zwergwidder, Häsin, 2,4 kg, 5 Jahre)

Der Mittelwert der rechten Nierenlänge betrug 2,57 cm. Die Spanne zwischen kleinstem und größtem Wert war im Vergleich zu den anderen Werten groß und reichte von minimal 2,15 cm bis maximal 3,03 cm.

Die Messungen für die Höhe der rechten Niere lagen zwischen 1,23 cm und 1,93 cm. Das ergibt einen Mittelwert von 1,65 cm.

Im Durchschnitt war die rechte Niere 1,52 cm breit. Das Minimum lag bei 1,28 cm, das Maximum bei 2,10 cm.

Der errechnete Mittelwert für den rechten Nierenhilus betrug 0,63 cm. Der Hilus variierte von 0,39 cm bis 0,90 cm.

Bei der Vermessung der Länge der linken Niere erhielt man Ergebnisse zwischen 2,24 cm und 3,08 cm. Die Berechnung des Mittelwertes ergab 2,61 cm.

Für die Höhe der linken Niere wurde ein Mittelwert von 1,62 cm bestimmt, mit dem kleinsten Wert 1,26 cm und dem größten Wert 1,94 cm.

Die Ergebnisse der Breite der linken Niere reichten von 1,16 cm bis 1,88 cm. Daraus resultierte ein Mittelwert von 1,60 cm.

Für den linken Nierenhilus wurden Werte von 0,43 cm bis 1,03 cm gemessen. Der Mittelwert lag bei 0,64 cm.

In den Tabellen 9 und 10 sind die Mittelwerte mit der jeweiligen Standardabweichung, dem Minimum und dem Maximum für die rechte und linke Niere beschrieben.

Tab.9: sonographisch ermittelte Nierenmaße der rechten Niere in cm (n=40)

rechte Niere	Länge	Höhe	Breite	Hilus
<b>MW</b>	2,57	1,65	1,52	0,63
<b>SD</b>	± 0,25	± 0,15	± 0,16	± 0,13
<b>Min</b>	2,15	1,23	1,28	0,39
<b>Max</b>	3,03	1,93	2,10	0,90

Tab.10: sonographisch ermittelte Nierenmaße der linken Niere in cm (n=44)

linke Niere	Länge	Höhe	Breite	Hilus
<b>MW</b>	2,61	1,62	1,60	0,64
<b>SD</b>	± 0,22	± 0,17	± 0,15	± 0,12
<b>Min</b>	2,24	1,26	1,16	0,46
<b>Max</b>	3,08	1,94	1,88	1,03

In den verschiedenen Distanzmessungen (Abbildung 14) gab es für die rechte und linke Niere keine relevanten Größenunterschiede. Die Nieren lagen somit in der gleichen Größenordnung. Es konnten keine Seitenunterschiede festgestellt werden. Höhe und Breite zeigten eine geringe Varianz und dadurch stellte sich die Niere im Querschnitt rundlich dar. Die Nierenlänge war etwa ein Drittel größer als die Nierenbreite. Beispielsweise betrug die Länge der linken Niere das 1,63 fache der Breite. Für die rechte Niere ist die Spannweite der Breite erheblich größer als für die linke Niere.

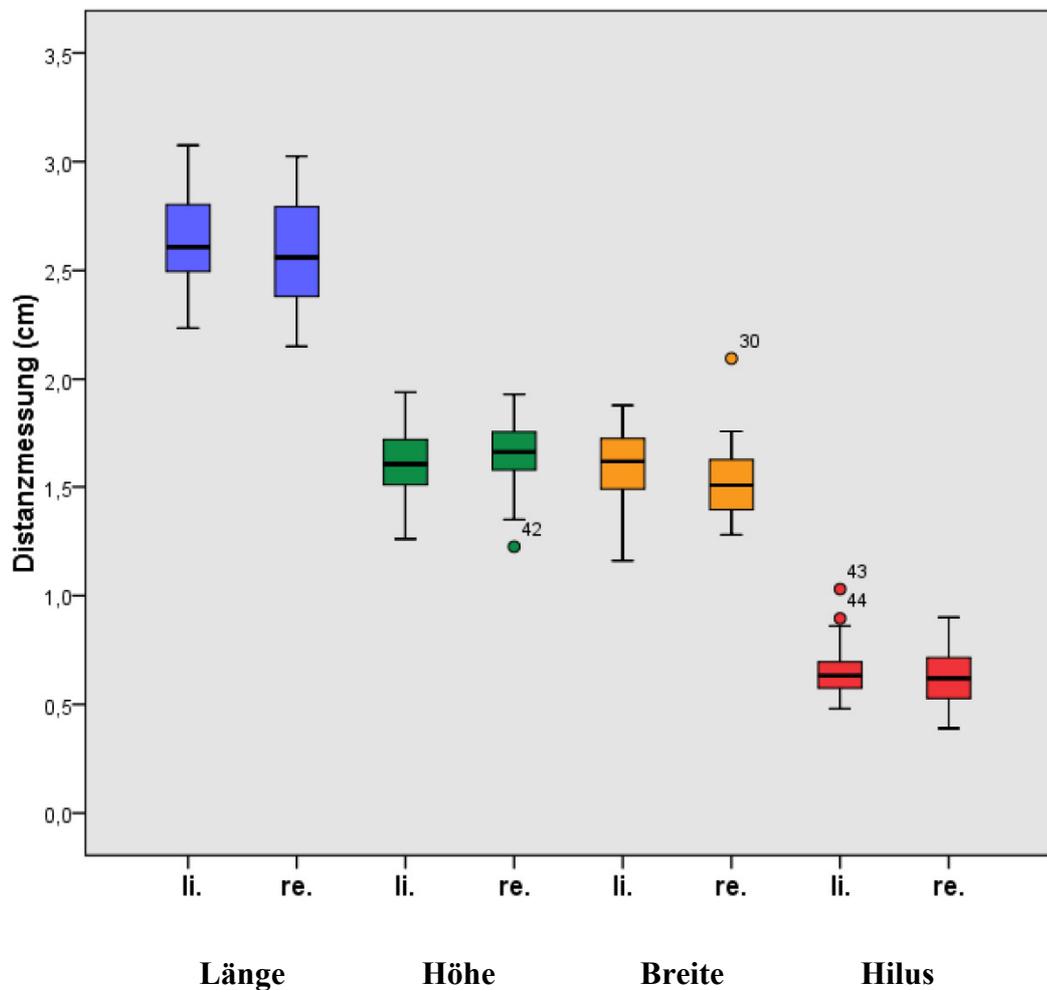


Abb.14: Distanzmessungen der rechten und linken Niere

## 2.2 Nierenvolumen

Das Nierenvolumen wurde bestimmt, um die Abhängigkeiten der Nierengröße von Körpergewicht, Geschlecht und Alter zu vergleichen. Es erscheint somit als geeignetes Maß, da alle drei sonographisch gemessenen Einzelwerte (Länge, Breite, Höhe) berücksichtigt werden.

In der Tabelle 11 sind die Mittelwerte für das absolute und relative Nierenvolumen mit der jeweiligen Standardabweichung, dem Minimum und dem Maximum beschrieben.

Tab.11: absolutes Volumen und relatives Volumen der rechten und linken Niere

	<b>absolutes Volumen li (ml)</b>	<b>absolutes Volumen re (ml)</b>	<b>relatives Volumen li (ml/kg)</b>	<b>relatives Volumen re (ml/kg)</b>
<b>MW ± SD</b>	3,57 ± 0,77	3,43 ± 0,71	2,13 ± 0,44	2,02 ± 0,44
<b>Min</b>	2,05	2,06	1,28	1,44
<b>Max</b>	5,12	4,83	3,23	3,06

Das absolute Volumen der linken Niere lag im Durchschnitt bei 3,57 ml und somit signifikant 4 % über dem der rechten Niere (Paarvergleichstest,  $p=0,02$ ). Das relative Nierenvolumen wurde berechnet auf 1000 g Körpermasse. Es betrug im Durchschnitt 2,13 ml/kg für die linke Niere und lag mit 5 % ebenfalls signifikant über dem der rechten Niere (Paarvergleichstest,  $p=0,048$ ).

Die Größe der linken und rechten Seite stehen in engem Zusammenhang miteinander ( $r=0,88$ ,  $p<0,001$ ). Für die weitere Auswertung der Abhängigkeit der Nierengröße von Gewicht, Geschlecht und Alter der Kaninchen war es daher im Weiteren ausreichend nur die Daten der linken Niere heranzuziehen.

### 2.2.1 Abhängigkeit des Nierenvolumens von Gewicht, Geschlecht und Alter des Tieres

Körpergewicht, Alter und Geschlecht sind Faktoren, die die Größe der Niere potentiell beeinflussen. Um die Abhängigkeiten zu überprüfen, wurde das Nierenvolumen benutzt.

Wie zu erwarten war, stellte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem absoluten Nierenvolumen und der Körpermasse dar. Größere und damit schwerere Tiere wiesen ein höheres Nierenvolumen auf (Abbildung 15). Es besteht somit eine starke positive Korrelation ( $r=0,64$ ,  $p<0,001$ ).

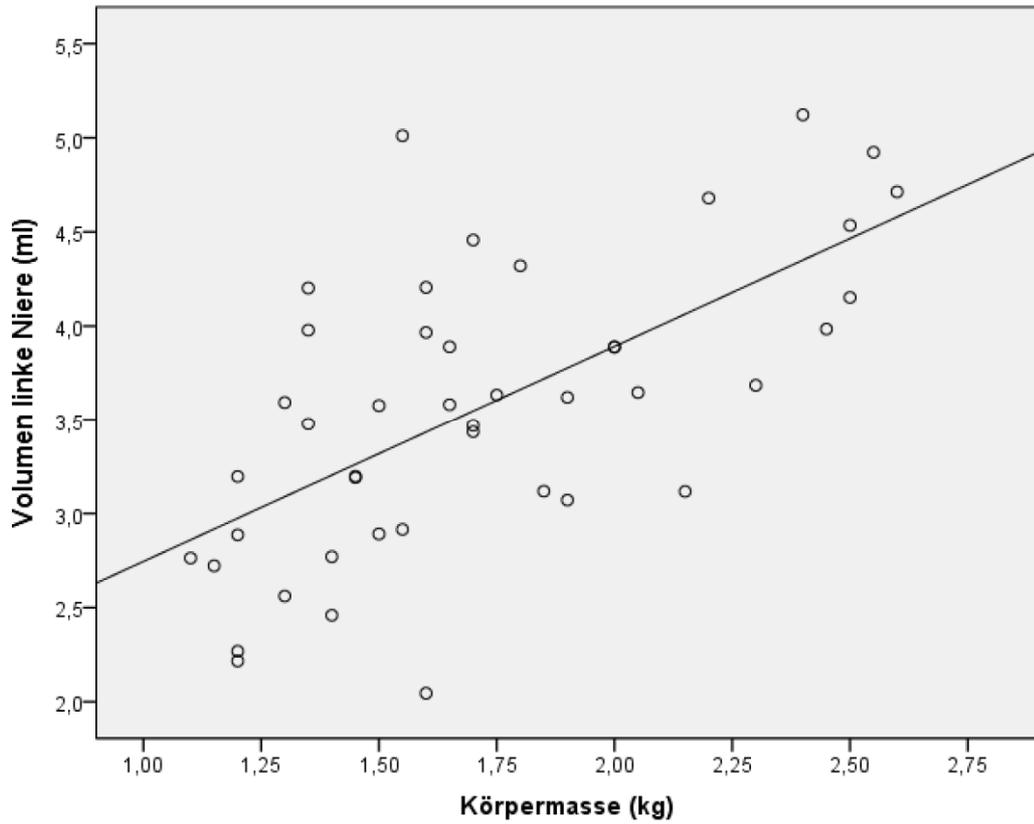


Abb.15: Abhängigkeit Volumen zur Körpermasse

Das relative Nierenvolumen korrelierte dagegen negativ mit der Körpermasse ( $r = -0,500$ ,  $p = 0,001$ ). Bei steigendem Gewicht nimmt das relative Nierenvolumen ab (Abbildung 16).

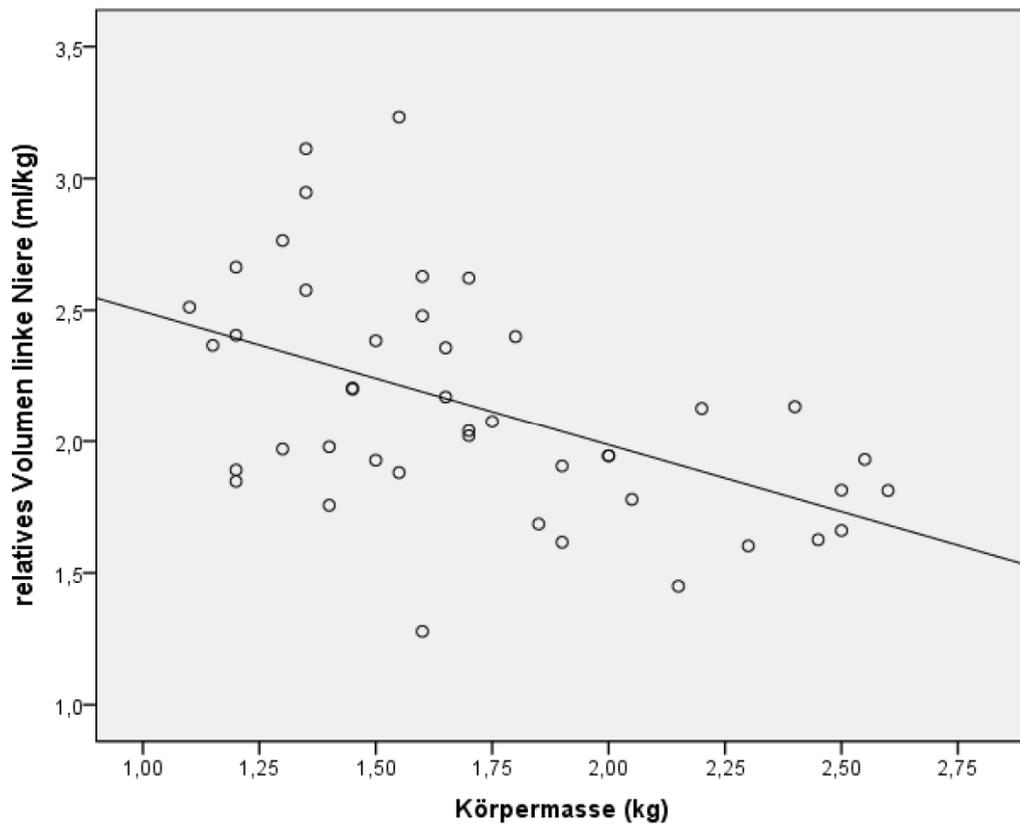


Abb.16: Abhängigkeit relatives Volumen zur Körpermasse

Das durchschnittliche absolute Nierenvolumen der weiblichen Tiere lag bei 3,55 ml und das der männlichen Tiere bei 3,60 ml (Tabelle 12). Es gab keinen relevanten Unterschied des absoluten Nierenvolumens zwischen männlichen und weiblichen Tieren. Demgegenüber lag bei den männlichen Tieren ein 14,7 % niedrigeres relatives Nierenvolumen vor als bei den weiblichen Tieren (Abbildung 17). Die Berechnung des partiellen Korrelationskoeffizienten ( $r=0,216$ ,  $p=0,165$ ) unter Ausschluss des Einflusses der Kovariablen „Gewicht“ ergab allerdings, dass es sich hier nur um einen Scheinzusammenhang handelt, der in dem durchschnittlich etwas höheren Gewicht der männlichen Tiere begründet liegt.

Tab.12: absolutes und relatives Nierenvolumen in Abhängigkeit vom Geschlecht (MW±SD)

Geschlecht	absolutes Nierenvolumen (ml)	relatives Nierenvolumen (ml/kg KGW)
Weiblich	3,55 ± 0,84	2,26 ± 0,47
Männlich	3,60 ± 0,70	1,97 ± 0,34

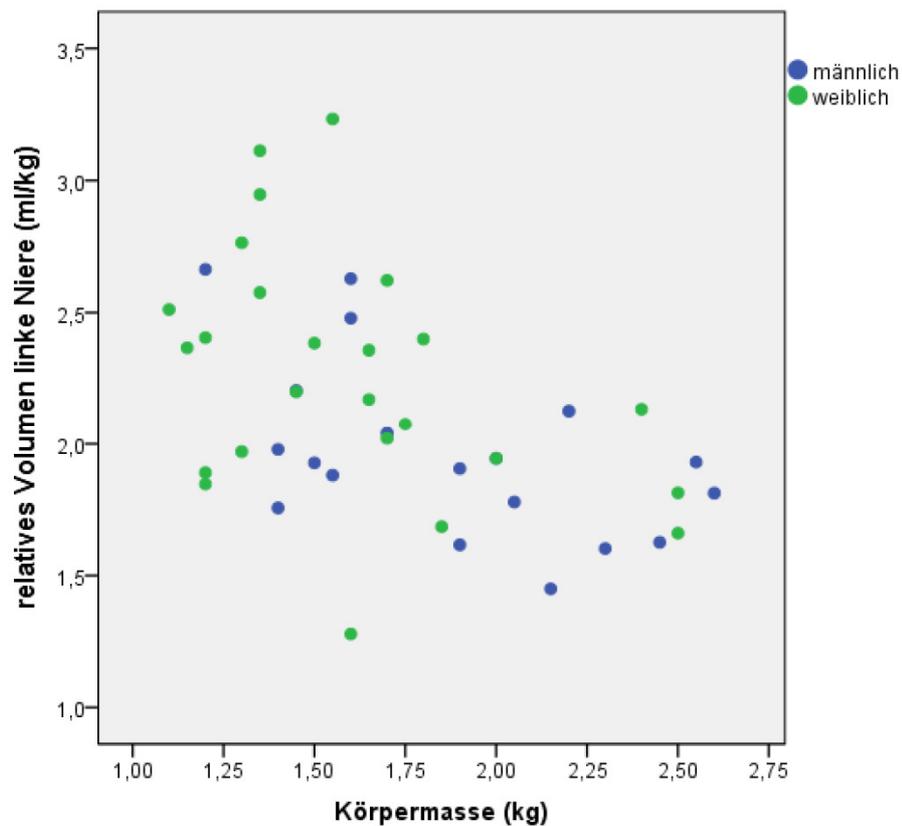


Abb.17: Abhängigkeit relatives Volumen zur Körpermasse

Das Lebensalter der Kaninchen hat keinen signifikanten Einfluss auf das absolute und relative Nierenvolumen. Das Alter der Kaninchen korreliert nicht bedeutsam mit dem Volumen ( $r=0,22$ ) und zudem ist dieser schwache Zusammenhang nicht signifikant ( $p=0,17$ ).

### 2.3 Rinden-Mark-Verhältnis

Die Nierenrinde war vom Nierenmark in allen drei Schnittebenen voneinander abgrenzbar. Zur Bestimmung des Rinden-Mark-Verhältnis wurde jedoch der Sagittalschnitt gewählt, da in dieser Schnittebene die Abgrenzung am deutlichsten war. Die Nierenrinde lässt sich sonographisch im bewegten B-Bild gut vom echoärmeren Nierenmark abgrenzen. Im Standbild war der Unterschied nicht eindeutig zu sehen, wodurch nur 20 von 44 untersuchten Kaninchen einbezogen wurden. Die Cortex renalis schien allgemein schmaler oder gleich groß zu sein als die Medulla renalis. Schallte man im Sagittalschnitt genau auf Höhe der Crista renalis erschien die Nierenrinde schmaler als bei paramedianer Anschallung. Dies wiederum wirkte sich auf das Rinden-Mark-Verhältnis aus.

Der Mittelwert für die Breite der Nierenrinde betrug 0,3 cm. Sie variierte von 0,2 cm bis 0,38 cm. Für die Breite des Nierenmarkes wurde ein Mittelwert von 0,39 cm bestimmt, mit dem kleinsten Wert 0,26 cm und dem größten Wert 0,53 cm.

Die durchschnittliche Breite der Cortex renalis war damit um ein Viertel kleiner als das angrenzende Nierenmark. Das Rinden-Mark-Verhältnis betrug im Mittel beim Kaninchen 1:1,33.

### 2.4 Hilus-Breiten-Verhältnis

Das Hilus-Breiten-Verhältnis wurde nach dem gleichen Prinzip wie das Rinden-Mark-Verhältnis berechnet. Die Hilusbreite wurde ins Verhältnis zur Breite der Niere gesetzt. Der Nierenhilus konnte nur optimal gemessen werden, wenn das Rindenmark eine hufeisenförmige Form aufwies und die Enden des Markes spitz zuliefen. Nur so konnte der Messansatz genau gewählt werden.

Im Mittel betrug der Nierenhilus das 0,4 fache der Nierenrinde. Der rechte und linke relative Hilus lagen in gleicher Größenordnung.

Die Größenangaben für den rechten und linken relativen Hilus kann der nachfolgenden Tabelle 13 entnommen werden.

Tab.13: Größe des linken und rechten relativen Hilus

	<b>relativer Hilus links</b>	<b>relativer Hilus rechts</b>
<b>MW ± SD</b>	0,40 ± 0,07	0,42 ± 0,09
<b>Min</b>	0,29	0,27
<b>Max</b>	0,56	0,63

## 2.5 Reproduzierbarkeit der Distanzmessungen

Für die Messungen der Länge, Höhe, Breite und Hilus wurde mit Hilfe der Reproduzierbarkeit überprüft wie genau die Messungen sind, also wie reproduzierbar die Messergebnisse sind.

Für die Nierenlänge, -breite und -höhe lag  $\Delta D$  in dem Bereich von 7,90 % und 20,91 %. Der Variationskoeffizient betrug zwischen 2,85 % und 7,55 %. Die Werte lagen für die rechte und linke Niere, mit Ausnahme der Breite, in gleicher Größenordnung. Die Reproduzierbarkeit der Breitenmessung ist auf der rechten Seite ungefähr doppelt so schlecht wie auf der linken Seite. Insgesamt die beste Reproduzierbarkeit wiesen die Längenmessungen auf (Tabelle 14). Die schlechteste Reproduzierbarkeit wurde an der rechten Niere und an der linken Niere im Transversalschnitt bei der Messung des Organhilus erzielt. Die Werte der rechten Niere lagen bei 37,30 %, die der linken Niere bei 34,06 %. Der Variationskoeffizient lag zwischen 12,30 % und 13,44 %. Die Messung des Nierenhilus war im Vergleich zu den Messungen der Länge, Breite und Höhe sehr schlecht reproduzierbar, also sehr ungenau. Das Ergebnis dieser Arbeit zeigte, dass die Messung des Nierenhilus somit eher nicht in der Praxis angewandt werden sollte. Zu allererst sollten Länge, Breite und Höhe bestimmt werden, zwecks Größenmessung der Niere.

Tab.14:  $\Delta D$  und Variationskoeffizient für die Distanzmessungen der rechten und linken Niere

	$\Delta D$		Variationskoeffizient	
	linke Niere	rechte Niere	linke Niere	rechte Niere
<b>Länge</b>	10,0 %	7,90 %	3,61 %	2,85 %
<b>Höhe</b>	11,98 %	12,91 %	4,33 %	4,67 %
<b>Breite</b>	11,31 %	20,91 %	4,10 %	7,55 %
<b>Hilus</b>	34,06 %	37,30 %	12,30 %	13,44 %

### 3. Dopplersonographie der intrarenalen Gefäße

Bei allen 44 Kaninchen konnten dopplersonographische Untersuchungen der Nierengefäße durchgeführt werden. Bei zwei Kaninchen war allerdings die Dopplerkurve der rechten Niere aufgrund ihrer schlechten Qualität nicht auswertbar.

Die dopplersonographische Untersuchung zur Bestimmung der Blutflußparameter konnte beim Kaninchen verhältnismäßig leicht durchgeführt werden. Da die Kaninchen in einer sogenannten Schreckstarre lagen, waren sie sehr ruhig und reagierten kaum mit Abwehrbewegungen. Desweiteren konnten die Nieren im Dorsalschnitt leicht aufgefunden werden. Aufgrund der weit intrathorakalen Lage der rechten Niere war der Zeitaufwand für eine korrekte Positionierung des Schallkopfes im Dorsalschnitt höher. Die Untersuchungen nahmen somit nur eine kurze Einarbeitungszeit in Anspruch. Schwierigkeiten entstanden durch die hohe Atemfrequenz des Kaninchens, was es erschwerte, das Messfenster zentral im Gefäßlumen zu platzieren. Im Allgemeinen ließen sich aber die Blutflußparameter gut bestimmen.

### 3.1 Darstellung der Nierengefäße

Die Nieren wurden in der Dorsalebene sonographisch eingestellt und die intrarenalen Verzweigungen der Blutgefäße mittels Farbdoppler dargestellt. Bei allen Kaninchen ließen sich die Aa. interlobares gut aufzeigen. Der Gefäßverlauf konnte vom Hilus bis zur Aufzweigung in die Aa. interlobares verfolgt werden. In den meisten Fällen konnte die kraniale, mittlere oder kaudale A. interlobaris gut visualisiert werden. Die weitere Aufzweigung des Gefäßbaumes allerdings war mit diesem verwendeten Ultraschallgerät nicht darzustellen (Abbildung 18).

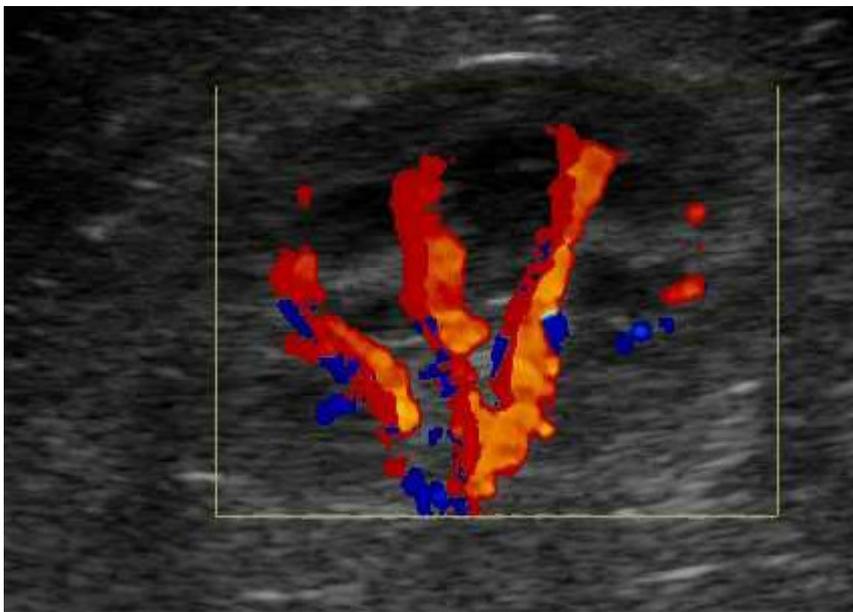


Abb.18: Dopplersonographische Gefäßdarstellung im Dorsalschnitt (Zwergwidder, Häsin, 2,4 kg, 5 Jahre)

### 3.2 Duplex-Dopplerverfahren

#### 3.2.1 Pulsfrequenz

Mittels der dopplersonographischen Untersuchung wurde bei allen Kaninchen die Pulsfrequenz gemessen. Die Messung erfolgte zuerst an der linken Niere und nach 15 Minuten an der rechten Niere. Im Verlaufe der Untersuchung zeigte sich keine Veränderung der Pulsfrequenz. Die gemessene Pulsfrequenz der beiden Nieren lag in gleicher Größenordnung. Es konnte auch kein signifikanter Zusammenhang der Pulsfrequenz in Abhängigkeit von Alter und Gewicht sowie zwischen weiblichen und männlichen Tieren festgestellt werden (Tabelle 15).

Tab.15: Pulsfrequenz gemessen mit dem PW- Doppler

	A. interlobaris sinistra	A. interlobaris dextra
<b>PF/min (MW ± SD)</b>	220 ± 39,29	219 ± 42,63
<b>Min</b>	138	124
<b>Max</b>	301	283

### 3.2.2 Qualitative Beurteilung des Blutflusses

Die in der A. interlobaris abgeleitete Flusskurve entsprach dem charakteristischen Verlauf eines Niedrigwiderstandsgefäßes. Die Kurven zeigten ein monophasisches Flussprofil mit einem steilen systolischen Anstieg. Es konnten keine interindividuellen Unterschiede sowie Seitenunterschiede beobachtet werden. Alle Kurven zeigten einen kontinuierlichen Vorwärtsfluss.

In der Abbildung 19 wird ein charakteristisches Flussprofil einer A. interlobaris beim Kaninchen aufgezeigt.

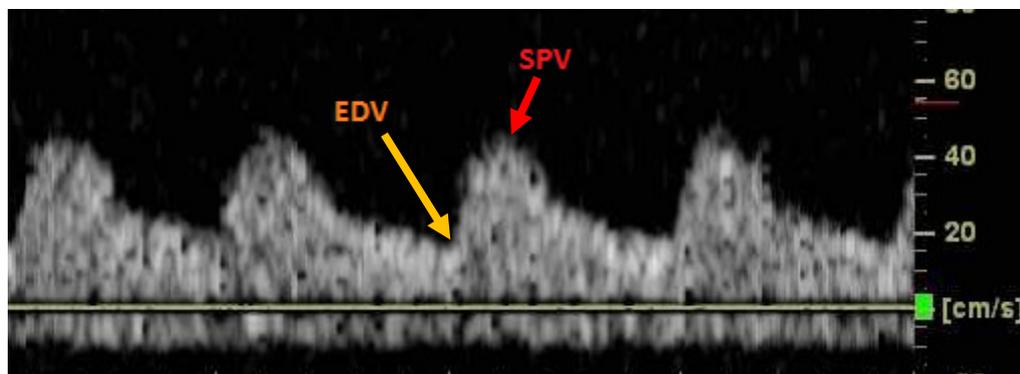


Abb.19: Blutfluss einer A. interlobaris, Darstellung mit dem PW-Doppler (Zwergkaninchen, Rammler, 1,2 kg, 4 Jahre)

### 3.2.3 Quantitative Beurteilung des Blutflusses

Die Bestimmung der Blutfließparameter erfolgte an intrarenalen arteriellen Gefäßen der rechten und linken Niere, jeweils durch zentrale Messungen an den Aa. interlobares. Dazu wurde die Niere im Dorsalschnitt sonographisch eingestellt und die intrarenale Verzweigung der Blutgefäße mittels Farbdoppler dargestellt. Für beide Nieren wurden die Blutfließparameter mittels PW-Doppler ermittelt und

berechnet.

Im Durchschnitt lag der Resistance-Index der rechten Niere bei 0,55 mit einem Minimum von 0,48 und einem Maximum von 0,63.

Die Messungen für den Pulsatilitäts-Index der rechten Niere reichten von 0,68 bis 1,11. Das ergab einen Mittelwert von 0,83.

Der errechnete Mittelwert für den RI der linken Niere betrug 0,54. Die Spannweite lag zwischen 0,48 und 0,64.

Für den PI der linken Niere wurde ein Mittelwert von 0,79 bestimmt. Der kleinste gemessene Wert war 0,64, der größte 1,10.

Die Referenzwerte der winkelabhängigen und winkelunabhängigen Parameter für die A. interlobaris der rechten und linken Niere sind in Tabelle 16 und 17 zusammengefasst.

Tab.16: Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte sowie Standardabweichung der gemessenen Blutflussparameter aller untersuchten Tiere (n=42)

<b>rechte Niere</b>	<b>RI</b>	<b>SPV</b>	<b>EDV</b>	<b>PI</b>	<b>TAMAX</b>
<b>MW</b>	0,55	55,44	24,85	0,83	38,21
<b>SD</b>	±0,31	±1,52	±4,39	±0,10	±7,21
<b>Min</b>	0,48	33,86	15,59	0,68	23,65
<b>Max</b>	0,63	75,34	33,56	1,11	53,43

Tab.17: Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte sowie Standardabweichung der gemessenen Blutflussparameter aller untersuchten Tiere (n=44)

linke Niere	RI	SPV	EDV	PI	TAMAX
<b>MW</b>	0,54	51,07	23,22	0,79	35,82
<b>SD</b>	±0,33	±9,38	±3,88	±0,10	±6,86
<b>Min</b>	0,48	34,79	16,57	0,64	23,63
<b>Max</b>	0,64	79,09	34,28	1,10	56,74

Die Werte der Blutflussparameter liegen im Vergleich der rechten und linken Niere in gleicher Größenordnung (Abbildung 20 und 21).

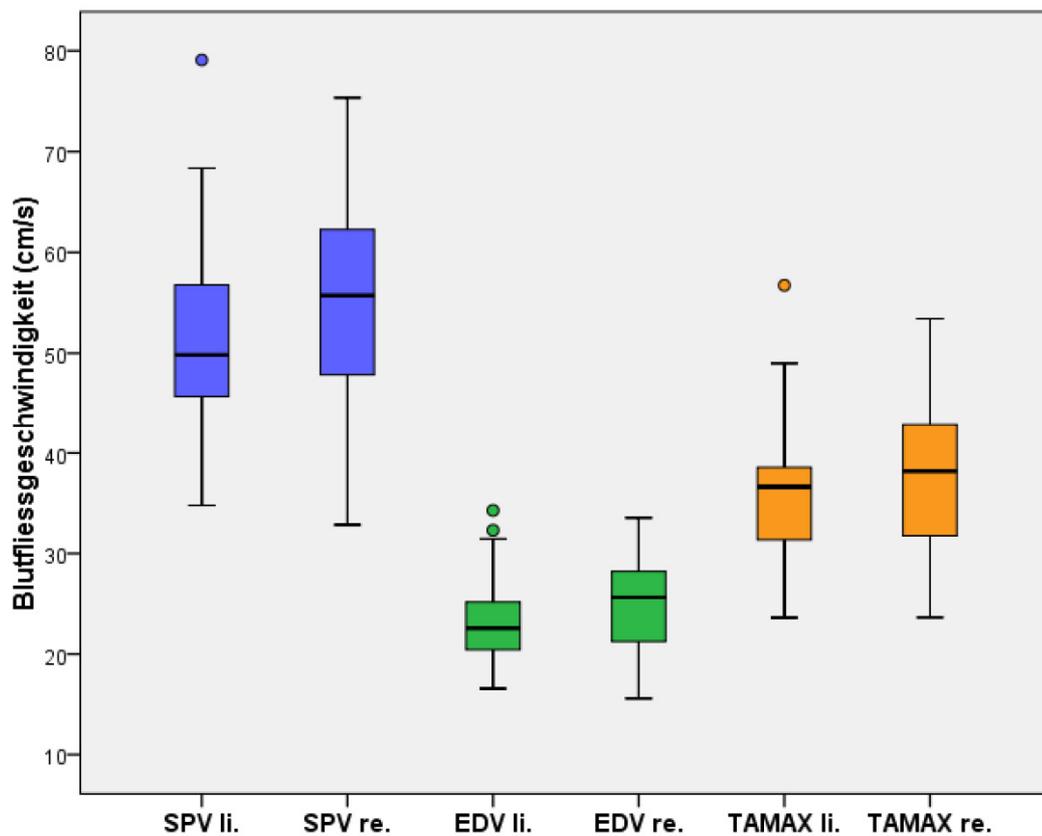


Abb.20: Blutflussgeschwindigkeiten gemessen an der rechten und linken Niere

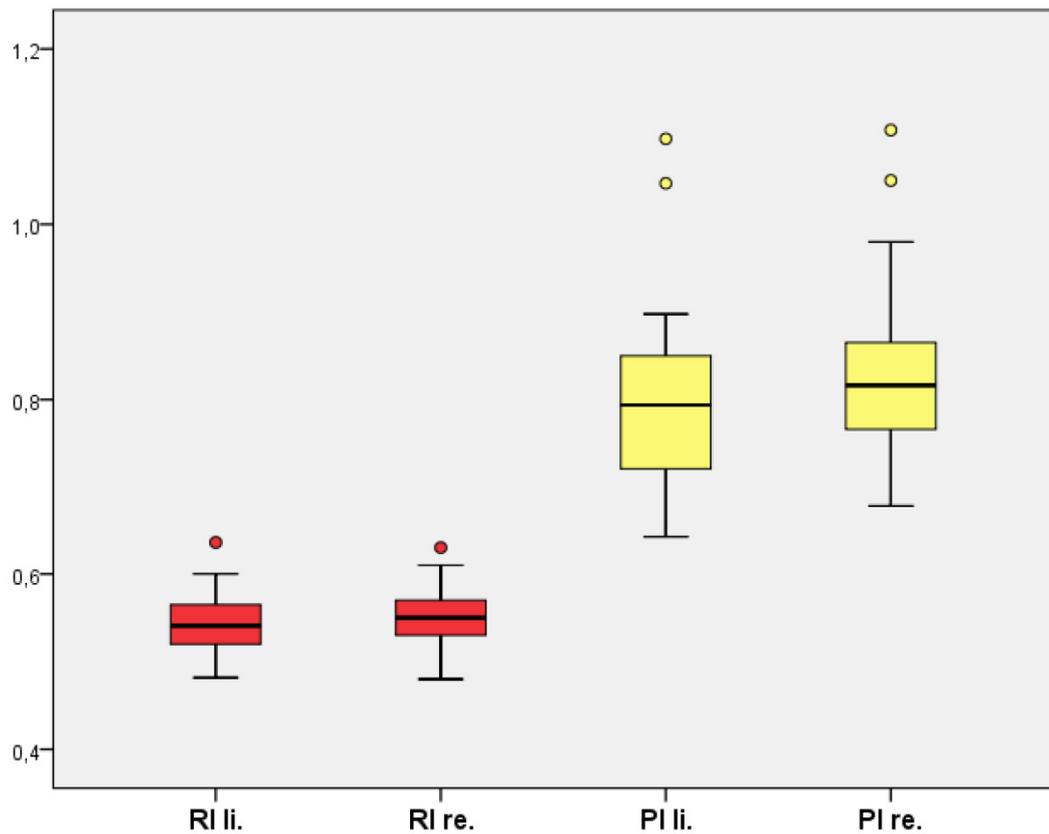


Abb.21: RI und PI gemessen an der rechten und linken Niere

### 3.2.4 Abhängigkeit der Blutfließparameter von Gewicht, Geschlecht und Alter des Tieres

Da es zwischen linker und rechter Niere keine Seitenunterschiede gab, wurden die Abhängigkeiten der Blutfließparameter von Gewicht, Geschlecht und Alter nur noch anhand der Werte der linken Niere erhoben.

Es besteht kein relevanter Zusammenhang zwischen dem Körpergewicht und den verschiedenen Blutfließparameter ( $r$  maximal 0,22). Zudem ist der Korrelationskoeffizient in keinem Fall signifikant.

Desweiteren ließen sich keine signifikanten Unterschiede der Fließparameter zwischen männlichen und weiblichen Kaninchen feststellen.

Die Blutfließparameter zeigten alle eine statistisch signifikante positive Korrelation mit dem Alter (Tabelle 18).

Tab.18: Einfluss des Alters auf die verschiedenen Bluffießparameter

	Korrelationskoeffizient (r)	Signifikanzniveau (p)
<b>RI</b>	0,499	0,001
<b>PI</b>	0,460	0,002
<b>SPV</b>	0,568	< 0,001
<b>EDV</b>	0,403	0,008
<b>TAMAX</b>	0,490	0,001

Betrachtet man die Altersspanne zwischen einem einjährigen und einem sechsjährigen Tier, so steigt im Allgemeinen der Widerstandsindex um ca. 7,7 % an (Abbildung 22). Wie in der folgenden Abbildung 22 deutlich wird, tritt der RI Wert bei einem vierjährigen Kaninchen eindeutig hervor. Der höchste RI Wert lag hier bei 0,64. Es konnte keine morphologische Nierenveränderung oder eine Allgemeinerkrankung als Ursache hierfür festgestellt werden.

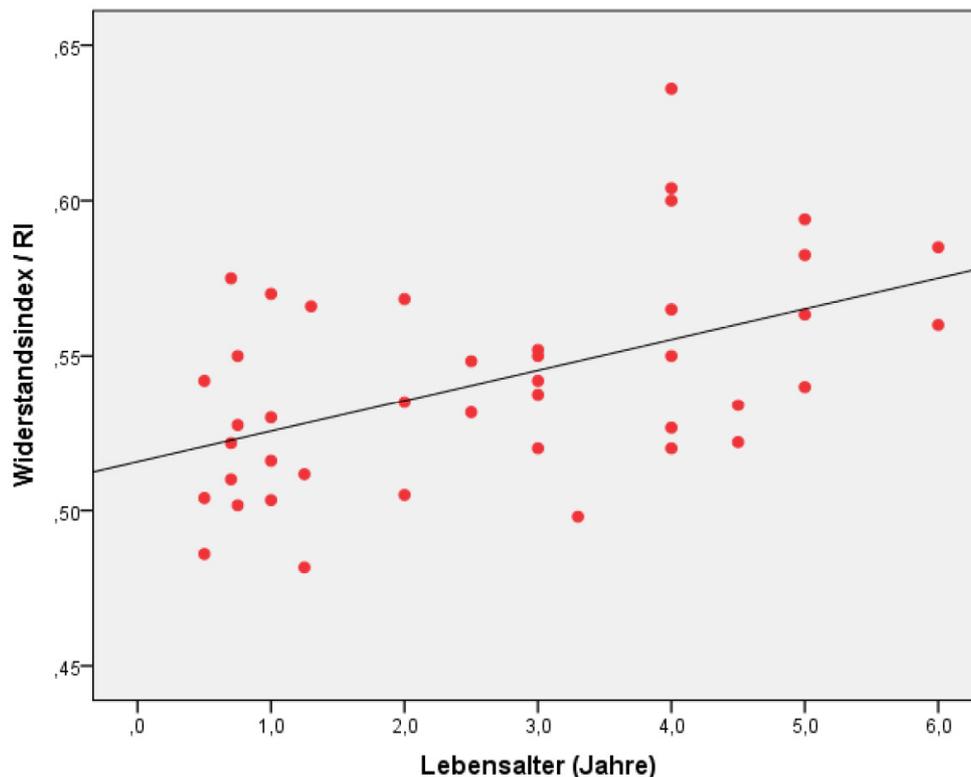


Abb.22: Altersabhängigkeit des RI

### 3.2.5 Reproduzierbarkeit der Blutfließparameter

Die Reproduzierbarkeit wurde auch bei der Messung der Blutfließparameter durch Berechnung des Variationskoeffizienten und  $\Delta D$  quantifiziert.

Für die Messungen des Pulsatilitäts-Index, der maximalen systolischen Geschwindigkeit, der enddiastolischen Geschwindigkeit und der zeitlich gemittelten Maximalgeschwindigkeit lag  $\Delta D$  in dem Bereich von 25,32 % und 38,92 %. Der Variationskoeffizient betrug zwischen 8,95 % und 14,05 %. Für die Reproduzierbarkeit der Blutfließparameter lag kein Seitenunterschied vor. Beim Resistance-Index wurden Abweichungen von bis zu  $\pm 16,6$  % als Messfehler angesehen. Beim Pulsatilitäts-Index wurden Abweichungen von bis zu 30,12 % als Messfehler bedingte Abweichungen gesehen. Die Reproduzierbarkeit vom PI war nur halb so gut wie die des RI (Tabelle 19).

Tab.19:  $\Delta D$  und Variationskoeffizient für die Blutfließparameter der rechten und linken Niere

	$\Delta D$		Variationskoeffizient	
	linke Niere	rechte Niere	linke Niere	rechte Niere
<b>RI</b>	16,6 %	16,36 %	5,86 %	5,75 %
<b>PI</b>	25,32 %	30,12 %	8,95 %	10,78 %
<b>SPV</b>	29,67 %	38,92 %	10,71 %	14,05 %
<b>EDV</b>	31,57 %	37,55 %	11,40 %	13,55 %
<b>TAMAX</b>	27,83 %	36,88 %	10,05 %	13,31 %

## V. Diskussion

Nierenerkrankungen spielen eine große Bedeutung beim Kaninchen und kommen mit einer hohen Prävalenz vor. Zu den am häufigsten auftretenden Erkrankungen der Niere zählen die chronische interstitielle Nephritis, Pyelonephritiden, akute bakterielle Nephritiden, Nephrolithiasis, Nephrokalzinose und Hydronephrosen. Diese Krankheiten gehen meistens mit morphologischen Veränderungen der Niere einher. Mittel der Wahl zur Detektion dieser Pathologien ist die Sonographie. Bei Hund und Katze ist die sonographische Nierenuntersuchung ein etabliertes Verfahren, das routinemäßig in der Kleintierpraxis angewandt wird. Auch im Bereich der Heimtiermedizin kommt die Sonographie immer häufiger zum Einsatz, vor allem bei Erkrankungen des Harn- und Geschlechtsapparates. Mit Hilfe der Ultraschalldiagnostik können genauere Aussagen zur Parenchymveränderung der Niere getroffen werden, um somit besser die Prognose dieser Erkrankung einschätzen zu können sowie eine Unterscheidung zwischen akutem oder chronischem Geschehen zu treffen.

Die Lagerung der Kaninchen zur sonographischen Untersuchung erfolgte in Rückenlage mit leichter Fixierung der Vordergliedmaßen und des Kopfes. Bei keinem Kaninchen war eine Sedation notwendig. Die Ultraschalluntersuchung in aufrechter Haltung oder auf dem Schallkopf sitzend, wie von ENGELKE (1997) empfohlen, erwies sich nicht von Vorteil. Für eine optimale Darstellung der Niere im Dorsalschnitt musste das Fell relativ weit nach laterodorsal geschoren werden. Es reichte also nicht aus, nur ein kleines Areal zu scheren, wie es RINCK und Mitarbeiter (1993) beschrieben.

Kriterien der sonographischen Untersuchung zur Beurteilung eines Organs sind Form, Größe, Echogenität, Echotextur und Nachbarstrukturen des Organs.

Beim Kaninchen konnten alle drei Standardschnittebenen problemlos dargestellt werden. Die Niere zeigte sich im Dorsalschnitt bohnenförmig, im Transversalschnitt rundlich und im Sagittalschnitt länglich. Die unveränderte Niere des Kaninchens ist scharf von der Umgebung abgrenzbar und hat eine glatte Oberfläche. Die sonographischen Befunde entsprechen im wesentlichen den

Angaben von ENGELKE (1997), NIEBERGALL (2003), NASTAROWITZ-BIEN (2007) und ANGELI (2008).

Ein zentrales Kriterium für die morphologische Integrität ist die Größe. Mit dieser Arbeit wurden Normwerte für die Nierengröße von klinisch gesunden Kaninchen bis 2,6 kg erarbeitet.

Die Messung dieser erfolgte in zwei senkrecht aufeinander stehenden Schnittebenen. Die Nierenlänge wurde im Sagittalschnitt auf Höhe der Crista renalis gemessen. Die Nierenhöhe, -breite und Hilus im Transversalschnitt auf Höhe des Organhilus. Die definierbaren Messebenen beim Kaninchen entsprachen weitestgehend denen beim Hund (KNAUFF 1987). Im Gegensatz dazu führte NIEBERGALL (2003) Messungen der Länge und Breite im Dorsalschnitt durch. Nach eigenen Erfahrungen ist die Längenmessung im Sagittalschnitt einfacher, schneller und reproduzierbarer durchführbar. Diese Erfahrung entspricht auch den Ergebnissen vergleichender Messungen an der Meerschweincheniere. Es stellte sich hier ebenfalls heraus, dass der Sagittalschnitt besser zur Ermittlung der Nierenlänge geeignet ist (HOLDER 2012).

Um die Messgenauigkeit zu eruieren, wurden die Reproduzierbarkeit und der Variationskoeffizient der Distanzmessungen errechnet. Die Messungen von Länge, Höhe und Breite der Niere beim Kaninchen sind mit einem Variationskoeffizienten von 2,8 % bis 7,5 % als sehr gut bis gut reproduzierbar einzustufen. Für den klinisch diagnostischen Einsatz ist die ermittelte Messgenauigkeit als ausreichend anzusehen. In der Literatur finden sich bisher kaum Angaben über die Genauigkeit der sonographischen Distanzmessung an der Niere. Nur HOLDER (2012) überprüfte die Reproduzierbarkeit der Größenmessung der Niere beim Meerschweinchen. Allerdings wurde in dieser Arbeit nur das  $\Delta D$  und nicht der Variationskoeffizient berechnet. Vergleichend betrachtet war die Reproduzierbarkeit der Distanzmessungen an der Meerschweincheniere 3 bis 5 Prozentpunkte schlechter als die in dieser Untersuchung erreichten Werte.

Im Gegensatz zu der guten Reproduzierbarkeit der Längen-, Höhen-, und Breitenmessung der Niere erwies sich die Vermessung des Nierenhilus als deutlich schlechter reproduzierbar. Ein  $\Delta D$  zwischen 34,06 % und 37,30 % ist als zu hoch einzustufen, um diesen Messparameter sinnvoll klinisch diagnostisch

einsetzen zu können. Als Ursache hierfür sind zwei Gründe ursächlich anzunehmen. Zum einen führt schon eine leichte Verdrehung in der Transversalebene zu einer deutlichen Änderung der Hilusdarstellung. Zum anderen sind die Messpunkte, zwischen denen die Hilusbreite bestimmt wurde, nicht immer deutlich ansprechbar.

Die eigenen Ergebnisse der Distanzmessungen der Kaninchenniere liegen in der gleichen Größenordnung wie in Tabelle 2 aufgeführt. NIEBERGALL (2003) unterscheidet zusätzlich bei ihren Größenangaben zwischen männlichen und weiblichen Tieren. Die weiblichen Tiere wiesen geringfügig längere und breitere Nieren auf.

Bei vielen Organen ist es üblich, als Maß für ihre Größe das Volumen zu berechnen. Standardmäßig wird dieses Verfahren in der Humanmedizin bei der Schilddrüse (CHANG et al. 2010) und Prostata (SINGER et al. 2006) angewandt. Die Messung des Nierenvolumens ist ein Verfahren, das sehr einfach in der Praxis angewandt werden kann, da die meisten handelsüblichen Ultraschallgeräte nach Bestimmung der drei Einzelwerte das Volumen mittels der Formel für ein Rotationsellipsoid vollautomatisch berechnen können. In der Tiermedizin kommt die Volumenbestimmung eines Organs viel seltener zum Einsatz als in der Humanmedizin. Beschrieben wurde die Volumenbestimmung bei der Niere bisher beim Hund (NYLAND et al. 1989), bei der Katze (MÖLLER 2001), beim Meerschweinchen (HOLDER 2012) und der Schilddrüse beim Hund (REESE et al. 1998). Volumenbestimmungen der Niere mit sonographischen Methoden sind beim Kaninchen noch nicht beschrieben. Als wesentlicher Vorteil der Volumenberechnung ist zu sehen, dass mit dem Volumen ein einzelnes Maß für die Größe der Niere vorliegt und nicht drei verschiedene Distanzmaße für die klinisch diagnostische Bewertung der Nierengröße herangezogen werden müssen. Zudem sind geringgradige Größenveränderungen der Niere durch den Einfluss aller drei Distanzmaße auf das Volumen eher an einer Veränderung des Volumenwertes zu erkennen, als an einer sehr geringen Veränderung der einzelnen Distanzmaße.

Die Größe der Niere kann nicht nur durch pathologische Prozesse verändert sein, sondern steht natürlich auch im Zusammenhang mit physiologischen Parametern. Die bedeutendsten Parameter, die die Nierengröße beeinflussen können, wie

Körpermasse, Alter und Geschlecht wurden deshalb auf ihren Einfluss auf die Nierengröße untersucht. Das Nierenvolumen war das beste Maß, um diese Abhängigkeiten der Niere zu eruieren.

Für das absolute Nierenvolumen konnte in dieser Arbeit eine deutliche positive Korrelation mit dem Körpergewicht nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis kehrte sich aber ins Negative um, betrachtet man das relative Nierenvolumen. Nach dem Eindruck der klinischen Untersuchung waren schwerere Tiere in dieser Studie adipöser als die leichteren Tiere. Dies könnte ein Hauptgrund dafür sein, dass das relative Nierenvolumen trotz der recht geringen Spanne der Körpermasse bei schwereren Tieren deutlich geringer ist als bei den leichteren. Ein ähnliches Phänomen konnte auch beim Meerschweinchen nachgewiesen werden (HOLDER 2012).

Die Untersuchungen von NIEBERGALL (2003) geben Hinweise darauf, dass die Nieren weiblicher Kaninchen größer sind als bei männlichen Tieren. Bei Betrachtung des absoluten Nierenvolumens kann dieser Befund nicht bestätigt werden. Für das relative Nierenvolumen ließ sich dagegen ebenfalls eine geringere Größe der männlichen Tiere gegenüber den weiblichen Tieren feststellen. Die Berücksichtigung des unterschiedlichen mittleren Körpergewichtes der männlichen und weiblichen Tiere dieser Untersuchung ergab allerdings, dass es sich hier nur um einen Scheinzusammenhang zwischen Nierengröße und Geschlecht handelt. Die von NIEBERGALL (2003) gefundenen Hinweise auf eine Geschlechtsabhängigkeit der Nierengröße beim Kaninchen können somit nicht bestätigt werden.

In der untersuchten Gruppe junger bis mittelalter adulter Zwergkaninchen ließ sich kein signifikanter Einfluss des Lebensalters auf das absolute und relative Nierenvolumen nachweisen. Ob bei älteren und geriatrischen Tieren physiologisch eine leichte Verkleinerung der Nierengröße vorliegt oder nicht muss noch in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Daten zum Rinden-Mark-Verhältnis beim Kaninchen sind in der einschlägigen Literatur bislang nicht beschrieben. Dieser Parameter hat sich zur Beurteilung der Nierenarchitektur bei Hund und Katze bewährt. Es war zu klären, ob dieser Parameter auch an der Kaninchenniere gut bestimmbar ist. Der Sagittalschnitt erwies sich als besonders gut geeignet, um Rinde und Mark voneinander abzu-

grenzen. In der Literatur finden sich bisher keine klaren Angaben, wie das Rinden-Mark-Verhältnis zu ermitteln ist. Für die eigene Untersuchung stellte sich als beste Methode heraus, eine senkrechte Linie zum deutlichen zentralen Sinusreflex (Crista renalis) durch die Mitte zwischen zwei Columnae renales bis zur Nierenkapsel zu ziehen. Entlang dieser Linie ließ sich die Breite von Mark und Rinde relativ zuverlässig bestimmen. Mit deutlichen Fehlmessungen ist nur dann zu rechnen, wenn der Sagittalschnitt durch die Niere nicht exakt gelegt, sondern leicht gekippt wird. Dies ist durch die dann vorliegende Asymmetrie der Nierenarchitektur aber relativ gut zu erkennen. Die für die Breite der Nierenrinde ermittelten Werte liegen in der gleichen Größenordnung wie sie in der anatomischen Untersuchung der Kaninchenniere von SCHAUDER (1923) ermittelt wurden. Die in der gleichen Untersuchung angegebenen Werte zur Höhe des Nierenmarkes liegen dagegen ca. um das Vierfache über den in dieser Studie sonographisch ermittelten Werten. Eine Erklärung hierfür ist darin zu sehen, dass die Nierenhöhe in der Untersuchung von SCHAUDER (1923) von der Papillenspitze bis zur Mark-Rinden-Grenze gemessen wurde. Diese Messung ist daher nicht mit der sonographischen Bestimmung der Markbreite vergleichbar. Aus den ermittelten Werten für die Breite von Mark und Rinde konnte für das Kaninchen ein Rinden-Mark-Verhältnis von im Mittel 1:1,33 berechnet werden. Ein klinisch diagnostischer Einsatz der Bestimmung des Rinden-Mark-Verhältnisses ist insbesondere in der Diagnostik der chronisch interstitiellen Nephritiden vorstellbar, da bei diesem Krankheitsbild insbesondere eine Verschmälerung der Nierenrinde zu verzeichnen ist (REESE und HEIN 2009).

Bei sonographischen Untersuchungen der Nieren von Kaninchen mit chronisch interstitieller Nephritis erschien der Hilus im Verhältnis zur Nierengröße überproportional breit (Persönliche Mitteilung REESE 2012). Um diesen subjektiven Eindruck belegen zu können, werden Vergleichswerte der Hilusbreite und dem Hilus-Breiten-Verhältnis von gesunden Kaninchen benötigt. Diese Daten wurden erstmals im Rahmen dieser Untersuchung erhoben. Die Messung der Hilusbreite erwies sich nur im Transversalschnitt als praktikabel möglich. In diesem Schnitt wurde dann auch die korrespondierende Nierenbreite ermittelt. Häufig waren die Messpunkte, zwischen denen die Hilusbreite bestimmt wurde, nur ungenau ansprechbar. Hieraus resultierte die oben schon diskutierte schlechte Reproduzierbarkeit der Hilusmessungen. Damit ist auch die Bestimmung des

Hilus-Breiten-Verhältnis mit einer hohen Ungenauigkeit verbunden. Ein klinisch diagnostischer Einsatz dieses Parameters als Marker für den Rückgang des Nierenparenchyms, z.B. im Rahmen einer chronisch interstitiellen Nephritis, ist damit nicht zu empfehlen.

Neben Form und Größe spielt die Beurteilung der Echogenität eine wichtige Rolle. Der Standardvergleich der Niere mit Milz und Leber ist auch beim Kaninchen möglich. Schwierigkeiten entstehen dabei allerdings bei der sonographischen Darstellung der Milz. Diese ist beim Kaninchen relativ klein und nicht immer darstellbar (REESE 2009b). Die Milz ist folglich nur bedingt als Referenzobjekt geeignet, aufgrund ihrer Lage und Anschallbarkeit. Da viele Kaninchen an einer Fettleber leiden (REESE 2009b), ist auch die Leber als Referenzobjekt nur bedingt geeignet. Die Fettleber stellt sich im Ultraschall mit einer leicht höheren Echogenität dar. Somit ist der übliche Vergleich der Nierenrinde mit Leber und Milz beim Kaninchen, im Gegensatz zu Hund und Katze, problematisch.

Form, Größe, Echogenität und Echotextur sind Parameter, die im zweidimensionalen Bild bestimmt werden können. Die Ultraschallgeräte, die heutzutage standardmäßig in der Veterinärmedizin eingesetzt werden, erlauben in der Regel auch dopplersonographische Untersuchungen. Die sonographische Doppleruntersuchung der Blutfließparameter in den Nierengefäßen ist ein sensibler Parameter zur Erkennung von Nierenerkrankungen (SCHÄBERLE et al. 1992, SCHWERK et al. 1993). Die Grundvoraussetzung dafür ist, dass Normwerte bekannt sind. Die Werte wurden bisher für Hund und Katze (DEPKEN 1999, MITCHELL et al. 1998, MÖLLER 2001, RIVERS et al. 1997b) als auch beim Frettchen (GORGAS 2004) und Meerschweinchen (HOLDER 2012) ermittelt. Für das Kaninchen sind bisher nur Werte am sedierten Weißen Neuseeländer ermittelt worden (CHU et al. 2011). Referenzwerte für unsedierte Zwergkaninchen fehlen bislang.

Die dopplersonographische Untersuchung zur Bestimmung der Blutfließparameter wurde für die genannten Kleintiere als relativ gut durchführbar beschrieben. Auch beim unsedierten Kaninchen erwies sich diese Untersuchungstechnik nach kurzer Einarbeitungszeit als verhältnismäßig leicht durchführbar. Aufgrund ihrer Schreckstarre konnten die Kaninchen sehr gut gelagert werden und reagierten

kaum mit Abwehrbewegungen. Somit ließ sich der Schallkopf sehr ruhig halten, was eine Grundvoraussetzung für die Erstellung von gleichmäßigen und gut auswertbaren PW-Dopplerkurven über mehrere Herzzyklen ist. Dies ist ein deutlicher Vorteil gegenüber anderen Tierarten. Bei Hund, Katze und insbesondere dem Frettchen muss meistens mit mehr Abwehrbewegungen gerechnet werden, die die Durchführung einer aussagekräftigen PW-Dopplerkurve deutlich erschweren.

Während der dopplersonographischen Untersuchung wurde die Pulsfrequenz in der A. interlobaris dextra und sinistra der Kaninchen untersucht. Eine Erhöhung der Pulsfrequenz ist ein typischer Hinweis auf eine Stressbelastung. Der Durchschnitt lag bei den untersuchten Kaninchen für die linke Niere bei 220 Schlägen pro Minute und für die rechte Niere bei 219 Schlägen pro Minute. Es konnte somit kein Anstieg der Pulsfrequenz im Verlauf der Untersuchung festgestellt werden. Im Gegensatz dazu kam es beim Meerschweinchen zu einem signifikanten Anstieg der Pulsfrequenz während der Untersuchung (HOLDER 2012), da das Meerschweinchen nur durch manuelle Fixation ruhig gehalten werden konnte. Die dopplersonographische Untersuchung der Nieren scheint nach diesen Befunden für Kaninchen im Gegensatz zum Meerschweinchen kaum mit einer Stressbelastung verbunden zu sein. Unterstützt wird dies durch die Tatsache, dass die ermittelten Pulsfrequenzen in dem in der Literatur angegebenen Bereich der Ruhefrequenz zwischen 130-325 Schlägen pro Minute (SCHALL 2007) bzw. 150-300 Schlägen pro Minute lag (EWRINGMANN 2005a). Die in dieser Studie ermittelten Werte lagen damit sogar im unteren Ruhefrequenzbereich, welcher für Kaninchen angegeben ist.

Mittels der Doppleruntersuchung können winkelabhängige Parameter sowie winkelunabhängige Parameter ermittelt werden. Die sonographische Doppleruntersuchung gelang beim Kaninchen aufgrund der sehr ruhigen Lagerung überdurchschnittlich gut. Der einzige Störfaktor war die vermehrte Atembewegung des Kaninchens, die die genaue Platzierung des Messfensters im Gefäßlumen erschwerte. Mittels der Farbdopplersonographie konnten mit dem zur Verfügung stehenden Ultraschallgerät die kraniale, mittlere und kaudale A. interlobaris aufgezeigt werden. Eine weitere Aufzweigung des Gefäßbaumes war nicht möglich. Auch beim Frettchen (GORGAS 2004) und beim Meerschweinchen (HOLDER 2012) konnten die peripheren Nierengefäße nicht

visualisiert werden. Für die Duplex-Sonographie wurden daher die Aa. interlobares als Messort gewählt. Dieser hat sich schon in Untersuchungen bei Hund und Katze (MÖLLER 2001, NYLAND et al. 1993) sowie beim Frettchen (GORGAS 2004) und Meerschweinchen (HOLDER 2012) bewährt. Die Blutflusskurve beim Kaninchen entsprach dem eines Niedrigwiderstandsgefäßes. Es konnten keine interindividuellen Unterschiede festgestellt werden. Auch beim Frettchen (GORGAS 2004) und beim Meerschweinchen (HOLDER 2012) lag dieses Flussprofil vor.

Mit dieser Arbeit wurden erstmals Normwerte für die Bluffießparameter bei klinisch gesunden Zwergkaninchen mit sonographisch unauffälligen Nieren erarbeitet.

Der Resistance-Index lag im Mittel für die rechte Niere bei 0,55 und für die linke Niere bei 0,54. Der Pulsatilitäts-Index lag im Durchschnitt für die rechte Niere bei 0,83 und für die linke Niere bei 0,79. GORGAS (2004) konnte in ihrer Studie einen Zusammenhang zwischen gestörtem Allgemeinbefinden und einem Anstieg des Resistance-Index feststellen. Ob dieser Zusammenhang auch auf das Kaninchen zutrifft muss noch weiter untersucht werden. Für den Hund werden in der Literatur für den RI Referenzwerte von 0,61 (MORROW et al. 1996), für die Katze 0,60 (GÖDDENHENRICH 1997) und für das Meerschweinchen 0,61 (HOLDER 2012) angegeben. Im Vergleich zu den anderen Tierarten war der Resistance-Index beim Kaninchen deutlich geringer. Er liegt im gleichen Bereich von sedierten Kaninchen (CHU et al. 2011). Die niedrigen Normwerte des RI im Vergleich zu anderen Tierarten können damit erklärt werden, dass die Schreckstarre beim Kaninchen wie eine Sedation wirkt. Die Tiere zeigten im Laufe der Untersuchung keinen Anstieg der Pulsfrequenz und somit auch während der gesamten Untersuchung keine Anzeichen für Stress. Der Einfluss einer Sedation auf den RI wurde beim Hund nachgewiesen. Bei sedierten Hunden konnte ein deutlich niedrigerer Widerstandsindex gemessen werden (NYLAND et al. 1993, RIVERS et al. 1997a). Beim Frettchen (GORGAS 2004) lag der Mittelwert für den RI bei 0,54. Die Autorin begründet den niedrigeren Wert des RI damit, dass die relativ hohe Herzfrequenz beim Frettchen zu einer Abnahme der Compliance führt und die Indizes dadurch weniger von dem Gefäßwiderstand beeinflusst werden. Dieser Effekt wurde beim Meerschweinchen (HOLDER 2012) nicht festgestellt.

Auch für die Blutfließparameter wurde die Reproduzierbarkeit der Messmethode durch Wiederholungsmessungen überprüft und mit Berechnung des  $\Delta D$  und des Variationskoeffizienten quantifiziert. Da die Blutfließgeschwindigkeiten winkelabhängig sind und das zu Messungenauigkeiten führt werden sie in der Klinik diagnostisch wenig eingesetzt. Diese bekanntermaßen relativ hohen Messungenauigkeiten der winkelabhängigen Blutfließparameter führten auch in dieser Untersuchung zu einem relativ hohen  $\Delta D$  mit Werten zwischen 27,83 % und 38,92 % sowie einem Variationskoeffizienten zwischen 10,05 % und 14,05%. Im Gegensatz dazu konnte für den winkelunabhängig bestimmbaren RI eine relativ gute Reproduzierbarkeit ermittelt werden. Der Variationskoeffizient lag mit unter 6 % in einem sehr guten Bereich. Obwohl der Pulsatilitäts-Index ein winkelunabhängiger Parameter ist, konnte er nur schlecht reproduziert werden. Dieser Parameter war sehr fehleranfällig. Ursächlich hierfür ist die Bestimmung der zeitlich gemittelten Geschwindigkeit zu sehen, da diese durch eine sehr schlecht reproduzierbare manuelle Umfahrung der PW-Dopplerkurven ermittelt werden musste. Für den klinisch diagnostischen Einsatz ist damit primär nur der RI gut geeignet. Zu einem entsprechenden Ergebnis kam HOLDER (2012) für das Meerschweinchen.

Es ist bekannt, dass die Blutfließparameter durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden können. Wie auch für die Nierengröße wurden die Parameter Gewicht, Geschlecht und Alter auf den Einfluss der Blutfließparameter untersucht. Beim Frettchen (GORGAS 2004) konnte ein Geschlechtsunterschied bezüglich des Resistance-Index festgestellt werden. Rüden wiesen signifikant höhere Werte auf als Fähen. Im Rahmen dieser Studie konnte dagegen kein Einfluss des Geschlechtes und der Körpermasse auf die winkelabhängigen und winkelunabhängigen Parameter beim Kaninchen festgestellt werden. Anderes gilt für die Verhältnisse, wenn man den Einfluss des Lebensalters auf die verschiedenen Blutfließparameter betrachtet. Für alle untersuchten Blutfließparameter konnte bei den Kaninchen eine positive Korrelation nachgewiesen werden. Insbesondere für den Resistance-Index ist dieses Phänomen schon für den Menschen (SCHWERK et al. 1993, TERRY et al. 1992) und für zahlreiche Tierarten bekannt (Katzenwelpen HANENBERG 1998, Hundewelpen ROHRWEBER 1999, Frettchen GORGAS 2004.). Die Zunahme des RI im Alter könnte im Zusammenhang mit der Entstehung von

sklerosierenden Arterienveränderungen im Alter stehen (DAHME 1962). Die genaue Ursache für eine Altersabhängigkeit der Blutflussparameter beim Kaninchen muss allerdings noch geklärt werden.

Der klinisch diagnostische Einsatz des RI bei Nierenerkrankungen wird in der Humanmedizin regelmäßig durchgeführt (SCHÄBERLE et al. 1992, SCHWERK et al. 1993). In der Veterinärmedizin ist die Technik für Hund und Katze etabliert, wird aber in der klinischen Diagnostik wenig eingesetzt. Zum klinisch diagnostischen Einsatz der RI Bestimmung beim Kaninchen gibt es bisher keine Erfahrungen. In tierexperimentellen Studien konnte aber gezeigt werden, dass Nierenerkrankungen beim Kaninchen wie beispielsweise eine Hydronephrose (LEE et al. 2001) oder ein akutes Nierenversagen (YOON et al. 1995) zu einer Erhöhung des Widerstandsindex führen können.

## VI. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit bestand darin, beim unsedierten Zwergkaninchen mittels Dopplersonographie Referenzwerte für die Fließparameter der Nierengefäße sonographisch unauffälliger Nieren zu erstellen.

In der vorliegenden Arbeit wurden hierfür 46 adulte Kaninchen untersucht. Allerdings mussten zwei Kaninchen aufgrund morphologisch auffälliger Nieren aus der Studie ausgeschlossen werden. Folglich wurden alle Daten nur an 44 Tieren erhoben, die sich in einer Altersspanne von sechs Monaten und sechs Jahren befanden.

Die Nieren wurden mittels B-Bild Sonographie bei einer Arbeitsfrequenz von 8 bis 10 MHz dargestellt und sonographisch vermessen sowie dopplersonographisch die Blutflüsse in den Aa. interlobares untersucht. Während der 30 minütigen Untersuchungsdauer wurden die Kaninchen in Rückenlage mit leichter Fixierung der Vordergliedmaßen und des Kopfes gelagert. Dabei blieb die Herzfrequenz konstant im unteren Ruhebereich mit durchschnittlich etwa 220 Schlägen pro Minute.

Zur klinisch diagnostischen Beurteilung der Nierengröße schien das Volumen als bestes Kriterium. Das absolute Nierenvolumen lag durchschnittlich bei 3,57 ml und das relative Volumen, d.h. bezogen auf 1000 g, bei 2,13 ml.

Die Längenmessungen wiesen die beste Reproduzierbarkeit auf, bei ihnen muss man mit Messungenauigkeiten von  $\pm 7,9 - 10 \%$  rechnen. Die Hilusmessungen dagegen zeigten die schlechteste Reproduzierbarkeit.

Das errechnete Rinden-Mark-Verhältnis in dieser Studie betrug im Mittel 1:1,33. Der Nierenhilus betrug im Mittel das 0,4 fache der Nierenrinde.

Die dopplersonographische Untersuchung im Dorsalschnitt gelang beim Kaninchen überdurchschnittlich gut und erforderte nur eine kurze Einarbeitungszeit. Ein durchschnittlicher RI von 0,54 sowie PI von 0,79 wurde bei sonographisch unauffälligen Nieren ermittelt. Der Resistance-Index bei unsedierten Zwergkaninchen lag in einem ähnlichen Bereich wie von sedierten Kaninchen.

Die Blutfließparameter erwiesen sich als für Geschlecht und Körpergewicht unabhängige Parameter. Im Bezug auf das Alter konnte bei allen untersuchten Blutfließparametern eine Abhängigkeit festgestellt werden. Mit zunehmendem Lebensalter kam es zu einem signifikanten Anstieg der Fließparameter.

Die Reproduzierbarkeit wurde auch bei der Messung der Blutfließparameter überprüft. Für den klinisch diagnostischen Einsatz ist primär der RI gut geeignet.

## VII. Summary

### **Doppler sonography of the kidney in rabbits**

The aim of the present study was to determine the reference values of the flow parameters of vessels of sonographical unremarkable kidneys by using a Doppler sonography. This was made with unsexed rabbits.

In the present study 46 adult rabbits were therefore examined. Two rabbits had to be excluded of the study because of morphological remarkable kidneys. Accordingly data were collected only with 44 animals which were aged between six months to six years.

The kidneys were pictured with B-mode sonography at an operating frequency of 8 to 10 MHz and sonographically measured. Furthermore were the blood flows of the Aa. interlobares examined by Doppler sonography. During the 30 minutes lasting examination the rabbits were kept in dorsal position with a light fixation of the forelegs and the head. In this process the heart frequency stayed constantly within the lower resting heart rate which is approximately 220 beats per minute on average.

For the clinical diagnostic evaluation of the kidney size seemed the volume to be the best criteria. The absolute kidney volume was on average at 3.57 ml and the relative volume, i.e. in relation to 1000 g, at 2.13 ml.

The best reproducibility was exhibited with the length measurements. There has to be anticipated with inaccuracy of  $\pm 7.9 - 10 \%$ . In contrast to that the hilus measurements showed the worst reproducibility.

The calculated cortex-medulla-rate in this study averaged 1:1,33. The renal hilus averaged 0.4 times the renal cortex.

The transversal section was found to be suited above-average for the Doppler ultrasound examination. Thus only a short time of adjustment was necessary. An average RI of 0.54 as well as PI of 0.79 was determined with sonographical unremarkable kidneys. The resistance index of unsexed rabbits was comparable

to sedated rabbits.

The blood flow parameters turned out to be independent parameters in reference to sex and weight. But with all examined blood flow parameters an age relation could be found. With increasing age a significant rise of the flow parameters could be seen.

The reproducibility was also checked for the measurements of the blood flow parameters. For the clinical diagnostically use is the RI primarily well suited.

## VIII. Literaturverzeichnis

### **ACKERMAN N, HAGER DA, KAUDE JV (1989)**

Ultrasound appearance and early detection of VX2 carcinoma in the rabbit kidney - comparison with renal angiography and excretory urography.

Veterinary Radiology; **30**: 88-96.

### **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. Diss. med. Würzburg.

### **ANGELI C (2008)**

Sonographische Untersuchung der abdominalen Organe beim Kaninchen. Diss. med. vet. München.

### **ARNING C (2002a)**

Methodische Grundlagen.

In: ARNING C: Farbkodierte Duplexsonographie der hirnersorgenden Arterien.

3. Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag p. 1-22.

### **ARNING C (2002b)**

Extrakranielle hirnersorgende Arterien.

In: KUBALE R, STIEGLER H: Farbkodierte Duplexsonographie.

Stuttgart, New York: Thieme p. 123-52.

### **BLAND M (2000)**

An Introduction to medical statistics.

3. Aufl. Oxford: Medical Publication; p. 270-272.

### **BREWER NR, CRUISE LJ (1994)**

Physiology.

In: MANNING PJ, RINGLER DH, NEWCOMER CE: The Biology of the Laboratory Rabbit.

2. Aufl. London: Academic Press p. 63-70.

**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 JM (1999)**

Relationship between the resistive index and vascular compliance and resistance.  
Radiology; **211**: 411-7.

**CARVALHO CF, CHAMMAS MC (2011)**

Normal Doppler velocimetry of renal vasculature in Persian cats.  
J Feline Med Surg; **13**: 399-404.

**CHANG CY, LEI YF, TSENG CH, SHIH SR (2010)**

Thyroid segmentation and volume estimation in ultrasound images.  
IEEE Trans Biomed Eng; **57**: 1348-57.

**CHANG D, SEO M, CHOI H, LEE H, LEE K, EOM K, et al. (2002)**

Application of Transarterial Embolization of Renal Artery in Rabbits with Experimental Hydronephrosis.  
J Vet Med Sci; **64**: 693-8.

**CHOI H, WON S, CHUNG W, LEE K, CHANG D, LEE H, et al. (2003)**

Effect of intravenous mannitol upon the resistive index in complete unilateral renal obstruction in dogs.  
J Vet Intern Med; **17**: 158-62.

**CHU Y, LIU H, XING P, LOU G, WU C (2011)**

The morphology and haemodynamics of the rabbit renal artery: evaluation by conventional and contrast-enhanced ultrasonography.  
Lab Anim; **45**: 204-8.

**COLEY BD, ARELLANO RS, TALNER LB, BAKER KG, PETERSON T, MATTREY RF (1995)**

Renal resistive index in experimental partial and complete ureteral obstruction.  
Acad Radiol; **2**: 373-8.

**CRAIGIE EH (1969)**

Bensley's practical Anatomy of the Rabbit.

8. Aufl. Toronto: University of Toronto Press.

**CRAMER B, HUSA L, PUSHPANATHAN C (1998a)**

Pattern and permanence of phosphate-induced nephrocalcinosis in rabbits.

Pediatr Radiol; **28**: 14-9.

**CRAMER B, HUSA L, PUSHPANATHAN C (1998b)**

Nephrocalcinosis in rabbits--correlation of ultrasound, computed tomography, pathology and renal function.

Pediatr Radiol; **28**: 9-13.

**CRUISE LJ, BREWER NR (1994)**

Anatomy.

In: MANNING PJ, RINGLER DH, NEWCOMER CE: The Biology of the Laboratory Rabbit.

2. Aufl. London: Academic Press p. 47-61.

**D'ANJOU MA (2008)**

Kidneys and Ureters.

In: PENNINCK D, D'ANJOU MA: Atlas of Small Animal Ultrasonography.

1. Aufl. Iowa, USA: Blackwell Pub. p. 339-64.

**DAHME E (1962)**

Morphological changes in the vessel wall in spontaneous animal arteriosclerosis.

J Atheroscler Res; **2**: 153-60.

**DECKINGER V (2003)**

Konventionelle und neue echokardiographische Methoden zur Beurteilung der systolischen und diastolischen Herzfunktion sowie Dopplersonographie der Arteriae interlobares bei gesunden Dachshunden. Diss. med. vet. München.

**DEEG KH, WILD F (1990)**

Abdominelle Dopplersonographie im Kindesalter.

Klin Pädiatr; **202**: 371-8.

**DELORME S (2002)**

Tumorvaskularisation.

In: KUBALE R, STIEGLER H: Farbkodierte Duplexsonographie.

Stuttgart, New York: Thieme p. 483-98.

**DEPKEN U (1999)**

Farbkodierte und konventionelle Dopplersonographie von Arterien und Venen verschiedener abdominaler Organe bei adulten europäischen Hauskatzen. Diss. med. vet. München.

**DONNELLY TM (1997)**

Basic anatomy, physiology and husbandry of rabbits.

In: HILLYER EV, QUESENBERRY KE: Ferrets, Rabbits and Rodents.

Philadelphia: WB Saunders p. 147-59.

**ENGELKE A (1997)**

Ultraschalluntersuchung der Harn- und Geschlechtsorgane beim Meerschweinchen und Zwergkaninchen.

DVG-Tagungsbericht: 43. Jahrestagung der Fachgruppe Kleintierkrankheiten Hannover: DVG p. 276-9.

**EWRINGMANN A (2005a)**

Leitsymptome beim Kaninchen. Diagnostischer Leitfaden und Therapie.

Stuttgart: Enke; p. 96-160.

**EWRINGMANN A (2005b)**

Kaninchen.

In: GÖBEL T, EWRINGMANN A: Heimtierkrankheiten.

Stuttgart: Ulmer p. 51-3.

**EWRINGMANN A, GLÖCKNER B (2008)**

Erkrankungen der Harn- und Geschlechtsorgane.

4. Leipziger Tierärztekongress, Schwerpunkt Heimtiere mit ECAMS-Symposium Leipzig p. 422-5.

**FEHÉRVÁRI J (1935)**

Nieren und Harnleiter des Kaninchens (*Oryctolagus cuniculus*). Diss. med. vet. Budapest.

**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**: 87-96.

**GERHARDT U (1909)**

Das Kaninchen, zugleich eine Einführung in die Organisation der Säugetiere.

Leipzig: Klinkhardt; p. 204-231.

**GIRLING SJ (2002)**

Mammalian imaging and anatomy.

In: MEREDITH A, REDROBE S: BSAVA manual of exotic pets.

4. Aufl. Quedgeley: BSAVA p. 1-12.

**GÖDDENHENRICH F (1997)**

Duplexsonographie der Aorta abdominalis und Vena cava caudalis einschließlich ihrer großen abdominalen Abgänge und Zuflüsse bei der Katze. Diss. med. vet. Hannover.

**GORGAS D (2004)**

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

**GOSLING RG, KING DH (1974)**

Arterial assessment by Doppler-shift ultrasound.

Proc R Soc Med; **67**: 447-9.

**GÖTZ vI (1999)**

Duplex- und Triplexsonographie abdominaler Organe und ihrer Gefäße beim adulten Beagle. Diss. med. vet. Hannover.

**GUMBSCH P, GABLER C, HOLZMANN A (2002)**

Colour-coded duplex sonography of the testes of dogs.

Vet Rec; **151**: 140-4.

**HALPERN EJ, DEANE CR, NEEDLEMAN L, MERTON DA, EAST SA (1995)**

Normal renal artery spectral Doppler waveform: a closer look.

Radiology; **196**: 667-73.

**HANENBERG I (1998)**

Duplex- und Triplexsonographie abdominaler Gefäße von Katzenwelpen in den ersten Lebenswochen. Diss. med. vet. München

**HARKNESS JE, TURNER PV, VANDEWOUDE S, WHELER CL (2010)**

Harkness and Wagner's Biology and Medicine of Rabbits and Rodents.

5. Aufl. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell; p. 131-4, 348-50, 390-2.

**HILLYER EV (1994)**

Pet rabbits.

Vet Clin North Am Small Anim Pract; **24**: 25-65.

**HINTON M (1981)**

Kidney disease in the rabbit: a histological survey.

Lab Anim; **15**: 263-5.

**HOCHLEITHNER C (2000)**

Ultrasound in Birds, Reptiles and Small Mammals, ICE 2000-Proceedings.

Exotic DVM; **2**: 9-10.

**HOFFMANN G (1961)**

Abriß der Laboratoriumstierkunde.

Jena: Fischer Verlag; p. 120-123.

**HOLDER FH (2012)**

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

**HOLLENBECK M (2009)**

Nephrologie.

In: HOFER M: FKDS-Trainer.

3. Aufl. Düsseldorf: Didamed Verlag p. 49-55.

**HUCK K (2005)**

Hämodynamik.

In: HUCK K: Kursbuch Doppler- und Duplexsonographie.

2. Aufl. Stuttgart: Thieme p. 6-34.

**INDUSTRIEVERBAND HEIMTIERBEDARF (IHV) e.V. 2011**

Der deutsche Heimtiermarkt, Struktur und Umsatzdaten

[www.ihv-online.de](http://www.ihv-online.de)

**JANTHUR M, LÜERSSEN D (2007)**

Nieren und Harnleiter.

In: POULSEN NAUTRUP C, TOBIAS R: Atlas und Lehrbuch der  
Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze.

4. Aufl. Hannover: Schlütersche p. 210-27.

**KAUDE JV, KEKOMÄKI M, WALKER D, FITZSIMMONS JR (1984)**

Imaging of unilateral hydronephrosis in an experimental animal model.

Acta Radiol Diagn; **25**: 501-6.

**KIEFER I, HIMMELSBACH P, MÜLLER F, BOSCH B, HAUSE A,  
OECHTERING G, et al. (2008)**

Spezifische Aspekte der Ultraschalluntersuchung bei Kaninchen und Nagern.

4. Leipziger Tierärztekongress, Schwerpunkt Heimtiere mit ECAMS-Symposium  
Leipzig p. 420-1.

**KLEWS P-M (2002)**

Die Physik und Technik der Ultraschalldiagnoseverfahren.

In: KUBALE R, STIEGLER H: Farbkodierte Duplexsonographie.

Stuttgart, New York: Thieme p. 1-70.

**KNAPP R, PLOTZENEDER A, FRAUSCHER F, HELWEG G, JUDMAIER  
W, ZUR NEDDEN D, et al. (1995)**

Variability of Doppler parameters in the healthy kidney: an anatomic-physiologic  
correlation.

J Ultrasound Med; **14**: 427-9.

**KNAUFF PS (1987)**

Sonographische Darstellung von Nieren, Ureteren und Harnblase beim Hund unter besonderer Berücksichtigung der Messung ihrer Lage, Größe und ihres Inhaltes. Diss. med. vet. Gießen.

**KOCH T, BERG R (1990)**

Lehrbuch der Veterinär-Anatomie.

4. Aufl. Jena: Fischer; p. 253 –70, 312– 49.

**KOCK M (1990)**

Vergleichende Morphologie der Niere (Gravimetrie und Histometrie) bei fünf Kaninchenrassen unterschiedlichen Gewichtes. Diss. med. vet. Hannover.

**KÖLLE S (2012)**

Harn- und Geschlechtsorgane sowie Becken.

In: REESE S, MÜLLING C, PFARRER C, KÖLLE S, BUDRAS K-D: Atlas der Anatomie des Hundes.

9. Aufl. Hannover: Schlütersche p. 108-35.

**KOZMA C, MACKLIN W, CUMMINS LM, MAUER R (1974)**

Anatomy, Physiology, and Biochemistry of the Rabbit.

In: WEISBROTH SH, FLATT RE, KRAUS AL: The Biology of the Laboratory Rabbit.

New York: Academic press p. 50-72

**KRAUSE W (1884)**

Die Anatomie des Kaninchens in topographischer und operativer Rücksicht.

2. Aufl. Leipzig: Engelmann; p. 165-67.

**LANDWEHR P (1993)**

Hämodynamische Grundlagen.

In: WOLF KJ, FOBBE F: Farbkodierte Duplexsonographie.

Stuttgart: Thieme p. 19-36.

**LATIMER HB, SAWIN PB (1957)**

Morphogenetic studies of the rabbit. XV. Measurements of the digestive tube and of its parts in normal and dwarf rabbits of race X.

Anat Rec; **129**: 1-16.

**LEE HJ, CHO JY, KIM SH (2001)**

Resistive index in rabbits with experimentally induced hydronephrosis: effect of furosemide.

Acad Radiol; **8**: 987-92.

**LINGS S, SPRATT RS (1997)**

Hemodynamic Imaging with Pulsatility-Index and Resistive-Index Color Doppler US.

Radiology; **204**: 870 – 3.

**LÖLIGER HC (1986)**

Kaninchenkrankheiten.

Stuttgart: Enke Verlag.

**MARSCHNER H (1937)**

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

Z Anat Entwicklungsgesch; **107**: 353-77.

**MEREDITH A, RAYMENT L (2000)**

Liver Disease in Rabbits.

Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine; **9**: 146-52.

**MITCHELL SK, TOAL RL, DANIEL GB, ROHRBACH BW (1998)**

Evaluation of renal hemodynamics in awake and isoflurane-anesthetized cats with pulsed-wave Doppler and quantitative renal scintigraphy.

Vet Radiol Ultrasound; **39**: 451-8.

**MÖLLER U (2001)**

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

**MORROW KL, SALMAN MD, LAPPIN MR, WRIGLEY R (1996)**

Comparison of the resistive index to clinical parameters in dogs with renal disease.

Vet Radiol Ultrasound; **37**: 193-9.

**MOSTBECK GH, GOSSINGER 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**: 511-3.

**MÜCK-WEYMANN M, WUPPERMANN T (2000)**

Physiologie und Pathophysiologie des Blutflusses.

In: WUPPERMANN T: Ultraschallkurs Gefäße.

1. Aufl. München, Jena: Urban & Fischer p. 21-34.

**MÜSGEN D (2000)**

Physikalische und technische Grundlagen.

In: FÜRST G, KOISCHWITZ D: Moderne Sonographie.

1. Aufl. Stuttgart: Thieme p. 1-23.

**NASTAROWITZ-BIEN C (2007)**

Sonographische Untersuchung des Abdomens bei Kaninchen. Diss. med. vet. Berlin.

**NELSON TR, PRETORIUS DH (1988)**

The Doppler signal: where does it come from and what does it mean?

AJR Am J Roentgenol; **151**: 439-47.

**NIEBERGALL A (2003)**

Sonographische Befunderhebung am männlichen und weiblichen Harntrakt und am weiblichen Geschlechtsapparat von Zwergkaninchen und Meerschweinchen. Diss. med. vet. Hannover.

**NOVELLAS R, RUIZ DE GOPEGUI R, ESPADA Y (2006)**

Renal ultrasound in dogs and cats.

Vet Res Commun; **30**: 133-7.

**NOVELLAS R, RUIZ DE GOPEGUI R, ESPADA Y (2008)**

Increased renal vascular resistance in dogs with hepatic disease.

Vet J; **178**: 255-60.

**NOVELLAS R, RUIZ DE GOPEGUI R, ESPADA Y (2010)**

Assessment of renal vascular resistance and blood pressure in dogs and cats with renal disease.

Vet Rec; **166**: 618-23.

**NYLAND TG, KANTROWITZ BM, FISCHER P, OLANDER HJ, HORN OF WJ (1989)**

Ultrasonic determination of kidney volume in the dog.

Vet Radiol **30**: 174-80.

**NYLAND TG, FISHER PE, DOVERSPIKE M, HORN OF WJ, OLANDER HJ (1993)**

Diagnosis of urinary- tract obstruction in dogs using duplex doppler ultrasonography.

Vet Radiol Ultrasound; **34**: 348-52.

**NYLAND TG, MATTOON JS, HERRGESELL EJ, WISNER ER (2002a)**

Urinary Tract.

In: NYLAND TG, MATTOON JS: Small Animal Diagnostic Ultrasound.

2. Aufl. Philadelphia: Saunders p. 158-95.

**NYLAND TG, MATTOON JS, HERRGESELL EJ, WISNER ER (2002b)**

Physical principles, instrumentation, and safety of diagnostic ultrasound.

In: NYLAND TG, MATTOON JS: Small Animal Diagnostic Ultrasound.

2. Aufl. Philadelphia: Saunders p. 1-18.

**PARK IC, LEE HS, KIM JT, NAM SJ, CHOI R, OH KS, et al. (2008)**

Ultrasonographic evaluation of renal dimension and resistive index in clinically healthy Korean domestic short-hair cats.

J Vet Sci; **9**: 415-9.

**PAUL-MURPHY J (1997)**

Reproductive and urogenital disorders.

In: HILLYER EV, QUESENBERRY KE: Ferrets, Rabbits and Rodents - clinical medicine and surgery.

Philadelphia: WB Saunders p. 202-12.

**PETERSEN LJ, PETERSEN JR, LADEFOGED SD, MEHLSSEN J, JENSEN HA (1995)**

The pulsatility index and the resistive index in renal arteries in patients with hypertension and chronic renal failure.

Nephrol Dial Transplant; **10**: 2060-4.

**PLATT JF (1997)**

Doppler ultrasound of the kidney.

Semin Ultrasound CT MR; **18**: 22-32.

**POLLARD R, NYLAND TG, BERNSTEEN L, GREGORY CR, HORNOF WJ (1999)**

Ultrasonographic evaluation of renal autografts in normal cats.

Vet Radiol Ultrasound; **40**: 380-5.

**POULSEN NAUTRUP C (2007)**

Sonographische Phänomene und Artefakte.

In: POULSEN NAUTRUP C, TOBIAS R: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze.

4. Aufl. Hannover: Schlütersche p. 60-75.

**POULSEN NAUTRUP C, TOBIAS R (2007)**

Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze.

4. Aufl. Hannover: Schlütersche p. 21-59.

**POURCELOT P (1974)**

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

INSERM; **34**: 213-40.

**PRÜFER A (1994)**

Ultraschalldiagnostik von Harnblasen- und Nierenerkrankungen bei Hund und Katze.

Kleintierpraxis; **39**: 83-92.

**RAISIS AL, YOUNG LE, MEIRE HB, TAYLOR PM, BLISSITT KJ, MARLIN D, et al. (2000)**

Measurements of hindlimb blood flow recorded using Doppler ultrasound during administration of vasoactive agents in halothane-anesthetized horses.

Vet Radiol Ultrasound; **41**: 64-72.

**RAPPOLD S (2001)**

Vergleichende Untersuchungen zur Urolithiasis bei Kaninchen und Meerschweinchen. Diss. med. vet. Hannover.

**REDROBE S (2000)**

Urogenital system and disorders.

In: FLECKNELL P: Manual of Rabbit Medicine and Surgery.

Gloucester: British Small Animal Veterinary Association p. 47-55.

**REDROBE S (2001)**

Imaging Techniques in Small Mammals.

Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine; **10**: 187-97.

**REESE S, SCHMIDT B, KRAFT W, LIEBICH H-G (1998)**

Die sonographische Volumenbestimmung der Schilddrüse beim Hund.

Ultraschall in Med; **19**: 14.

**REESE S (2009a)**

Kleinsäuger / Ultraschalluntersuchung.

In: KRAUTWALD-JUNGHANNS M-E, PEES M, REESE S, TULLY T: Atlas der bildgebenden Diagnostik bei Heimtieren Vögel - Kleinsäuger - Reptilien.

Hannover: Schlütersche p. 184-7.

**REESE S (2009b)**

Kleinsäuger / Sonographische Anatomie, Abdomen.

In: KRAUTWALD-JUNGHANNS M-E, PEES M, REESE S, TULLY T: Atlas der bildgebenden Diagnostik bei Heimtieren Vögel - Kleinsäuger - Reptilien.

Hannover: Schlütersche p. 224-41.

**REESE S, HEIN J (2009)**

Kleinsäuger / Spezielle Diagnostik, pathologische Befunde, Abdomen.

In: KRAUTWALD-JUNGHANNS M-E, Pees M, REESE S, TULLY T: Atlas der bildgebenden Diagnostik bei Heimtieren Vögel - Kleinsäuger - Reptilien.

Hannover: Schlütersche p. 280-97.

**RESTREPO-SCHAFFER 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**: 87-92.

**RINCK I, SEHIC M, BUTKOVIC V, STANIN D, KADUNC I (1993)**

Ultrasonographic diagnosis of pregnancy in the rabbit.

Veterinarski Arhiv; **63**: 61-5.

**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, LETOURNEAU JG, FINLAY DE, RITENOUR ER, KING VL, et al. (1997a)**

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, POLZIN DJ, KING VL (1997b)**

Duplex doppler estimation of intrarenal pourcelot resistive index in dogs and cats with renal disease.

J Vet Intern Med; **11**: 250-60.

**ROHRWEBER I (1999)**

Duplex- und Triplexsonographie großer Arterien und Venen bei Hundewelpen in den ersten Lebenswochen. Diss. med. vet.

**SCHÄBERLE W, STRAUSS A, NEUERBURG-HEUSLER D, ROTH FJ (1992)**

Value of duplex sonography in diagnosis of renal artery stenosis and its value in follow-up after angioplasty (PTA).

Ultraschall Med; **13**: 271-6.

**SCHÄBERLE W (2010)**

Grundlagen.

In: SCHÄBERLE W: Ultraschall in der Gefäßdiagnostik.

3. Aufl. Berlin: Springer p. 1-49.

**SCHALL H (2007)**

Kaninchen.

In: GARBISCH K, ZWART P: Krankheiten der Heimtiere.

7. Aufl. Hannover: Schlütersche p. 3-47.

**SCHAUDER W (1923)**

Anatomie der Impfsäugetiere (Kaninchen, Meerschweinchen, Ratte, Maus) und der Hausvögel.

In: MARTIN P: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Anatomie des Schweines, des Hundes und der Katze.

2. Aufl. Stuttgart: Schickhardt und Ebner p. 305-16.

**SCHWERK WB, RESTREPO IK, PRINZ H (1993)**

Semiquantitative Analysen intrarenaler arterieller Dopplerflußspektren bei gesunden Erwachsenen.

Ultraschall in Med **14**: 117-22.

**SHEEHAN HL, DAVIS JC (1959)**

Anatomy of the pelvis in the rabbit kidney.

J Anat; **93**: 499-502.

**SILVERMAN S (1993)**

Diagnostic imaging of exotic pets.

Vet Clin North Am Small Anim Pract; **23**: 1287-99.

**SINGER EA, GOLIJANIN DJ, DAVIS RS, DOGRA V (2006)**

What's new in urologic ultrasound?

Urol Clin North Am; **33**: 279-86.

**STIEGLER H, KLEWS P-M (2002)**

Hämodynamische Grundlagen.

In: KUBALE R, STIEGLER H: Farkkodierte Duplexsonographie.

Stuttgart, New York: Thieme p. 78-94.

**TERRY JD, RYSAVY JA, FRICK MP (1992)**

Intrarenal Doppler: characteristics of aging kidneys.

J Ultrasound Med; **11**: 647-51.

**THRUSH A, HARTSHORNE T (2007)**

Ultraschalldiagnostik peripherer Gefäße.

1. Aufl. München Elsevier, Urban & Fischer.

**WAIBL H, WILKENS H (2005)**

Aterien, Venen.

In: NICKEL R, SCHUMMER A, SEIFERLE E: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band 3: Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane.

4. Aufl. Stuttgart: Parey p. 74-276.

**WALTER PA, JOHNSTON GR, FEENEY DA, O'BRIEN TD (1987)**

Renal ultrasonography in healthy cats.

Am J Vet Res; **48**: 600-7.

**WARDROP KJ, NAKAMURA J, GIDDENS WEJr (1982)**

Nephroblastoma with secondary polycythemia in a New Zealand white rabbit.

Lab Anim Sci; **32**: 280-2.

**WESKOTT HP (2002)**

Leber und portalvenöses System.

In: KUBALE R, STIEGLER H: Farbkodierte Duplexsonographie.

Stuttgart, New York: Thieme p. 289-341.

**WIDMER WR, BILLER DS, ADAMS LG (2004)**

Ultrasonography of the urinary tract in small animals.

J Am Vet Med Assoc; **225**: 46-54.

**WINGERD BD (1985)**

Rabbit Dissection Manual.

Baltimore: John Hopkin's Univ. Press; p. 65-7.

**WOOD AK, McCARTHY PH (1990)**

Ultrasonographic-anatomic correlation and an imaging protocol of the normal canine kidney.

Am J Vet Res; **51**: 103-8.

**YOON DY, KIM SH, KIM HD, NA DG, GOO JM, CHOI HJ, et al. (1995)**

Doppler sonography in experimentally induced acute renal failure in rabbits. Resistive index versus serum creatinine levels.

Invest Radiol; **30**: 168-72.

## **IX. Danksagung**

An erster Stelle möchte ich mich recht herzlich bei Herrn PD Dr. Sven Reese für die Überlassung des interessanten Themas und die hervorragende fachliche Betreuung während der Anfertigung der Dissertation bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gilt auch Frau Susanne Lanzet, die mir bereitwillig ihr Ultraschallgerät zur Verfügung stellte und mich tatkräftig bei der praktischen Durchführung unterstützte.

Ganz herzlich danke ich meinen Freunden Miriam, Tobias, Nathalie und Maike für das Korrekturlesen meiner Arbeit sowie ihre moralische Unterstützung.

Zu guter Letzt danke ich von ganzem Herzen meinen Eltern, meiner Familie und vor allem meinem Schwager Steffen, für die Unterstützung und die endlose Geduld.