

Aus dem Institut für Tieranatomie der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Tieranatomie I, insbesondere Systematische
und Topographisch-klinische Anatomie
Vorstand: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. H.-G. Liebich
Angefertigt unter der Leitung von PD Dr. Sven Reese

Abdominale Sonographie bei der Ratte (*Rattus norvegicus f. domestica*)

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

von
Julia Lehmann
aus Freiburg

München 2007

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. E. P. Märtlbauer

Referent: PD Dr. Reese

Korreferentin: PD Dr. Fischer

Tag der Promotion. 9. Februar 2007

Meiner Familie

Peter und Franziska, Constanze und Annette Lehmann

Matthias Benz

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	5
2	LITERATUR.....	6
2.1	TAXONOMISCHE EINTEILUNG	6
2.2	DOMESTIKATIONSGESCHICHTE	6
2.3	ANATOMIE DER ABDOMINALEN ORGANE DER RATTE	7
2.3.1	Gastrointestinaltrakt	8
2.3.2	Darmanhangsdrüsen	12
2.3.3	Milz – Lien, Spleen	14
2.3.4	Nebenniere - Glandula adrenalis seu suprarenalis	14
2.3.5	Harnapparat.....	15
2.3.6	Weibliche Geschlechtsorgane	18
2.3.7	Männliche Geschlechtsorgane	21
2.3.8	Gefäße	25
2.4	ZYKLUS UND TRÄCHTIGKEIT DER WEIBLICHEN RATTE.....	27
2.5	REPETITORIUM SONOGRAPHIE	28
2.5.1	Ausrüstung.....	29
2.5.2	Prinzipien der Ultraschalldarstellung	29
2.5.3	Ultraschallverfahren.....	31
2.6	SONOGRAPHIE BEI DER RATTE	32
2.7	SONOGRAPHIE DER TRÄCHTIGKEIT BEI DER RATTE.....	39
3	MATERIAL UND METHODEN.....	42
3.1	TIERE	42
3.2	APPARATIVE AUSRÜSTUNG	42
3.2.1	Ultraschallgerät	42
3.2.2	Schallkopf	42
3.2.3	Rasierer	43
3.3	UNTERSUCHUNGSTECHNIK.....	43
3.3.1	Handling und Lagerung	43
3.3.2	Rasur	45
3.3.3	Gel	45
3.3.4	Ebenen.....	45
3.3.5	Schallkopfposition.....	46
3.3.6	Untersuchungsgang.....	47
3.4	DOKUMENTATION	47
3.5	MORPHOMETRIE.....	47
3.6	SONOMORPHOLOGISCHE BEURTEILUNGSKRITERIEN	48
4	ERGEBNISSE	49
4.1	GASTROINTESTINALTRAKT	49
4.1.1	Magen	49
4.1.2	Dünndarm	52
4.1.3	Blind- und Dickdarm	54
4.2	DARMANHANGSDRÜSEN.....	56
4.2.1	Leber.....	56
4.2.2	Bauchspeicheldrüse	61
4.3	MILZ	61
4.4	NEBENNIERE	64
4.5	HARNAPPARAT	68
4.5.1	Niere	68
4.5.2	Harnleiter	72
4.5.3	Harnblase.....	72
4.5.4	Harnröhre.....	75
4.6	WEIBLICHE GESCHLECHTSORGANE	75
4.6.1	Eierstöcke	75
4.6.2	Gebärmutter.....	78
4.7	MÄNNLICHE GESCHLECHTSORGANE	81

4.7.1	Hoden und Nebenhoden.....	81
4.7.2	Akzessorische Geschlechtsdrüsen.....	84
4.8	TRÄCHTIGKEIT.....	90
5	DISKUSSION.....	99
6	ZUSAMMENFASSUNG	114
7	SUMMARY	115
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	116
9	TABELLENVERZEICHNIS	118
10	LITERATURVERZEICHNIS	119

1 Einleitung

Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde die Ratte zu wissenschaftlichen Untersuchungen herangezogen (ROBINSON, 1984) und gehört mittlerweile zu den am besten erforschten Lebewesen dieser Welt (BAUCK und BIHUN, 1997; BERGHOFF, 1989). Der enorme technische Fortschritt der letzten Jahre erlaubte eine intensive Expansion im Bereich bildgebender Verfahren auch bei der Ratte. Um dem Rechnung zu tragen, richtete das Crump Institute of Molecular Imaging der UCLA, USA im Jahr 2004 sogar ein eigenes Forschungszentrum für bildgebende Verfahren bei kleinen Tieren wie Ratte und Maus ein (STOUT *et al.*, 2005).

In der Gegenwart besitzt die Ratte eine große Bedeutung als Liebhabertier, wobei eine wachsende Bereitschaft, auch finanziell in dieses „Familienmitglied“ zu investieren, registriert werden kann. In diesem Zusammenhang werden Ratten immer häufiger als Patienten in der Kleintierpraxis vorgestellt, wodurch automatisch die Nachfrage nach diagnostischen Verfahren für diese Tierart wächst.

Die Sonographie gewinnt als nicht invasives bildgebendes Untersuchungsverfahren in der Versuchstierkunde einen immer größeren Stellenwert. Gleichzeitig schafft die zunehmende Verbreitung hochauflösender Ultraschallsysteme in der tierärztlichen Praxis die technische Voraussetzung, um auch beim Heimtierpatienten eine sonographische Diagnostik durchzuführen.

Dem gegenüber steht die Tatsache, dass in der Literatur bisher keine systematischen Untersuchungen zur sonographischen Anatomie der Ratte als wesentliche Grundlage für den Einsatz der Sonographie in der klinischen Diagnostik sowie als tierschutzgerechtes Untersuchungsverfahren in Tierversuchen existieren.

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag dazu geleistet werden, diese Lücke zu schließen. Das Ziel der Untersuchungen war erstens die systematische Darstellung der sonographischen Anatomie der abdominalen Organe der Ratte und zweitens die Entwicklung eines speziell auf die Ratte zugeschnittenen, standardisierten Ultraschalluntersuchungsganges.

2 Literatur

2.1 Taxonomische Einteilung

In wissenschaftlichen Kreisen besteht zurzeit Konsens über die Taxonomie der Ratte. Nach GRZIMEK, 1988, KOCH und BOLZ, 2005, WILSON und REEDER, 1993 und anderen wird die Ratte folgendermaßen eingeordnet:

Ordnung:	Rodentia (Nagetiere)
Unterordnung:	Myomorpha (Mäuseverwandte)
Familie:	Muridae (Langschwanzmäuse)
Unterfamilie:	Murinae (Echte Mäuse)
Gattung	<i>Rattus</i> (Ratten)
Arten:	<i>Rattus rattus</i> (Hausratte) <i>Rattus norvegicus</i> (Wanderratte) <i>Rattus norvegicus forma domestica</i> (Farbratte) <i>Rattus exulans</i> (Pazifische Ratte) <i>Rattus concolor</i> (Polynesische Ratte)

2.2 Domestikationsgeschichte

Die heute als Haus- und Labortier gehaltene Ratte gehört zur Art der Wanderratten (*Rattus norvegicus*). Im Vergleich zur Hausratte ist ihr Körperbau massiger und gedrungener, der Schwanz kürzer und ihre Ohren kleiner mit randständigen kurzen, dünnen Haaren (GRZIMEK, 1969; KOLLER, 1932). Die Wanderratte besitzt im Unterschied zur Hausratte keine Gallenblase (PETZSCH, 1992). Heutzutage wird angenommen, dass die Wanderratte ursprünglich aus Asien, vor allem aus der Mongolei, der Mandschurei und dem klimatisch gemäßigten Sibirien, stammt. In der Gegenwart kann die Ratte regelrecht als Kosmopolit bezeichnet werden, denn ihre globale Verbreitung exkludiert lediglich die Polargebiete (BURNIE, 2001). Die Frage auf welche Weise und zu welcher Zeit die Ratte ihren Einzug in Europa hatte konnte noch nicht eindeutig geklärt werden. Der älteste archäologische Fund in Europa wurde auf der Burg Scharstorf bei Preetz in Holstein gefunden und wird auf das 10. Jahrhundert zurückdatiert (GRZIMEK, 1988; STARCK, 1995). Der Schweizer Naturforscher Conrad Gesner beschrieb bereits im Jahr 1553 eine Ratte, die nach heutigen Erkenntnissen höchstwahrscheinlich zur Art der Wanderratten gehörte.

Historisch gesicherte Berichte über Beobachtungen von *Rattus norvegicus* auf europäischem Gebiet stammen erst aus dem 18. Jahrhundert (GRZIMEK, 1988).

In der Geschichte der Menschheit spielt die Ratte eine eher unerfreuliche Rolle. Ihr werden die Übertragung und Verbreitung der Pest, Leptospirose sowie Toxoplasmose angelastet. Heute entstehen durch die Schädner vor allem massive Verluste im Nahrungsmittelbereich (BERGHOFF, 1989; PETZSCH, 1992; STARCK, 1995).

Die Wanderratte wurde bereits Anfang des 19. Jahrhunderts als Haustier und zu Forschungszwecken gehalten (ROBINSON, 1984). Im Wistar-Institute in Philadelphia und in der Sprague-Dawley-Tierfarm in Wiskonsin wurden die ersten Inzuchtstämme der Albino-Ratte gezüchtet. Auf sie führen die heute wissenschaftlich häufig genutzten Stämme „Wistar“ und „Sprague-Dawley“ zurück (VAN DER GULDEN *et al.*, 1975). Ende der 90iger Jahre existierten von der Wanderratte über 400 Inzuchtstämme sowie etwa 50 Auszuchtstämme (HEINE, 1998; KOOLHAAS, 1999).

Mittlerweile erfreuen sich Ratten auch als private Haustiere wachsender Beliebtheit (BAUCK und BIHUN, 1997; BERGHOFF, 1989). In den meisten Fällen sind dies ursprüngliche Laborratten und deren Nachkommen (BERGHOFF, 1989; VERHOEF-VERHALLEN, 1999). Ihre Lebenserwartung in menschlicher Obhut beträgt ca. 3 Jahre (BERGHOFF, 1989). Das Verhalten der heute gehaltenen zahmen Ratte hat laut VERHOEF-VERHALLEN, 1999 mit dem der ursprünglichen Wanderratte aufgrund langjähriger Zucht und dem nahen Kontakt zum Menschen nur noch wenig zu tun. BAUCK und BIHUN, 1997 beschreiben die Ratte als relativ intelligentes, am Menschen interessiertes, wenig bissiges Tier. Im Alter leidet die Mehrheit unter ihnen an zahlreichen Krankheiten, wie z.B. Fettsucht, chronischen Atemwegsinfekten und Mammatumoren. Auch ISENBÜGEL, 1985 kommentierte bereits Mitte der 80iger Jahre den Anstieg kleiner Heimtiere in der Privattierhaltung und den damit verbundenen zunehmenden Anteil dieser Patienten in der tiermedizinischen Praxis (1985: 30% der Kleintierpatienten im deutschsprachigen Raum). Gleichzeitig kritisierte er das mangelnde Wissen des praktischen Kleintierarztes auf diesem Gebiet.

2.3 Anatomie der abdominalen Organe der Ratte

Um überhaupt in der Lage zu sein, eine adäquate Ultraschalluntersuchung bei der Ratte durchzuführen und Pathologie von Physiologie unterscheiden zu können, muss sich der Untersucher über die Anatomie und vor allem die anatomischen Besonder-

heiten der Ratte bewusst sein. Im folgenden Kapitel werden die für die abdominale Sonographie wichtigen Organe hinsichtlich ihres Aufbaus, ihrer Form und Größe sowie Topographie besprochen. Die Einteilung erfolgte nach Organsystemen.

2.3.1 Gastrointestinaltrakt

2.3.1.1 Magen – Gaster, Ventriculus

Der von WALKER und HOMBERGER, 1997 als bohnenförmig beschriebene monogastrische Magen der Ratte liegt transversal gerichtet im linken, kranialen Teil der Bauchhöhle (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000), größtenteils kaudal des Rippenbogens. Kraniodorsal erstreckt sich die Curvatura minor, in die der Oesophagus mittig in die Kardia des Magens mündet. Die Curvatura major zeigt in kaudoventrale Richtung und steht in engem Kontakt mit der Milz (s. Abb. 1). Annähernd die gesamte Facies parietalis sowie Teile der Facies visceralis sind von Leberlappen bedeckt (Lobus lateralis et medialis sinister, Processus papillaris). Zwischen Bauchwand und Magen liegt ein Fettpolster, das bei normalem Füllungszustand des Magens verhindert, dass dieser, abgesehen von einem kleinen Teil, die Bauchwand berührt. Getrennt durch Teile des Netzes liegen Jejunum und Zäkum der Facies visceralis des Magens an (HEBEL und STROMBERG, 1986). Die Verjüngung zum Pylorus, dem Übergang zum Duodenum, zeigt nach rechts und ragt leicht über die Mediane auf die rechte Körperseite. Man unterscheidet eine linke drüsenfreie Pars proventricularis sowie eine rechte Pars glandularis, deren Trennungslinie (Margo plicatus) auf der Außenseite des Magens deutlich erkennbar ist (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000). Der kraniodorsale Teil der Pars proventricularis ist durch eine sehr dünne, nahezu transparente Wand gekennzeichnet und bildet einen Blindsack. Der Fundus und die Pars pylorica bilden zusammen die Pars glandularis (HEBEL und STROMBERG, 1986; WALKER und HOMBERGER, 1997).

2.3.1.2 Dünndarm - Instestinum tenue

Duodenum

Der Zwölffingerdarm, mit einer ungefähren Länge von 95 bis 100 mm und ca. 2,5 bis 3 mm Durchmesser¹, wird – vergleichbar mit unseren Haussäugetieren – in eine Pars cranialis duodeni, ein Duodenum descendens, transversum sowie ascendens eingeteilt.

In der Körpermedianen bzw. geringgradig links der Mittellinie (HEBEL und STROMBERG, 1986) geht das Duodenum craniale aus dem Pylorus hervor, verläuft transversal zur rechten Körperwand, um dann in der Flexura duodeni cranialis seine Richtung nach kaudal zu ändern (SALOMON, 2005). Als Duodenum descendens zieht dieser Darmabschnitt weiter kaudodorsal in Richtung rechter Niere. Das Duodenum transversum zieht von hier aus in einem Bogen zur Mittellinie des Rattenkörpers (HEBEL und STROMBERG, 1986). KOMÁREK *et al.*, 2000 und SALOMON, 2005 nennen diesen Teil des Duodenums Flexura duodeni caudalis (s. Abb. 1). Eine weitere Rechtskurve leitet in das kranial verlaufende Duodenum ascendens über, welchem anschließend das Jejunum folgt (HEBEL und STROMBERG, 1986). Die Trennung zwischen Duodenum und Jejunum kann auch bei der Ratte aufgrund der Plica duodenocolica, die zwischen Duodenum ascendens und Colon descendens verläuft, vollzogen werden (SALOMON, 2005).

Jejunum

Auch bei der Ratte ist das Jejunum mit einer Länge von 900-1350 mm der weitaus längste Abschnitt des Darms. Sein Durchmesser beträgt ca. 4-5 mm. Der Leerdarm füllt hauptsächlich das rechte ventrale Abdomen aus. Bedingt durch sein langes Mesenterium finden sich seine Schlingen jedoch auch in anderen Bereichen der Bauchhöhle (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000).

Ileum

Die Verbindung zum Dickdarm schafft das relativ kurze Ileum (25-35 mm Länge, 3-5 mm Durchmesser). Es tritt nahe dem Kolon (HEBEL und STROMBERG, 1986) über

¹ Die Länge wurde postmortem ohne Fixation gemessen, die Durchmesser müssen als Schätzungen gesehen werden (HEBEL und STROMBERG, 1986).

das Ostium ileocaecalis (WALKER und HOMBERGER, 1997) in die Apex caeci ein (HEBEL und STROMBERG, 1986). Das Ileum ist über die Plica ileocaecale mit dem Zäkum verbunden und kann durch diese vom Jejunum abgegrenzt werden (SALOMON, 2005).

2.3.1.3 Dickdarm - Intestinum crassum

Caecum

Obwohl die Ratte omnivor ist (DONALDSON, 1924; KOCH und BOLZ, 2005; WALKER und HOMBERGER, 1997), ernährt sie sich hauptsächlich grani- und herbivor (KOCH und BOLZ, 2005) und besitzt deshalb - ähnlich vieler Herbivoren - einen ausgedehnten Blinddarm, der als Gärkammer fungiert (WALKER und HOMBERGER, 1997). Die lange Aufhängung des Zäkums erlaubt ihm in seiner Lage außerordentlich zu variieren. Laut HEBEL und STROMBERG, 1986 findet es sich am häufigsten im linken kaudalen Abschnitt der Bauchhöhle. In dieser Lage zeigt die Basis caeci kranioventral. Der gekrümmte Zäkumkörper breitet sich entlang der lateralen Bauchwand aus und geht in die kaudomedial gerichtete Apex caeci über. Ähnlich dem Magen kann auch am Zäkum eine Curvatura major und minor unterschieden werden (Abb. 1). KOMÁREK *et al.*, 2000 beschreiben die Lage des Zäkums als in der Bauchhöhle rechtsliegend, verweisen aber ebenfalls auf die Lagevariabilität, die auch BONFERT, 1928 schon feststellte.

Colon

Im Gegensatz zum Caecum unterscheiden sich die folgenden Abschnitte des Dickdarms der Ratte in ihrer Dicke nur geringfügig von denen des Dünndarms (KOMÁREK *et al.*, 2000).

Aus der Basis caeci geht das Colon ascendens hervor, das zunächst ein kurzes Stück kaudal zieht. Benachbart von rechter Niere und Flexura duodeni cranialis biegt das Colon ascendens kraniodorsal ab und läuft anschließend der rechten Bauchwand entlang (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000). Ab diesem Darmabschnitt ist der Kot zu Ballen geformt. Das anschließende Colon transversum schmiegt sich nach links verlaufend direkt kaudal dem Duodenum craniale an. Nahe dem Pylorus sowie der Gekrösewurzel schlägt das Colon erneut um und geht nach

einem kurzen Stück kaudal verlaufendem Colon descendens in das Rectum über (HEBEL und STROMBERG, 1986).

Rectum

Das Rectum verläuft als gerader Strang in der Medianen dorsal der Geschlechtsorgane durch das Becken und endet im Anus direkt unterhalb der Schwanzwurzel (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000; WALKER und HOMBERGER, 1997).

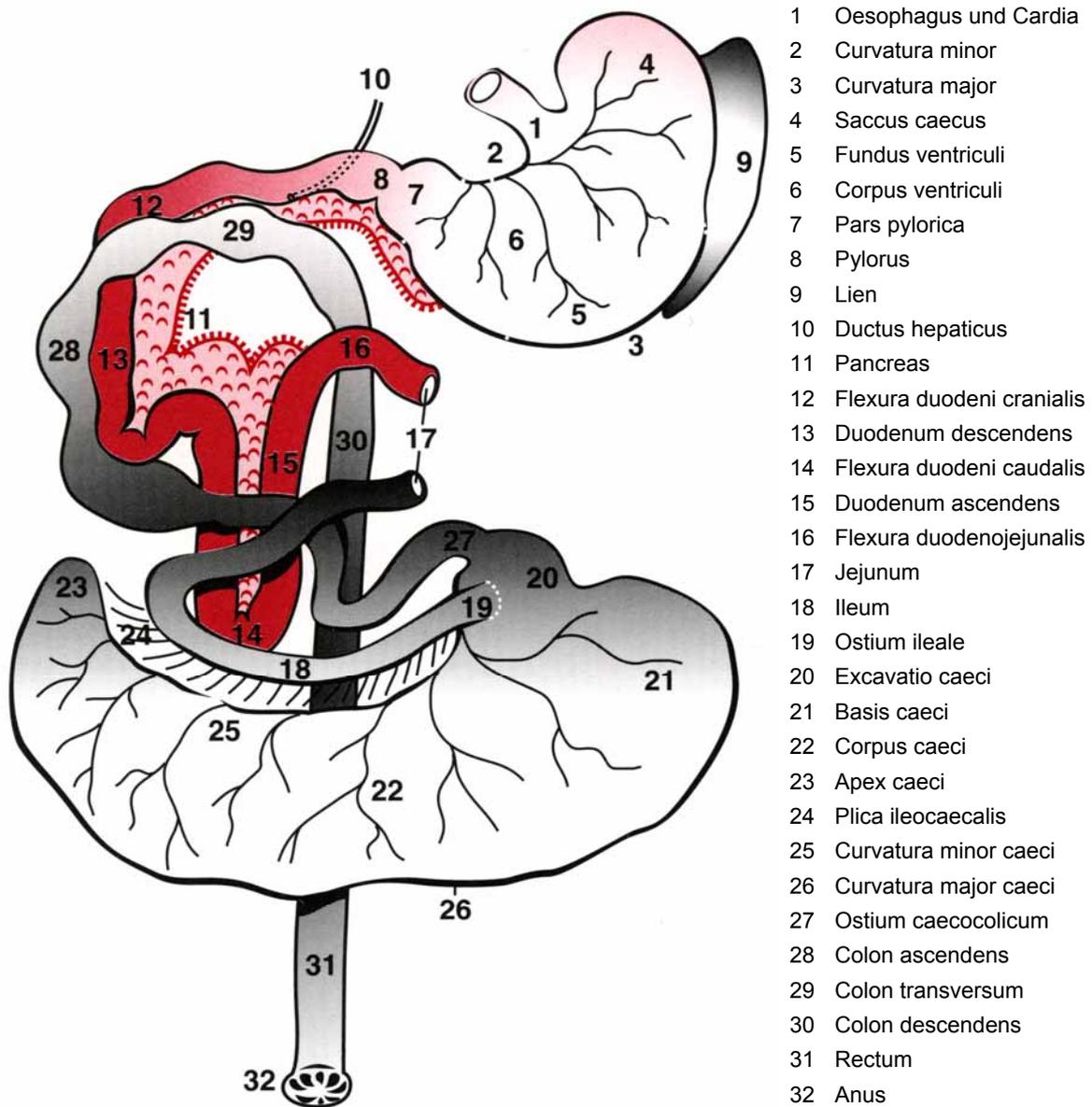


Abb. 1: Gastrointestinaltrakt nach Entfernung des Jejunums, Ventralansicht
Quelle: KOMÁREK, 2000

2.3.2 Darmanhangsdrüsen

2.3.2.1 Leber – Hepar

Die Leber der Ratte liegt vergleichbar zu unseren Haussäugetieren hauptsächlich im intrathorakalen Teil der Bauchhöhle. Ventral ragt sie, der Bauchwand anliegend, kaudal über den Rippenbogen hinaus. Die Facies diaphragmatica liegt dem Zwerchfell direkt kaudal an und bildet eine dementsprechend konvexe Oberfläche (HEBEL und STROMBERG, 1986). Die Facies visceralis steht in Kontakt mit Magen, Duodenum descendens, Colon transversum, Jejunum und Milz. Der Processus caudatus ragt bis an die rechte Niere heran, wodurch die Impressio renalis entsteht (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000). Auch der Oesophagus hinterlässt, dorsal über den Margus obtusus der Leber ziehend, eine Impressio oesophagea (HEBEL und STROMBERG, 1986).

Bei der Einteilung in die verschiedenen Lobi der Leber liegen laut KOMÁREK *et al.*, 2000 abgesehen von Interpretationsunterschieden verschiedener Autoren auch tatsächliche, individuelle Variationen vor (Tab. 1).

Der Verlauf der Blutgefäße wird von HEBEL und STROMBERG, 1986 folgendermaßen beschrieben: Die V. cava caudalis tritt am kaudomedialen Rand des Processus caudatus in die Leber ein. Sie empfängt venöses Blut aus zahlreichen Segmentalvenen und verlässt die Leber kraniodorsal der Pars supraportalis.

Ventral der V. cava caudalis gelangen die A. hepatica und die V. portae über die Leberpforte in das Organ.

Die in der Leber gebildete Galle wird in zahlreichen Gallengängen gesammelt, die sich im Bereich der Leberpforte zu einem gemeinsamen Ductus hepaticus (HEBEL und STROMBERG, 1986) bzw. Ductus hepatoentericus (KOMÁREK *et al.*, 2000) zusammenschließen. Dieser ca. 1 mm breite Gang überkreuzt dorsal den Anfangsteil des Duodenum, nimmt an der Bauchspeicheldrüse vorbeiziehend die Ductuli pancreatici auf, um nahe dem Pylorus in das Duodenum zu münden. Die Ratte besitzt keine Gallenblase.

Autoren	Linker Lappen	Mittlerer Lappen	Rechter Lappen
GREEN, 1963	Großer Lobus hepatis sinister	Lobus hepatis medius (zysticus), ein kleiner Lobus caudatus, der sich um den Oesophagus legt	Lobus hepatis dexter, partiell unterteilt in anterioren und posterioren Lobus
HEBEL und STROMBERG, 1986	Lobus sinister, unterteilt in einen größeren lateralen und kleineren medialen Lobus	Lobus intermedius, unterteilt in Processus caudatus, zwei Processus papillaria, sowie Pars infraportalis und Pars supraportalis	Lobus hepatis dexter, klein, nicht unterteilt
POPESKO et al., 1990	Lobus hepatis sinister lateralis et medialis	Lobus caudatus mit Processus caudatus und Processus papillaris, der in Pars proventricularis und Pars retroventricularis unterteilt ist	Lobus hepatis dexter lateralis et medialis
EUSTIS et al., 1990	Lobus hepatis sinister	Lobus hepatis medius, unterteilt in rechten und linken Sublobus; Lobus (Processus) caudatus mit einem cranialen und caudalen Sublobus	Lobus hepatis dexter, unterteilt in einen cranialen und einen caudalen Sublobus

Tab. 1: Unterschiedliche Nomenklatur der Rattenleber durch verschiedene Autoren
Quelle: KOMÁREK *et al.*, 2000

2.3.2.2 Bauchspeicheldrüse – Pancreas

Das laut WIJNBERGEN, 2005 diffus verteilte Pankreas der Ratte befindet sich kraniodorsal in der Bauchhöhle. Bei der Frage der Nomenklatur der Pankreasabschnitte herrscht in der Literatur Uneinigkeit. HEBEL und STROMBERG, 1986 definierten einen Pankreaskörper sowie einen rechten und einen linken Lappen. Diese entsprechen den kranialen (=rechten) und kaudalen (=linken) Lappen von BURBANK, 1989. Bei KOMÁREK *et al.*, 2000 findet sich ein Vergleich der verschiedenen Pankreaseinteilungen mehrerer Autoren. Die vorliegende Arbeit orientiert sich an der Einteilung von HEBEL und STROMBERG, 1986.

Corpus und Lobus pancreatis dexter sind in das Mesoduodenum und den Anfang des Mesojejunums eingebettet (s. Abb. 1). Der verzweigte, abgeflachte Lobus pancreatis sinister verläuft im Omentum majus über die Dorsalfläche des Magens zur Facies intestinalis der Milz (HEBEL und STROMBERG, 1986). Die Länge der beiden Schenkel werden von SALOMON, 2005 mit ca. 3 cm für den rechten und ca. 5 cm für den linken Lobus pancreatis angegeben. Ihr Sekret wird in mehreren, mikroskopisch kleinen Gängen gesammelt, die allesamt in den galleführenden Ductus hepaticus münden, der sich in das Duodenum ergießt (BURBANK, 1989).

2.3.3 Milz – Lien, Splen

Im Verhältnis zur Körpergröße ist die Milz der Ratte relativ groß (SALOMON, 2005). Links dorsal in der Bauchhöhle gelegen erstreckt sie sich von dorsokranial der Leber anliegend, zwischen Magen und linker Niere hindurch kaudoventral (KOMÁREK *et al.*, 2000; SALOMON, 2005). Somit liegt ihr kraniales Ende – die Extremitas dorsalis (Abb. 2) – noch im intrathorakalen Teil der Bauchhöhle (SALOMON, 2005). Umgeben ist die Milz von einer Bindegewebskapsel, die trabekelartig in das Parenchym einstrahlt (KOMÁREK *et al.*, 2000).

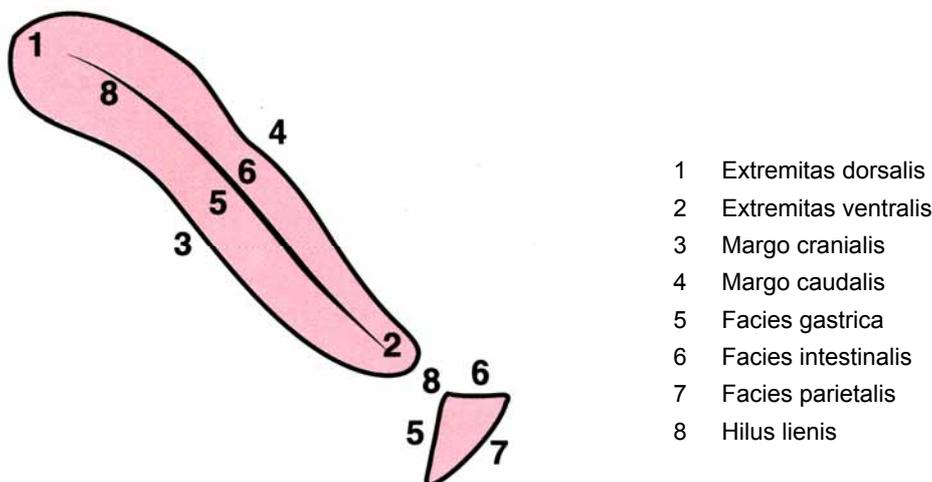


Abb. 2: Milz, Facies visceralis (links oben), Transversalschnitt (rechts unten)
 Quelle: KOMÁREK, 2000

2.3.4 Nebenniere - Glandula adrenalis seu suprarenalis

Im retroperitonealen Fett gebettet, liegen die paarigen Nebennieren in der Nähe des jeweiligen kranialen Nierenpols (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000). Die rechte Nebenniere hat eine eher bohnenartige Form, wird vom Lobus cau-

datatus hepatis bedeckt und befindet sich ca. 8-10 mm von der Medianen entfernt. Ihre Längsachse ist kaudomedial gerichtet. Die Maße der rechten Nebenniere betragen 4,0-5,5 mm Länge, 3,0-4,5 mm Breite und 2,8-3,0 mm Dicke bei Tieren mit einem Körpergewicht um 200 g. Die linke, als oval beschriebene Nebenniere liegt kranio-medial zur linken Niere. In ihrer Längsachse ventrolateral ausgerichtet beläuft sich der Abstand zur Mittellinie auf ca. 4-5 mm. Ihre Länge wird mit 4,5-5,5 mm, ihre Breite mit 3,2-4,5 mm und ihre Dicke mit 2,5-2,8 mm angegeben (HEBEL und STROMBERG, 1986). Insgesamt besitzt die Ratte, wie auch andere Nagetiere, relativ große Nebennieren (SALOMON, 2005). Zusätzlich wird bei HEBEL und STROMBERG, 1986 ein Geschlechtsunterschied im Nebennierengewicht erwähnt, wobei das absolute und das relative Gewicht der Nebennieren bei Weibchen höher ist als bei Männchen. Umgeben von einer dünnen Bindegewebskapsel bestehen die Nebennieren strukturell aus der Rinde mit der äußeren Zona glomerulosa, der mittleren Zona fasciculata und der inneren Zona reticularis und dem Mark, das vollständig von Rinde umgeben ist. Im Zentrum der Medulla liegt die Zentralvene, die zum Hilus strebt (HEBEL und STROMBERG, 1986).

2.3.5 Harnapparat

2.3.5.1 Niere – Ren, Nephros

Die bohnenförmigen, einwarzigen Nieren liegen retroperitoneal in der dorsalen Bauchhöhle (KOMÁREK *et al.*, 2000). Der kraniale Pol der rechten Niere befindet sich auf Höhe des ersten, der kaudale Pol auf Höhe des dritten Lendenwirbels. Die linke Niere liegt ungefähr eine viertel bis eine halbe Nierenlänge weiter kaudal als die rechte Niere. Ihre Längsachsen sind kranio-medial verkippt (s. Abb. 4). Der Abstand zur Medianen ist bei beiden Nieren nahezu identisch (HEBEL und STROMBERG, 1986). Der Hilus renalis zeigt zur Medianen (WALKER und HOMBERGER, 1997). Exklusive der Dorsal- und Ventralfläche sind die Nieren bei normal genährten Tieren von Fett umgeben. Eine fibröse Kapsel schmiegt sich um das gesamte Organ und gibt ihm eine glatte Oberfläche. Die Länge der Nieren beträgt 20 ± 5 mm, die Breite 10-15 mm und die Höhe etwa 10 mm. Die Einteilung in verschiedene Schichten entspricht grundsätzlich der bei unseren Haussäugetieren und wird in Abb. 3 ersichtlich (HEBEL und STROMBERG, 1986):

1. **Cortex renis:** Rindenlabyrinth und Markstrahlen (1,3-1,7 mm)
2. **Medulla renis:**
 - a) Zona externa:
 - Außenstreifen (0,55-0,75 mm)
 - Innenstreifen (1,0-1,4 mm)
 - b) Zona interna:
 - Papilla renalis (3,55-4,05 mm)

Das Pelvis renalis mündet am Hilus der Niere in den Ureter. Benachbart sind Eintritts- bzw. Austrittsstellen der A. bzw. V. renalis (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000; WALKER und HOMBERGER, 1997). Das Nierenbecken umschließt die Papilla renalis und ist zu zwei dorsalen und zwei ventralen Recessus ausgezogen, die zu den Polen der Niere ziehen (HEBEL und STROMBERG, 1986).

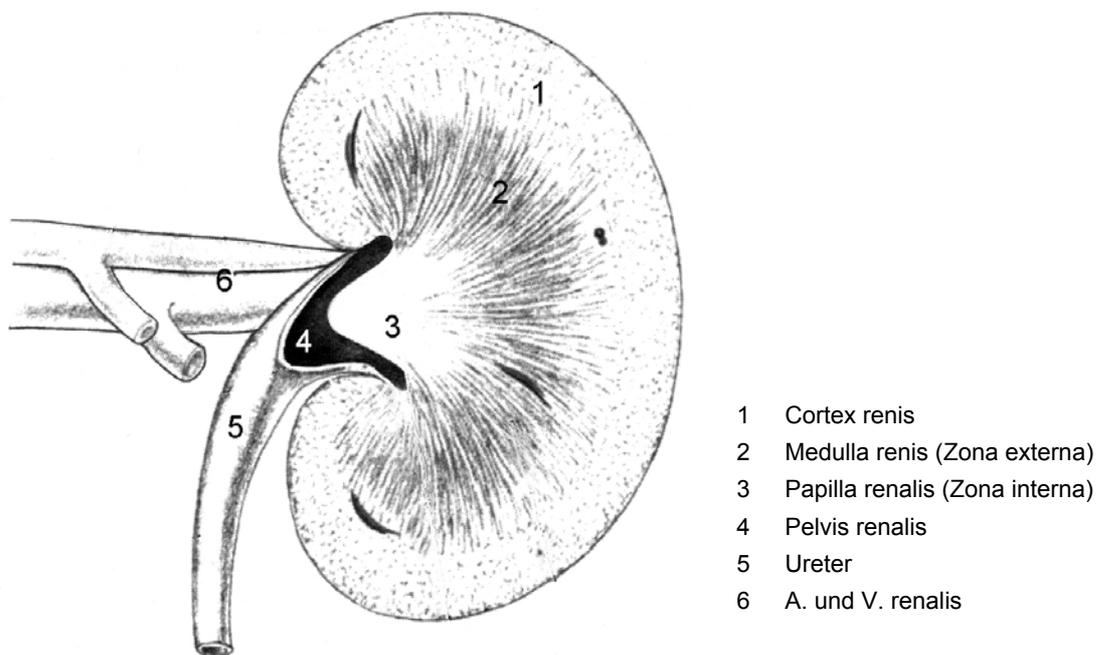


Abb. 3: Niere im Horizontalschnitt (= Dorsalschnitt)
 Quelle: WALKER und HOMBERGER, 1997

2.3.5.2 Harnleiter – Ureter

Nach ihrem Austritt aus den Nieren verlaufen die Ureteren kaudal unterhalb der inneren Lendenmuskulatur. Ihr äußerer Durchmesser beträgt etwa 0,3 mm (HEBEL und STROMBERG, 1986). Nahe dem Beckeneingang biegen die Ureteren ventral ab und

folgen dem Verlauf der A. vesicularis. Beim männlichen Tier die Ductus deferentes bzw. beim weiblichen Tier die beiden Uteri kreuzend, erreichen die Ureteren die Harnblase (HEBEL und STROMBERG, 1986), um nahe der Cervix vesicae (WALKER und HOMBERGER, 1997) dorsolateral (HEBEL und STROMBERG, 1986) in ihre Wand einzutreten.

2.3.5.3 Harnblase – Vesica urinaria

Die Harnblase liegt kranial des Schambeinkamms. Ihre Form verändert sich in Abhängigkeit zu ihrem Füllungszustand. Die mäßig gefüllte Harnblase präsentiert sich birnenförmig. Ihre Form wird runder, je mehr Urin sich in ihr sammelt. Am kaudalen Ende verjüngt sich die Harnblase zum Harnblasenhals, der in die Urethra übergeht (WALKER und HOMBERGER, 1997).

2.3.5.4 Harnröhre – Urethra

Urethra femina

Der Verlauf der weiblichen Harnröhre führt geradewegs von der Harnblase kaudal, durch die Beckenhöhle zu ihrer Öffnung nach außen (WALKER und HOMBERGER, 1997). Sie besitzt einen eigenen Ausgang ventral der Vagina und dorsal der Klitoris (KOMÁREK *et al.*, 2000).

Urethra masculina

Die Pars pelvina urethrae mit einem ungefähren Durchmesser von 0,7 mm empfängt im Colliculus seminalis die Öffnungen von Ductus deferens und Glandula vesicularis (HEBEL und STROMBERG, 1986). KOMÁREK *et al.*, 2000 nennt den leicht ausgesackten Teil um den Colliculus seminalis Ampulla. Der Beckenteil der Harnröhre geht in Höhe des Arcus ischiadicus in den 4-5 mm breiten Bulbus urethralis über, der ein weites Lumen – das Diverticulum urethrae – besitzt und vom M. bulbocavernosus umgeben ist. Die Pars penina, die im Sulcus urethralis des Penis verläuft, endet in der Glans penis (HEBEL und STROMBERG, 1986).

2.3.6 Weibliche Geschlechtsorgane

2.3.6.1 Eierstock – Ovar

Kaudal der Nieren, jeweils am lateralen Rand des M. psoas major befinden sich die paarigen, linsenförmigen Ovarien. Ihre Abmessungen betragen ca. 5 x 4 x 3 mm. Ihre Oberfläche ist meist, bedingt durch zahlreiche Follikel und Corpora lutea, von unregelmäßiger, höckeriger Gestalt. Das rechte Ovar liegt auf Höhe des 4. und 5. Lendenwirbels, ca. 7-12 mm kaudal der rechten Niere. Auf der linken Körperseite liegt das Ovar zwischen L5 und L6, etwa 3-5 mm kaudal der diesseitigen Niere (Abb. 4). Auch am Ovar lassen sich Mark und Rinde sowie einen Hilus differenzieren. Umgeben sind die Eierstöcke von der Bursa ovarica (HEBEL und STROMBERG, 1986).

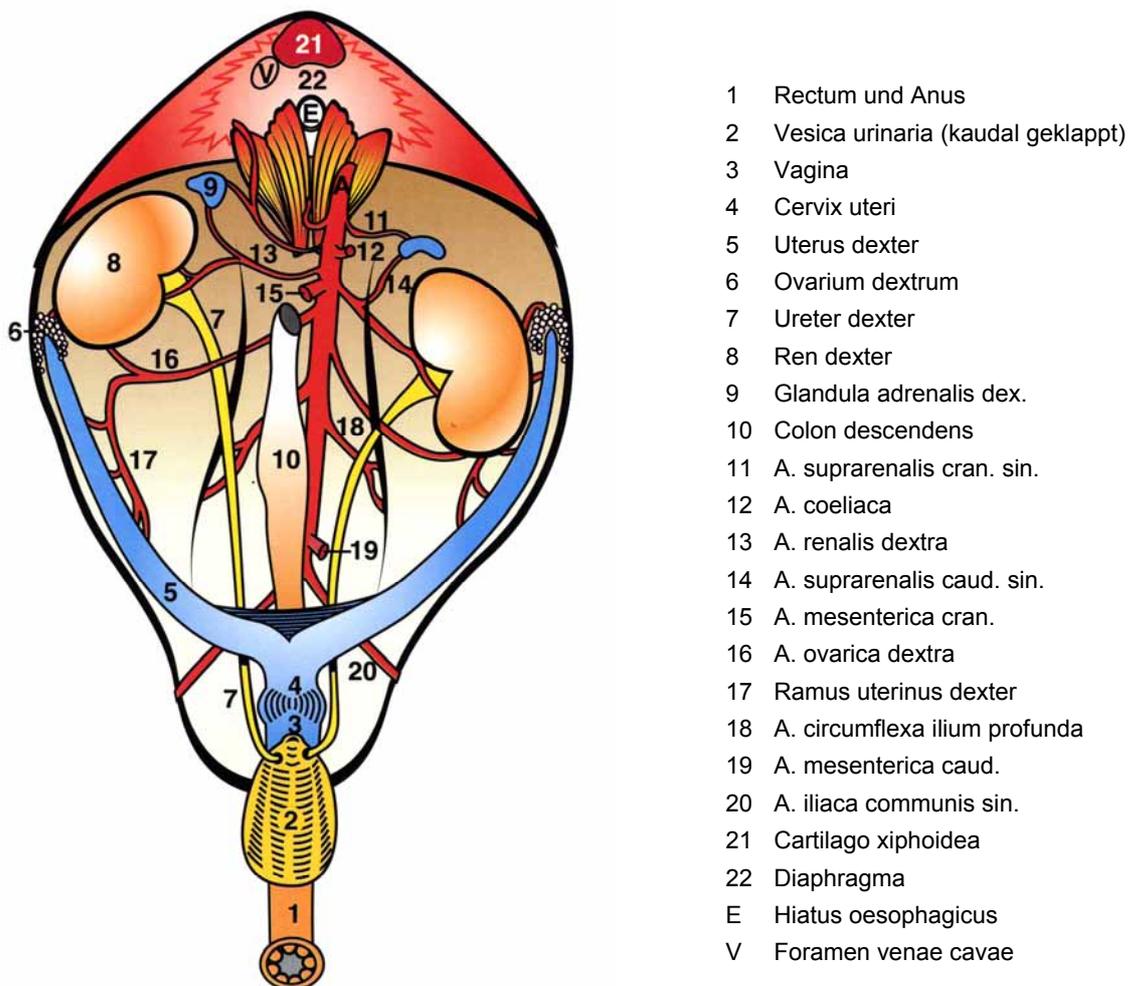


Abb. 4: Weiblicher Geschlechtsapparat, Ventralansicht
Quelle: KOMÁREK, 2000

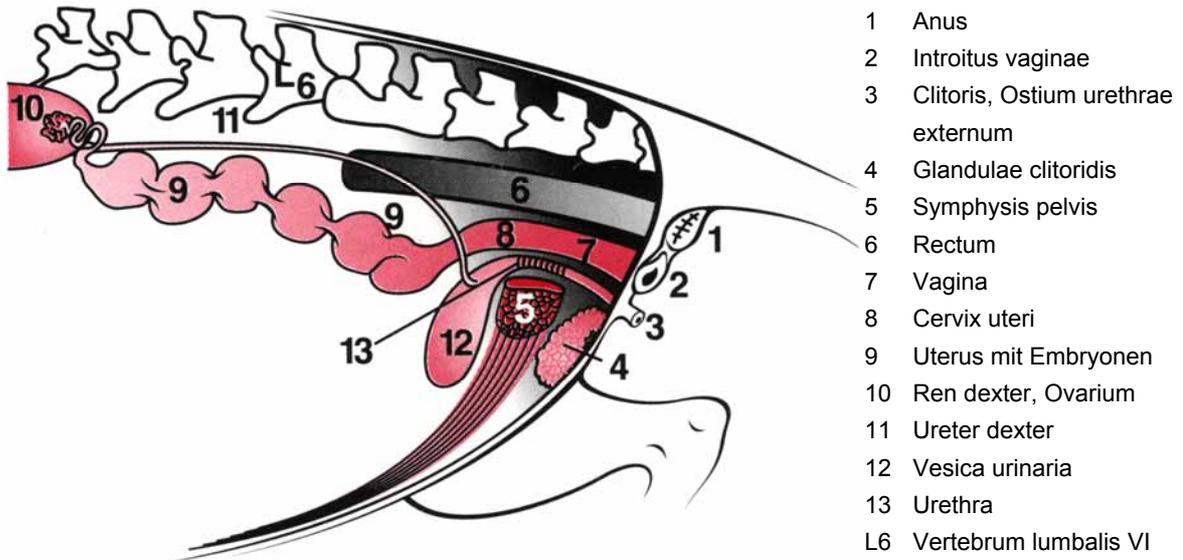


Abb. 5: Weiblicher Geschlechtsapparat in der Frühträchtigkeit, Lateralansicht
Quelle: KOMÁREK, 2000

2.3.6.2 Eileiter – Oviduct, Tuba uterina

Der 18 bis 30 mm lange Eileiter windet sich zunächst eng um das jeweilige Ovar und bildet dann 10 bis 12 girlandenartige Schlingen (Abb. 5). Sein proximales Ende formt einen Trichter, das Infundulum, welches das Ostium abdominale tubae uterinae beinhaltet (HEBEL und STROMBERG, 1986). Laut KOMÁREK *et al.*, 2000 kann das Ovidukt in vier Abschnitte unterteilt werden: die Präampulla, die Ampulla mit einem weiten Lumen, den engen Isthmus und die Junctura. Distal mündet der Eileiter mit dem Ostium uterinum tubae von ventrolateral in die Uterusspitze (HEBEL und STROMBERG, 1986).

2.3.6.3 Gebärmutter – Uterus, Metra

Ratten besitzen einen Uterus duplex. Kranial verlaufen ca. 30 bis 40 mm lang zwei vollständig separate Uteri. In den weiteren 7-10 mm erfolgt eine teilweise Verschmelzung des rechten und linken Uterus, die nun eine gemeinsame äußere longitudinale Muskelschicht besitzen. Von außen entsteht so der Eindruck eines einheitlichen Uteruskörpers. Die Lumina sind jedoch weiterhin durch ein Septum getrennt (Abb. 6). Kaudal nimmt die Stärke und Derbheit der beiden Uteruswände deutlich zu (HEBEL und STROMBERG, 1986; SALOMON, 2005). Dieser Abschnitt wird von SALOMON, 2005 und SCHLEYER, 1971 explizit als Cervix bezeichnet. Die separaten Öffnungen in die Vagina sind von vier bis fünf zapfenartigen Schleimhautpolstern umgeben, die

gemeinsam als Portio vaginalis bezeichnet werden (HEBEL und STROMBERG, 1986; SALOMON, 2005). Von der Mündungsstelle des Eileiters verläuft der rechte Uterus lateral des M. psoas major, zieht ventral des M. quadratus lumborum entlang und biegt Richtung Körpermitte ab, um sich kranial des Pecten ossis pubis mit der Gegenseite zu verbinden. Der linke Uterus unterkreuzt den M. psoas major, wandert zur Medianen und verläuft dann ventral des Rektums bis er sich mit der rechten Seite trifft (HEBEL und STROMBERG, 1986).

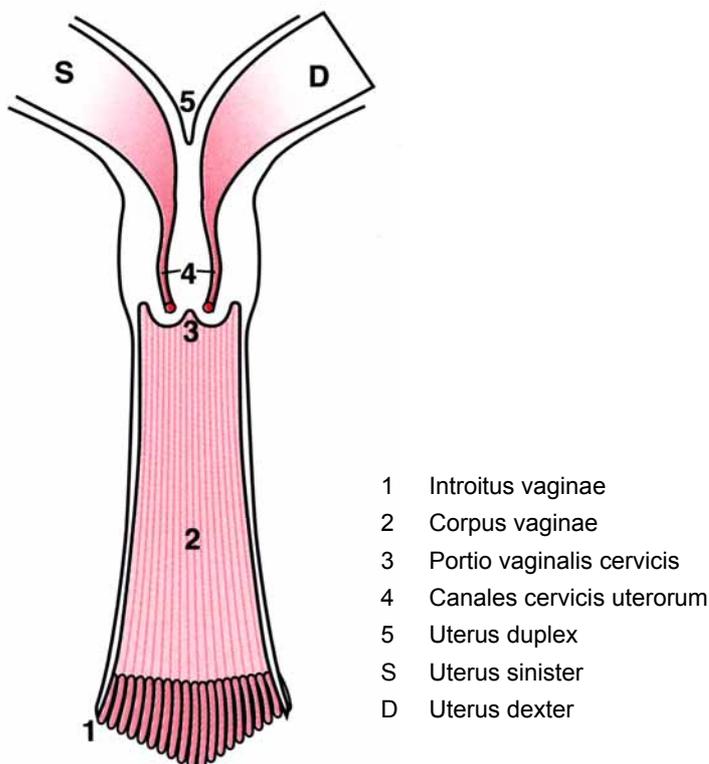


Abb. 6: Uterus duplex, Vagina simplex
Quelle: KOMÁREK, 2000

Wie bei unseren Haussäugetieren auch, unterliegt der Uterus der Ratte zyklusbedingten Veränderungen (HEBEL und STROMBERG, 1986):

Proöstrus (14 h): Flüssigkeit weitet das Uteruslumen. Das Epithel wird eher kubisch als hochprismatisch. Stroma und Myometrium sind von Leukozyten, vor allem eosinophilen Granulozyten infiltriert.

Östrus (12 h): Das Lumen ist maximal geweitet, das Endometrium hyperämisch.

Metöstrus (21 h): Das Lumen wird durch Flüssigkeitsverminderung kleiner. Das Epithel ist noch kubisch und zeigt vakuoläre Degeneration. Die Leukozytenzahl sinkt.

Diöstrus (57 h): Das Lumen ist eng, das Epithel hochprismatisch. Minimale Leukozyteninfiltration.

2.3.6.4 Scheide – Vagina

Die 15-20 mm lange und in gedehntem Zustand 3-5 mm breite Rattenvagina besitzt einen separaten Ausgang, der direkt ventral des Anus lokalisiert ist. Da die Urethra nicht in sie mündet (ihr Ausgang liegt ventral der Vagina), kann kein Vestibulum definiert werden (Abb. 5). Die Wand der Scheide ist dünn und in zahlreiche Falten gelegt (HEBEL und STROMBERG, 1986).

2.3.7 Männliche Geschlechtsorgane

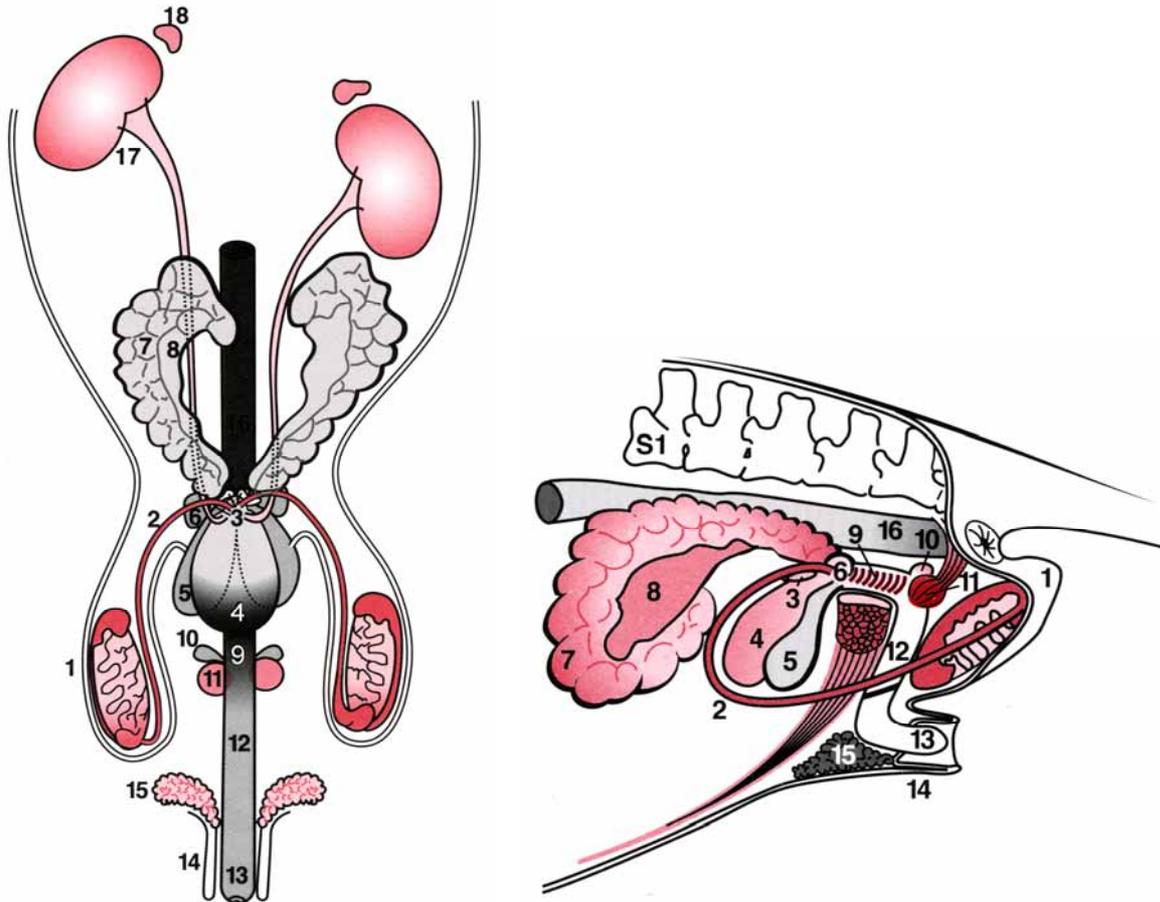
2.3.7.1 Hoden – Testis, Orchis

Der Abstieg der Hoden in das Skrotum findet bei der Ratte laut SALOMON, 2005 zwischen der vierten und sechsten Lebenswoche statt. HEBEL und STROMBERG, 1986 geben die 3. Lebenswoche als frühest möglichen Abstiegstermin an. Da der Leistenspalt wie bei allen Nagetieren sehr weit ist (8-12 mm), kann auch die männliche adulte Ratte ihre Hoden bis in die Bauchhöhle zurückziehen (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000; SALOMON, 2005). Die im Verhältnis zur Körpergröße sehr großen Hoden (SALOMON, 2005) haben eine maximale Länge von 20 mm und einen maximalen Durchmesser von 14 mm. Ihr Querschnitt ist rund, der Längsschnitt oval (HEBEL und STROMBERG, 1986). Beide liegen extraabdominal in die mehrschichtigen Hodenhüllen gebettet. Die äußere Haut wird durch die sog. Raphe scroti eingezogen, welche das die beiden Hoden trennende mediane Septum scroti nach außen hin erkennbar macht. Die Kapsel entlässt dünne, in das Organzentrum ziehende Stränge, die zum Teil von Blutgefäßen begleitet werden (HEBEL und STROMBERG, 1986).

2.3.7.2 Nebenhoden – Epididymis

Die Ductuli efferentis des Hodens bilden nach ihrem Durchtritt durch die Tunica albuginea das Parenchym des Nebenhodens. Zunächst formen sie den am kranialen Pol des Hodens halbmondartig aufliegenden Nebenhodenkopf. Dieser verengt sich und wird medial am Hoden anliegend zum Nebenhodenkörper, in dem sich alle Ductuli efferentis zu einem einheitlichen Ductus epididymidis vereinigen. Sein Durchmesser

beträgt hier mind. 1,5 mm. Der Ductus epididymidis zieht weiter in den keulenförmigen 5-11 mm breiten Nebenhodenschwanz am kaudalen Pol des Hodens, um dort in den Ductus deferens überzugehen (HEBEL und STROMBERG, 1986). Der Nebenhoden ist besonders im Bereich des Caput epididymidis von einem großen Fettkörper, dem Corpus adiposum epididymalis s. testis umgeben, der bis in den Samenstrang zieht (HEBEL und STROMBERG, 1986; SALOMON, 2005).



- | | |
|--|------------------------------|
| 1 Testis dexter | 11 M. bulbocavernosus |
| 2 Ductus deferens dexter | 12 Corpus penis |
| 3 Glandula ductus deferentis | 13 Glans penis |
| 4 Vesica urinaria (kaudal geklappt) | 14 Praeputium |
| 5 Lobus ventralis prostatae | 15 Gl. praeputialis |
| 6 Lobus dorsolateralis prostatae | 16 Rectum |
| 7 Glandula vesicularis | 17 Ren dexter, Ureter dexter |
| 8 Lobus dorsocranialis prostatae (Koagulationsdrüse) | 18 Gl. adrenalis dextra |
| 9 M. urethralis | S1 Os sacrum |
| 10 Gl. bulbourethralis | |

Abb. 7: Männliche Geschlechtsorgane, Ventralansicht (links), Lateralansicht (rechts)
Quelle: KOMÁREK, 2000

2.3.7.3 Samenleiter – Ductus deferens

Medial aus dem Nebenhodenkörper hervorgehend zieht der hier ca. 2,5 mm breite Ductus deferens, gemeinsam mit den Nerven und dem stark gewundenen Gefäßkonvolut des Hodens den Samenstrang bildend, an der medialen Seite des Hodens entlang kranial. Nach seinem Eintritt in die Bauchhöhle trennt er sich mit einer senkrechten Kurve von den Blutgefäßen des Hodens, verläuft zunächst medial, dann ventromedial, um sich auf Höhe des Harnblasenhalses mit dem Samenleiter der Gegenseite zu treffen (Abb. 7). Mit einem Durchmesser von ca. 1 mm durchtritt er den dorsolateralen Lappen der Prostata und eröffnet sich dorsal in die Urethra (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000). Nach HEBEL und STROMBERG, 1986 weitet sich das Lumen des Ductus deferens kurz vor seiner Mündungsstelle zu einer Ampulla, in die auch die Ausführungsgänge der Glandulae ampullae sowie die der Glandula vesicularis münden. Im Gegensatz dazu eröffnen sich der Ductus deferens und die Ausführungsgänge der Glandula vesicularis laut KOMÁREK *et al.*, 2000 in eine Ampulla urethrae.

2.3.7.4 Akzessorische Geschlechtsdrüsen

Samenleiterdrüse – Glandula ampullae

In den Endabschnitten der beiden Ductuli deferentes befinden sich die longitudinal orientierten Lappen der Samenleiterdrüsen. Sie sind ca. 4 x 2 mm groß und verjüngen sich zum distalen Pol hin. Außer an ihrem proximalen Ende (SALOMON, 2005; WALKER und HOMBERGER, 1997) sind sie vom dorsolateralen Lappen der Prostata umschlossen. Ihre Ausführungsgänge vereinigen sich und münden gemeinsam in die Ampulla ductus deferentis (HEBEL und STROMBERG, 1986).

Samenblasendrüse – Glandula vesicularis

Die Samenblasendrüse ist mit einer Länge von 17-25 mm, 8-11 mm Breite und einer Dicke von 5-6 mm (HEBEL und STROMBERG, 1986) die größte der akzessorischen Geschlechtsdrüsen der Ratte (WALKER und HOMBERGER, 1997). Sie liegt dorsolateral der Harnblase und ventral des Rektums (Abb. 7). Mit ihrer konkaven ventromedialen Fläche berührt sie die Koagulationsdrüse (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000). Seitlich erstreckt sie sich bis zur lateralen Bauchwand (SALOMON, 2005). Das proximale Ende der Drüse ist

hakenförmig gekrümmt und weist mit seiner Spitze kaudal. Ihr zentrales Lumen erscheint seitlich buchtenartig eingezogen. Die Oberflächenstruktur ist durch transversal gerichtete Kämme gekennzeichnet (HEBEL und STROMBERG, 1986). Die beiden Glandulae vereinigen sich in der Medianen (KOMÁREK *et al.*, 2000). Ihr Ausführungsgang verläuft dorsal des Ductus deferens nach kaudal. Er ist ebenfalls vom dorsolateralen Lappen der Prostata bedeckt und endet gemeinsam mit dem Ductus deferens auf dem Colliculus seminalis in die Urethra (HEBEL und STROMBERG, 1986).

Vorsteherdrüse – Prostata

Die Prostata der Ratte besteht aus drei jeweils paarigen Lappen, den sog. dorsokranialen, ventralen und dorsolateralen Lobi. Der dorsokraniale Lappen wird zumeist isoliert als Koagulationsdrüse angesprochen (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000; SALOMON, 2005; WALKER und HOMBERGER, 1997) und wird deshalb im folgenden Abschnitt separat betrachtet.

Die beiden Lobi ventralis prostatae sind keulenförmig und liegen ventrolateral der Harnblase an (Abb. 7). Mit einer Länge von 14-17 mm und einer maximalen Breite von 9 mm erstrecken sich ihre kranialen Pole bis ca. 45 mm vor den Schambeinkamm. Ihre zahlreichen Ausführungsgängen münden in die Urethra.

Die dorsolateralen Lappen schmiegen sich als Einheit um den Anfangsteil der Urethra und umhüllen dabei die Ausführungsgänge von Gl. vesicularis, Koagulationsdrüse, sowie das Ende des Ductus deferens. Ihr Ausmaß beträgt 5 bis 10 mm. Auch ihre Ausführungsgänge ergießen sich in die Urethra nahe dem Colliculus seminalis (HEBEL und STROMBERG, 1986).

Koagulationsdrüse – Lobus dorsocranialis prostatae

Der dorsokraniale Lappen der Prostata ist länglich und erstreckt sich 3-6 mm entlang der ventromedialen Fläche der Samenblasendrüse (Abb. 7). Der lange Ausführungsgang verläuft lateral und ventral des Ductus deferens und endet im Colliculus seminalis (HEBEL und STROMBERG, 1986).

Harnröhrenzwiebeldrüse – Glandula bulbourethralis

Beidseitig lateral des Rektums liegt die paarige Gl. bulbourethralis zwischen dem M. ischiocavernosus und dem M. bulbocavernosus. Sie ist birnenförmig und 11 bis 15

mm lang, sowie maximal 5 mm breit (Abb. 7). Ihr Ausführungsgang eröffnet sich am Übergang der Pars pelvina in den Bulbus urethralis in die Harnröhre (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000).

2.3.7.5 Glied – Penis

Die vom M. ischiocavernosus umgebenen Crura penis entspringen ventral am Arcus ischiadicus. Sie verschmelzen miteinander und bilden das Corpus penis, das nach kranioventral zwischen den beiden Procc. vaginales hindurch zieht. Im nicht eregierten Zustand zieht der Penis über die Flexura penis kaudal (Abb. 7). Oberflächlich ist dorsal und ventral jeweils ein medianer Sulcus sichtbar. Das distale Ende des Penis formt die Glans penis, in deren Spitze zentral ein teilweise knorpeliges, zweigeteiltes Os penis eingelagert ist. In Corpus und Glans penis sind Corpora cavernosa eingelagert. Die Urethra besitzt ihren eigenen Schwellkörper (HEBEL und STROMBERG, 1986).

2.3.8 Gefäße

2.3.8.1 Aorta abdominalis

Die Aorta tritt über den Hiatus aorticus durch das Zwerchfell und entlässt zuerst eine oder mehrere Aa. phrenicae caudalis sowie die A. suprarenalis cranialis, die rechts jedoch auch aus der A. renalis dexter hervorgehen kann. Nach der Entlassung der unpaaren A. coeliaca auf Höhe des kranialen Pols der rechten Niere, erreicht die Aorta die Körpermediane, in der sie bis zu ihrer Aufzweigung verläuft (Abb. 4).

- Die A. coeliaca teilt sich nach ca. 10 mm zur Versorgung von Magen (A. gastrica sinistra), Milz (A. lienalis) und Leber (A. hepatica) auf.
- Die A. lienalis läuft zum Hilus lienalis und verzweigt sich vor ihrem Eintritt in das Organ in fünf bis acht Äste.
- Die A. gastrica sinistra kreuzt den kaudalen Proc. papillaris der Leber und gelangt rechts des Oesophagus zur Curvatura minor des Magens.
- Die A. hepatica zieht zwischen V. portae und kaudalem Proc. papillaris kranial zur Leberpforte.
- Die A. mesenterica cranialis verlässt die Aorta 3–5 mm nach der A. coeliaca und versorgt große Anteile des Darms.

Direkt nach der A. mesenterica cranialis und ca. 5 mm vor der A. renalis sinistra entlässt die Aorta die A. renalis dextra. Leicht kaudal abbiegend, zieht sie dorsal der V. cava caudalis zum Hilus renalis, wo sie sich in zahlreiche Äste verzweigt. Auch die A. renalis sinistra orientiert sich leicht kaudal, um zum Nierenhilus zu gelangen. Beide speisen auch die A. suprarenalis caudalis.

- Auf Höhe des kaudalen Pols der rechten Niere entspringt die paarige A. ovarica bzw. testicularis.
- Unmittelbar nahe ihrer Bifurkation entlässt die Aorta die unpaare A. mesenterica caudalis zur Versorgung von Colon descendens und Rektum.

Am kaudalen Ende des letzten Lendenwirbels teilt sich die Aorta abdominalis in die paarige A. iliaca und die unpaare A. sacralis media auf (HEBEL und STROMBERG, 1976).

2.3.8.2 Vena cava caudalis

Dorsal und etwas kaudal der Aortenbifurkation fließen die Vv. iliaca zur V. cava caudalis zusammen. Sie verläuft bis zur Facies visceralis der Leber rechts an der Aorta entlang und durchquert die Leber, während sie das Blut von sieben Leberveinen aufnimmt. Über das Foramen venae cavae tritt sie durch das Zwerchfell in die Brusthöhle (HEBEL und STROMBERG, 1976).

2.3.8.3 Vena portae

Die V. portae wird durch die V. gastroduodenalis, die V. lienalis und den Truncus mesentericus gespeist.

Durch den Zusammenfluss der V. gastroepiploica dextra und der V. pancreaticoduodenalis cranialis wird die V. gastroduodenalis gebildet.

Die V. lienalis entsteht aus mehreren Pankreasvenen und der V. gastrica.

Die V. mesenterica caudalis erhält ihr Blut aus der V. colica sinistra und der V. rectalis cranialis, während die V. mesenterica cranialis durch die V. pancreaticoduodenalis caudalis, die V. colica media, die V. jejunalis, die V. colica dextra und die V. ileocaecocolica gespeist wird. Beide fusionieren zu einem gemeinsamen Truncus mesentericus.

Vom Eintritt der V. lienalis an windet sich die V. portae in zweieinhalb Spiralen zur Leberpforte hinauf. Sie zeigt deutliche Kontraktionen mit einer Frequenz von 10-30 Kontraktionen pro Minute (HEBEL und STROMBERG, 1976).

2.4 Zyklus und Trächtigkeit der weiblichen Ratte

Da in der Literatur mit sehr unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen gearbeitet wird, werden im folgenden Kapitel, soweit nicht ausdrücklich erwähnt, ausschließlich HEBEL und STROMBERG, 1986 zitiert, die als Ausgangszeitpunkt ihrer Berechnungen den Tag der Kopulation (Mating) festgelegt haben. Die Angaben zur Scheitel-Steiß-Länge sind Durchschnittswerte und beziehen sich auf die Albinoratte. Die Abweichungen betragen bei jüngeren Rattenfeten $\pm 7\%$, bei älteren $\pm 3,5\%$.

Weibliche Ratten sind mit einem Alter von 5-9 Wochen geschlechtsreif. Die Tragezeit beträgt ca. 21 Tage, wobei eine Verlängerung auf bis zu 34 Tagen bei gleichzeitig säugenden Weibchen möglich ist (HABERMEHL, 1975). Die Zyklusdauer beträgt nur 4-5 Tage und wird in 12 Stunden Proöstrus, 12 Stunden Östrus, 21 Stunden Metöstrus und 57 Stunden Diöstrus unterteilt (HEBEL und STROMBERG, 1986). Die pränatale Entwicklung wird in die Blastogenese (Befruchtung – Tag 7), die Embryogenese (Tag 8 – Tag 14) und die Fetogenese (Tag 15 – Geburt) eingeteilt (HABERMEHL, 1975).

Nach der Ovulation im frühen Metöstrus reifen die Eizellen während ihrer Wanderung durch den Eileiter weiter heran. Die Befruchtung mit Spermien findet noch im Oviduct statt. Danach erfolgt die erste Teilung in einem Zeitraum von **15-25 Stunden** nach der Ovulation. Nach mehreren Teilungen bis zum Stadium der Blastozyste tritt diese am **4. Tag** post coitum vom Eileiter in den Uterus über. Die Implantation findet zwischen dem **5. und 7. Tag** an der antimesometrialen Seite des Uterushorns statt.

Vom Ende des **6. Tages** über den **7. bis zum 8. Tag**, laufen in der Blastozyste beachtliche Wachstums- und Differenzierungsvorgänge ab. Gegen Ende des 8. Tages ist der Embryo ca. 1,1 mm lang und 0,2 mm breit. Zwischen dem **9. und 10. Tag** beginnt der Herzschlauch zu pulsieren - die Zirkulation fängt an. Am folgenden **Tag 11** beträgt die Scheitel-Steiß-Länge (S-S-Länge) ca. 2,0 mm. Es formen sich die Augenblasen. Das Herz krümmt sich S-förmig, Vorder- und Hinterdarm sind gebildet und die Vorderfußanlage wird als Kamm sichtbar. Der nun stark gekrümmte Embryo hat am **Tag 12** eine S-S-Länge von ca. 4,5 mm. Die Hirnhemisphären tauchen auf

und Augenbecher und –linse werden sichtbar. Am **13. Tag** werden Nase und Kinn deutlich. Die S-S-Länge beträgt ungefähr 6,5 mm. Einige Darmschlingen fallen durch die weite Umbilikalöffnung in das extraembryonale Coelom vor (physiologische Hernia umbilicalis). Mit einer S-S-Länge von 8,5 mm am **14. Tag** beginnt die Streckung des bisher stark gekrümmten Körpers. An den Vordergliedmaßen werden Finger sichtbar, wobei sich die Hintergliedmaßen etwas verzögert entwickeln. Am **15. Tag** streckt sich der Körper weiter, so dass nur noch das Kinn in Kontakt mit dem Thorax steht. Die S-S-Länge erreicht 11,0 mm. Einige Skelettanteile, wie z.B. Wirbel, Schädelbasis oder Hyoid zeigen bereits knorpelige Struktur. Durch die Ausbildung des Nackens, kann ab dem **16. Tag** (S-S-Länge: 13,5 mm) der Kopf deutlich von Rumpf abgegrenzt werden. In Schlüsselbein, Rippen und Schädelanteilen beginnt die Ossifikation und es werden die Gelenkhöhlen von Schulter, Ellbogen, Hüfte und Knie deutlich. Am **Tag 17** wird die Ossifikation in mehreren Knochen der Gliedmaßen und des Schädels sichtbar. Die S-S-Länge beträgt 16,5 mm. Am **18. Tag** wächst der Fetus auf 20,5 mm. Im Vergleich zum Rumpf erfolgt ein starkes Wachstum des Kopfes. Die Körperform ändert sich so von birnenförmig zu eher zylindrisch. Am **19. Tag** ist der Fetus 25,5 mm, am **20. Tag** erreicht die S-S-Länge 30 mm. Am **21. Tag** ist der Fetus auf 35 mm herangewachsen und die Geburt kann erfolgen.

Die Position des Uterus verändert sich während des ersten Drittels der Trächtigkeit nur geringfügig. Nach Fortschreiten der Tragezeit verlagert er sich nach ventral und verdrängt die Darmschlingen zunehmend nach kranial. Es entstehen um jeden Fetus Einschnürungen durch zirkuläre Blutgefäße, die den Uterus in Kompartimente einteilt, die in ihrer Zahl der Anzahl der Föten entsprechen. Kurz vor der Geburt verschwinden diese Kompartimente (HEBEL und STROMBERG, 1986).

2.5 Repetitorium Sonographie

Die physikalischen und technischen Grundlagen der diagnostischen Sonographie wurden bereits in zahlreichen Lehrbüchern und Fachzeitschriften ausführlich dargestellt (BLOCK, 2005; FRITSCH und GERWING, 1993; NYLAND *et al.*, 2002; POULSEN NAUTRUP, 2001, 2001; STÜTZEL, 1994). Deshalb werden hier nur kurz einige Prinzipien, die vor allem für die Sonographie der kleinen Heimtiere wichtig sind, zusammengefasst.

2.5.1 Ausrüstung

Die Basisausrüstung jedes Ultraschallsystems umfasst eine zentrale Verarbeitungseinheit (Central Processing Unit, CPU), einen Schallkopf (Transducer), einen Bildschirm (Monitor), sowie ein zum Teil im Computer integriertes Aufzeichnungsgerät (STÜTZEL, 1994).

2.5.2 Prinzipien der Ultraschalldarstellung

Die im Schallkopf enthaltenen piezoelektrischen Kristalle reagieren auf elektrische Ströme mit Vibration und produzieren dabei Schallwellen. Diese werden teilweise im Körper reflektiert und wieder vom Schallkopf empfangen. Dort reagieren die Kristalle umgekehrt und produzieren, während sie durch die auftreffenden Schallwellen deformiert werden, kleine elektrische Ströme.

In der Ultraschalldiagnostik werden Schallwellen mit Frequenzen von 2 bis 100 MHz vom Transducer ausgesendet. In der transkutanen Sonographie der kleinen Heimtiere wurden bisher häufig 7,5 MHz- (ACKERMANN *et al.*, 1989; GASCHEN *et al.*, 1989; HIDA *et al.*, 1999; SUZUKI *et al.*, 1991) oder 10 MHz-Schallköpfe (KNIPP *et al.*, 2003; KURIYAMA *et al.*, 1999; YARMENITIS *et al.*, 2000) angewandt. Höhere Frequenzen ab 20 MHz können nur bei eröffnetem Abdomen genutzt werden (intraoperativer Ultraschall) und finden ihre Anwendung in der Versuchstierkunde (REIDT, 1995).

Die Schallwellen werden durch die verschiedenen Gewebe des Körpers, abhängig von der akustischen Impedanz der unterschiedlichen Gewebe weitergeleitet. Unter der akustischen Impedanz versteht man das Produkt aus der Weiterleitungsgeschwindigkeit des Schalls und der Dichte des Gewebes. Da die Weiterleitungsgeschwindigkeit in den meisten Weichteilgeweben sowie im Blut nahezu identisch ist (1540 m/sec), ist die Gewebedichte ausschlaggebend für die akustische Impedanz. Wenn zwei Gewebe mit unterschiedlicher Dichte nebeneinander liegen, entsteht ein Impedanzunterschied, an dem die Schallwellen reflektiert werden. Je größer der Impedanzunterschied bzw. die Abweichung der Gewebedichte, desto mehr Schallwellen werden reflektiert und wieder vom Transducer empfangen. Die daraufhin von dessen Kristallen produzierten kleinen elektrischen Ströme werden von der Zentralen Verarbeitungseinheit (CPU) verarbeitet und führen zum sichtbaren Ultraschallbild auf dem Monitor. Je mehr Schallwellen wieder im Transducer eintreffen, d.h. je unter-

schiedlicher die Dichte zweier benachbarter Gewebe ist, desto heller wird das geschallte Gebiet des Körpers auf dem Bildschirm dargestellt (COATNEY, 2001).

Da Schallwellen sehr schnell durch Knochengewebe und im Gegensatz dazu kaum durch gasgefüllte Strukturen geleitet werden, entstehen an den Grenzen zu diesen Strukturen extrem große Impedanzunterschiede. Da der Großteil der Schallwellen reflektiert, können nur wenige Schallwellen in tiefere Schichten des Körpers eindringen. Die tiefer liegenden Gewebe können folglich nicht mehr dargestellt werden und es entstehen Artefakte, die sog. Schallschatten (COATNEY, 2001).

Aufgrund ihres kleinen Körperbaus, spielt das Auflösungsvermögen eines Ultraschallgerätes bei der Ratte eine besondere Rolle. Man unterscheidet eine axiale und eine laterale Auflösung:

Axiale Auflösung: Die axiale Auflösung beschreibt das Vermögen zwei benachbarte Strukturen, die parallel zum Ultraschallstrahl liegen, von einander differenzieren zu können. Sie ist abhängig von der Wellenlänge und Frequenz. Zwei Punkte können nur dann voneinander isoliert werden, wenn die Wellenlänge des Ultraschalls kürzer ist als der Abstand zwischen diesen beiden Punkten. Daraus folgt, dass höhere Frequenzen zu einer erhöhten axialen Auflösung führen.

Laterale Auflösung: Mit dem Vermögen zwei aneinandergrenzende Strukturen, die senkrecht zum Schallstrahl positioniert sind, voneinander unterschieden zu können, wird die laterale Auflösung beschrieben. Sie ist von der Strahlbreite und der Frequenz abhängig. Je enger die Strahlbreite, desto höher ist die laterale Auflösung. Die Breite des Strahls lässt sich durch Fokussierung der Schallwellen im Transducer beeinflussen. Dies ist möglich durch eine gebogene Anordnung der Piezoelemente im Schallkopf oder durch elektronische Kontrolle der Piezoelemente. Außerdem trägt auch eine höhere Frequenz zu einer besseren lateralen Auflösung bei (COATNEY, 2001; POULSEN NAUTRUP, 2001).

Eine höhere Frequenz der Schallwellen führt nicht nur zu einer besseren Auflösung, sondern auch zu einer geringeren Eindringtiefe. Bei der Sonographie der relativ kleinen Ratte spielt dies eine untergeordnete Rolle (COATNEY, 2001). Ab Frequenzen von 20 MHz ist die transkutane Sonographie zum derzeitigen Stand der Forschung jedoch aus oben genanntem Grund generell nicht mehr möglich, sodass die Organe nur intraoperativ bzw. isoliert untersucht werden können (REIDT, 1995).

2.5.3 Ultraschallverfahren

B-Mode:

Das am häufigsten angewandte Ultraschallverfahren ist das B-Bildverfahren (COATNEY, 2001). Das Bild erscheint in unterschiedlichen Graustufen oder Helligkeiten (englisch **brightness**). Es werden mehrere Möglichkeiten des B-Mode unterschieden. Dazu gehören ein- und zweidimensionale Methoden sowie Aufzeichnungs- und Real-Time-Verfahren (POULSEN NAUTRUP, 2001). Der B-Mode wurde auch in dieser Studie angewandt.

Im Folgenden werden weitere Ultraschallverfahren beschrieben, die heute neben dem B-Bildverfahren häufig in der Forschung mit Ratten eingesetzt werden.

M-Mode:

Der M-Mode (englisch **motion**) wird insbesondere in der Echokardiographie verwendet. Dabei wird ein einzelner Ultraschallstrahl durch das Herz geschickt und das resultierende Bild in einem Koordinatensystem gegen die Zeit aufgetragen. Dadurch können Informationen über die Wanddicke des linken Ventrikels sowie die Ausmaße der Kammern zu verschiedenen Zeitpunkten der Herzaktivität gewonnen werden. Bei Ratten wurde mit Hilfe dieses Modus die Struktur und Funktion des linken Ventrikels eingehend erforscht (BURRELL *et al.*, 1996; CITTADINI *et al.*, 1996; FORMAN *et al.*, 1997; 1994; LITWIN *et al.*, 1994; PAWLUSH *et al.*, 1993).

Doppler-Sonographie

Mit der Doppler-Sonographie werden die Blutflussrichtung und –geschwindigkeit gemessen. Das Verfahren stützt sich auf den so genannten „Doppler-Effekt“ oder „Doppler-Shift“: Schallwellen, die von einem beweglichen Ziel (z.B. Blutzellen) reflektiert werden, erfahren eine Verschiebung ihrer Originalfrequenz. Wenn die Blutzellen auf den Schallkopf zufließen, ist die Frequenz der reflektierten Schallwellen höher als die der ursprünglich emittierten und umgekehrt. Der Unterschied zwischen der ausgesendeten und reflektierten Wellenfrequenz ist der „Doppler Shift“. Je größer diese Differenz ist, desto höher ist die Geschwindigkeit des Blutflusses. Die Dopplersonographie bei der Ratte wurde unter anderem erfolgreich von FORMAN *et al.*, 1997, JOOS *et al.*, 1990, LITWIN *et al.*, 1995 und YARMENITIS *et al.*, 2000 angewandt.

Weitere Methoden:

Hochfrequenz-Ultraschallverfahren („biomicroscopy“) können Gewebe mit mikroskopischer Auflösung darstellen. Hierbei werden Transducer mit Frequenzen von 30 bis 100 MHz eingesetzt. Bisher fand dieser Methode hauptsächlich bei Mäusen Anwendung. Hauptaufgabengebiete stellen die Ophthalmologie (BROWN *et al.*, 2005; FOSTER *et al.*, 2000; SILVERMAN *et al.*, 2001) und Dermatologie (HARLAND *et al.*, 1993) dar.

Kontrast-verstärkte Ultraschallverfahren nutzen als Kontrastmittel mit inertem Gas gefüllte „Microbubbles“. Da Schallwellen von gasgefüllten Strukturen überaus gut reflektiert werden, erhöhen diese „Microbubbles“ die Menge der vom Zielorgan zurückkehrenden Schallwellen und die „signal-to-noise“ Ratio. Damit wird die Darstellbarkeit der Organe bzw. Gewebe, häufig Herzkammern, Gefäße (MOR-AVI *et al.*, 1999; SCHERRER-CROSBIE *et al.*, 1999) oder Tumore (D'ARRIGO *et al.*, 1993; D'ARRIGO *et al.*, 1991), deutlich verbessert.

Die TEE (trans-esophageal echocardiography) bietet zwar enorme Vorteile bei der sonographischen Untersuchung des Herzens sowie großer Gefäße, da keine Abschwächung der Ultraschallwellen durch Lunge oder andere Gewebe erfolgt. Der kleinste kommerziell derzeit verfügbare Transducer (Ø 3,2 mm) kann aufgrund seiner Größe jedoch nicht für die TEE bei der Ratte verwendet werden (COATNEY, 2001). KUPFERWASSER *et al.*, 1998, SCHERRER-CROSBIE *et al.*, 1998 und SCHWARZ *et al.*, 1998 behelfen sich deshalb mit hochfrequenten Intravaskularschallköpfen.

2.6 Sonographie bei der Ratte

Die Ratte stellt schon seit geraumer Zeit eines der wichtigsten Versuchstiere in der Forschung dar. Der Stand der Technik hat jedoch bis Anfang der 90er Jahre den diagnostischen, transkutanen Zugang zum Rattenkörper per Sonographie aufgrund seiner geringen Größe verwehrt. Inzwischen wurden einige Forschungsergebnisse veröffentlicht, in denen die Ultraschalltechnik als adäquates diagnostisches Mittel bei Ratten und anderen Nagetieren - meist als Modell für die Humanmedizin - angewandt wurde. Berichte über die klinische Anwendung der Sonographie bei der Ratte als Patient liegen bis dato noch kaum vor.

Besonders im Bereich der Tumorforschung wurden in den letzten Jahren mehrere Forschungsprojekte durchgeführt und veröffentlicht. Dabei galt insbesondere der Le-

ber erhöhte Aufmerksamkeit. D'ARRIGO *et al.*, 1993 begründen dies mit der Brisanz klinischer Probleme in der Humanmedizin.

Hepatozelluläre Karzinome verändern während ihres Wachstums ihre Echogenität und -struktur. Um diese Veränderungen verstehen zu können, untersuchten YANG *et al.*, 1993 die Korrelation zwischen sonographischen Bildern, entsprechenden histologischen Schnitten und Mikroangiogrammen. Dabei wurde bei Ratten Tumorgewebe in die intakte Leber implantiert. Im ersten Experiment wurden verschiedene Rattengruppen, unter Anästhesie zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach der Implantation sonographisch mit einem 10 MHz-Schallkopf (Biosound Phase II, Indianapolis) transkutan untersucht. Im Anschluss an die Sonographie wurden die Tiere sofort getötet, um histologische Schnitte und Mikroangiogramme der Leber bzw. des Hepatoms erstellen zu können. YANG *et al.*, 1993 zeigten, dass spezifische Echotexturen entsprechenden histologischen und mikroangiographischen Veränderungen des Gewebes zuzuordnen sind. Im zweiten Experiment wurde das Tumorstadium sowie die Veränderung der Echotextur über 28 Tage hinweg sonographisch verfolgt. Die Autoren konnten belegen, dass sich mit dem Tumorstadium korrelierend die Echotextur von 1.) wenig echogen über 2.) peripher wenig echogen und zentral stark echogen zu 3.) irregulär gemischt hyper-, iso- und hypoechogen veränderte. Histologisch zeigte sich, dass in den untersuchten Fällen hauptsächlich Koagulationsnekrosen für die Echoveränderungen verantwortlich waren. YANG *et al.*, 1993 wiesen aber darauf hin, dass entsprechende sonographische Abweichungen auch auf pathologische Veränderungen wie z.B. Verkalkung oder Verfettung der Tumoren zurückgehen könnten.

In der Arbeit von KURIYAMA *et al.*, 1999 wurde die Verlässlichkeit der Sonographie bei der Untersuchung der Rattenleber auf Tumorzahl und -größe evaluiert werden. Bei sechzig Ratten wurde durch die Gabe von Thioacetamid über das Trinkwasser Lebertumorstadium induziert. Die Ratten wurden mittels eines 8,7-MHz-Linear-schallkopfes untersucht. Bei sechs von fünfzig Tieren konnten nach sechs Monaten Thioacetamid-Gabe Lebertumoren (Cholangiokarzinome) bis zur minimalen Größe von 3 mm eindeutig sonographisch identifiziert werden. In der angeschlossenen histologischen Untersuchung der sechs Rattenlebern wurde festgestellt, dass nur einer von dreizehn Tumoren >3 mm, der an der Leberoberfläche lokalisiert war, sonographisch nicht entdeckt wurde. Weitere Untersuchungen erfolgten nach zwölf und

achtzehn Monaten Thioacetamid-Behandlung. KURIYAMA *et al.*, 1999 folgerten aus ihren Ergebnissen, dass die Ultraschalluntersuchung eine nicht invasive Möglichkeit zur Verlaufskontrolle von Lebertumoren darstellt und Tumore mit einem Durchmesser >3 mm, die nicht an der Leberoberfläche liegen, sehr gut identifiziert werden können.

QIN *et al.*, 1990 äußerten Zweifel an der Reliabilität der Sonographie, aber auch der Radiographie und dem CT bei der Evaluation des Lebervolumens. Diese Methoden stützen sich laut QIN *et al.*, 1990 auf das Prinzip, dass die Summe der einzelnen Organschnittvolumina dem Volumen des gesamten Organs gleich sei. Aufgrund von Störfaktoren, verursacht durch Echos angrenzender Strukturen, wie Magen und Darm, könne zusätzlich – wie die Autoren postulieren – mittels Sonographie das Lebervolumen nicht exakt bestimmt werden. Sie entwickelten eine Methode zur genauen Messung des Lebervolumens bei der Ratte per MRI, die eine minimale Fehlerinzidenz im Vergleich zur post mortem Volumenmessung aufwies.

Weitere sonographische Untersuchungen wurden durch DRESCHER *et al.*, 1990 und LAYER, 1986 durchgeführt. Sie betrachteten isolierte Leberproben mit 6- (± 5) bzw. 5-MHz-Schallköpfen. Beide objektivierten ihre Ultraschallergebnisse durch mathematische Parameter.

DRESCHER *et al.*, 1990 nutzte die frequenz-abhängige Ultraschallabschwächung als Parameter zur Gewebecharakterisierung der Leber.

Zur Bewertung seiner Ultraschallbilder setzte LAYER, 1986 mathematische Parametern der Bildtextur wie z.B. „Mittlerer Grauwert“, „Verlaufslängen“ oder „Energiespektrum des Bildsignals“ ein.

Auch in der Diagnostik von Dünndarmobstruktionen ist die Sonographie von Bedeutung. BERLIN *et al.*, 1998 untersuchten die Sensitivität der Ultraschalldiagnostik und verglichen die diagnostische Präzision von Sonographie und Radiographie anhand von Untersuchungen an obstruierten und nicht obstruierten Ratten. Die sedierten Tiere wurden mit einem 10-MHz-Lineartransducer im B-Mode sowie mit Color- und Duplexdoppler geschallt. Die Parameter Lumendurchmesser und Wanddicke wurden als Indikatoren für Dünndarmobstruktionen bestimmt und die entsprechende Diagnose gestellt. Die Ergebnisse wurden mit Röntgenbildern verglichen. BERLIN *et al.*, 1998 kamen zu der Erkenntnis, dass die Sonographie eine exakte Methode zur Diag-

nose von Dünndarmobstruktionen im Tiermodell ist und signifikant präzisere Ergebnisse als die Röntgendiagnostik liefert.

Metabolische Verschiebungen, Morbidität und erhöhte Mortalitätsrisiken stehen in engem Zusammenhang mit der Verteilung von Körperfett, im Besonderen dem abdominalen Fett. Bisher etablierte Methoden zur Messung des abdominalen Fetts wie MRI und CT sind teuer, sind von limitierter Verfügbarkeit und stellen zum Teil ein Risiko durch ionisierende Strahlung dar. Die TOBEC-Methode (total body electrical conductivity) wird durch zahlreiche Parameter, wie Körpertemperatur, Atemfrequenz oder Schwanzposition beeinflusst. Dies veranlasste HIDA *et al.*, 1999 zu überprüfen, ob die Sonographie, als sichere, günstige und weit verbreitete Diagnostikmethode zur Messung der perirenal Fettfläche (mm²) geeignet und dieser Parameter repräsentativ für die gesamte abdominale Fettakkumulation sei. Mit einem 7,5-MHz-Konvexschallkopf wurden wiederholt (5.-13. Lebenswoche) Querschnitte durch das perirenale Fett auf Höhe der rechten und linken V. renalis erzeugt und seine Fläche errechnet (3,3-132,3 mm²). Anschließend wurden die Ratten getötet und Perirenal-, Epididymal-, Mesenterial- und Inguinalfett entnommen und gewogen. Gleiche Messungen wurden bei gefasteten Tieren durchgeführt. Die Korrelation von sonographisch gemessener Fettfläche und postmortal gemessenem Fettgewebsgewicht war signifikant. Allerdings kam es zu leichten Unterschieden bei den Charakteristika von perirenalem Fett und anderem Fettgewebe (z.B. Gewichtszunahme im Untersuchungszeitraum). HIDA *et al.*, 1999 machten außerdem auf die Grenzen der Ultraschalltechnik bei dieser Fragestellung aufmerksam: 1.) die Gewebsgrenzen waren nicht eindeutig definierbar, 2.) es wurden nur Querschnitte vermessen und 3.) der Untersucher musste in der Handhabung der Instrumente geschult sein, um das Untersuchungsergebnis nicht durch zu großen Druck auf das Gewebe zu beeinflussen. Die Autoren vertreten die Ansicht, dass trotz dieser Problematik die ultrasonographische Darstellung der Querschnittsfläche des perirenal Fett bei der nicht invasiven Messung der abdominalen, nicht mesenterialen Fettakkumulation nützlich sei.

GASCHEN *et al.*, 2001 befassten sich mit der Beschreibung von Rattennieren im Rahmen von Abstoßungsreaktionen nach Transplantationen mittels Sonographie, MRI und Histologie im Vergleich. Die Autoren benutzten einen 7,5-MHz-Schallkopf, um jeweils die körpereigene und die transplantierte Niere zu untersuchen. Als Parameter, um eventuelle Abstoßungsreaktionen einteilen zu können, wurden das

Nierenvolumen, die Echogenität der Umgebung, die Größe des Nierenbeckens, die Echogenität der Nierenrinde sowie die Klarheit der Mark/Rindengrenze gewählt. Anhand eines Punktesystems, basierend auf diesen Parametern, wurden die Abstoßungsreaktionen in 1.) keine Reaktion 2.) akute Abstoßung, 3.) leichte Abstoßung und 4.) chronische Transplantatnephropathie eingeteilt. GASCHEN *et al.*, 2001 kamen zu dem Ergebnis, dass die Sonographie sowie das MRI, auch bei kleinen Tieren wie der Ratte, neben der Histologie als wertvolle Möglichkeiten zur Darstellung und Beurteilung von Transplantaten anzusehen sind.

Praktische Anwendung fand die Sonographie der Rattenniere auch in der Studie von SOOTS *et al.*, 1998, die sich ebenfalls mit Abstoßungsreaktionen bei Nierentransplantaten der Ratte beschäftigten. Anhand Ultraschall-geführter Feinnadelbiopsien wurden Proben von transplantierten Nieren entnommen und diese auf Abstoßungsreaktionen untersucht.

Die sonographische Erfassung der akuten tubulären Nekrose der Niere am Modell Ratte wurde von ROSENFELD *et al.*, 1985 dokumentiert. Nach initialer Injektion von Bleidichromat, die zu einer toxischen tubulären Nekrose führen sollte, wurden die Nieren mittels eines 7,5-MHz-Transducers am 1., 4., 7. und 14. Tag post injectionem sonographisch untersucht. Die Autoren postulierten auf der Basis von diesem Experiment sowie klinischen Erfahrungen und Angaben in der Literatur, dass unter dem Begriff der akuten tubulären Nekrose eigentlich drei verschiedene Entitäten zusammengefasst würden, die jeweils unterschiedliche sonographische Veränderungen aufwiesen: 1.) eine Erhöhung der Rindenechogenität im Zusammenhang mit der Gabe nephrotoxischer Substanzen. 2.) keine Echogenitätsveränderungen von Rinde und Mark bei ischämischen Veränderungen der Nieren. 3.) eine unveränderte Nierenrindenechogenität, jedoch stark echogene Pyramiden bei Kindern mit Ausfällung des Tamm-Horsfall-Proteins in den Pyramiden.

KEIRSTEAD *et al.*, 2005 untersuchten die Einsatzfähigkeit sonographischer Diagnostik im Bereich der Blasenfunktion bei rückenmarksgeschädigten Ratten. Mit dem SonoSite 180 Plus Ultraschallsystem und einem 5-10 MHz, 38 mm Lineartransducer wurde bei anästhesierten Ratten die Blase anhand 2-dimensionaler Bilder vermessen und ihr Volumen automatisch mittels der Gerätesoftware errechnet. Direkt nach der Untersuchung wurde die Blase ausgedrückt und das tatsächliche Volumen bestimmt, das mit dem sonographisch ermittelten übereinstimmte.

KEIRSTEAD *et al.*, 2005 dokumentierten zunächst ein signifikant höheres Blasenvolumen bei rückenmarksgeschädigten Ratten im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe zu jedem Zeitpunkt der Studie. Die geschädigten Ratten wurden in zwei weitere Gruppen (nach 46 Tagen geheilt/ nicht geheilt) unterteilt, um die prognostischen Möglichkeiten der Volumenmessung im Bezug zum Heilungsverlauf zu evaluieren: Alle Tiere der „nicht-geheilt“-Gruppe zeigten ab dem 6. Tag nach der Verletzung und allen folgenden Tagen signifikant höhere Blasenvolumina als die Ratten der „geheilt“-Gruppe. KEIRSTEAD *et al.*, 2005 schlossen aus ihren Ergebnissen, dass die sonographische Blasenvermessung das Harnvolumen sowie die Heilungsrate nach Rückenmarksschädigung exakt widerspiegelt. Die Anästhesie der Tiere begründen die Autoren mit dem Muskeltonus, der Größe und Aktivität der Ratten.

REIDT, 1995 beschäftigte sich intensiv mit der sonographischen Erfassung der Rattenharnblase mit dem Ziel, einzelne Schichten der Harnblasenwand in Beziehung zu den auf dem Ultraschallbild abgebildeten Echomustern zu setzen sowie Erkenntnisse für die Humanmedizin über die Möglichkeiten der Erkennung pathologischer Strukturen zu gewinnen. Dazu betrachtete er ausschließlich isolierte Harnblasenpräparate. Laut REIDT, 1995, der sich unter anderem auf SCHULZE *et al.*, 1991 stützte, konnten die einzelnen Schichten der Harnblasenwand nur mit Schallkopffrequenzen ab 20 MHz unterschieden werden. Mit einem solchen Schallkopf konnte REIDT, 1995 drei Schichten – Eintrittsecho, echoarmes Band und Austrittsecho – darstellen. Das äußerste Band repräsentierte hierbei die Grenze zwischen Vorlaufstrecke und Schleimhaut und hatte eine Dicke von $113 \pm 12 \mu\text{m}$. Das mittlere Reflexband zeigte laut Histologie Teile der Lamina propria und der Tunica muscularis. Seine Dicke maß $349 \pm 27 \mu\text{m}$. Die Maße des Austrittsechos betragen $64 \pm 16 \mu\text{m}$. Insgesamt wurde eine Wanddicke von $500 \pm 24 \mu\text{m}$ gemessen. Aufgrund der geringen Eindringtiefe (ca. 7 mm) ließen sich jedoch lediglich superfizielle Abweichungen von der normalen Struktur der Harnblasenwand beurteilen. Eine Differenzierung zwischen Hyperplasie, Tumor und Entzündung anhand der Sonographie gelang nicht. REIDT, 1995 kam zu dem Fazit, dass die Histologie in der Diagnostik von Harnblasenveränderungen nicht durch die 20-MHz-Sonographie ersetzt werden kann. Diese stellt jedoch ein adäquates, zusätzliches Instrument zur Prognosestellung dar.

SUZUKI *et al.*, 1991 führten, mit besonderem Augenmerk auf die akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Untersuchungen der Beckenhöhle männlicher Ratten mittels einer 7,5-MHz-Sonde durch. Die Ratten wurden anästhesiert und die Blasenfüllung durch die Gabe von Furosemid forciert. Zum Vergleich der sonographischen Ergebnisse erstellten die Autoren histologische Schnitte entsprechend den virtuellen Schnittebenen in der Sonographie. Anhand dieses Vergleichs wurden fünf transversale und drei sagittale Standardschnittebenen definiert, die die Darstellung der Prostatalappen und der Samenblasendrüse in Beziehung zu Harnblase, Colon und Rektum dokumentieren. SUZUKI *et al.*, 1991 halten die Sonographie der akzessorischen Geschlechtsdrüsen für die Diagnose und Dokumentation von Behandlungsverläufen, im Speziellen von Prostatatumoren, für sinnvoll und erhoffen sich durch ihre Anwendung eine Verminderung der benötigten Versuchstierzahl im Rahmen von Krebsstudien.

Die Ratte wird bereits standardmäßig als Model in der kardiovaskulären Forschung eingesetzt. Um beispielsweise den Aortendurchmesser zur Erforschung der Pathogenese von Aneurysmen zu messen, wurde meist die sehr invasive Videomikroskopie angewandt. KNIPP *et al.*, 2003 führten Ultraschallmessungen von Aorten bei Ratten und Mäusen durch und verglichen die Ergebnisse mit denen des Gold Standards Videomikroskopie. Die Autoren verwendeten einen 10-MHz-Transducer, um axiale und sagittale Bilder der Aorta an drei fest definierten Stellen zu produzieren. KNIPP *et al.*, 2003 bemängelten an der Ultraschallmethode die Messungenauigkeiten, die bei der Erfassung des transversal gemessenen Durchmessers zustande kamen, da sich die Blut-Gefäßwand Grenze nahezu senkrecht zur Schallkopfoberfläche befand. Außerdem konnte laut den Autoren der äußere Aortendurchmesser nicht exakt bestimmt werden, da sich die Grenze zwischen Adventitia und umliegendem Gewebe nicht eindeutig definieren ließ. Zusätzlich wurde auf die anatomische Besonderheit von Ratte und Maus aufmerksam gemacht, deren Aortenquerschnitte nicht rund sind und so Messunterschiede zustande kamen.

Da auch die Videomikroskopie zahlreiche Nachteile aufweist, beurteilten die Autoren die Ultraschallmethode als nützliches und nicht invasives Tool in der Erforschung von Aneurysmen.

Der einzige Beitrag über die Sonographie bei kleinen Heimtieren mit tiermedizinisch-klinischem Bezug, der auch speziell die Ratte anspricht, wurde von KIEFER *et al.*,

2004 veröffentlicht. Die Autoren werteten retrospektiv alle sonographischen Untersuchungen an Heimtieren in der Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig in den Jahren 2000-2003 aus. Es wurden 15-, 12- und 14-MHz-Linearsonden verwendet, wobei eine der 12-MHz-Transducer eine Sticksonde war, die sich besonders gut zur Sonographie der Ratte und des Hamsters eignete. Die Tiere wurden ventral geschoren und rücklings geschallt. KIEFER *et al.*, 2004 bemerkten, dass bei allen untersuchten Tieren, der Uterus das am häufigsten erkrankte Organ war. Insgesamt beurteilten die Autoren die Ultraschalluntersuchung beim Heimtier als adäquates diagnostisches Mittel, vorausgesetzt die technische Ausstattung mit hochauflösenden Geräten ist gewährleistet.

2.7 Sonographie der Trächtigkeit bei der Ratte

In der Humanmedizin hat die Sonographie einen festen Platz in der Graviditätsüberwachung inne und gilt als eine einfache, sichere und nicht invasive Methode, die den Fetus in keinsten Weise belastet. Mit den stetig verbesserten technischen Möglichkeiten gelingt inzwischen auch die frühe Trächtigkeitsdiagnostik per Ultraschall bei der Ratte.

Erste erfolgreiche Versuche die Trächtigkeit bei der Ratte sonographisch zu dokumentieren unternahmen bereits INABA und INOUE, 1985. Die anästhesierten Ratten wurden per Real-Time-Ultraschallverfahren mit Hilfe eines 5 MHz, 61 mm Linear-schallkopfes untersucht. Die Trächtigkeitstage wurden vom Tag der Geburt (= Tag 22) rückblickend errechnet. Vor dem 7. Trächtigkeitstag konnten die Autoren den Uterus der Ratten nicht darstellen. Am Tag 8 wurden vier Ratten als trächtig erkannt, wobei acht eigentlich trächtige Tiere falsch negativ getestet wurden. Am 9. Trächtigkeitstag erreichte die Sensitivität 83%, ab dem 10. Tag 100%. Nach 14 Tagen konnten Feten erkannt werden, wobei diverse Details, wie die Wirbelsäule oder das schlagende Herz, erst ab dem 19. Tag identifiziert wurden. Die Autoren erklärten, dass Futter und Gas im Magen-Darm-Trakt die Untersuchungen nicht behinderten. INABA und INOUE, 1985 hielten die Sonographie für eine sichere, schnelle und einfache Untersuchungsmethode zur Trächtigkeitsdiagnose.

In der Arbeit von CHANG *et al.*, 2003 wurde mittels eines 14-MHz-Schallkopfes eine Vorlage erarbeitet, um das Alter von Mäuseembryos anhand ihrer sonographisch erfassten Morphologie und Größe auf den Tag genau bestimmen zu können. Die

Tiere wurden zu diesem Zweck nicht anästhesiert. Nach erfolgreicher Kopulation wurde am folgenden Morgen der typische Vaginalpfropf bei der weiblichen Maus entdeckt und dieser Zeitpunkt als Tag 0,5 definiert. Die Ultraschalluntersuchungen fanden regelmäßig zwischen 11.00 und 13.00 Uhr statt. Die Tiere mussten nicht geschoren werden. Am Tag 4,5 bis Tag 6,5 konnten die Fruchtblasen meist nicht von Schallartefakten differenziert werden. Ab Tag 15,5 waren die Fruchtblasen zu groß, um sie vollständig in einem Ultraschallbild erfassen und ausmessen zu können. Die Autoren behelfen sich deshalb mit dem Thoraxdurchmesser auf Höhe des Zwerchfells als Messgröße. Die Ergebnisse von CHANG *et al.*, 2003 werden in folgender Tabelle zusammengefasst:

Trächtigkeitstag	Morphologisches Hauptmerkmal	Fruchtblasengröße (cm²)	n
7,5	Zystisch	0,078-0,095	16
8,5	Zystisch	0,099-0,128	14
9,5	Embryo gut sichtbar	0,170-0,211	15
10,5	Herzschlag und Plazenta	0,217-0,317	19
11,5	Abschnitte des Embryokörpers	0,358-0,417	13
12,5		0,479-0,579	14
13,5	Wirbelsäule schwach sichtbar	0,586-0,713	16
14,5	Wirbelsäule deutlich	0,759-0,962	14
15,5	Rippen	01,040-1,247	11
Trächtigkeitstag	Morphologisches Hauptmerkmal	Thoraxdurchmesser	n
15,5	Rippen; Herz/Lebergrenze	0,469-0,510	14
16,5	Rippen kalzifizierter	0,539-0,597	13
17,5		0,615-0,674	17
18,5		0,688-0,753	16

Tab. 2: Sonographisch erfasste morphologische Hauptmerkmale und Größen von Mäuseembryonen CHANG *et al.*, 2003

SCHERER, 1993 verfolgte sonographisch den Trächtigkeitsverlauf von Kaninchen, Meerschweinchen und Ratten, wobei eine 7,5-MHz-Linearsonde zur Verfügung stand und die Untersuchungen per Kamera und Video dokumentiert wurden. Die anästhesierten Ratten wurden am Bauch geschoren und in Rückenlage ohne vorherigen Nahrungsentzug ab dem 7. Trächtigkeitstag sonographisch untersucht. Die Trächtigkeit konnte bei der Ratte mittels Ultraschall am 8. Tag festgestellt werden. Am 14. Graviditätstag war der Herzschlag der Feten darzustellen. Die Autoren schließen aus ihren Ergebnissen, dass die Sonographie eine genaue, nicht invasive Option zur frühen Trächtigkeitsdiagnose und zur Verlaufskontrolle bei Ratte, Meerschwein und Kaninchen darstellt.

3 Material und Methoden

3.1 Tiere

Für die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Untersuchungen standen insgesamt 25 (14 weibliche, 11 männliche) Ratten zur Verfügung, die freundlicherweise von Privatpersonen im Rahmen eines kostenlosen Gesundheitschecks bzw. zur Trächtigkeitskontrolle vorgestellt wurden. Bedingung war, dass die Tiere anamnestisch sowie bei einer jeder Sitzung vorgeschalteten Allgemeinuntersuchung keine klinischen Symptome einer Erkrankung aufwiesen, da sich die Fragestellung dieser Arbeit vorrangig auf die Darstellung normal-anatomischer bzw. physiologischer Zustände beschränkte. Alle Tiere gehörten zur Art der Ratte (*Rattus norvegicus, forma domestica*) und befanden sich im Alter von 0,5 bis 1,5 Jahren. Das Gewicht der weiblichen Ratten betrug 186 bis 261 g, die männlichen Ratten wogen zwischen 254 und 387 g.

3.2 Apparative Ausrüstung

3.2.1 Ultraschallgerät

Die sonographischen Untersuchungen wurden mit dem Ultraschallgerät Sonos 7500 der Firma Philips GmbH, Hamburg im zweidimensionalen B-Bild Real-Time-Verfahren durchgeführt. Während der Untersuchung wurden die Geräteeinstellungen an das jeweilige Tier bzw. Organ angepasst.

Im Ultraschallgerät integriert befand sich eine Dokumentationseinheit, die eine direkte digitale Speicherung einzelner Standbilder sowie kurzer Videosequenzen über ein Laufwerk auf einer magnetoptischen Platte (MOD) ermöglichte. Zur Auswertung wurden die Bilder von der MOD auf einen PC übertragen und mittels eines speziellen Computerprogramms (Q-Lab, Fa. Philips) in ein allgemein lesbares Format konvertiert.

3.2.2 Schallkopf

Als Transducer diente der 6-15-MHz-Linearschallkopf (15-6L) der Healthcare Group von Agilent Technologies, Gütersloh. Die akustische Linse besitzt eine Länge von 3,8 cm und eine Breite von 1,0 cm.

Die Frequenz des Schallkopfes konnte mit der Einstellung der Eindringtiefe variiert werden. Bei dem kleinen Körper der Ratte konnte die maximale Frequenz von 15

MHz genutzt werden, was laut den Angaben von POULSEN NAUTRUP, 2001 zu einer maximalen axialen Auflösung von 0,1 mm und einer lateralen Auflösung von 0,3 mm führte.

3.2.3 Rasierer

Wegen ihrer kleinen Scherfläche sowie dem minimalen Geräuschaufkommen hat sich die Contura Haarschneidemaschine von Wella für die Schur der Ratte bewährt.

3.3 Untersuchungstechnik

3.3.1 Handling und Lagerung

Grundsätzliche Prinzipien im Umgang mit Ratten wurden aus „The laboratory rat“ von KEMP, 2000 entnommen.

Da die Tiere aus privater Haltung stammten waren sie größtenteils Handkontakt gewohnt. Die Besitzer gaben an, dass intensiver Kontakt zum Menschen bereits in den ersten Lebenswochen der Ratten forciert wurde. In Anlehnung an die Untersuchungen von MAURER, 2005 wirkte sich dieses „Gentling“ als äußerst positiv auf die Untersuchungen aus. Schrittweise konnten die Ratten an die Rückenlage in der Untersucherhand, die Rasur, das Einmassieren des Schallgels und schließlich die Ultraschalluntersuchung gewöhnt werden, sodass die Untersuchungssituation für die Tiere minimalen Stress bedeutete. Eine Anästhesie, wie sie in den meisten Forschungsvorhaben angewandt wurde, erwies sich als nicht notwendig.

Nahezu alle Organe mit den entsprechenden Schnitten konnten in der Standardlagerung untersucht werden, wobei mit der einen Hand die Ratte gehalten wurde, mit der anderen der Schallkopf geführt werden konnte. Die Ratte wurde rücklings in die hohle Untersucherhand gebettet und die beiden Vorderbeine mit Daumen und Zeigefinger vor der Rattenbrust gekreuzt fixiert. Die Hinterbeine der Ratte konnten dabei auf dem Oberschenkel des Untersuchers aufgestützt werden, was die meisten Ratten merklich beruhigte. In dieser Position konnte die Ratte relativ flexibel von ventral und lateral geschallt werden (s. Abb. 8 und 9).

Lediglich für die dorsale Ankopplung musste diese Fixationsmethode etwas modifiziert werden. Die Vorderbeine wurden wie oben beschrieben vor der Rattenbrust fixiert und die Ratte in ihrer normalen Laufposition auf den Untersucherschoß gesetzt. Um den Schallkopf aufsetzen zu können, musste der Handballen angehoben werden, wodurch der Transducer an den entsprechenden dorsalen Ankopplungs-

stellen aufgesetzt werden konnte (s. Abb. 9). Eine Hilfsperson übernahm die Bedienung des Ultraschallgeräts.

Um eventuelle Beschädigungen des Schallkopfes durch die Krallen der Ratte zu vermeiden, wurden bei sehr lebhaften Ratten in beiden Positionen die Hinterbeine durch die Hilfsperson vorsichtig fixiert.



Abb. 8: Handling beim Dorsalschnitt



Handling beim Sagittalschnitt von ventral



Abb. 9: Handling beim Sagittalschnitt von dorsal

3.3.2 Rasur

Um ein optimales Ultraschallbild der einzelnen Organe zu erzeugen, war eine glatte und ausgedehnte Rasur des Rattenkörpers unerlässlich, da schon geringe Resthaare zu massiven Schallauslöschungen führten. Hierbei musste bei der weiblichen Ratte besonders auf die jeweils sechs Mamillen (3 Brust-, 1 Bauch- und 2 Leistenkomplexe, (OLDS und OLDS, 1984) geachtet werden. Die männliche Ratte besitzt keine Zitzen. Eine ausreichende Ankopplung für dorsale, sagittale und transversale Schnitte wurde erzielt, indem ventral vom Hoden bzw. der Vulva bis zum Rippenbogen und seitlich vom Oberschenkel bis zum Rippenbogen bis ca. einen halben Zentimeter unter die Wirbelsäule ausrasiert wurde.

3.3.3 Gel

Ebenso wichtig wie eine saubere Rasur war das Schall- oder Kontaktgel. Dieses wurde einige Minuten vor der Ultraschalluntersuchung erwärmt, einmassiert und während der Untersuchung stetig neu auf Schallkopf und Rattenkörper aufgetragen. Auf die Verwendung von Alkohol zur Entfettung der Haut wurde wegen der zu erwartenden Irritation und Auskühlung der Ratten verzichtet.

3.3.4 Ebenen

Der Körper wird bei der Ultraschalluntersuchung bildlich gesehen entsprechend den anatomischen Ebenen „durchschnitten“. Alle Angaben zu Schnittebenen in der vorliegenden Arbeit beziehen sich, soweit nicht ausdrücklich erwähnt, nicht auf einzelne Organe, sondern auf den gesamten Rattenkörper (s. Abb. 10). Transversalschnitte wurden von lateral und ventral durchgeführt. Welche Schallkopfposition für die Querschnitte der einzelnen Organe im Rahmen dieser Arbeit als optimal angesehen wurde, wird in den entsprechenden Organkapiteln des Ergebnisteils erläutert.

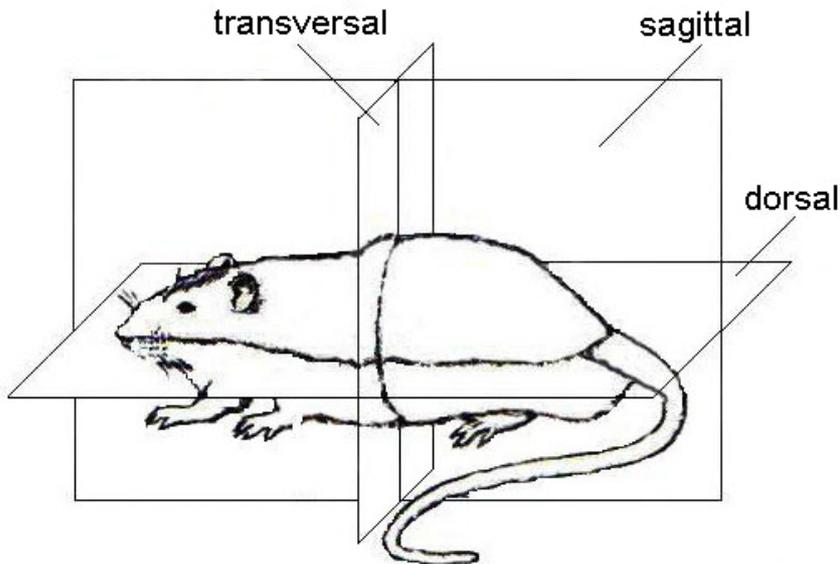


Abb. 10: Ebenen im Rattenkörper
Modifiziert nach WALKER und HOMBERGER, 1997

3.3.5 Schallkopfposition

Ein Ziel dieser Arbeit war es, die besten Schallkopfpositionen für die jeweiligen Organschnitte bei der Ratte zu eruieren. Dies erfolgte zu einem großen Teil durch Anwendung und Modifikation der gängigen Positionen bei Hund und Katze nach FRITSCH und GERWING, 1993, MATTOON *et al.*, 2002, POULSEN NAUTRUP, 2001 und STÜTZEL, 1994). Eine Ausnahme stellten die akzessorischen Geschlechtsdrüsen der männlichen Ratte dar, deren sonographische Untersuchung ausführlich von SUZUKI *et al.*, 1991 beschrieben wurde und die in modifizierter Form übernommen wurde.

Da es laut POULSEN NAUTRUP, 2001 noch keine internationalen Standards zur Orientierung in der Sonographie gibt, wurde hier die am häufigsten dokumentierte Methode zur Grundlage genommen, wobei die Markierung des Transducers während den Ultraschalluntersuchungen für diese Arbeit konsequent kranial (Dorsal- und Sagittalschnitte) bzw. nach rechts (Transversalschnitte) ausgerichtet wurde. Eine Beschreibung der daraus resultierenden Orientierung auf dem Monitor findet sich bei POULSEN NAUTRUP, 2001.

3.3.6 Untersuchungsgang

Auch der Untersuchungsgang erfolgte hauptsächlich in Anlehnung an den bei Hund und Katze bewährten Ablauf (FRITSCH und GERWING, 1993; STÜTZEL, 1994), beginnend mit der Harnblase. Anschließend wurden die an die Harnblase angrenzenden Organe untersucht und im Folgenden gegen den Uhrzeigersinn alle abdominalen Organe sonographisch erfasst. Da die Ratten häufig zu Beginn der Untersuchung Harn absetzten, musste bei mehreren Tieren zunächst auf die Beurteilung der Harnblase verzichtet werden. Auch die Einstellung der Gesamtverstärkung, die eigentlich anhand des anechogenen physiologischen Harnblaseninhaltes erfolgen sollte, musste in einigen Fällen rückwirkend kontrolliert werden. Da sich die Harnblase aber in allen Fällen binnen weniger Minuten füllte, wurden zunächst weitere Organe untersucht und die Harnblase bei mittlerer Füllung nachgeschallt.

In den Beschreibungen der Organe im Ergebnisteil wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Untersuchungsreihenfolge keine Rücksicht genommen.

3.4 Dokumentation

Die Dokumentation einzelner Ultraschallbilder und kurzer Videosequenzen erfolgte – wie oben bereits erwähnt – direkt auf einer magnetoptischen Diskette (MOD) der Firma Philips. Die digitalen Daten der MOD konnten über ein spezielles Laufwerk auf einen PC übertragen und dort mittels der ebenfalls von Philips stammenden Software (Q-Lab) in das bearbeitbare tif-Format umgewandelt werden.

3.5 Morphometrie

Die Durchführung von Messungen erwies sich nicht bei allen Organen als sinnvoll oder möglich. Bei Niere, Nebenniere und Ovar konnten die Länge, Breite und Dicke jedoch ermittelt werden. Geeignete Bilder wurden während der sonographischen Untersuchung zunächst „eingefroren“, direkt auf dem Monitor des Ultraschallgerätes vermessen und anschließend gespeichert.

Um die gewonnenen Werte mit denen aus der Literatur vergleichen zu können, wurden als Lagemaß die Maximal- und Minimalwerte, als Streuungsmaß der Median gewählt.

3.6 Sonomorphologische Beurteilungskriterien

Zur Beschreibung und Beurteilung der entstandenen Ultraschallbilder der Organe und Gewebe wurden folgende Kriterien angewandt:

- Begrenzung: scharf/unscharf
- Größe
- Form
- Echogenität (Dichte): echofrei, echoarm, echoreich
- Echotextur: grob-/mittel-/feinkörnig
- Verteilung: homogen/inhomogen
- Dorsales Schallverhalten: Schallverstärkung/-abschwächung

4 Ergebnisse

Basierend auf den im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen über die Sonographie bei der Ratte soll im folgenden Kapitel ein Schema zur sinnvollen und systematischen Sonographie der abdominalen Organe der Ratte vermittelt werden. Der Ablauf des Untersuchungsganges wurde bereits in Kapitel 3.3.6 erläutert. Die in Organsysteme gegliederte Beschreibung der Untersuchung der einzelnen Organe beginnt mit der Erläuterung der Untersuchungstechnik, wobei die geeigneten Ebenen, Schallkopfpositionen und möglichen Schwierigkeiten und Einschränkungen organspezifisch abgehandelt werden. Im Anschluss daran erfolgt die Erläuterung der optimalen sonographischen Darstellung mit der Beschreibung der Organkontur, -struktur und den anliegenden Organen.

In den durchgeführten Untersuchungen führte der Verzicht auf Nüchternheit der Tiere nur in wenigen Fällen zu einer Behinderung der Untersuchung, wobei zu bemerken ist, dass besonders ein stark gefüllter Magen die Darstellung benachbarter Strukturen wie linker Niere und Nebenniere, Milz und Leberanteilen beeinträchtigte.

Die Nomenklatur richtet sich soweit nicht ausdrücklich erwähnt nach HEBEL und STROMBERG, 1986.

4.1 Gastrointestinaltrakt

Die sonographische Darstellung des Magen-Darm-Traktes war stark von seinem Inhalt abhängig. Echoreicher, oft inhomogener Futterbrei sowie reflexreicher, gasförmiger Inhalt verursachten zum Teil massive Schallschatten. Sich echoarm und homogen darstellende Flüssigkeit wirkte sich durch das Phänomen der Schallverstärkung positiv auf die Qualität der erzeugten Ultraschallbilder aus.

4.1.1 Magen

4.1.1.1 Untersuchungstechnik

Der Magen der Ratte konnte in der sagittalen, dorsalen und transversalen Untersuchungsebene regelmäßig durch die Ankopplung des Schallkopfes direkt kaudal des Rippenbogens links der Medianen aufgefunden werden. Durch paralleles Versetzen sowie Schwenken des Transducers erfolgte eine Durchmusterung des gesamten

Magens von links nach rechts und von kranial nach kaudal. Gute Transversalschnitte wurden von ventral sowie von lateral erzeugt.

4.1.1.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Die schallkopfnaher Magenwand präsentierte sich durch eine deutlich sichtbare Magenwandschichtung scharf von ihrer Umgebung abgegrenzt. Die schallkopferne Magenwand war wegen der Schallschatten produzierenden Ingesta nur bei leerem Magen zu beurteilen. Der stark gefüllte Magen stellte sich halbkugelförmig dar. Je weniger Inhalt im Magen vorhanden war, desto stärkere Wellenform zeigte seine Randkontur. Daraus resultierte bei nüchternen Tieren (2 von 25 Ratten) im Sagittalschnitt ein auffälliges Rosettenmuster, das durch die starke Fältelung der Wand des leeren Magens zustande kam (Abb. 12).

Organstruktur: Bei 22 von 25 Tieren zeigte sich ein massiv mit Ingesta gefüllter Magen. Dieser stellte sich als echoreiche, inhomogene, grobkörnige Halbkugel dar, deren schallkopffernes Volumen aufgrund der Schallauslöschung durch den echo-dichten Mageninhalt nicht eingesehen werden konnte (Abb. 11).

Durch Impedanzunterschiede zwischen Umgebung, den einzelnen Magenwandschichten und der Ingesta wurde sonographisch eine Dreischichtigkeit der Magenwand sichtbar: Als äußere echoreiche Linie zeigte sich zunächst der Übergang von umliegendem Gewebe zur Serosa des Magens. Die Muskelschicht des Magens präsentierte sich eher echoarm. Die Grenzfläche zwischen Mukosa und Magenlumen wurde wieder als echoreiche Schicht erkennbar (Abb. 11). Die Dicke der Magenwand war stark füllungsabhängig. Peristaltikbewegungen des Magens konnten nicht dargestellt werden.

Benachbarte Strukturen:

Dorsale Schnittebene: Mit dem Schallkopf von kranial nach kaudal wandernd, konnte der Magen in dieser Ebene zunächst mit dem kranial direkt anliegenden linken Leberlappen (Abb. 11), dann mit der sich kaudal anschließenden, sich dreieckig darstellenden Milz und letztlich mit Milz und linker Niere abgebildet werden. Auch die Beziehung zur linken Bauchwand, der der Magen mit mehr oder weniger dazwischen liegendem Fett direkt anlag, war in der Dorsalebene darstellbar.

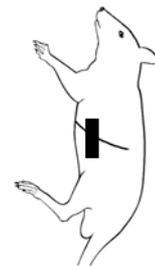
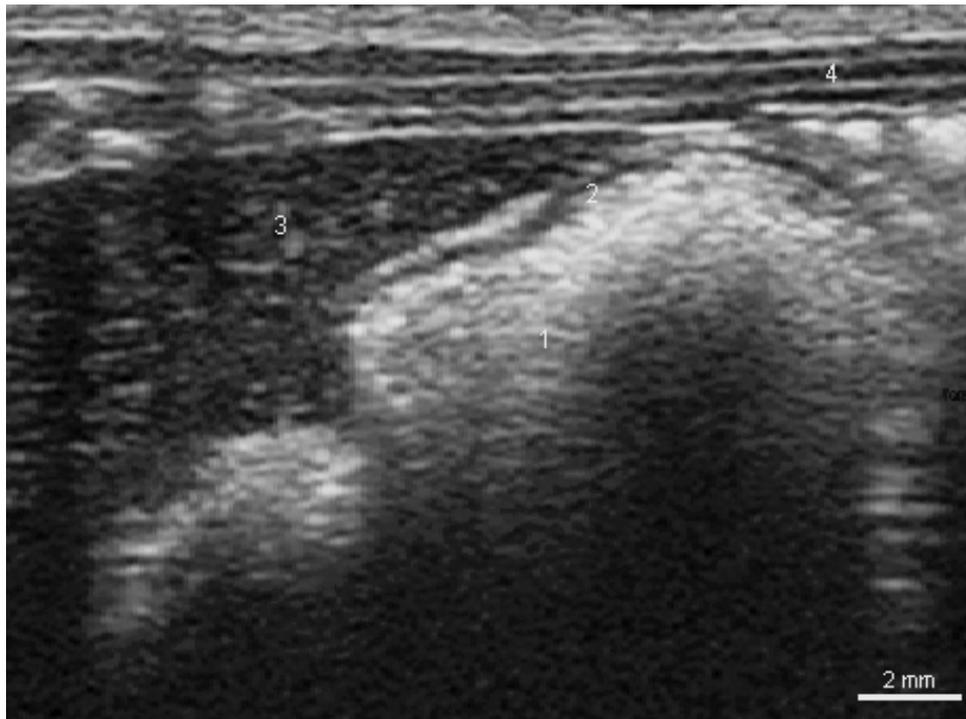


Abb. 11: Magen, Dorsalschnitt

- | | |
|-------------|----------------------------|
| 1 Magen | 3 Lobus hepatis sinister |
| 2 Magenwand | 4 linke laterale Bauchwand |

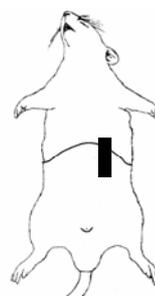


Abb. 12: leerer Magen, Sagittalschnitt

- | | |
|----------------|--------------------------|
| 1 Magenrosette | 3 Lobus hepatis sinister |
| 2 Milz | |

Sagittale Schnittebene: Hier wurde vor allem die Lagebeziehung des Magens zur Leber deutlich. Ihre Lobi lateralis et medialis sinister sowie der Proc. papillaris schlossen sich der Facies parietalis des Magen polsterartig direkt kranial und kranio-ventral anliegend an. Kaudal zeigte sich die Angrenzung von Jejunum und Zäkum an die Facies visceralis des Magens.

4.1.2 Dünndarm

4.1.2.1 Untersuchungstechnik

Um das Dünndarmkonvolut vollständig erfassen zu können, musste das gesamte Abdomen kaudal der Leber systematisch in allen Ebenen durchgemustert werden.

Durch Ankopplung des Schallkopfes in der Transversalebene kaudal des Rippenbogens ließ sich die aus dem Pylorus hervorgehende Pars cranialis duodeni verfolgen, indem der Transducer kontinuierlich von der Medianen ausgehend nach rechts verschoben wurde. Das lagekonstante Duodenum descendens wurde bei dorsaler Positionierung des Schallkopfes an der rechten Körperseite identifiziert und konnte durch Verschieben des Transducers nach kaudal in seiner ganzen Länge dargestellt werden. Zur Differenzierung von Duodenum transversum, Duodenum ascendens, Jejunum und Ileum wurden keine Anhaltspunkte gefunden.

4.1.2.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Die sonographisch beim Magen darstellbare Dreischichtung ließ sich auch im Intestinum tenue beobachten und bewirkte eine deutliche Abgrenzung des Organs (Abb. 13).

Organstruktur: In der Longitudinalebene geschnitten präsentierte sich der Dünndarm als dünnwandiger Schlauch. Die je nach Futterart sehr unterschiedlich echo-gene Ingesta stellte die innerste Schicht dar, die bei der Kontraktion des Darms komprimiert und weitertransportiert wurde (Abb. 13).

Der Organquerschnitt zeigte sich rund bis oval. Die Form gefüllter Darmabschnitte legten den Vergleich mit einer Kaffeebohne nahe (Abb. 14).

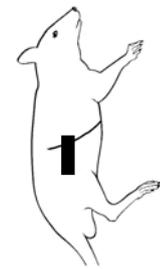
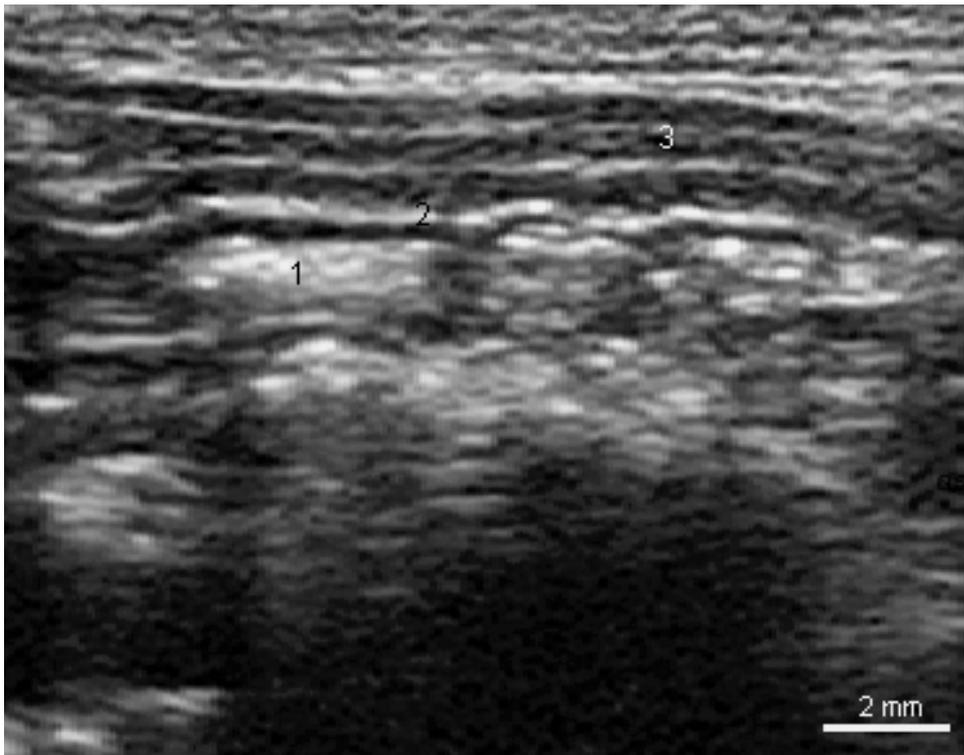


Abb. 13: Duodenum descendens, Dorsalschnitt

- 1 Duodenum descendens
- 2 Wandschichtung des Dünndarms
- 3 rechte laterale Bauchwand

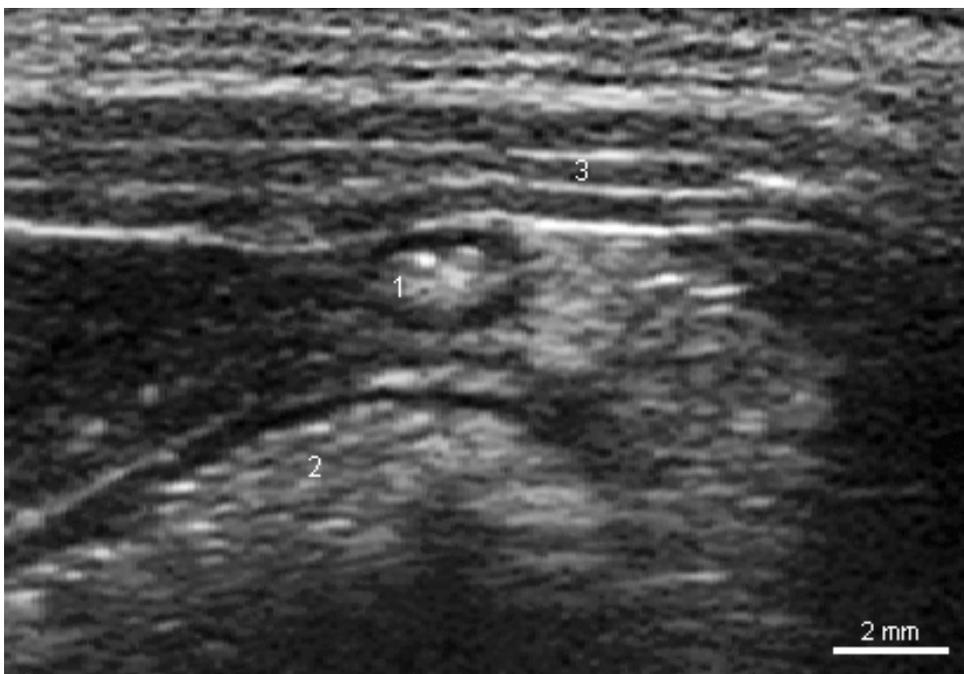


Abb. 14: Duodenum, Transversalschnitt

- 1 Querschnitt durch das Duodenum descendens
- 2 stark gefüllte Jejunumschlinge
- 3 rechte Bauchwand

4.1.3 Blind- und Dickdarm

Da die Durchmesser von Dünndarm und Dickdarm bei der Ratte relativ ähnlich sind, mussten andere Merkmale zu ihrer Unterscheidung herangezogen werden. Das augenscheinlichste Kriterium zu ihrer Differenzierung bot die mehrfach erwähnte deutliche Wandschichtung des Dünndarms, die beim Dickdarm fehlte (s. Abb. 17). Als eine weitere Möglichkeit zur Abgrenzung von Dünndarm und Dickdarm erwiesen sich die nur im Dünndarm nachweisbaren Peristaltikwellen.

4.1.3.1 Untersuchungstechnik

Die Lagevariabilität des Zäkums verhinderte, dass ein allgemeingültiges Schema zu seiner Untersuchung festgelegt werden konnte. Bei 2/3 der untersuchten Tiere konnte es im rechten kaudalen Abdomen gefunden werden, wobei eine Ankopplung in der Sagittalebene, kranial der Blase, rechts paramedian zu den besten Ergebnissen führte. Um das Colon descendens bzw. das Rektum erfolgreich darstellen zu können, wurde der Schallkopf in der Sagittal- oder ventralen Transversalebene median auf Höhe der Harnblase aufgesetzt. Durch kaudale Verlagerung des Schallkopfes wurde das Rektum sichtbar; die kraniale Verschiebung rückte das Colon descendens ins Bild. Weitere Dickdarmabschnitte fanden sich im gesamten Abdomen, ließen sich aber nicht eindeutig zuordnen.

4.1.3.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Die Ränder des Dickdarms zeigten im Gegensatz zum Dünndarm weiche Übergänge zu ihrer Umgebung und ließen sich – wiederum je nach Inhalt – nur undeutlich von ihr abgrenzen (Abb. 15).

Organstruktur: Das stets gefüllte, voluminöse Zäkum stellte sich kuppelartig dar und beinhaltete in allen Fällen echoreiche, inhomogene Ingesta (s. Abb. 15). Die restlichen Dickdarmabschnitte präsentierten sich im Längsschnitt wurstartig, im Querschnitt praktisch rund. Geformte Kotballen kennzeichneten die Darmabschnitte ab dem Colon ascendens.

Benachbarte Strukturen: Das Colon descendens und weiter kaudal das Rektum wurden dorsal der Harnblase, bei weiblichen Tieren oftmals vom Uterus benachbart, lokalisiert (Abb. 16).

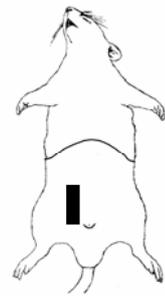
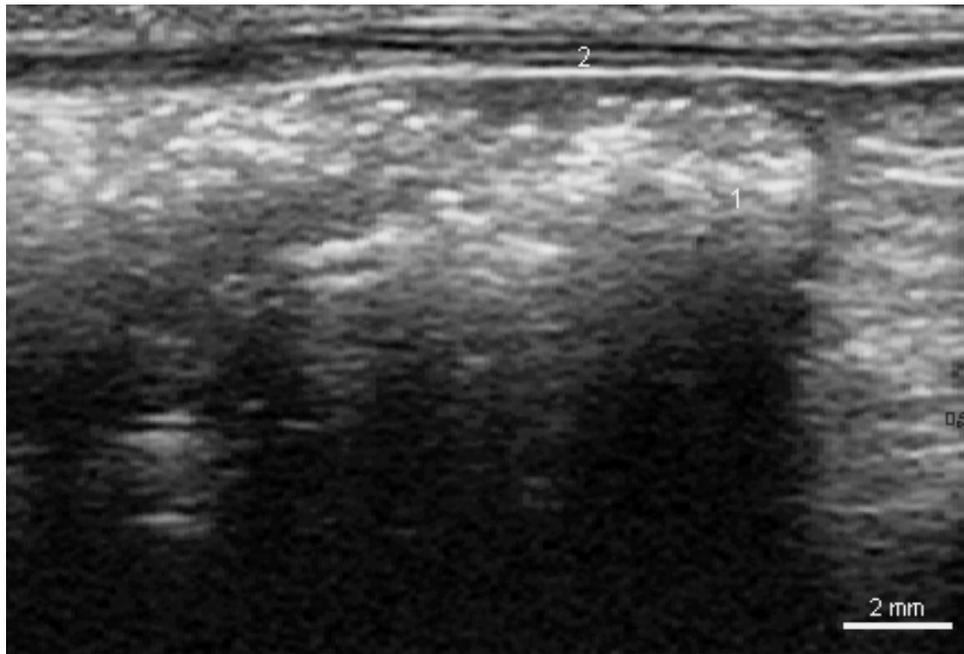


Abb. 15: Zäkum, Sagittalschnitt

- 1 Zäkum
- 2 ventrale Bauchwand

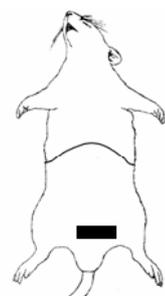
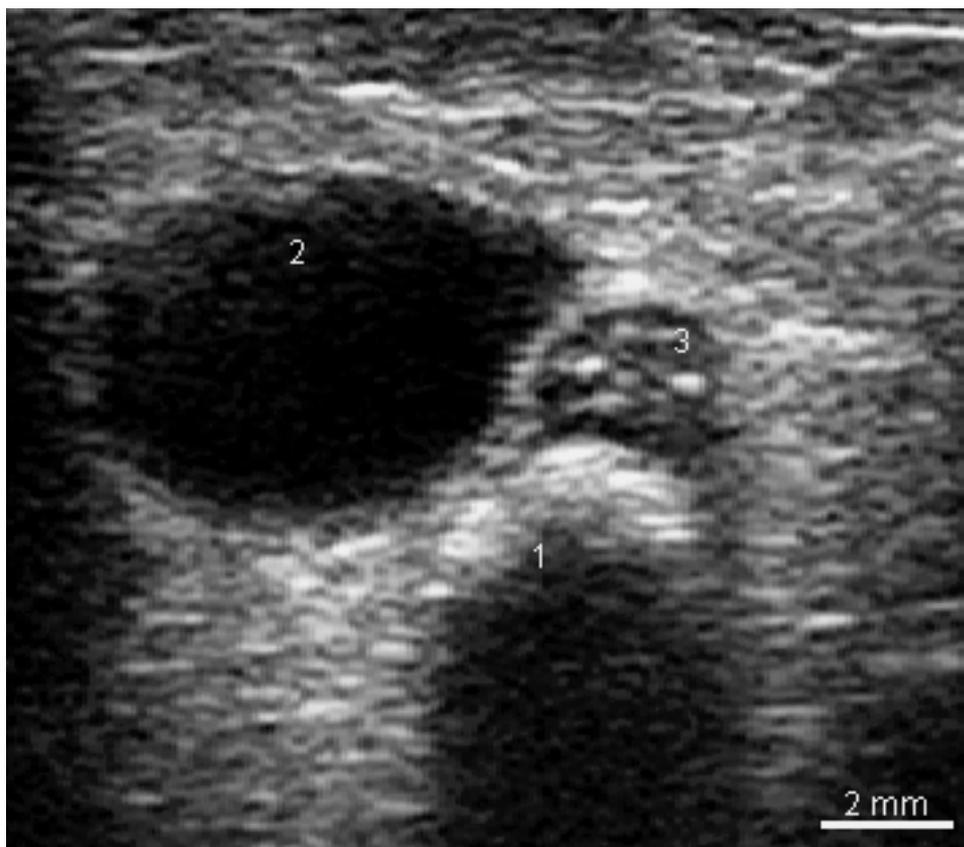


Abb. 16: Rektum, Harnblase, linker Uterus Transversalschnitt von ventral

- 1 Rektum
- 2 Harnblase
- 3 Uterus

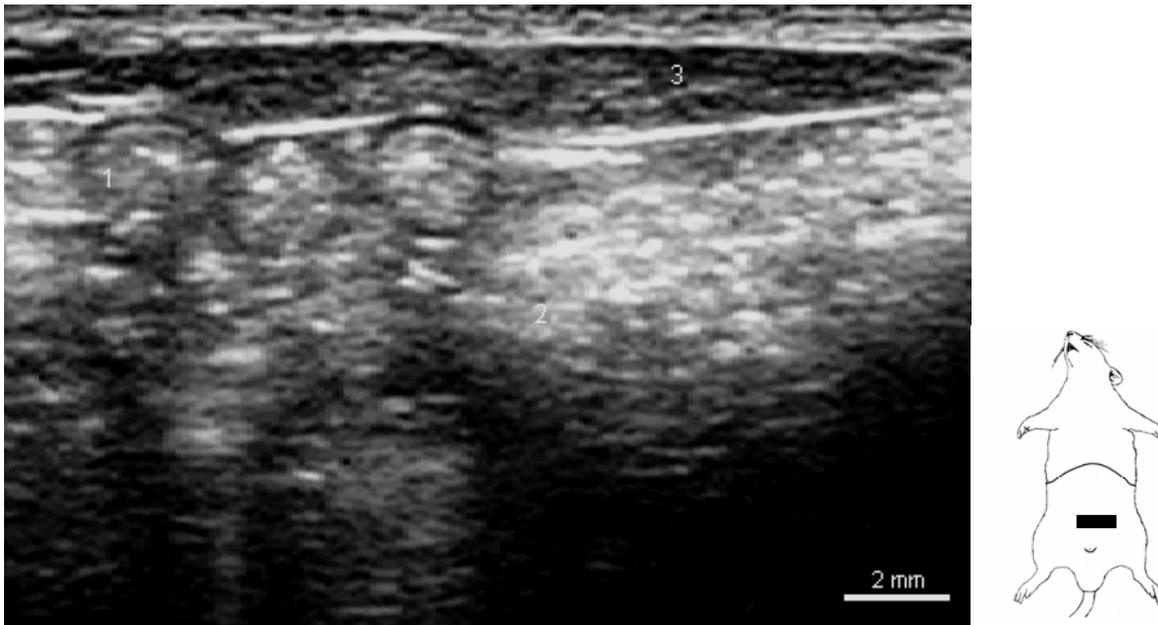


Abb. 17: Dick- und Dünndarm, Transversalschnitt

- 1 Jejunum
- 2 Zäkum
- 3 Bauchmuskulatur

4.2 Darmanhangsdrüsen

4.2.1 Leber

4.2.1.1 Untersuchungstechnik

Aufgrund ihrer Größe und Lage kann die Leber nur durch das Anschallen aus mehreren Richtungen und Winkeln vollständig durchmustert werden.

Die sonographische Erfassung der Leber in der Sagittal- sowie ventralen Transversalebene erfolgte von links nach rechts, wobei der Schallkopf direkt kaudal des Rippenbogens aufgesetzt und nach kraniodorsal gekippt sowie nach rechts und links geschwenkt wurde.

Transversalschnitte von lateral wurden durch Ankopplung an der lateralen Bauchwand direkt kaudal des Rippenbogens erzeugt. Der Schallkopf wurde hierzu zunächst senkrecht aufgesetzt. Durch kraniales Kippen des Transducers wurde der Schallwinkel verkleinert und die intrathorakalen Leberanteile konnten erfasst werden. In der Dorsalebene wurde die Qualität der Bilder durch die von den Rippen ausgelöste Schallauslöschung stark beeinträchtigt. Sie war deshalb nur eingeschränkt für die Darstellung der Leber geeignet.

Das Erfassen der kranialen Leberanteile wurde durch Einstellung des Sektorbildes erleichtert.

In Anlehnung an das Untersuchungsschema von NYLAND *et al.*, 2002 wurden insgesamt vier parallele, sagittale Standardebenen zur Untersuchungsdokumentation entwickelt:

- Level I:** Lobus sinister lateralis, Magen, evtl. Äste der V. hepatica sinistra und V. portae (s. Abb. 18)
- Level II:** Lobus hepatis sinister medialis, Aorta, evtl. Äste der V. hepatica sinistra und V. portae (s. Abb. 19)
- Level III:** Lobus hepatis intermedius, V. cava und V. portae (s. Abb. 20)
- Level IV:** Lobus caudatus und rechte Niere, Lobus hepatis dexter und evtl. Äste der V. hepatica dextra (s. Abb. 21)

Je nach Füllungszustand erstreckte sich der Magen auch über Level II und III.

4.2.1.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Die Ränder der Leber stellten sich im physiologischen Zustand scharf abgegrenzt mit einer glatten Oberfläche dar. Ihr kraniodorsales Ende wurde durch eine echoreiche, konvexe Linie limitiert, die tatsächlich die Grenzfläche zwischen Zwerchfell und Lunge darstellt, aber im Allgemeinen als Zwerchfell bezeichnet wird. Die kaudodorsalen Ränder der Leberlappen liefen links eher spitzwinkelig, rechts in nahezu stumpfem Winkel aus bzw. wurden durch angrenzende Organe in ihrer Form beeinflusst. Vor allem in Transversalschnitten konnten der rechte und linke Leberrand beurteilt werden, der sich glatt, mit einem intensiven, konvexen Echo an das Zwerchfell bzw. weiter kaudal an die jeweilige laterale Bauchwand legte (s. Abb. 22 und Abb. 23).

Organstruktur: Das Leberparenchym zeigte mittlere Echogenität mit homogen feinkörniger Echotextur. Diese Homogenität wurde lediglich durch die reflexarmen Echos intrahepatischer Gefäße sowie von den intensiven Wandreflexen der Pfortaderäste unterbrochen (Abb. 18). Die einzelnen Leberlappen ließen sich sonographisch nicht voneinander differenzieren.

Benachbarte Strukturen: Kranial zeigten sich das Zwerchfell sowie das schlagende Herz. Der dorsal verlaufende Ösophagus konnte in keinem Fall erfasst werden. Ventral waren je nach Ernährungszustand des Tieres direkt die ventrale

Bauchwand bzw. falciformes Fett zu erkennen, welches im Vergleich zur Leber eine ähnliche Echogenität jedoch deutlich gröbere Echotextur besaß. Die kaudal angrenzenden Organe stellten sich im Vergleich zur Leber folgendermaßen dar: Der gefüllte Magen zeigte eine massiv echoreichere Struktur, die Nierenrinde besaß eine geringgradig höhere Echogenität und die Milz stellte sich mäßig echoärmer dar.

Die Gefäße präsentierten sich im Ultraschallbild nahezu echofrei. In den Sagittalschnitten wurden die großen Gefäße Aorta, V. cava caudalis und V. portae längs angeschnitten. Dorsales Orientierungsorgan stellte die mächtige Aorta dar. Innerhalb des Leberparenchyms ließen sich die großlumige V. cava caudalis mit einem deutlichen Wandecho, die V. hepatica mit ihren Ästen ohne Wandecho, sowie die V. portae mit Ästen und intensivem Wandecho erkennen. Die Äste der A. hepatica waren nicht darzustellen. Im Transversalschnitt der rechten Seite konnten Querschnitte der runden Aorta, der quer-ovalen V. cava caudalis und der wiederum eher runden V. portae sowie der rechten Nebenniere eingebettet in Leberparenchym gezeigt werden (s. Abb. 23).

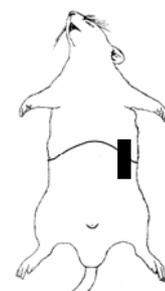
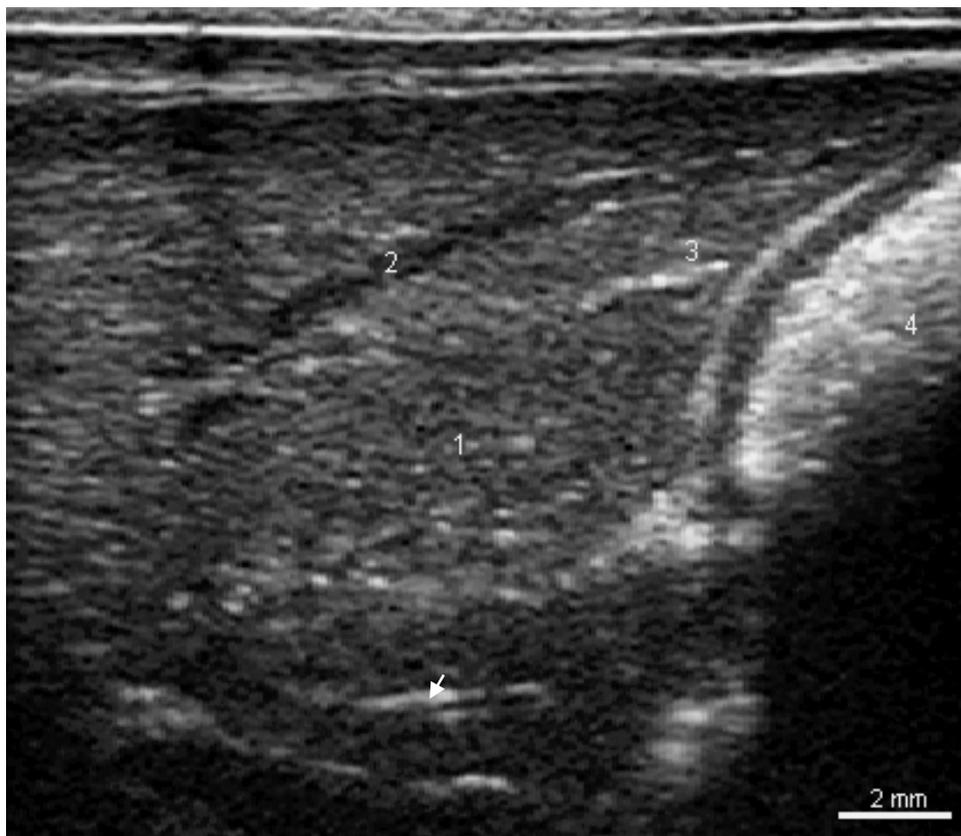


Abb. 18: Standardleberschnitt Level I

- | | |
|------------------------------------|----------------|
| 1 Lobus hepatis sinister lateralis | 3 Pfortaderast |
| 2 Ast der V. hepatica sinistra | 4 Magen |

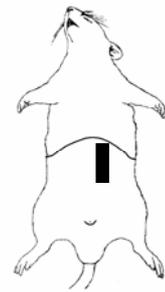
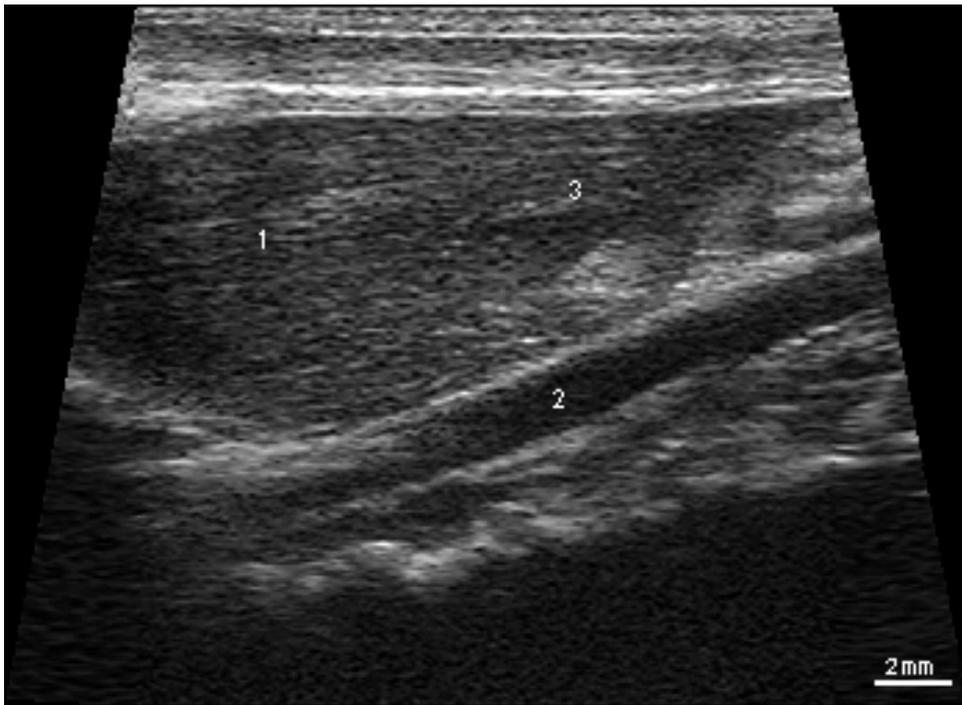


Abb. 19: Standardleberschnitt Level II

- 1 Lobus hepatis sinister medialis
- 2 Aorta abdominalis

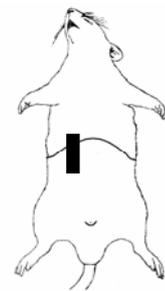


Abb. 20: Standardleberschnitt Level III

- 1 Lobus hepatis intermedius
- 2 V. portae
- 3 V. cava caudalis

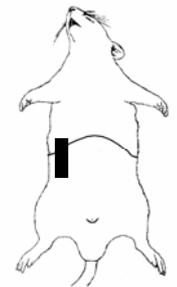


Abb. 21: Standardleberschnitt Level IV

- 1 Lobus caudatus hepatis 3 Ren dexter
2 V. hepatica dextra

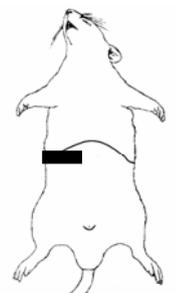


Abb. 22: Leber, Transversalschnitt von rechts ventral

- 1 Lobus hepatis dexter 4 Bauchwand
2 V. cava caudalis 5 Magen
3 V. portae



Abb. 23: Leber, Transversalschnitt von rechts lateral

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1 Lobus hepatis dexter | 4 V. portae |
| 2 Aorta | 5 Gl. adrenalis dextra |
| 3 V. cava caudalis | |

4.2.2 Bauchspeicheldrüse

Bei keinem der untersuchten Tiere war die Bauchspeicheldrüse zu identifizieren.

4.3 Milz

4.3.1.1 Untersuchungstechnik

Um transversale und dorsale Schnitte der Rattenmilz zu erzielen, wurde der Schallkopf auf der linken Körperseite eine Schallkopfbreite kaudal des Rippenbogens aufgesetzt. Sagittalschnitte wurden nicht nur mit der klassischen Ankopplung von ventral, sondern auch von dorsal durchgeführt. In beiden Fällen wurde der Schallkopf links paramedian angekoppelt. Als Bezugspunkte dienten Magen und linke Niere, in deren Zwickel die Milz aufzufinden war.

Dorsale und sagittale Schnittebene: Von ventral mit einem knapp links der Medianen angesetzten Sagittalschnitt beginnend, parallel nach links gleitend, in den Dorsalschnitt übergehend und schließlich von dorsal erneut einen Sagittalschnitt erzeugend, konnte der gesamte Organquerschnitt der Milz in einzelnen Bildern erfasst

werden. Aufgrund der intrathorakalen Lage der Extremitas dorsalis, musste im hochdorsalen Bereich der Transducer zusätzlich minimal kraniodorsal verkippt werden.

Transversale Schnittebene: Der Schallkopf wurde von lateral zunächst korrekt transversal gerichtet. Um einen Organlängsschnitt zu produzieren, wurde der Transducer anschließend dem Verlauf der Milz entsprechend ventrokaudal verkippt. Da die Milz gekrümmt im Rattenkörper liegt musste der Schallkopf ventrokaudal und dorsokranial verschoben werden um das Organ in voller Länge darstellen zu können.

4.3.1.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Die Milz zeigte lediglich bei senkrechtem Anschallwinkel einen scharfen Kapselreflex. Ansonsten stellten sich ihre Ränder eher weichzeichnend dar, wobei eine Abgrenzung zur Peripherie aufgrund der typischen Parenchymechogenität dennoch gut möglich war. Im dreieckigen Organquerschnitt präsentierte sich die Facies parietalis mäßig konvex, der gegenüberliegende kammartige Hilusbereich mit einer abgerundeten Kante. Die lateralen Ränder liefen spitz zu (Abb. 24 und Abb. 25). Im Längsschnitt stellte sich die Milz zungenförmig dar (Abb. 26). Ihre Form wurde von den eng anliegenden Nachbarorganen beeinflusst.

Organstruktur:

Dorsale und sagittale Schnittebene: In diesen beiden Ebenen zeigte sich eine typische Trias von Magen, Milz und Niere, mit der klassischen Dreiecksform der Milz. Die Dorsalschnitte stellten Organquerschnitte im Bereich des Milzkörpers dar (Abb. 24). Die ventralen Sagittalschnitte zeigten die Extremitas ventralis, die dorsalen Sagittalschnitte die Extremitas dorsalis (Abb. 25).

Transversale Schnittebene: Durch das Kippen des Schallkopfs tauchte die Extremitas ventralis links auf dem Monitor auf, die Extremitas dorsalis war rechts zu sehen. Dazwischen breitete sich der zungenförmige Milzkörper entlang der lateralen Bauchwand aus (Abb. 26).

Die Rattenmilz stellte sich homogen, feinkörnig und im Vergleich zur benachbarten Nierenrinde mit einer echoarmen Struktur mit wenigen Gefäßwandreflexionen dar.

Benachbarte Strukturen: In der Sagittal- sowie in der Dorsalebene war kranial die meist geräumige, echoreiche Magenkuppel zu erkennen. Kaudal wurde die Milz durch die linke Niere begrenzt. Im Transversalschnitt konnte dorsokaudal die linke Niere ausgemacht werden.

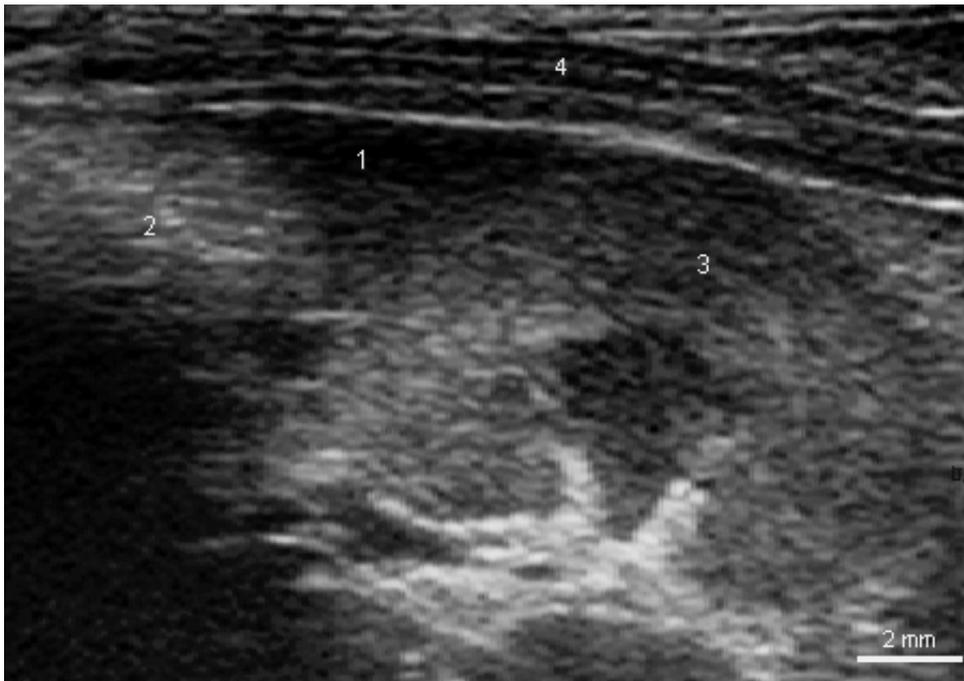


Abb. 24: Milzquerschnitt, Dorsalschnitt

- | | |
|-----------------|--------------|
| 1 Corpus lienis | 3 Ren dexter |
| 2 Magen | 4 Bauchwand |

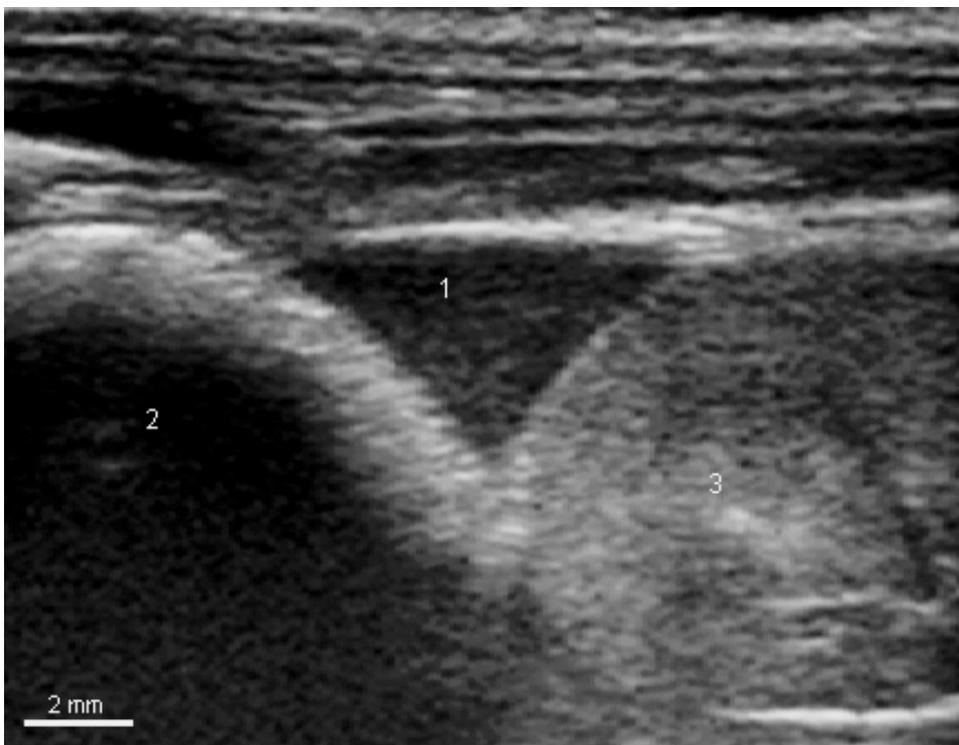


Abb. 25: Milzquerschnitt, Sagittalschnitt von dorsal

- | | |
|------------------------------|---|
| 1 Extremitas dorsalis lienis | 3 Ren dexter |
| 2 Magen | 4 Rückenmuskulatur (vgl. dünnere Bauchmuskulatur Abb. 24) |

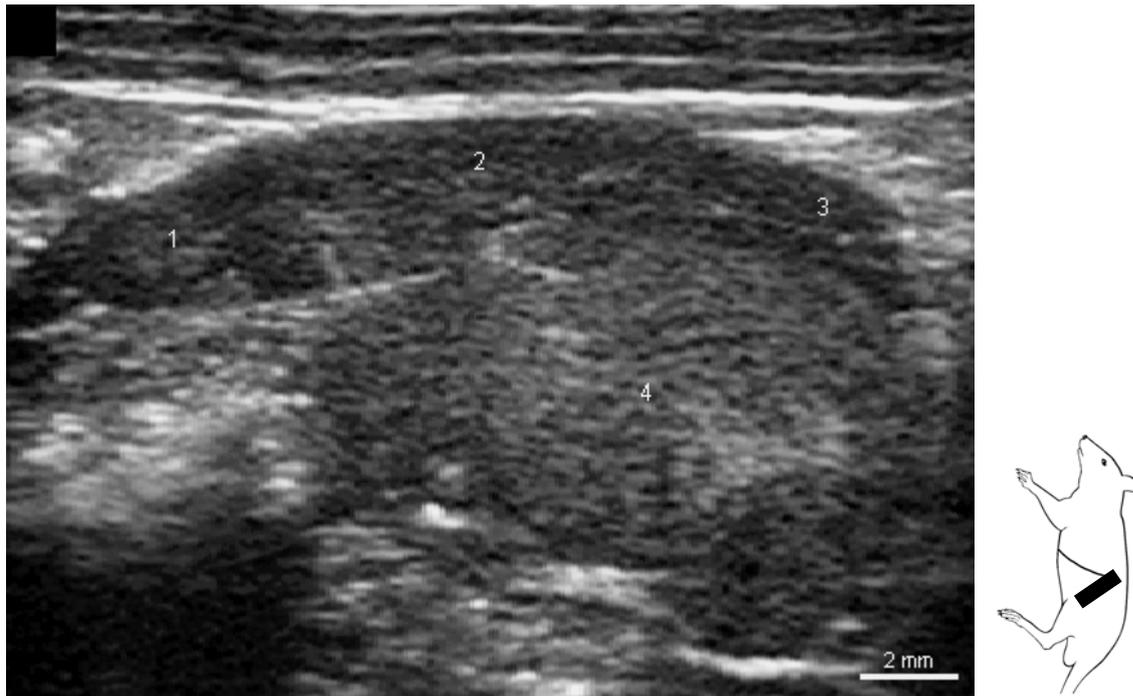


Abb. 26: Milzlängsschnitt, Transversalschnitt ventrokaudal verkippt

- 1 Extremitas ventralis lienis
- 2 Corpus lienis
- 3 Extremitas dorsalis lienis
- 4 Ren sinister

4.4 Nebenniere

Wie bereits im Literaturteil dieser Arbeit belegt wurde, sind die Nebennieren bei Nagetieren (*Rodentia*) im Vergleich zu unseren Haussäugetieren wie Hund und Katze relativ gesehen sehr groß. Dementsprechend stellt ihre sonographische Darstellung bei der Ratte geringere Anforderungen an den Untersucher als bei den oben genannten Tieren.

4.4.1.1 Untersuchungstechnik

Die Nebenniere der Ratte konnte durch dorsale, sagittale und transversale Schnitte erfasst werden. Die Darstellung der Sagittal- und Transversalschnitte von ventral wurde durch das überlagernde Dünndarmkonvolut limitiert. Deshalb wurde die spezielle Ankopplung von dorsal zur Darstellung von Sagittalschnitten angewandt, deren genauere Beschreibung im Kapitel 4.5.1.1 erfolgt. Transversalschnitte wurden am erfolgreichsten von lateral durchgeführt.

Zunächst wurde die entsprechende Niere aufgesucht. Der Schallkopf wurde dazu direkt kaudal des Rippenbogens aufgesetzt und mäßig unter den Rippenbogen gekippt. Nach Auffinden der Niere wurde der Transducer vorsichtig nach kranial verschoben. Meist konnte die Nebenniere daraufhin schon erfasst werden.

Die rechte Nebenniere wurde in 90% der Fälle, direkt dem kranialen Nierenpol leicht medial anliegend, aufgefunden.

Die Lokalisierung der linken Nebenniere gelang, ebenfalls etwas medial versetzt, ca. 1-2 mm vom kranialen Pol der linken Niere entfernt. Ihre Darstellung wurde bei einem Drittel der untersuchten Tiere durch einen gut gefüllten Magen eingeschränkt.

Da die Nebennieren nicht exakt der Längsachse nach ausgerichtet sind, musste der Schallkopf, um einen tatsächlichen Organlängsschnitt erzeugen und vermessen zu können, individuell verkippt werden.

4.4.1.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Beide Nebennieren stellten sich mit prominenten Kapselreflexen deutlich dar und zeigten eine kontinuierliche, scharfe und glatte Kontur.

Organstruktur:

Dorsale Schnittebene: Die linke Nebenniere zeichnete sich durch eine längsovale Form aus, während die rechte Nebenniere eher querovale Umriss zeigte (Abb. 27 und Abb. 28).

Transversale Schnittebene: Beide Nebennieren zeigten einen nahezu runden Querschnitt (Abb. 29).

Die Echogenität der Nebennieren erwies sich ähnlich dem Nierenmark als echoarm, die Echotextur als feinkörnig.

Rinde und Mark waren nur bei einem der untersuchten Tieren abgrenzbar. Eine reflexreiche Kapsel war in allen Ebenen deutlich zu erkennen.

Benachbarte Strukturen: Die Nebennieren waren von erheblich echogenerem und gröber strukturiertem retroperitonealem Fett umgeben. Kaudal schlossen sich die entsprechenden Nieren an, deren Rinde sich mittelgradig echogener und grobkörniger als die Nebennieren darstellten. Der zum Teil störende echoreiche Magen wurde kranial der linken Niere sichtbar. Medial der rechten Nebenniere konnte die breite, echoarme V. cava caudalis (siehe Abb. 27), medial der linken Nebenniere die großlumige Aorta dargestellt werden.

	Rechte Nebenniere (n=12)			Linke Nebenniere (n=12)		
	Länge	Breite	Dicke	Länge	Breite	Dicke
Max	5,8	5,3	3,9	6,5	4,3	3,7
Min	3,4	2,7	2,8	4,1	2,4	2,5
Median	4,2	3,7	3,3	4,5	3,5	2,7

Tab. 3: Sonographisch ermittelte Maße der Nebennieren in Millimetern.

In Tab. 3 werden die Ergebnisse der morphometrischen Erfassung der Nebennieren wiedergegeben.



Abb. 27: rechte Nebenniere, Dorsalschnitt

- 1 Gl. adrenalis dextra
- 2 Ren dexter
- 3 V. cava caudalis
- 4 Leber



Abb. 28: linke Nebenniere, Dorsalschnitt

- | | |
|--------------------|--------------|
| 1 linke Nebenniere | 3 V. renalis |
| 2 linke Niere | |



Abb. 29: rechte Nebenniere, Transversalschnitt von lateral

- | | |
|------------------------|--------------------|
| 1 Gl. adrenalis dextra | 4 Aorta |
| 2 Lobus hepatis dexter | 5 V. cava caudalis |
| 3 Ventriculus | 6 V. portae |

4.5 Harnapparat

4.5.1 Niere

4.5.1.1 Untersuchungstechnik

Zur Exploration der rechten Niere in allen drei Ebenen wurde der Transducer auf der rechten Körperseite hinter dem Rippenbogen aufgesetzt. Zur Darstellung ihres intrathorakal gelegenen Pols musste der Schallkopf unter den Rippenbogen – also kraniodorsal – gekippt werden.

Um die linke Niere zu erfassen, wurde der Schallkopf ca. einen fingerbreit kaudal des Rippenbogens positioniert.

Wie von HEBEL und STROMBERG, 1986 beschrieben, ist die Längsachse der linken Niere nicht parallel zur Körperlängsachse ausgerichtet, sondern konvergiert kranial (siehe Abb. 5). Um dieser anatomischen Gegebenheit gerecht zu werden und trotzdem korrekte Organschnitte zu gewährleisten, musste von den Standardtransducerpositionen abgewichen und der Schallkopf entsprechend der Längsachse der Niere kranio-medial verkippt werden.

Der Sagittalschnitt der Niere war deutlich schwieriger zu reproduzieren als die beiden anderen Ebenen und wurde von dorsal durchgeführt. Hierbei wurde der Schallkopf paramedian der Wirbelsäule knapp kaudal des Rippenbogens angesetzt und der Schallstrahl senkrecht nach unten geschickt. Auch hier musste die Längsachsenverlagerung der linken Niere beachtet werden.

4.5.1.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Die beiden Nieren konnten bei allen Tieren gut aufgefunden werden und zeigten in allen Schnittebenen einen intensiven Kapselreflex, wodurch sich das Organ deutlich vom umliegenden Gewebe – vor allem Fett – abgrenzte. Die Nieren stellten sich im Dorsalschnitt beidseits bohnenförmig (Abb. 30), im Sagittalschnitt oval oder eierförmig dar (Abb. 31). Ihr Querschnitt präsentierte sie sich rund bis leicht oval (Abb. 32). Die Oberfläche der gesunden Rattenniere zeigte sich stets kontinuierlich und glatt.

Organstruktur:

Dorsale Schnittebene: Im Dorsalschnitt konnten zahlreiche anatomische Strukturen des Organs dargestellt werden: Von innen nach außen wurden 1.) die zapfenförmige

Zona interna des Marks, die sog. Papille, 2.) die Grenzfläche zwischen äußerem und innerem Markanteil, 3.) dorsal ein Streifen sowie lateral jeweils zwei rundliche Anteile der Zona externa des Nierenmarks sowie 4.) die Rinde, 5.) die Kapsel und 6.) der Hilus renalis sichtbar. Bei Ankopplung im Bereich des Hilus waren ein- bzw. austretende Gefäße (A. und V. renalis) und der Ureter erkennbar (s. Abb. 30).

Sagittale Schnittebene: Zentral stellte sich der stark echogene, lang gezogene Hilus renalis dar. Die Markpyramiden wurden von dazwischen liegenden Rindensäulen unterbrochen, welche aus der das Mark vollständig umhüllenden Cortex renis zentripetal zogen (s. Abb. 31).

Transversale Schnittebene: Im Querschnitt der Niere zeigte sich die Markpapille zum Hilus hin zapfenförmig ausgezogen. Auch hier war die Grenzfläche zwischen Zona interna und externa sowie die halbmondförmige äußere Markzone sichtbar. Die Rinde umgab, ausgenommen im Hilusbereich, das Mark kranzförmig und wurde von der umgebenden Kapsel begrenzt. Durch genau im Hilus renalis erfolgte Schnittführung waren auch aus- bzw. eintretende Gefäße und der Harnleiter ersichtlich (s. Abb. 32).

Das Nierenmark war im Ultraschallbild nahezu anechogen. Die Grenzfläche zwischen Zona interna und externa wurde durch einen echoreichen Streifen sichtbar. Die eher feinkörnige, mittelgradig echogene Nierenrinde stellte sich im Vergleich zu Leber und Milz am echoreichsten dar. Als äußerste Schicht konnte ein deutlicher, sehr echoreicher Kapselreflex registriert werden.

Benachbarte Strukturen: Insgesamt umgab die Niere echogenes, grobkörniges Fettgewebe. Kranial schloss sich die in ihrer Echogenität dem Nierenmark entsprechende Nebenniere an. Die echofreien Gefäße zur Versorgung der Niere sowie der Ureter waren am medial gerichteten Nierenhilus zu lokalisieren. Im rechten Transversalschnitt konnten Aorta, V. cava caudalis und V. portae gemeinsam mit der Niere gleichzeitig dargestellt werden (s. Abb. 33). Lateral grenzte je nach Ernährungszustand des Tieres direkt die Bauchwand an bzw. wurde eine mehr oder weniger dicke Fettschicht sichtbar.

	Rechte Niere (n=13)			Linke Niere (n=13)		
	Länge	Breite	Dicke	Länge	Breite	Dicke
Max	20,6	12,8	11,7	22,0	11,5	11,0
Min	15,1	10,0	9,1	15,4	7,7	8,4
Median	18,1	11,1	10,1	16,6	10,3	9,42

Tab. 4: Sonographisch ermittelte Maße der Nieren in Millimetern

Die Messungen der rechten und linken Niere erfolgten in allen drei Standardschnittebenen und werden in Tab. 4 präsentiert.

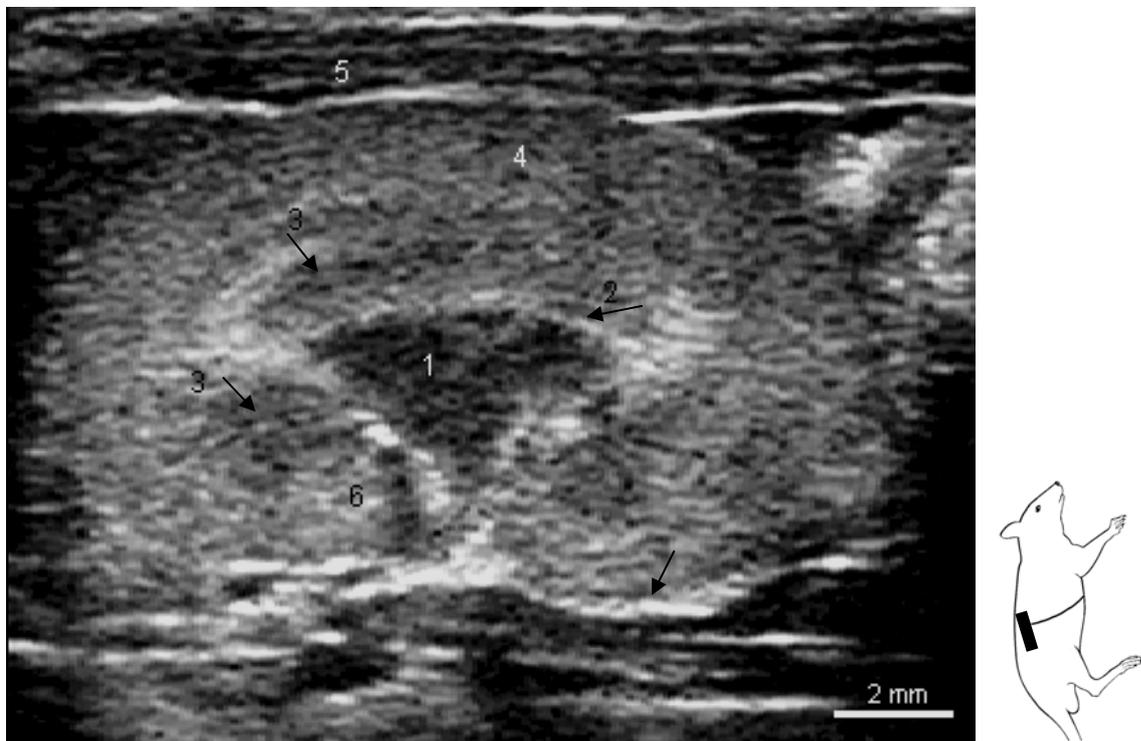


Abb. 30: rechte Niere, Dorsalschnitt

- 1 Zona interna medullae (Papille)
- 2 Grenze zwischen Zona interna und Zona externa medullae
- 3 Zona externa medullae
- 4 Cortex renis
- 5 Capsula renis
- 6 Hilus renalis

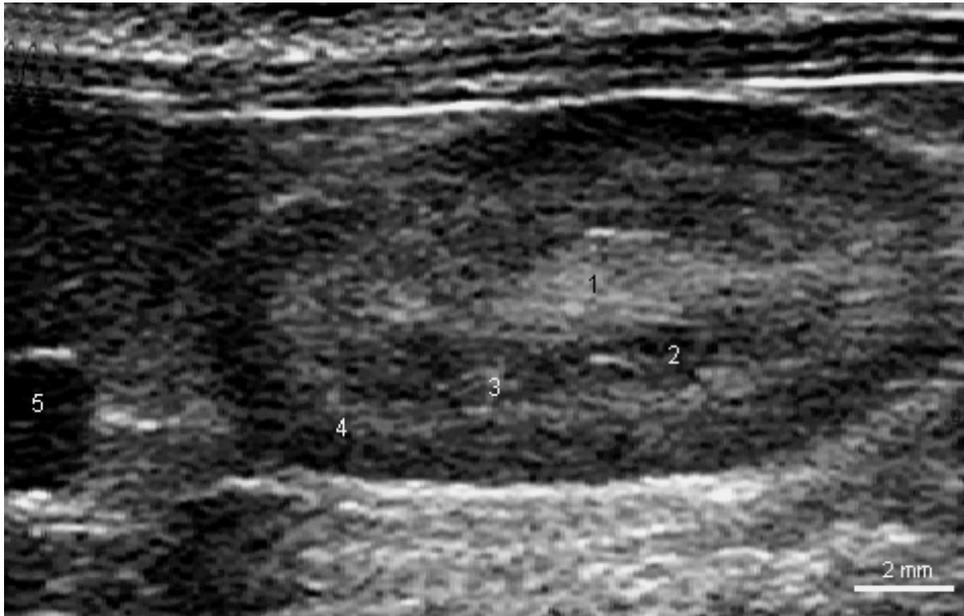


Abb. 31: rechte Niere, Sagittalschnitt von dorsal

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 1 Sinus renalis | 4 Cortex renis |
| 2 Markpyramiden | 5 Gl. adrenalis dext. |
| 3 Columna renalis | |



Abb. 32: rechte Niere, Transversalschnitt

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1 Cortex renis | 3 Zona interna medullae (Papille) |
| 2 Zona externa medullae | 4 Sinus renalis |

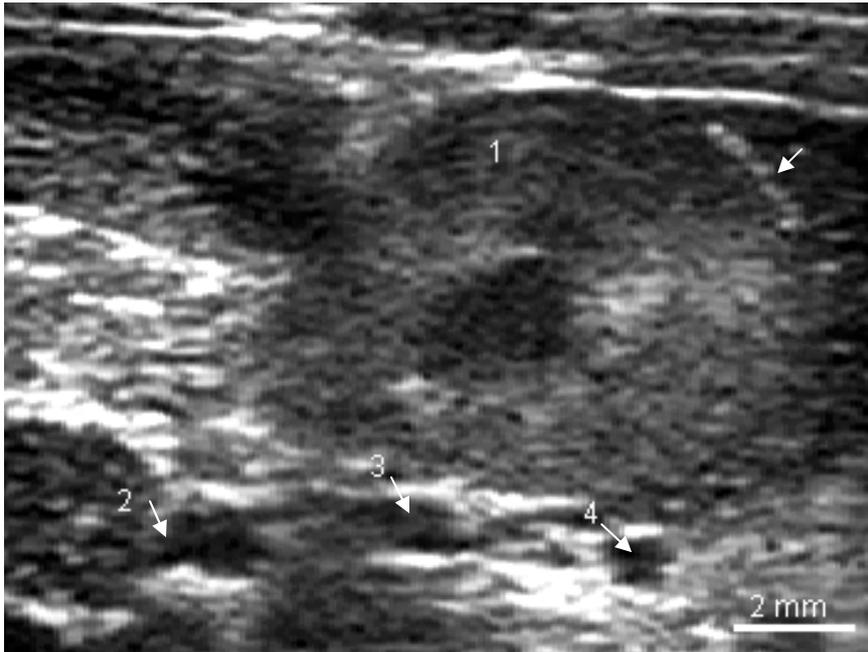


Abb. 33: rechte Niere, Transversalschnitt

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1 Medulla renis | 4 Aorta |
| 2 Cortex renis | 5 V.cava caudalis |
| 3 Capsula renis | 6 V. portae |

4.5.2 Harnleiter

Der Ureter konnte lediglich direkt bei seinem Austritt aus der Niere in Dorsal- oder Transversalschnitten direkt durch den Hilus renalis identifiziert werden. Sein weiterer Verlauf war in keinem Fall sonographisch darstellbar.

4.5.3 Harnblase

Wie bereits in Kapitel 3.3.6 erwähnt, wurde die Harnblase als erstes Organ in der Ultraschalluntersuchung aufgesucht, um eine Verfeinerung der Geräteeinstellungen individuell für das aktuell zu untersuchende Tier vorzunehmen. Da bekanntlich der physiologische Harnblaseninhalte (Urin) den Ultraschallstrahl nicht reflektiert, wurde das Echo dieser Flüssigkeit mittels der Gesamtverstärkung möglichst schwarz, also anechogen eingestellt.

4.5.3.1 Untersuchungstechnik

Es wurden Transversal- und Sagittalschnitte erzeugt. Um die gesamte Blase sondieren zu können, wurde der Schallkopf zunächst längs in der Medianen zwischen Nabel und Schambein platziert und paramedian nach rechts und links verschoben. Für die Transversalebene wurde der Schallkopf quer zwischen den Oberschenkeln auf-

gesetzt und nach kranial und kaudal versetzt. Die Tatsache, dass die Ratten zu Beginn der Untersuchung meist Harn absetzten, stellte sich zunächst als Problem dar, da ein gewisser Füllungszustand der Harnblase zu ihrer sonographischen Beurteilung unerlässlich war. In diesen Fällen wurde mit der Sonographie der anderen Organe fortgefahren. Die Harnblase füllte sich stets innerhalb kurzer Zeit wieder und konnte nachträglich untersucht werden.

4.5.3.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Je nach Füllungszustand stellte sich die Harnblase im Transversalschnitt rund bis queroval, im Sagittalschnitt rund bis birnenförmig dar (Abb. 34). Abgesehen von ihrem Füllungszustand wurde die Form der Harnblase zum Teil auch durch benachbarte Darmabschnitte, den Uterus bzw. die akzessorischen Geschlechtsdrüsen beeinflusst (Abb. 35). Das ringförmige Reflexband der Harnblasenwand sowie das echoarme Lumen grenzten sich hervorragend vom perivesikulären, grobkörnigen Fettgewebe ab.

Organstruktur: Das homogene, reflexreiche Echo der Harnblasenwand zeigte sich nach innen und außen scharf und glatt sowie – wiederum füllungsabhängig – unterschiedlich dick, wobei es sich bei größerer Ausdehnung der Harnblase dünner darstellte. Die anatomischen Schichten der Harnblasenwand ließen sich bei keinem der untersuchten Tiere differenzieren. Der Blaseninhalt war bei den meisten der Tiere nahezu echofrei. 5 von 25 Ratten zeigten trotz des Fehlens klinischer Symptome einer Zystitis reflexreiche, kleine Echos im Lumen.

Benachbarte Strukturen: Nach kaudal wurde die Verjüngung zum Harnblasenhals deutlich. Dorsal angrenzend zeigten sich Colon descendens bzw. Rektum sowie bei weiblichen Tieren der Uterus (Abb. 35). Bei männlichen Tieren schmiegte sich der Lobus dorsolateralis der Prostata dorsal, ventral der Lobus ventralis prostatae an den Harnblasenhals (Abb. 34). Lateral der Harnblase zeigte sich die Glandula vesicularis.

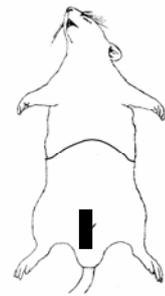
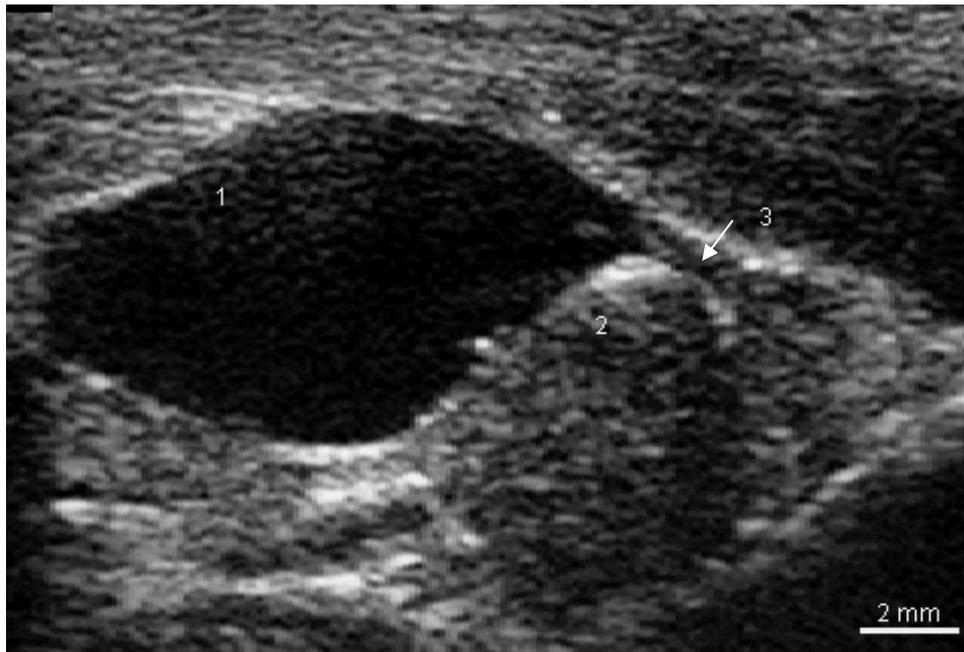


Abb. 34: Harnblase bei einem Rattenbock, Sagittalschnitt

- 1 Vesica urinaria
- 2 Prostata
- 3 Urethra

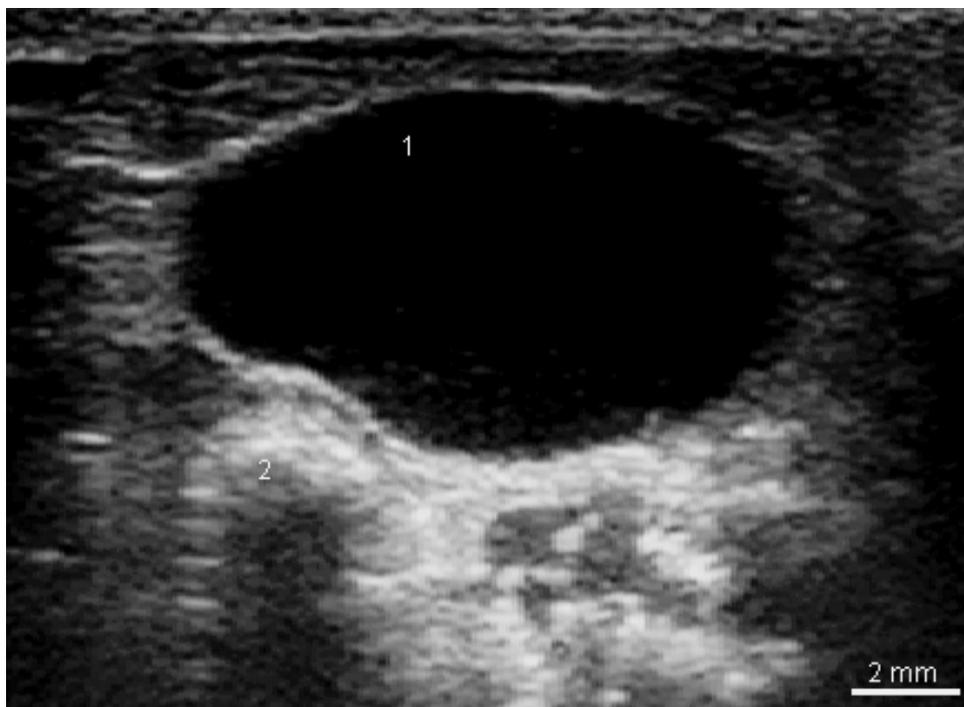


Abb. 35: Harnblase bei einem Weibchen, Transversalschnitt

- 1 Vesica urinaria
- 2 Rectum
- 3 Uterus sinister

4.5.4 Harnröhre

4.5.4.1 Untersuchungstechnik

In beiden Schnittebenen dem stetig enger werdenden Lumen des Harnblasenhalses kaudal folgend, konnte bei vier von vierzehn weiblichen und bei sechs von elf männlichen Tieren ein kurzer Abschnitt der Urethra dargestellt werden (Abb. 34). Das knöcherne Becken verhinderte aber die Untersuchung ihrer kaudalen Anteile.

4.5.4.2 Sonographische Darstellung

Die Urethra konnte nur in der Weiterverfolgung des Harnblasenhalses als solche identifiziert werden. Sie zeigte sich in der Transversalebene schlicht als echoarmer runder Punkt mit konstantem Durchmesser und je einem schallkopfnahen und einem schallkopffernen hellen Wandreflex.

Als dünner, echoarmer Strang mit deutlichen Wandreflexen wurde die Urethra im Sagittalschnitt sichtbar. Beim männlichen Tier wurde sie zwischen Lobus dorsolateralis und Lobus ventralis der Prostata aufgefunden (Abb. 34).

4.6 Weibliche Geschlechtsorgane

4.6.1 Eierstöcke

4.6.1.1 Untersuchungstechnik

Eine Darstellung der Ovarien gelang in der dorsalen und transversalen Ebene. Die Ovarien der Ratte waren jedoch schon allein aufgrund ihrer Größe (laut HEBEL und STROMBERG, 1986 5*4*3 mm) nicht leicht zu identifizieren. Ihre Darstellung erforderte in verstärktem Maße Erfahrung und Geduld des Untersuchers. So gelang die Exploration des rechten Ovars bei sechs von vierzehn, die des linken Ovars bei acht von vierzehn weiblichen Ratten. Am sinnvollsten erwies es sich, zunächst die jeweilige Niere im Dorsalschnitt darzustellen (siehe Kapitel 4.5.1). Daraufhin wurde der Schallkopf um wenige Millimeter nach kaudal verschoben, bis die Niere im linken Drittel des Ultraschallbildes erschien. Das Ovar wurde anschließend durch leichtes ventrodorsales Kippen des Schallkopfes sowie durch minimale kranioventrale Verlagerung des Transducers geortet. Die Abbildung des Querschnitts erfolgte durch Drehen des Schallkopfes aus dieser Position um 90°.

Ähnlich den Nebennieren liegen auch die Ovarien beider Seiten auf etwa gleicher Höhe und mussten deshalb im Bezug zu den beiden auf unterschiedlichem Niveau befindlichen Nieren an verschiedenen Stellen aufgesucht werden: Das linke Ovar befand sich eher im Bereich des kaudalen Drittels der Niere, wurde aber auch weiter kaudal beobachtet. Das rechte Ovar war stets mit einigen Millimetern Abstand zum kaudalen Pol der rechten Niere sichtbar (vgl. Abb. 36 und Abb. 37). Beidseits befanden sich die Ovarien lateral der jeweiligen Niere, nahezu direkt der seitlichen Bauchwand anliegend.

4.6.1.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Auf der linken wie auf der rechten Körperseite konnten die beiden im Längsschnitt bohnenförmigen, im Querschnitt runden Eierstöcke meist nur schemenhaft dargestellt werden, da sie sich nur mäßig vom umgebenden Fettgewebe abgrenzen ließen. Ihre Ränder zeigten eine unregelmäßige Oberfläche ohne deutliche Kapselreflexe (Abb. 36 und Abb. 37).

Organstruktur: Die Ovarien der weiblichen Ratte zeigten mittlere Echogenität mit eher feinkörniger Struktur, ähnlich der benachbarten Nierenrinde. Das umliegende Fett erwies sich als echogener und grobkörniger (Abb. 36 und Abb. 37). Eine Differenzierung von Rinde und Mark war in nur einem Fall möglich. Follikel oder Gelbkörper konnten bei keinem der untersuchten Tiere eindeutig identifiziert werden.

Benachbarte Strukturen: An die hauptsächlich von hyperechogenem, grobkörnigem retroperitonealem Fett umgebenen Ovarien grenzte kranial die jeweilige Niere, deren Rinde eine ähnliche Echogenität wie das Parenchym der Ovarien zeigte (Abb. 36 und Abb. 37). Lateral schlossen sich je nach Ernährungszustand des Tieres mehr oder weniger direkt die Schichten der lateralen Bauchwand an. Medial und kaudal betteten sich Dünndarmschlingen in die Nachbarschaft.

	Rechtes Ovar (n=6)		Linkes Ovar (n=6)	
	Länge	Breite	Länge	Breite
Max	6,0	3,4	5,5	2,7
Min	3,7	2,8	3,3	1,6
Median	5,1	2,9	4,4	2,5

Tab. 5: Sonographisch ermittelte Maximal- und Minimalwerte der Länge und Breite des Ovars in Millimetern

Messungen am Rattenovar gestalteten sich aufgrund seiner geringen Größe und schlechten Abgrenzbarkeit zur Umgebung schwierig. Die Ergebnisse werden in Tab. 5 gezeigt.

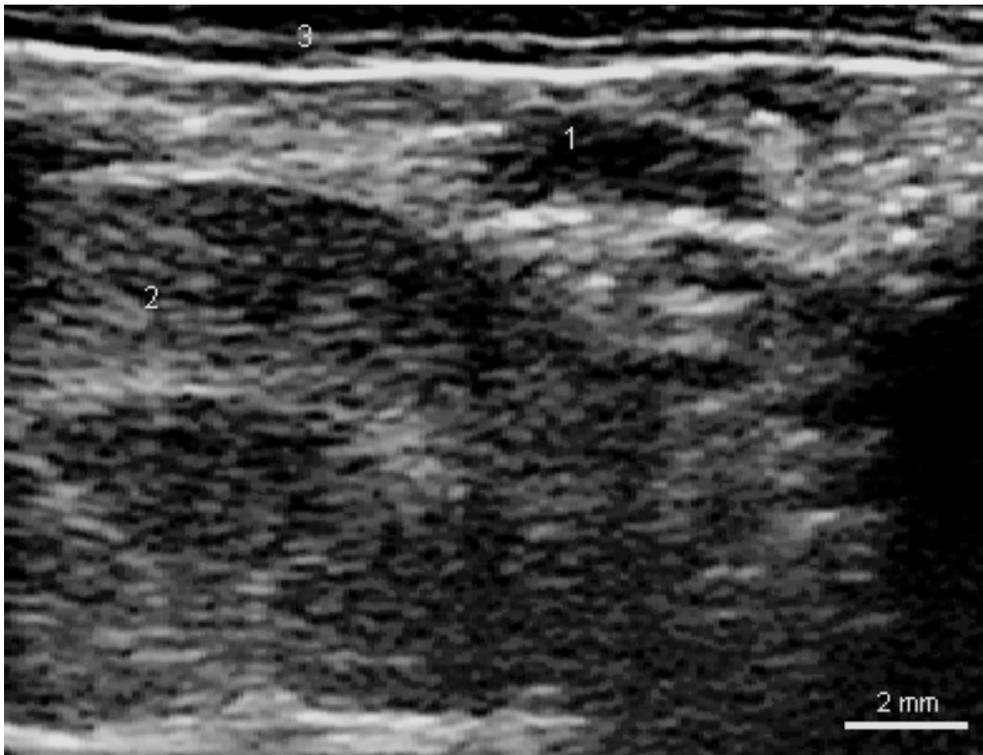


Abb. 36: linkes Ovar, Dorsalschnitt

- 1 Ovarium sinistrum
- 2 Ren sinister
- 3 Bauchwand

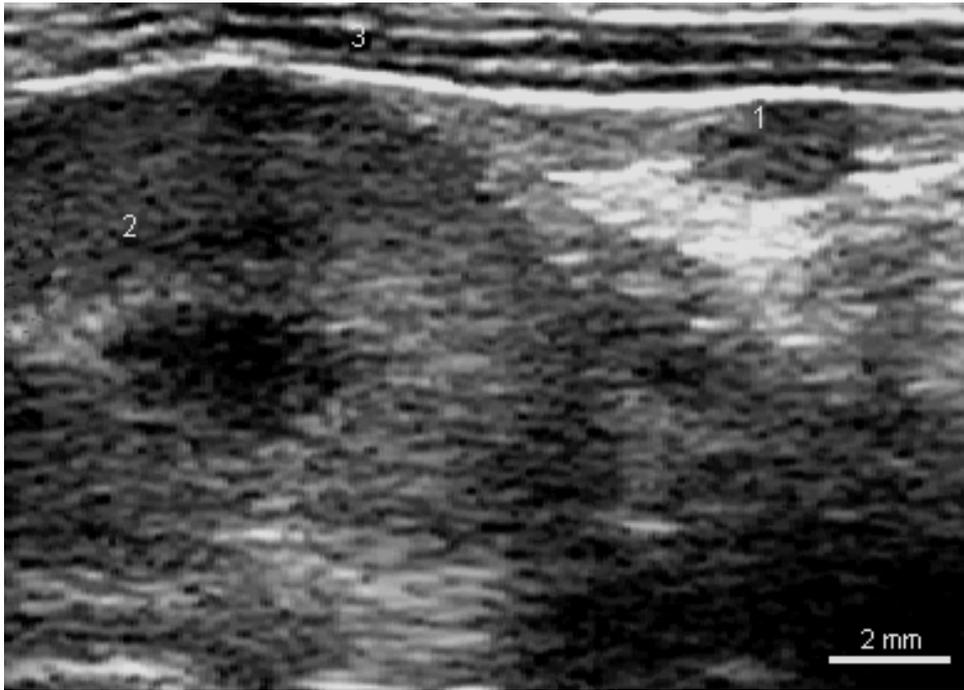


Abb. 37: rechtes Ovar, Dorsalschnitt

- 1 Ovarium dextrum
- 2 Ren dexter
- 3 Bauchwand

4.6.2 Gebärmutter

Längs- und Querschnitte der beiden Uteri wurden durch Sagittal- und Transversalschnitte des Rattenkörpers erzielt, wobei die Harnblase als Orientierungshilfe diente. Querschnitte waren bei allen weiblichen, auch nulliparen Tieren, regelmäßig reproduzierbar. Längsschnitte ließen sich jedoch nur bei sieben von vierzehn weiblichen Tieren darstellen.

4.6.2.1 Untersuchungstechnik

Um die Längsschnitte der beiden Uteri darzustellen, wurde im Sagittalschnitt der Schallkopf zwischen Nabel und Schambein positioniert und die Mediane der Harnblase aufgesucht. Von hier ausgehend wurde der Transducer nach rechts und links paramedian verschoben.

Transversalschnitte wurden durch Ankopplung zwischen den Oberschenkeln durch die kaudale Hälfte der Harnblase erzeugt, wodurch der parallel verlaufende Abschnitt der beiden Uteri angeschnitten wurde. Dieser konnte nach kaudal bis zum knöchernen Beckenboden verfolgt werden. Die Trennung der beiden „Hörner“ wurde durch

die Bewegung des Transducers nach kranial und rechts bzw. links paramedian nachvollzogen. Die Bifurkation konnte jedoch in keinem Fall dargestellt werden.

4.6.2.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Der Uterus der Ratte ließ sich vor allem im Längsschnitt oft nur mäßig von seiner Umgebung differenzieren. Die Uteruswand verursachte meist ein nur schwaches Echo. Einzelne Schichten konnten nicht dargestellt werden. Die Oberfläche des im Querschnitt runden, im Längsschnitt schlauchförmigen Uterus war stets glatt.

Organstruktur:

Sagittale Schnittebene: Die Gebärmutter wurde dorsal der Harnblase dicht anliegend als mehr oder weniger dicker, feinkörniger Schlauch mit unterschiedlicher, meist mittlerer Echogenität aufgefunden (Abb. 38). Außer in der Trächtigkeit ließen sich die Hörner in keinem Fall kranial der Harnblase verfolgen.

Transversale Schnittebene: Die kreisrunden Querschnitte der beiden Uteri stellten sich in ihrem parallel verlaufenden Teil als zwei dicht nebeneinander liegende Strukturen direkt dorsal der Harnblase dar (Abb. 39). Die solitären „Uterushörner“ wurden weiter kranial meist im Zwickel zwischen Rektum und Harnblase aufgefunden (Abb. 40). Der Uterus lag der Harnblase zum Teil so nah an, dass deren Lumen eingeeengt wurde. Durchmesser und Echogenität waren je nach Zyklusstand sehr unterschiedlich. Die Bandbreite von Echogenität und –textur reichte von hypo- bis hyperechogen und von grob- bis feinkörnig. In einigen Fällen war ein anechogenes Lumen sichtbar.

Benachbarte Strukturen: Ventral des Uterus stellte sich die Harnblase dar, die mit ihrem anechogenen Inhalt als Schallfenster für die Gebärmutter diente. Das Rektum als anatomisch dorsal der Gebärmutter liegendes Organ konnte vor allem im Längsschnitt nicht regelmäßig an entsprechender Stelle ausgemacht werden, zeigte sich jedoch in seinem auffälligen, runden Querschnitt mit einem deutlichen Schallschatten. Kaudal schränkte das knöcherne Becken die Sicht ein.

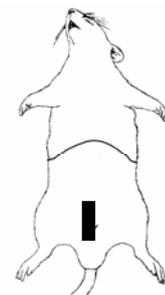


Abb. 38: Uterus, Sagittalschnitt

- 1 Uterus
- 2 Vesica urinaria

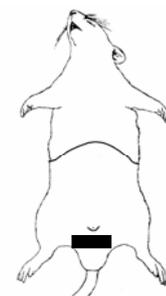
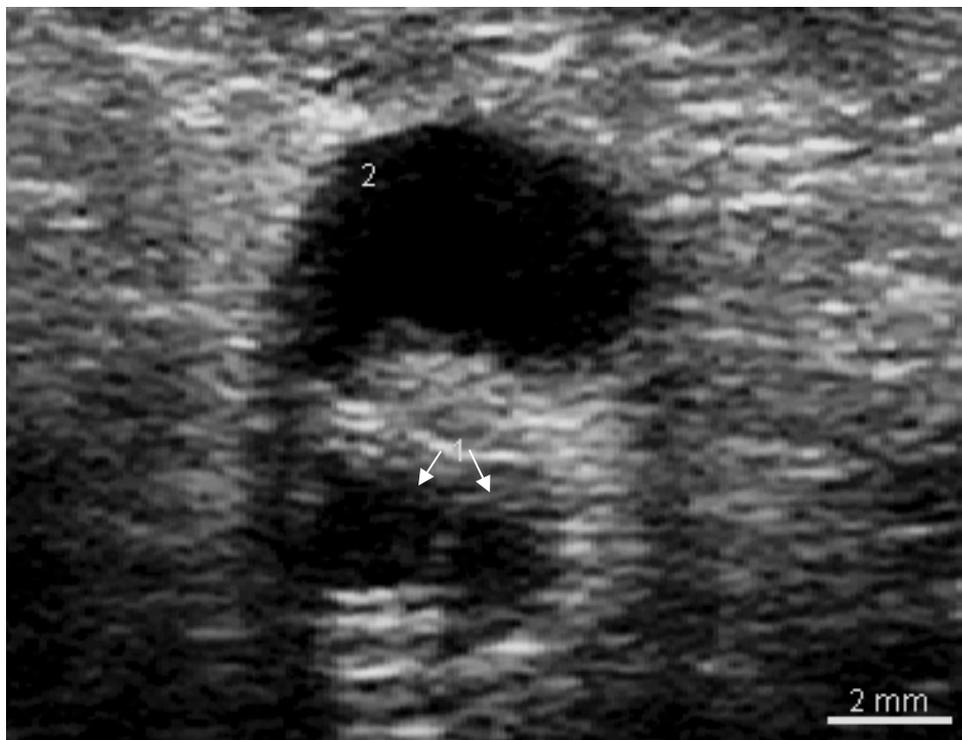


Abb. 39: Uterus unmittelbar kranial der Cervix uteri, Transversalschnitt

- 1 Uterus dexter et sinister
- 2 Vesica urinaria

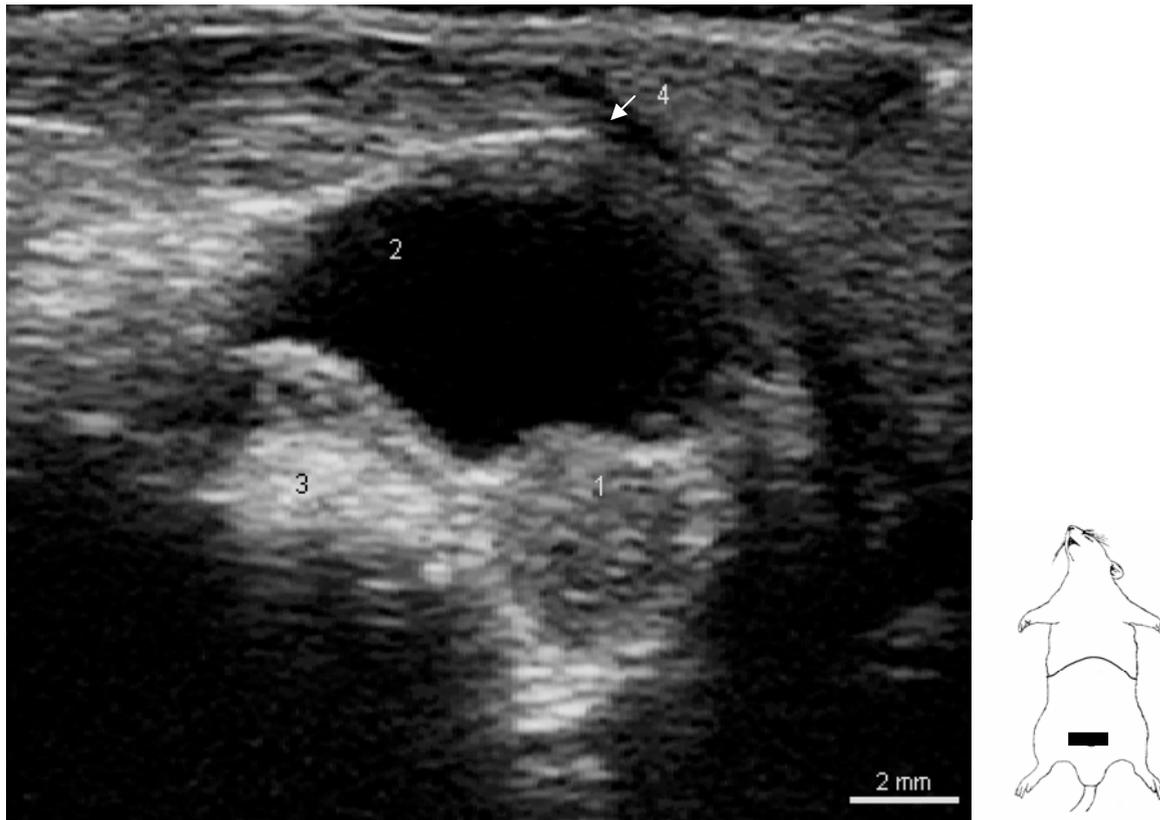


Abb. 40: Uterus, Transversalschnitt

- 1 Uterus sinister
- 2 Vesica urinaria
- 3 Rectum
- 4 linke Bauchwand

4.7 Männliche Geschlechtsorgane

4.7.1 Hoden und Nebenhoden

4.7.1.1 Untersuchungstechnik

Zur Untersuchung des Hodens wurde der Schallkopf sagittal und transversal direkt auf den Hoden aufgesetzt. Die Darstellung von Nebenhodenkopf und -schwanz erfolgte durch kraniales bzw. kaudales Verschieben des Transducers (s. Abb. 42 und Abb. 43). Der medial des Hodens gelegene, sehr dünne Nebenhodenkörper konnte nur im Transversalschnitt und auch hier nur marginal angesprochen werden (s. Abb. 44).

4.7.1.2 Sonographische Darstellung

Organkontur: Der Hoden war im Längsschnitt oval oder eierförmig (Abb. 41), im Querschnitt nahezu rund (Abb. 44). Seine glatte Kapsel sowie das Septum scroti hinterließen bei senkrechtem Anschallwinkel einen deutlichen Reflex. Der Nebenhodenkopf lag kappenartig am kranialen Hodenpol, der Nebenhodenschwanz entfernte sich keulenartig vom kaudalen Hodenende. Ihre Oberfläche zeigte sich im Vergleich zum Hoden eher unregelmäßig.

Organstruktur: Das Hodenparenchym präsentierte feinkörnige Homogenität bei mittlerer Echogenität. Ein Mediastinum testis konnte nicht dargestellt werden.

Der homogene Nebenhoden besaß deutlich geringere Echogenität als der Hoden, bei ebenfalls feinkörniger Struktur.

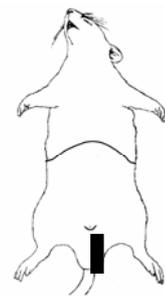
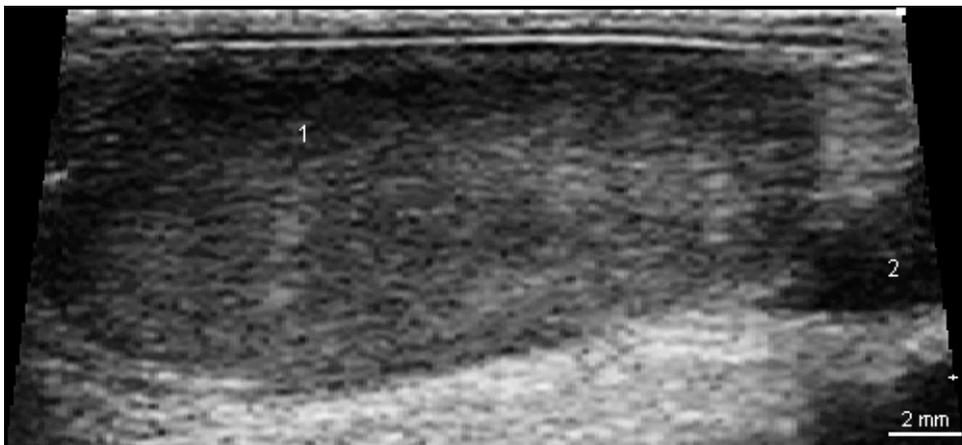


Abb. 41: Hoden, Sagittalschnitt

- 1 Testis sinister
- 2 Cauda epididymidis

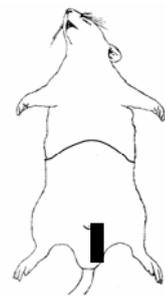
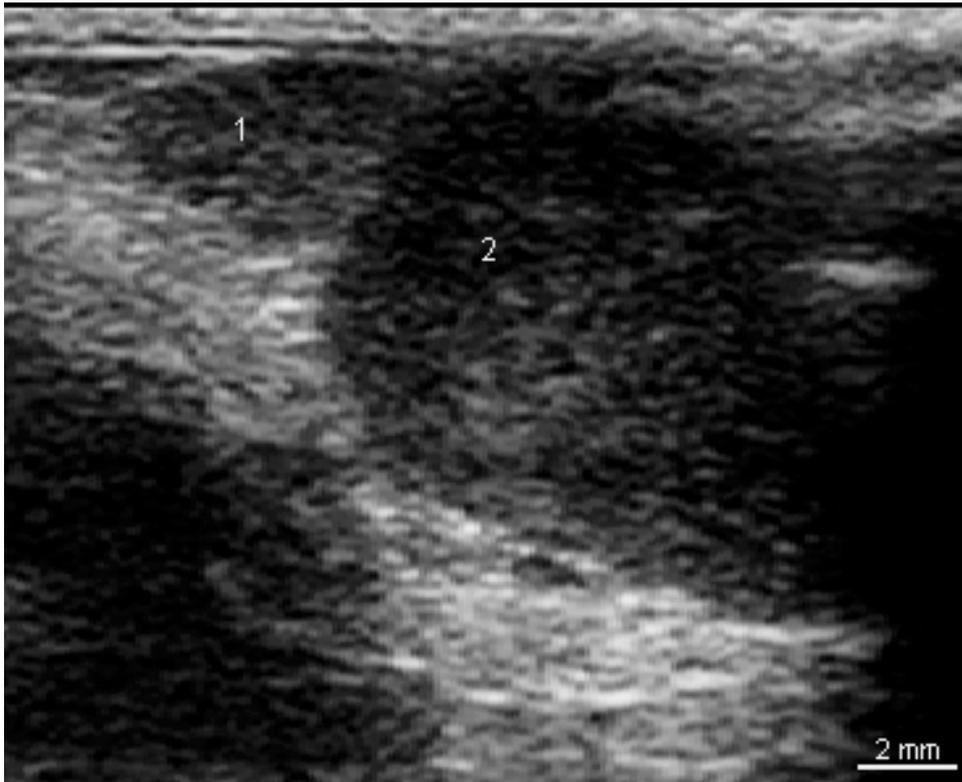


Abb. 42: Nebenhodenkopf, Sagittalschnitt

1 Caput epididymidis

2 Testis sinister, kranialer Pol

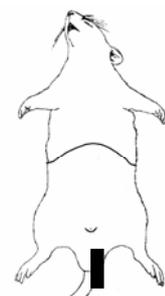


Abb. 43: Nebenhodenschwanz, Sagittalschnitt

1 Cauda epididymidis

2 Testis sinister, kaudaler Pol

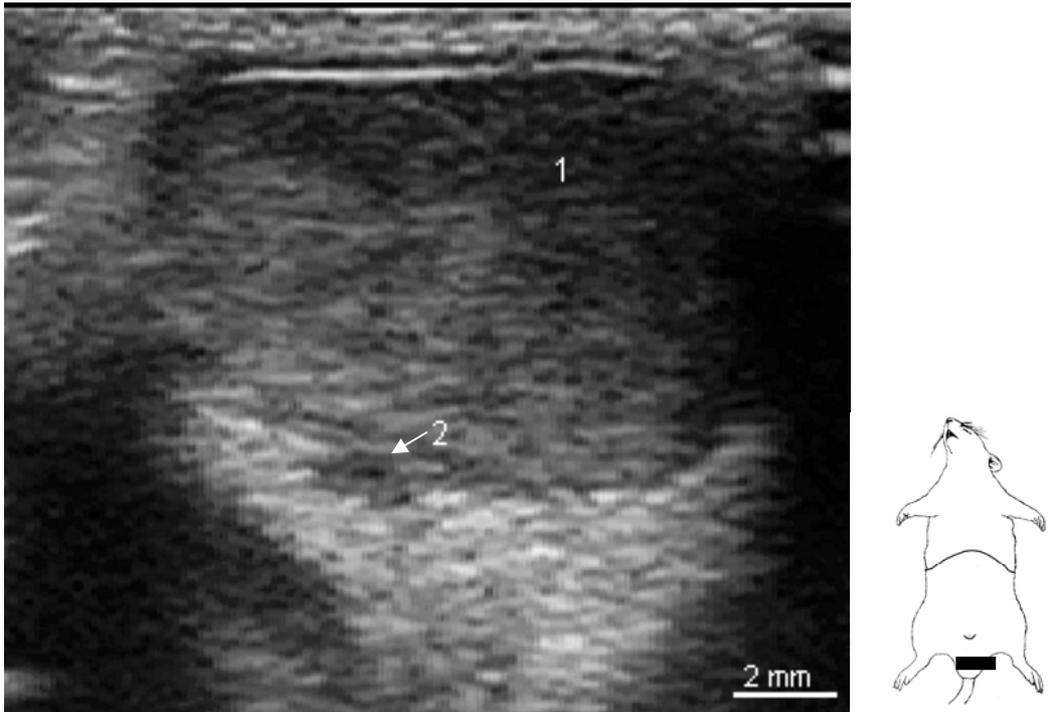


Abb. 44: Hoden, Transversalschnitt

1 Testis sinister

2 Corpus epididymidis

4.7.2 Akzessorische Geschlechtsdrüsen

Zu den bei der Ratte sonographisch darstellbaren akzessorischen Geschlechtsdrüsen gehören die Glandula vesicularis sowie die Prostata mit ihrem Lobus ventralis und dem Lobus dorsolateralis. Die Koagulationsdrüse, die sich an die konkave, ventromediale Fläche der Samenblase schmiegt, ist mittels Ultraschall nicht von dieser zu differenzieren.

4.7.2.1 Untersuchungstechnik

Es wurde die transversale und sagittale Schnittebene geschallt, wobei Harnblase, Harnblasenhals und Urethra als Orientierungshilfen dienten.

Standardschnitte für die Darstellung der akzessorischen Geschlechtsdrüsen wurden in Anlehnung an das Schema von SUZUKI *et al.*, 1991 erstellt. Abb. 45 zeigt die im Folgenden beschriebenen Schnittebenen.

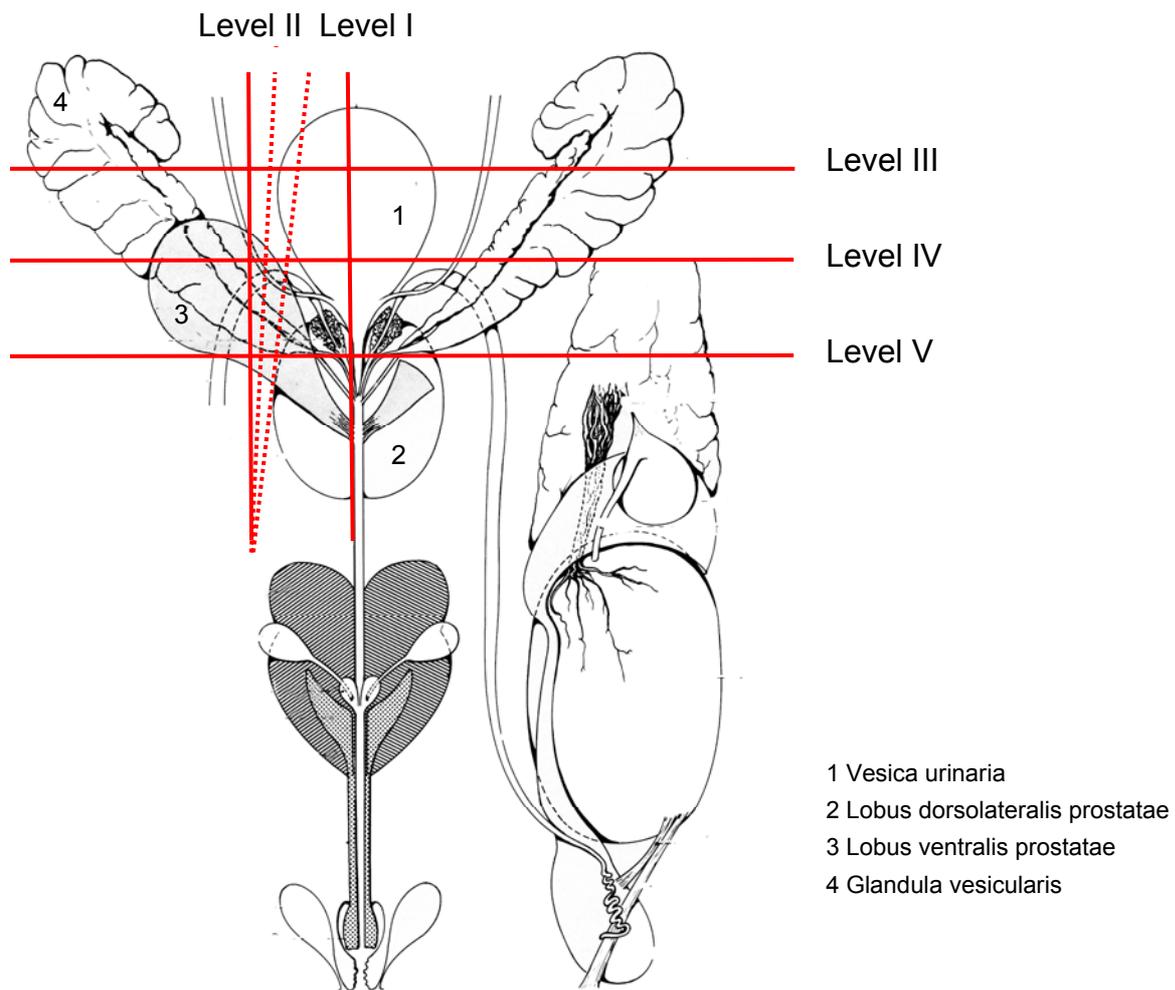


Abb. 45: Schema der Standardschnittebenen zur Darstellung der akzessorischen Geschlechtsdrüsen
Modifiziert nach HEBEL und STROMBERG, 1986

Sagittalschnitte:

Level I: Der Transducer wurde in der Körpermedianen längs zur Körperachse zwischen Nabel und Os pubis aufgesetzt.

Level II: Ausgehend von Level I ergab paramedianes Verschieben des Schallkopfes nach rechts bzw. links um ca. einen Zentimeter die zweite Standardschnittebene. Bei mäßiger Blasenfüllung war die Harnblase in strikt axialer Schallkopfposition nicht immer mitdarstellbar. Leichtes kraniomediales Kippen brachte die Harnblase ins Bild.

Transversalschnitte:

Level III: Der Schallkopf wurde auf der Hälfte zwischen Tuber coxae und Acetabulum quer über das ventrale Abdomen positioniert.

Level IV: Um die vierte Schnittebene darzustellen, wurde der Schallkopf zwischen den Positionen von Level III und V und damit im letzten kaudalen Drittel des Os ilium aufgesetzt.

Level V: Die dritte Schnittebene führt direkt durch die beiden Acetabuli.

4.7.2.2 Sonographische Darstellung

Sagittalschnitte:

- Level I: Der Längsschnitt in der Medianen führte zur deutlichen Darstellung des ventralen und dorsolateralen Prostatalappens². Beide zeigten sich dem Harnblasenhals bzw. der Urethra angelagert, wobei der ventrale Lappen keilförmig ventral des Harnblasenhalses und der dorsolaterale Lappen in eher ovoiden Dimensionen dorsal des Collum vesicae lokalisiert war. Es konnte eine deutliche Korrelation zwischen der Größe der Prostatalappen und dem Alter der untersuchten Rattenmännchen festgestellt werden: Je älter die Tiere waren, desto größere Ausmaße zeigten die beiden Prostatalappen bei der sonographischen Untersuchung (Abb. 46).
- Level II: Durch seitliches Verschieben des Transducers verschwand der Lobus dorsolateralis vom Bildschirm und der Lobus ventralis präsentierte sich solitär, länglich bis oval ventral des Harnblasenhalses und der Urethra. Die Samenblasendrüse sowie die Koagulationsdrüse konnten in den Sagittalschnitten nicht eindeutig identifiziert werden (Abb. 47).

Transversalschnitte:

- Level III: Es wurden regelmäßig rechts und links der Vesica urinaria mittelgradig echogene, mittelkörnige, angedeutet gelappte, keulenförmige Strukturen ausgemacht, die aufgrund ihrer Lokalisation, Form und Struktur als Glandulae vesiculares angesprochen wurden (Abb. 48).
- Level IV: Etwas weiter kaudal ließ sich neben der Samenblasendrüse auch der, im Vergleich zur Gl. vesicularis echoärmere, paarige Lobus ventralis prostatae auf-

² Anmerkung: In Abb. 45 scheint der ventrale Prostatalappen nicht nicht über das Level I erfassbar zu sein. Ursache dafür ist lediglich eine durch die Schematisierung entstandene verzerrte Darstellung der anatomischen Verhältnisse.

finden, der sich jeweils ventrolateral der Harnblase befand und dieser meist kapfenartig anlag. Die Gl. vesicularis zeigte sich auch hier länglich bis keulenförmig (Abb. 49).

- Level V: Im fünften und letzten Schnitt der akzessorischen Geschlechtsdrüsen konnten die beiden Prostatalappen im Querschnitt erfasst werden. Die ventralen Lappen ragten ventrolateral des Harnblasenhalses bzw. der Urethra keulenförmig hervor. Die Lobi dorsolateralis bildeten ein längliches Polster direkt dorsal der Urethra. Meist konnte dorsal des dorsolateralen Lappens das Rektum identifiziert werden (Abb. 50).

Die Prostata zeigte bei der Ratte im Ultraschallbild eine im Vergleich zu ihrer Umgebung (größtenteils Fett) geringere Echogenität mit mittelkörniger Struktur. Die Glandula vesicularis und die Koagulationsdrüse ließen sich nicht voneinander differenzieren. Sie stellten sich im Vergleich zur Prostata etwas echogener mit einer ähnlichen Echotextur dar.

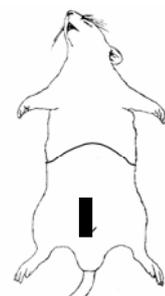


Abb. 46: Standardschnitt der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Level I

- 1 Lobus ventralis prostatae
- 2 Lobus dorsalis prostatae
- 3 Vesica urinaria

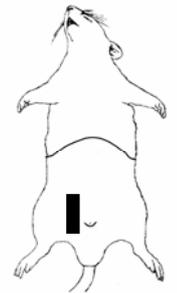
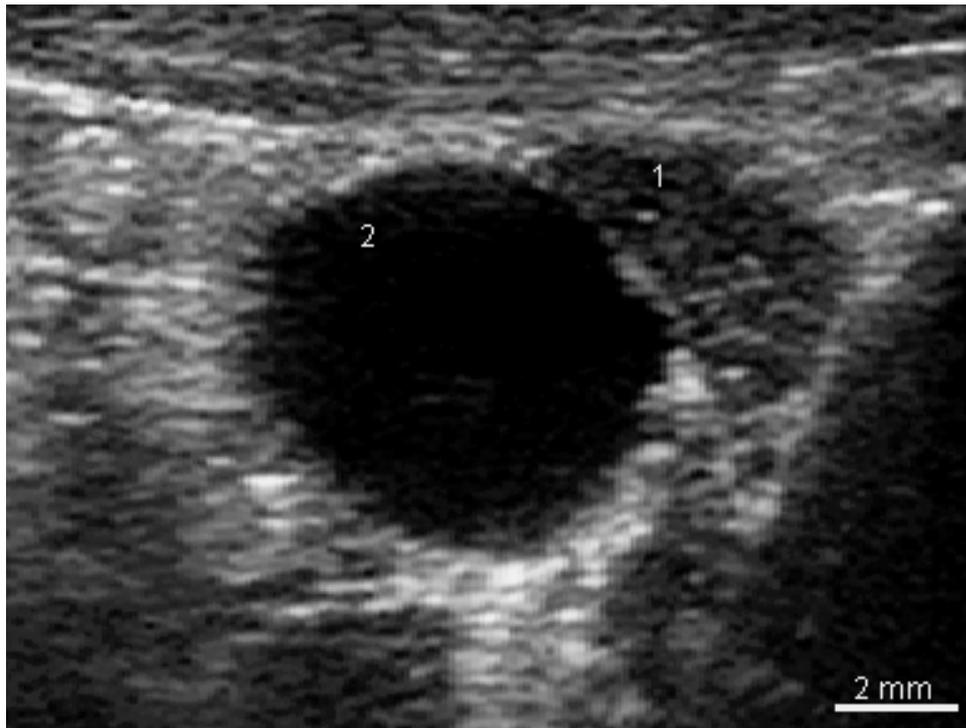


Abb. 47: Standardebene der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Level II

- 1 Lobus ventralis prostatae
- 2 Vesica urinaria

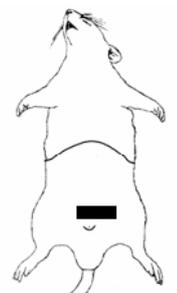


Abb. 48: Standardebene der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Level III

- 1 Gl. vesicularis
- 2 Vesica urinaria
- 3 Colon descendens

4.8 Trächtigkeit

Im Rahmen dieser Arbeit konnten drei Trächtigkeiten weiblicher Ratten mitverfolgt werden. Da die Tiere aus privater Zucht stammten, waren die Kopulationszeitpunkte nicht genau bekannt. Der Tag der Geburt wurde als Tag 21 definiert. Von diesem Zeitpunkt ausgehend wurden die jeweiligen Trächtigkeitstage retrospektiv errechnet. Der früheste Untersuchungstag war nach diesen Berechnungen Tag 10 der Trächtigkeit. Tragende Weibchen zeigten im Vergleich zu nicht trächtigen Tieren ein deutlich gesteigertes Aggressionspotential.

4.8.1.1 Untersuchungstechnik

Am Tag 10 und 11 der Trächtigkeit wurde mit der Standardtechnik zur Darstellung des Uterus zwischen Nabel und Schambein begonnen (siehe Kapitel 4.6.2). Daraufhin wurde der Uterus nach kranial verfolgt und durch Kipp- und Drehbewegungen durchmustert. In späteren Trächtigkeitsstadien (ab dem 12. Tag) war praktisch das gesamte Abdomen mit Föten gefüllt, wobei die Organe der Mutter zunehmend verdrängt wurden. Dadurch genügte eine relativ willkürliche Ankopplung am ventralen und lateralen Abdomen zur Detektion der Fruchtblasen. Eine systematische Untersuchung von kaudal nach kranial in allen Schnittebenen erwies sich als sinnvoll, um den ganzen Uterus abzusuchen und alle Früchte zu registrieren.

4.8.1.2 Sonographische Darstellung

Tag 10: Zu diesem Zeitpunkt war der Embryo in der runden Fruchtblase schon deutlich zu erkennen. Im anechogenen Fruchtwasser zeigten sich ein oder zwei ovoide, stark echogene Reflexe. Die Fruchtblasen waren von der echoreichen, mittelkörnigen Plazenta umgeben (Abb. 51). Außerdem wurden noch „leere“ Uterusabschnitte ohne Fruchtblasen aufgefunden.

Tag 13: Inzwischen konnte ein deutlich differenzierter Embryo dargestellt werden. Kopf und Rumpf waren an dem stark gekrümmten Körper bereits unterscheidbar und das pulsierende Herz war sichtbar. Die Placenta discoidalis zeigte sich halbmondförmig mit mittelkörniger Struktur und mittlerer Echogenität (Abb. 52 und Abb. 53).

Tag 14: Die Scheitel-Steiß-Länge wurde auf 11,9 mm gemessen. Der Embryo zeigt eine geringgradig gestrecktere Haltung als am Vortag. (Abb. 54 und Abb. 55).

Tag 16: Neben dem massiven Größenwachstum war nun die eindeutige Darstellung der Gliedmaßen möglich. Erste Anzeichen einer Ossifikation der Wirbelsäule wurden deutlich (Abb. 56, Abb. 57 und Abb. 58). Die Scheitel-Steiß-Länge betrug 15 mm.

Tag 17: Der Fetus präsentierte sich deutlich gestreckter. Es konnten die Ossifikationen des Schädels, der Wirbelsäule und der Finger dokumentiert werden. Es wurde eine Scheitel-Steiß-Länge von 20 mm gemessen (Abb. 59, Abb. 60 und Abb. 61).

Tag 20: Ein Tag vor der Geburt waren bei einer Scheitel-Steiß-Länge von 27 mm Wirbelsäule, Rippen und Schädelkalotten in ausgeprägter Form identifizierbar. Es gelang die Differenzierung von Herz, Magen und Leber (Abb. 62, Abb. 63 und Abb. 64).

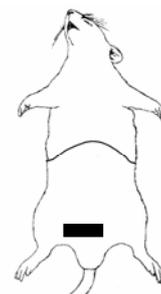
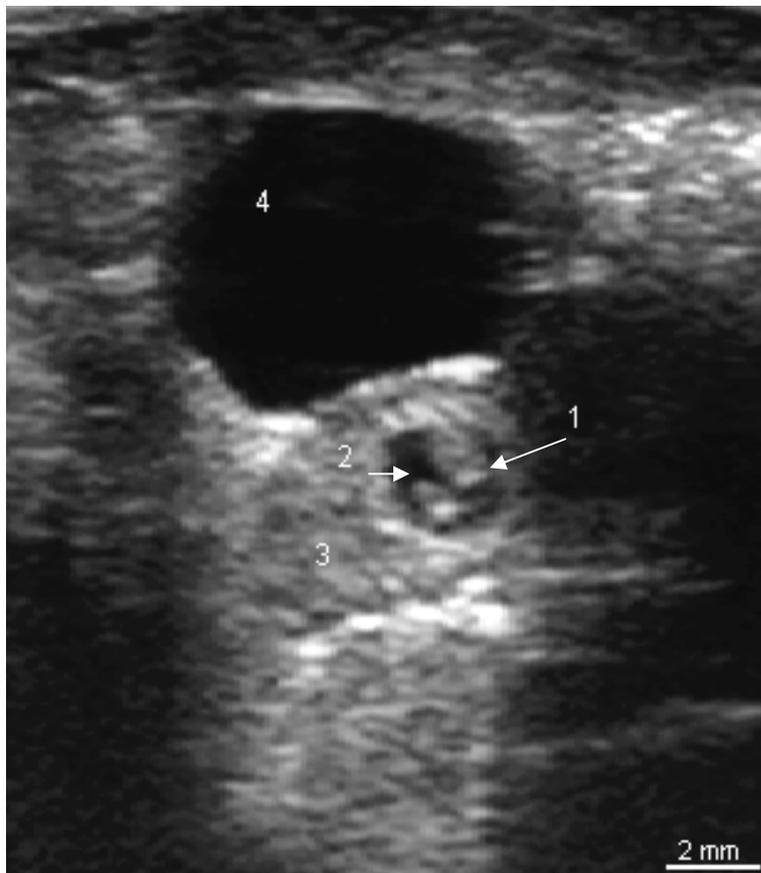


Abb. 51: Frucht am Tag 10 der Trächtigkeit

- 1 Embryo
- 2 Fruchtwasser
- 3 Plazenta
- 4 Vesica urinaria

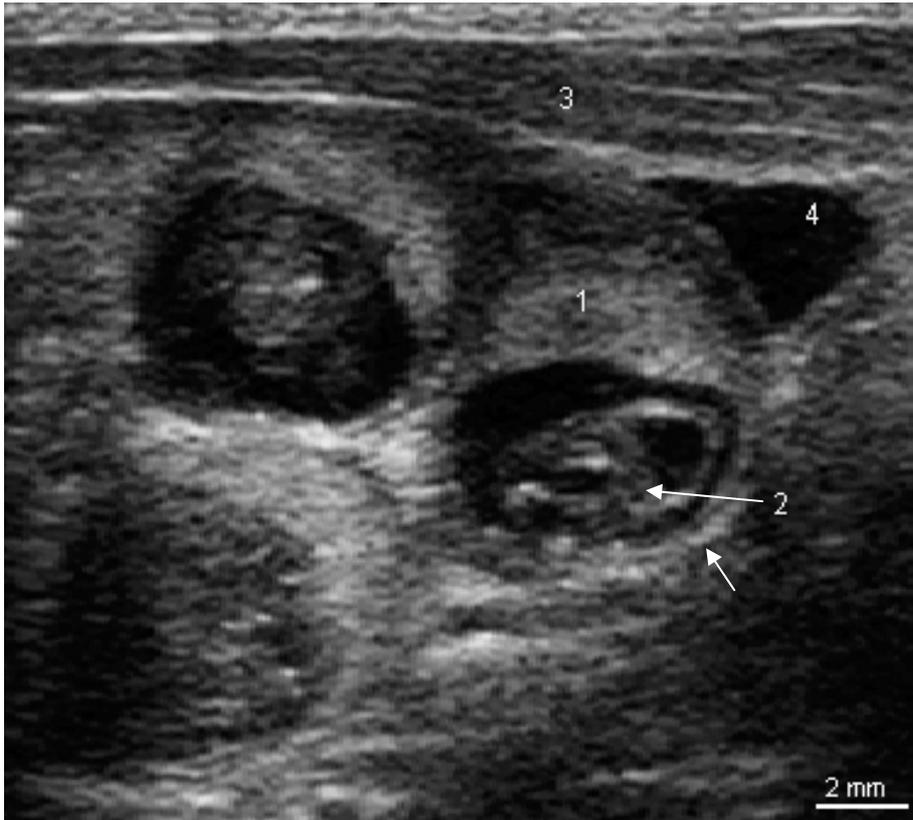


Abb. 52: Früchte am Tag 13 der Trächtigkeit

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 1 Placenta discoidalis | 3 Uteruswand |
| 2 Embryo | 4 Vesica urinaria |

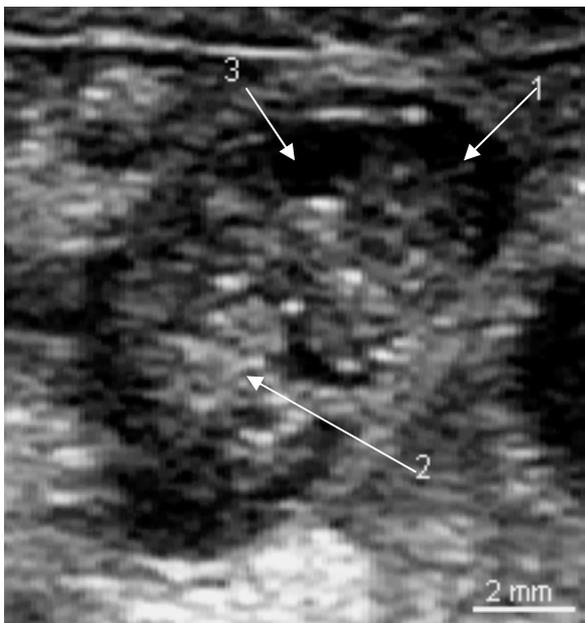


Abb. 53: Frucht am Tag 13 der Trächtigkeit

- | | |
|---------|----------------|
| 1 Kopf | 3 Hirnbläschen |
| 2 Rumpf | |

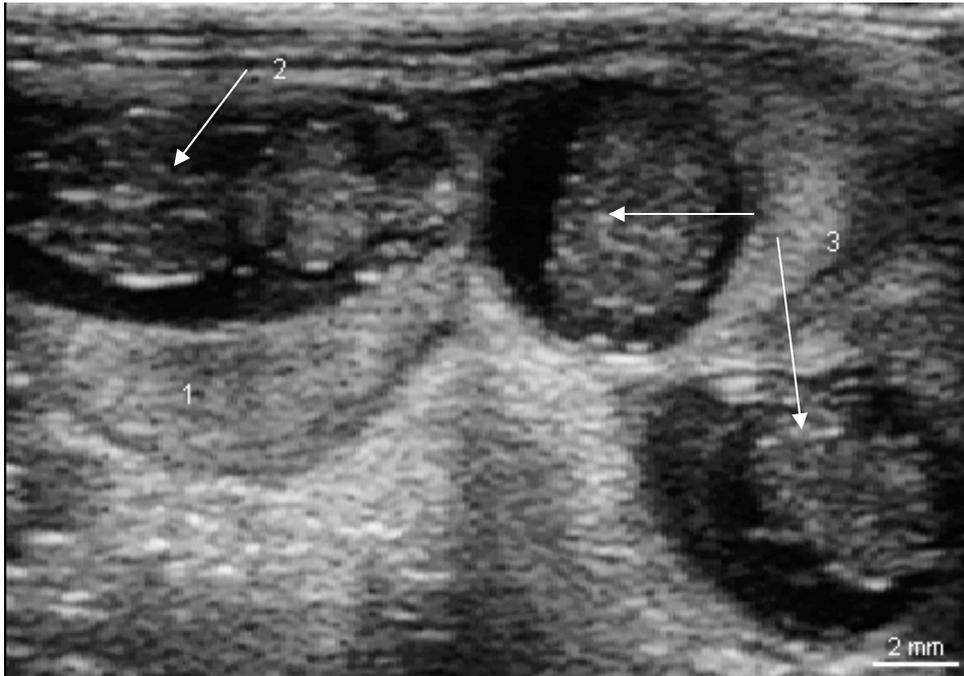


Abb. 54: Früchte am Tag 14 der Trächtigkeit

- 1 Plazenta
- 2 Embryo im Horizontalschnitt
- 3 Embryonen im Transversalschnitt



**Abb. 55: Frucht am 14. Tag im Vergleich zum Paraffinschnitt vom 15. Tag.
Quelle: HEBEL und STROMBERG, 1986**

- 1 Kopf
- 2 Herz
- 3 Schwanz
- 4 Nabelschnur

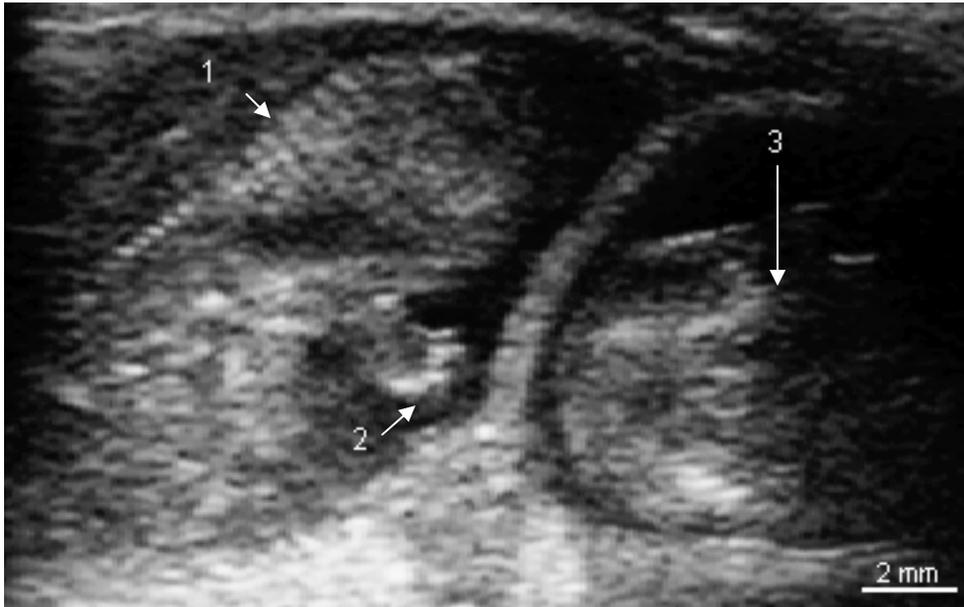


Abb. 56: Früchte am Tag 16 der Trächtigkeit

- 1 Rippen
- 2 Pfote
- 3 zweiter Fetus

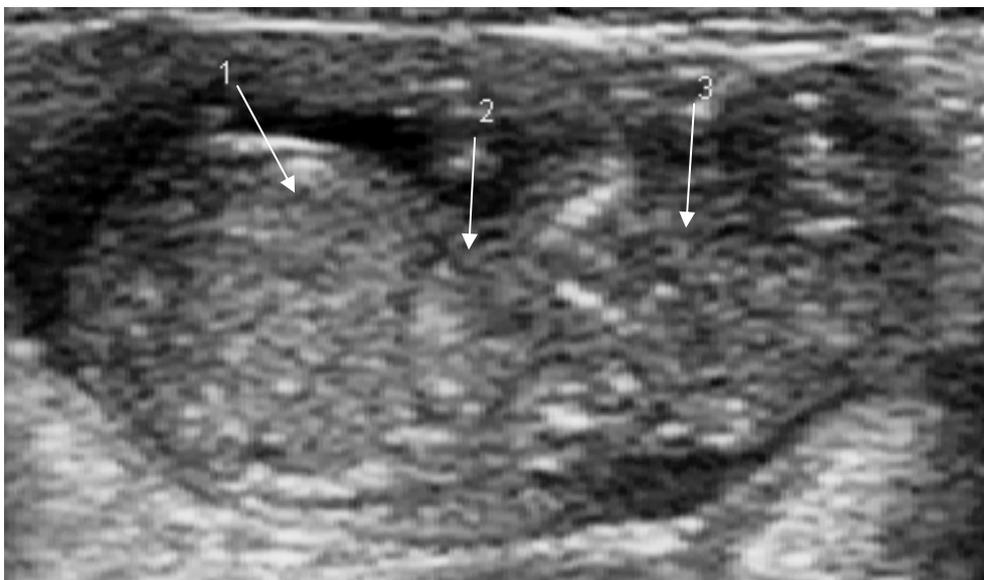


Abb. 57: Frucht am Tag 16 der Trächtigkeit

- 1 Leber
- 2 Herz
- 3 Kopf

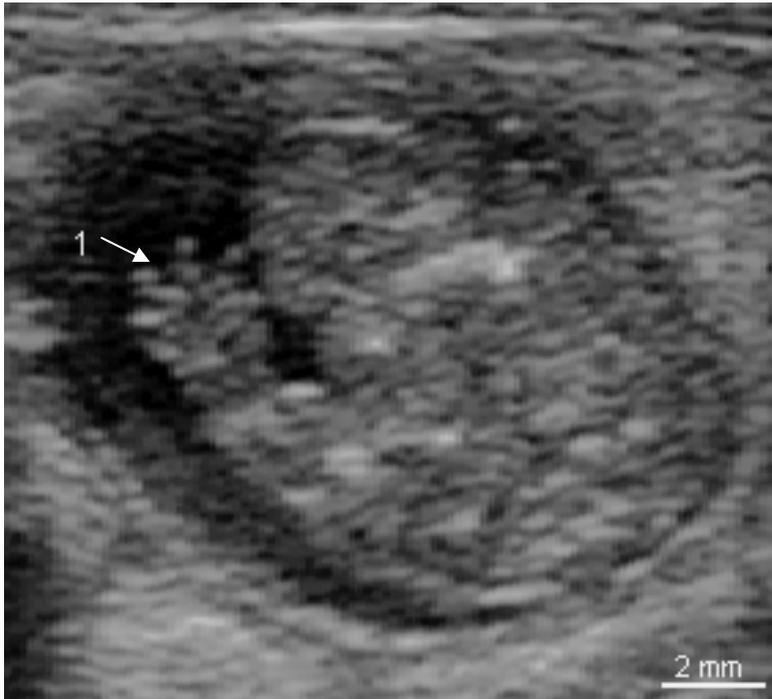


Abb. 58: Frucht am Tag 16 der Trächtigkeit

1 Pfote



Abb. 59: Frucht am Tag 17 der Trächtigkeit

1 Herz

2 Wirbelsäule

3 Leber

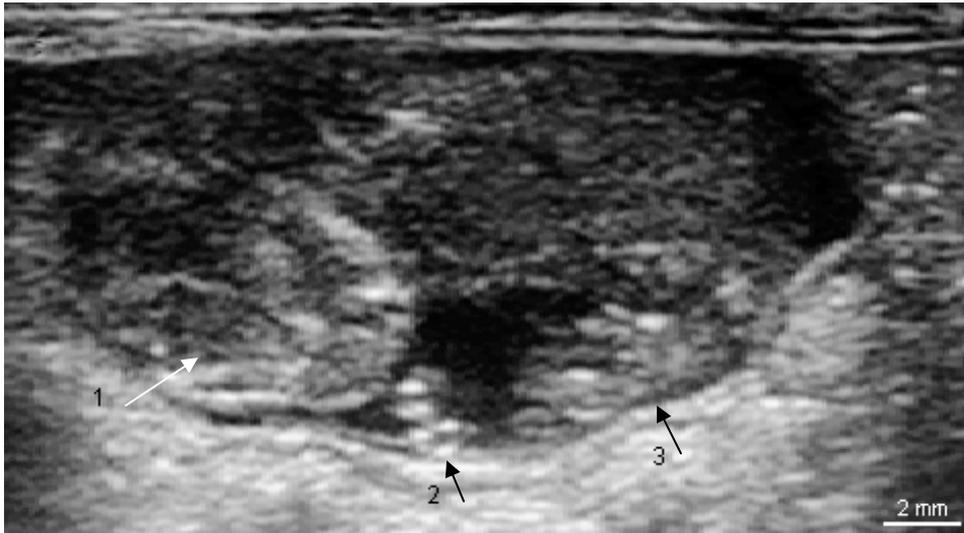


Abb. 60: Frucht am Tag 17 der Trächtigkeit im Sagittalschnitt

- 1 Schädel und Kiefer
- 2 Vorderpfote
- 3 Hinterpfote



Abb. 61: Frucht am Tag 17 der Trächtigkeit im Horizontalschnitt

- 1 Hirnschädel
- 2 Gesichtsschädel

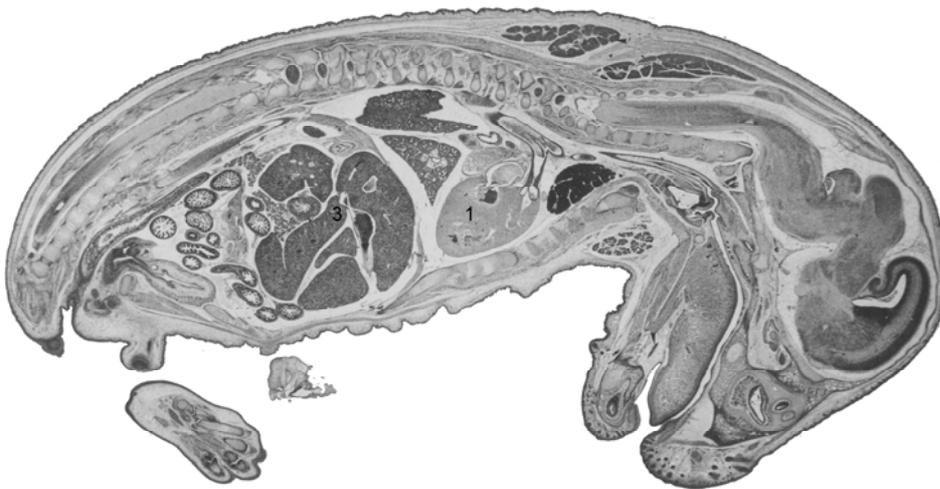


Abb. 62: Frucht am 20. Tag der Trächtigkeit im Vergleich zum Paraffinschnitt
Quelle: HEBEL und STROMBERG, 1986

- 1 Herz
- 2 Magen
- 3 Leber

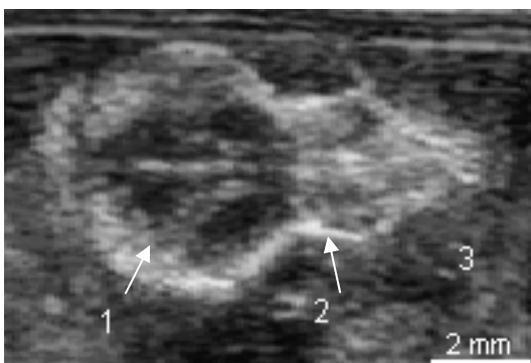


Abb. 63: Schädel einer Frucht am Tag 20 der Trächtigkeit

- 1 Hirnschädel
- 2 Gesichtsschädel

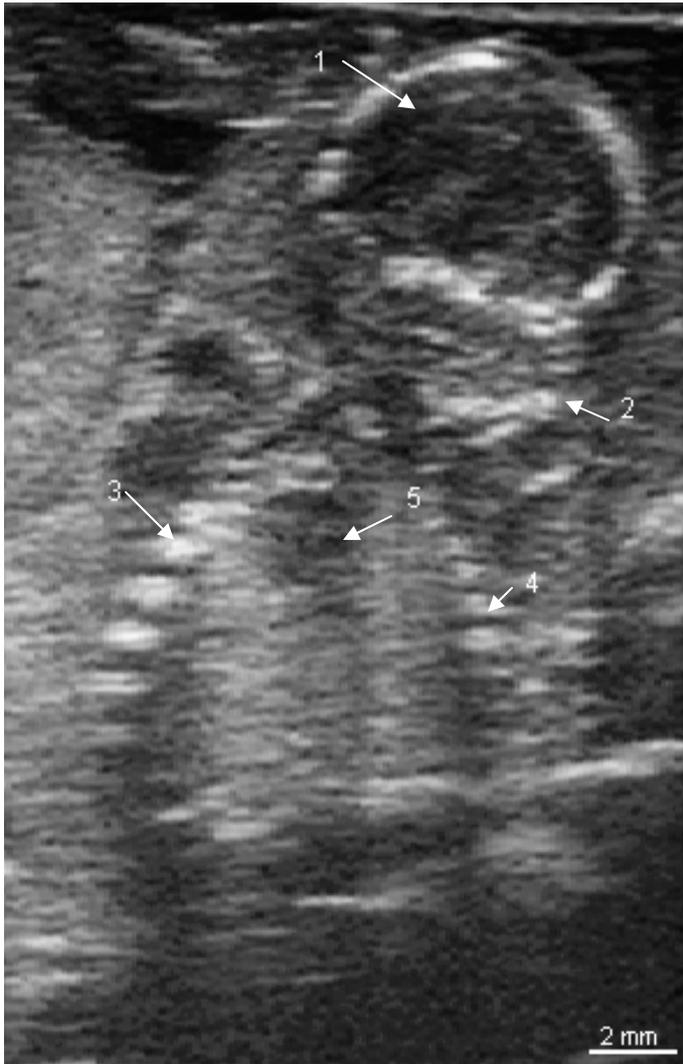


Abb. 64: Frucht am Tag 20 der Trächtigkeit

- 1 Schädel
- 2 Kiefer
- 3 Rippen
- 4 Brustbein
- 5 Herz

5 Diskussion

Der von ISENBÜGEL, 1985 mit 30% angegebene Anteil an Heimtieren am Patientengut der Kleintierpraxis ist in den letzten Jahren noch weiter gestiegen. Seiner Forderung nach mehr Fortbildungsangeboten und damit mehr Wissen auf diesem Fachgebiet wird heute sicherlich deutlich besser nachgekommen. Aus dieser grundsätzlich positiven Entwicklung heraus entsteht auch automatisch die Notwendigkeit der Etablierung neuer diagnostischer Methoden für diesen Bereich.

Die vorliegende Dissertation über die abdominale Sonographie bei der Ratte wurde mit dem Ziel verfasst, die Basis für die Durchführung einer speziell für die Ratte geeigneten Ultraschalluntersuchung zu schaffen. Da die Sonographie von Hund und Katze bereits von zahlreichen Kollegen beherrscht wird, wurden in der vorliegenden Arbeit die etablierten Methoden der Ultraschalluntersuchung von Hund und Katze zur Grundlage genommen. Wie bereits die Ergebnisse von FRINGS, 2004, GNEISER, 2006 und GORGAS, 2004 zeigen, können diese Verfahren nicht 1:1 von Hund und Katze auf Heimtiere übertragen werden und wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit an die Gegebenheiten bei der Ratte angepasst.

Auswahl der Tiere

Da mit dieser Studie ein Referenzwerk der sonographischen Darstellung normal-anatomischer Zustände erstellt werden sollte, wurden laut Vorbericht und nach eingehender Allgemeinuntersuchung vor jeder Ultraschalluntersuchung nur Tiere akzeptiert, die keinerlei Krankheitssymptome aufwiesen. Beim Vergleich der erzeugten Ultraschallbilder aller untersuchten Tiere konnten keine pathologischen Veränderungen der Organe festgestellt werden.

Ein weiteres Kriterium zum Ausschluss von der Untersuchung, boten zwei Ratten, die ein erhöhtes Abwehrverhalten aufwiesen. Obwohl laut KEMP, 2000 die Gefahr des Gebissenwerdens bei richtigem Handling minimal sei, zeigte sich ein Rattenpaar bereits bei der Voruntersuchung massiv unkooperativ. Um Stress und Verletzungen auf beiden Seiten zu vermeiden, wurde die weitere Untersuchung der vorberichtlich gesunden Tiere abgelehnt.

Auch trächtige Weibchen zeigten – vor allem beim Herausnehmen aus dem Käfig – ein aggressiveres Verhalten als gewöhnlich. Trotzdem ließen sich die an die Unter-

suchungssituation gewöhnten Rattenweibchen beruhigen und die Ultraschalluntersuchung konnte in allen Fällen durchgeführt werden.

Der Vergleich der Bilder nach der sonographischen Untersuchung von 25 Ratten, zeigte eine nahezu 100%ige Reproduzierbarkeit der Organschnitte und Befunde, worauf die Stichprobenzahl als repräsentativ angesehen wurde.

Technische Ausrüstung

In Vorversuchen wurden zunächst ein 5-MHz-Sektorschallkopf und eine 7,5-MHz-Linearsonde getestet. Die meisten Organe konnten mit diesen Schallköpfen zwar identifiziert werden, eine Detaildarstellbarkeit, wie man sie von Hund und Katze gewohnt ist, war jedoch nicht erreichbar. Die Größe der Schallköpfe spielte im Gegensatz zum Degu (GNEISER, 2006) bei ihrer Wahl eine untergeordnete Rolle, da sich auch Schallköpfe mit ca. 5-7 cm Länge bei der Untersuchung der Ratte als unproblematisch erwiesen. Als optimal für die Untersuchung der Ratte stellte sich dennoch der in der vorliegenden Arbeit letztlich verwendete ca. 4 cm lange Linearschallkopf von Agilent Technologies, Gütersloh heraus.

Ein wesentlicher Grund warum Frequenzen im Bereich von 15 MHz noch nicht verstärkt in der Ultraschalldiagnostik unserer Haustiere eingesetzt wurden, ist die technische Limitierung der Eindringtiefe. Die geringe Größe des Rattenkörpers brachte den Vorteil, dass alle Organe mit einer Eindringtiefe von 2 bis 3 cm erfasst werden konnten und mit der 15-MHz-Sonde eine ausgesprochen gute Detaildarstellbarkeit erreicht wurde. In der Forschung kamen bisher 7,5-10 MHz-Sonden zur transkutanen Sonographie bei der Ratte zur Anwendung (GASCHEN *et al.*, 2001; HIDA *et al.*, 1999; KEIRSTEAD *et al.*, 2005; KNIPP *et al.*, 2003; KURIYAMA *et al.*, 1999; SUZUKI *et al.*, 1991; YANG *et al.*, 1993). Die Ergebnisse dieser Arbeit sprechen dafür, dass das Anwendungsspektrum der Sonographie bei der Ratte in der Forschung noch erweitert werden kann, da aus der Nutzung von 15-MHz-Schallköpfen deutlich genauere Untersuchungsergebnisse resultieren.

Da 20-MHz-Schallköpfe beim derzeitigen Stand der Technik nur eine Eindringtiefe von ca. 7 mm erreichen, kann eine transkutane sonographische Untersuchung des Rattenkörpers mit diesen Transducern nicht durchgeführt werden. Ihre Anwendung beschränkt sich somit auf Studien, in denen der Schallkopf nach Eröffnung des Abdomens bzw. Isolation der Organe direkt auf das zu untersuchende Organ aufgesetzt werden kann (REIDT, 1995).

Ratten kommunizieren untereinander zwar ebenfalls im Ultraschallbereich, dies jedoch lediglich bei ca. 22 und 50 kHz (TSUKAMURA *et al.*, 2000). Eine Irritation der Ratten durch die Ultraschalluntersuchung, bei der stets Frequenzen im Megahertzbereich angewandt werden, ist daher auszuschließen.

Handling der Ratten

Bis auf die oben erwähnten Ausnahmen zeigten sich die Ratten als äußerst kooperativ und ließen sich nach der Gewöhnung an die Untersuchungssituation gut handhaben. Die für die Ankopplung von ventral und lateral angewandte Fixierungsmaßnahme ist eine etablierte Methode im Umgang mit Ratten. Durch die vor der Brust gekreuzten Vorderbeine wird der Kopf fixiert und die Möglichkeit eines Bisses minimiert. Eventuelles Kratzen mit den Hinterpfoten sollte zum eigenen und zum Schutz des Schallkopfes durch vorsichtige Fixation durch eine Hilfsperson unterbunden werden, wobei wegen des fragilen Skeletts sehr darauf geachtet werden sollte, dass das Tier, besonders bei Abwehrbewegungen, nicht verletzt wird. Der eigens modifizierte Griff zur Untersuchung mit dorsaler Ankopplung stellte sich im Rahmen dieser Arbeit als praktikabel und sicher heraus.

Mit einiger Übung und Erfahrung im Umgang mit der Ratte ist es auch möglich, die Ultraschalluntersuchung ohne eine weitere Person durchzuführen. Hierzu sind eine Fußbedienung oder die Fähigkeit des Ultraschallgerätes die letzten Sequenzen der Untersuchung zu speichern notwendig.

Die Anwendung von Schutzhandschuhen wird von KEMP, 2000 abgelehnt, da nach seiner Erfahrung keine auf dem Markt vorhandenen Handschuhe existieren, die einen adäquaten Schutz vor einem Rattenbiss bieten, ohne die im Umgang mit der Ratte notwendige Sensibilität einzubüßen. Ihre Anwendung wurde in dieser Studie nicht getestet und als nicht notwendig erachtet.

Verlauf der Untersuchung

Die Reihenfolge der sonographischen Untersuchung konnte nahezu vollständig von Hund und Katze auf die Ratte übertragen werden. In der Praxis besteht normalerweise eine konkrete Fragestellung und die Untersuchung beschränkt sich oft auf differentialdiagnostisch in Frage kommende Organe. Meine Erfahrungen bestätigen jedoch die Behauptung von STÜTZEL, 1994, dass es sinnvoll sei, sich einen Gesamtüberblick über alle sonographisch erfassbaren Organe des jeweiligen Tieres

zu verschaffen und stets einen relativ strengen Untersuchungsablauf zu befolgen. Dadurch fällt es besonders dem in der Sonographie der Ratte Ungeübten im Allgemeinen deutlich leichter Strukturen und eventuelle Auffälligkeiten einem Organ zuzuordnen.

Die bei der Ratte in für sie ungewöhnlichen Situationen normale spontane Blasenentleerung (WIJNBERGEN, 2005) verhinderte zunächst eine zu Beginn der Untersuchung gewollte Einstellung der Gesamtverstärkung sowie die Beurteilung der Harnblase selbst. Sie zeigte aber in allen Fällen ein geringes Residualvolumen, anhand dessen die Harnblase eindeutig identifiziert werden konnte und die Untersuchung zunächst ohne die Beurteilung der Harnblase fortgeführt wurde. Da nach den Erfahrungen aus dieser Studie sich die Blase nach wenigen Minuten wieder mit Harn füllt, kann schon nach kurzer Zeit die Gesamtverstärkung überprüft und die Harnblase sonographisch untersucht werden. Die von LÜERSSEN *et al.*, 2001 bei Hund und Katze vorgeschlagene Gabe eines Diuretikums erwies sich somit bei der Ratte als nicht notwendig.

Die Dauer einer Untersuchung richtete sich nach dem Wohlbefinden der Tiere. Die meisten Tiere gewöhnten sich an die Untersuchung, sodass im Allgemeinen eine komplette Exploration des Rattenabdomens möglich war, für die ca. 20 Minuten veranschlagt werden sollte. Die Tiere zeigten nach den Untersuchungen keinerlei Anzeichen von Stress und waren stets sofort zur belohnenden Futteraufnahme bereit.

Ergebnisse der sonographischen Untersuchungen

Die in der Literatur zur besseren Ultraschalldarstellung für Hund und Katze empfohlene 12 bis 24-stündige Nahrungskarenz (POULSEN NAUTRUP, 2001), kann aufgrund der speziellen Verdauungsphysiologie der Nagetiere bei der Ratte nicht generell angeraten werden. Es sollte sehr individuell entschieden werden, ob ein maximal 4-stündiger Nahrungsentzug tatsächlich angezeigt ist. Absolute Kontraindikationen für ein Fasten sind unter anderem Anorexie, Insulinom-Verdacht, Leberfunktionsstörungen sowie ein spätes Trächtigkeitsstadium (ABOU-MADI, 2006). Ebenfalls von POULSEN NAUTRUP, 2001 vorgeschlagene entblähende Medikamente wie Sab simplex®, Parke-Davis, finden bei der Ratte auch therapeutische Anwendung. Da bei den Untersuchungen in dieser Studie wenige Artefakte durch Gase im Gastrointestinaltrakt auftraten, wurde ihr Einsatz nicht getestet.

Gastrointestinaltrakt

Die Untersuchung des Magendarmtraktes erfordert einige Erfahrung des Untersuchers, denn meist wird die Beurteilung durch ingestabedingte Schallschatten erschwert. Die sonographische Darstellung kann in der tierärztlichen Praxis jedoch durchaus ein ergänzendes diagnostisches Mittel sein. So könnten z.B. die von WIJNBERGEN, 2005 bei der Ratte als Ursache für Anorexie und Obstipation genannten Trichobezoare wie bei Meerschweinchen (KÜNZEL und HITTMAIR, 2002) oder Kaninchen (PANALIS *et al.*, 1985) mit Hilfe der Sonographie diagnostiziert werden. Auch andere nicht röntgendichte Fremdkörper im Magen-Darm-Trakt könnten anhand einer sonographischen Untersuchung erfasst werden.

Trotz hochauflösendem Schallkopf waren der bei Hund und Katze (LÜERSSSEN und JANTHUR, 2001), Frettchen (FRINGS, 2004) und Degu (GNEISER, 2006) beschriebene fünfschichtige Wandaufbau von Magen- und Dünndarmwand, der neben Eintrittsecho, Muskelschicht und Austrittsecho zusätzlich die Übergänge von Tunica muscularis zu Tunica submucosa, sowie Submukosa zu Mukosa repräsentiert, bei keinem der untersuchten Tiere sonographisch darzustellen.

Einzelne Magenabschnitte wie sie in der humanmedizinischen Ultraschalldiagnostik (BLOCK, 2005) beschrieben werden, konnten bei der Ratte nicht differenziert werden.

Bei 2 von 25 Ratten wurde zufällig ein leerer Magen mit dem auch bei Hund, Katze (LÜERSSSEN und JANTHUR, 2001) und Frettchen (FRINGS, 2004) beschriebenen auffälligen Muster einer Rosette dargestellt (Abb. 12). Obwohl die Tiere vorberichtlich sowie in der vorgeschalteten Allgemeinuntersuchung keine Krankheitssymptome zeigten, könnte solch ein Befund ein Hinweis auf Inappetenz des Tieres sein.

Ähnlich wie bei Hund und Katze (LÜERSSSEN und JANTHUR, 2001), und einigen anderen Heimtieren (FRINGS, 2004; GNEISER, 2006) gelang zwar eine Unterscheidung zwischen Dick- und Dünndarm anhand der fehlenden Wandschichtung und nicht sichtbaren Peristaltik im Dickdarm, eine weitere Differenzierung der einzelnen Abschnitte reduzierte sich jedoch durch die Lagevariabilität und den Mangel an Orientierungspunkten auf die Pars cranialis duodeni, das Duodenum descendens, das Zäkum sowie Colon descendens und Rektum. BERLIN *et al.*, 1998 lokalisierten das Zäkum stets, KOMÁREK *et al.*, 2000 meist im rechten kaudalen Quadranten des Abdomens. Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit bei 2/3 der Tiere verifiziert werden,

wobei es sich bei dem übrigen 1/3 der Ratten vor allem im linken kaudalen Abdomen befand. Demgegenüber stehen die Angaben von HEBEL und STROMBERG, 1986, die den Blinddarm bei ihren Untersuchungen am häufigsten im linken kaudalen Abdomen feststellten. Insgesamt bestätigen die Ergebnisse die vielfach zitierte Lagevariabilität des Zäkums.

Leber

Die Beurteilung der Leber nach definierten Ebenen, wurde erstmals von NYLAND *et al.*, 2002 für Hund und Katze erstellt und hat sich in modifizierter Form nun schon mehrmals bewährt (FRINGS, 2004; GNEISER, 2006). Auch für die Sonographie der Rattenleber stellte sich die Anwendung einer Modifikation dieses Schemas als äußerst geeignet heraus. Um keine Veränderungen zu übersehen, muss die Leber selbstverständlich komplett durchmustert werden. Die Erstellung von Standardschnittebenen birgt jedoch einige Vorteile: Es entstehen reproduzierbare und vor allem vergleichbare Bilder, anhand derer Veränderungen der Form und Größe des Organs im Verlauf einer Erkrankung oder im Vergleich zum gesunden Tier ersichtlich werden. Eventuelle Auffälligkeiten können dann anhand der Standardschnitte strukturiert dokumentiert werden. Ein entscheidender Vorteil einer standardisierten Darstellung eines Organs, ergibt sich aus dem Lerneffekt des Untersuchers. Diesem prägt sich das typische Standardbild mit der Zeit ein, wodurch Veränderungen besser identifiziert werden können.

Das Fehlen einer Gallenblase muss sich bei der Untersuchung der Ratte immer wieder ins Gedächtnis gerufen werden, um nicht vergeblich nach ihr zu suchen bzw. Leberzysten oder große Gefäße fälschlicherweise als Gallenblase anzusprechen.

Obwohl die im Literaturteil dieser Arbeit beschriebenen Studien über die sonographische Darstellung von Lebertumoren (KURIYAMA *et al.*, 1999; YANG *et al.*, 1993) alle aus dem Bereich der Forschung stammen und auf induzierte Veränderungen zurückzuführen sind, beweisen sie, dass die Sonographie der Leber zur Tumordiagnostik bei der Ratte äußerst geeignet ist.

Bauchspeicheldrüse

Trotz der großen Ausdehnung – besonders des Lobus sinister – konnte die Bauchspeicheldrüse im Rahmen dieser Arbeit nicht eindeutig identifiziert werden. Im Be-

reich um das Duodenum descendens konnten zwar Strukturen ausgemacht werden, die topographisch dem Pankreas zugeordnet werden könnten, die mangelnde Reproduzierbarkeit vor allem durch Überlagerungen des Magen-Darm-Traktes schlossen die sichere Identifizierung jedoch aus. Eventuelle pathologische Veränderungen, wie z.B. Insulinome, mit dem entsprechenden klinischen Bild, würden sonographisch eventuell zu einer Identifizierung des Pankreas beitragen und sollten im Rahmen einer pathologisch ausgerichteten Arbeit über die Sonographie bei der Ratte aufgearbeitet werden.

Milz

Im Gegensatz zur Milz bei Hund und Katze (NYLAND *et al.*, 2002; SCHOLZ und LÜERSSSEN, 2001) zeigt sich die Milz bei der Ratte zwar ebenfalls homogen und feinkörnig jedoch deutlich echoärmer. Eine weitere Besonderheit bei der Darstellung der Rattenmilz stellt die im Rahmen dieser Arbeit etablierte, in der Literatur bisher nicht erwähnte, Ankopplung von dorsal dar. Durch die Lage der Milz konnte der dorsokranielste Abschnitt (Extremitas dorsalis, Milzkopf) der Milz mit der konventionellen Methode der Ankopplung von ventral oder lateral nicht erfasst werden. Bei der Ratte war es möglich, links paramedian der Wirbelsäule durch die dicke Schicht der Rückenmuskulatur einen Sagittalschnitt durch die Extremitas dorsalis lienis zu vollziehen und damit auch den Milzkopf für die Sonographie zugänglich zu machen. Der einzige Nachteil, der sich aus dieser Methode ergab, war die nötige hohe Rasur der Ratten bis nahe der Wirbelsäule.

Nebenniere

Die verhältnismäßig großen Nebennieren der Ratte waren am kranialen Pol der jeweiligen Niere leicht aufzufinden. Eine Orientierung an Aorta, V. cava caudalis und A. mesenterica cranialis wie sie bei Hund und Katze (LÜERSSSEN und JANTHUR, 2001) beschrieben ist, war nicht notwendig. Beide Nebennieren konnten regelmäßig aufgefunden werden, obwohl die linke Nebenniere durch teilweise Überlagerungen durch den Magen im Gegensatz zu den Beschreibungen bei Hund und Katze eher schwieriger darzustellen war als die rechte Nebenniere.

Die sonographische Differenzierung von Rinde und Mark, wie bei Hund und Katze beschrieben (LÜERSSSEN und JANTHUR, 2001), war ähnlich den Verhältnissen beim Frettchen (FRINGS, 2004) und Degu (GNEISER, 2006) nicht möglich.

Wie bei Milz und Niere fand die neue Methode der Ankopplung von dorsal bei der Darstellung der Nebennieren ihre Anwendung und verbesserte ihre Darstellbarkeit deutlich.

Der Vergleich der sonographisch ermittelten morphometrischen Werte mit anatomischen Messungen aus der Literatur, zeigt eine deutliche Übereinstimmung der Ergebnisse.

	Eigene Werte			Werte von (HEBEL und STROMBERG, 1986)		
	Länge	Breite	Dicke	Länge	Breite	Dicke
Max	6,5	5,3	3,9	5,5	4,5	3,0
Min	4,0	2,4	2,5	4,0	3,0	2,8

Tab. 6: Vergleich der Maximal- und Minimalwerte für Länge, Breite und Dicke der Nebennieren mit Werten aus der Literatur. Angaben in Millimetern.

Niere

Da vergleichbar zum Degu (GNEISER, 2006) bei ventraler Ankopplung so gut wie kein auswertbarer Sagittalschnitt erzeugt werden konnte, wurde nach anderen Möglichkeiten zur Darstellung dieses diagnostisch wertvollen Schnittes gesucht. Eine Ankopplung vom Rücken, paramedian der Wirbelsäule, wurde in der Literatur bisher noch nicht beschrieben. Mögliche Gründe hierfür könnten die bei größeren Tieren vorhandene massive Rückenmuskulatur, die nötige extrem auffällige Rasur im Rückenbereich oder auch die ausreichenden Darstellungsmöglichkeiten durch Ankopplung vom ventralen Abdomen bei anderen Tierarten sein. Bei der Ratte führte diese Methode zu qualitativ hochwertigen und diagnostisch auswertbaren Sagittalschnitten der Nieren und wurde auch bei der Darstellung der Milz und der Nebennieren mit Erfolg angewandt.

Im Gegensatz zu Zwergkaninchen, Meerschweinchen (NIEBERGALLA, 2003) und Degu (GNEISER, 2006) ließen sich bei allen untersuchten Ratten Mark und Rinde deutlich voneinander unterscheiden.

In der Sonographie ist für die Beurteilung der Nierenrinde der Vergleich ihrer Echogenität mit der von Milz und Leber entscheidend. Bei der Ratte muss hier ähnlich wie beim Degu (GNEISER, 2006) beachtet werden, dass sich die physiologische Nierenrinde nicht wie bei Hund, Katze (JANTHUR und LÜERSSSEN, 2001) und Frettchen (FRINGS, 2004) echoärmer als die benachbarten Organe Leber und Milz zeigt, sondern ihr Parenchym das echoreichste dieser drei Organe darstellt.

Die Nieren der Ratte sind nicht längs der Körperachse ausgerichtet sind, sondern liegen individuell stark kranio-medial verkippt. Zur adäquaten Beurteilung der Organe ist es jedoch nötig Standardschnitte zu erlangen, die im Fall der Niere an ihrer sehr differenzierten Binnenstruktur ausgerichtet werden sollten. Dies bedingt eine individuelle Anpassung der Schallkopfposition, die von der in der Regel den Körperebenen angepassten Ankopplung abweicht und ebenfalls kranio-medial ausgerichtet werden sollte.

Die nach KOMÁREK *et al.*, 2000 bei praktisch allen weiblichen Ratten im Alter auftretende Nephrokalzinose, bei der Mineralisierungen vor allem im Grenzbereich zwischen Rinde und Mark vorkommen, waren bei den untersuchten Tieren dieser Studie nicht zu erkennen, obwohl Kalzinosen im Ultraschallbild deutlich als echoreiche Strukturen mit Schallauslöschung sichtbar sein müssten (JANTHUR und LÜERSSSEN, 2001). Ein Grund dafür könnte sein, dass unter den untersuchten Tieren sich zwar ältere aber keine über 1,5 Jahre alten Tiere befanden. Die oftmals extreme Echogenität des Sinus renalis kann höchstwahrscheinlich auf die Schallverstärkung durch das echoarme Mark zurückzuführen sein.

Eine häufige Todesursache bei alten Ratten sind chronische Nephritiden (WIJNBERGEN, 2005). Bei Hund und Katze kennzeichnen vor allem eine Verstärkung der Echogenität der Nierenrinde, in wenigen Fällen auch des Nierenmarks oder eine Verminderung der Abgrenzbarkeit von Rinde und Mark das Bild einer chronischen Nephritis (JANTHUR und LÜERSSSEN, 2001). Es ist wahrscheinlich, dass auch bei der Ratte die Verdachtsdiagnose einer chronischen Nephritis mit Hilfe der Sonographie erhärtet werden kann.

Die in dieser Arbeit ermittelten Maße der Rattennieren befinden sich in der gleichen Größenordnung, wie die von HEBEL und STROMBERG, 1986 vorgelegten Rahmenwerte.

	Eigene Werte			Werte von (HEBEL und STROMBERG, 1986)		
	Länge	Breite	Dicke	Länge	Breite	Dicke
Max	20,6	12,8	11,7	25	15	ca. 10
Min	15,1	10,0	9,1	15	10	ca. 10

Tab. 7: Vergleich der Maximal- und Minimalwerte für Länge, Breite und Dicke der Nieren mit Werten aus der Literatur. Angaben in Millimetern.

Harnblase

Grundsätzlich konnte die Harnblase nach dem gleichen Schema wie bei Hund und Katze (LÜERSSSEN *et al.*, 2001) untersucht werden, wobei sich auch sehr ähnliche Untersuchungsergebnisse ergaben.

Die bei Frettchen, Hund und Katze beschriebene echoreiche Doppellinie der Blasenwand bei senkrechtem Anschallwinkel (FRINGS, 2004; LÜERSSSEN *et al.*, 2001) konnte jedoch in keinem Fall nachvollzogen werden. Dies bestätigt die Angaben von REIDT, 1995 bzw. SCHULZE *et al.*, 1991, nach denen die einzelnen Schichten der Harnblasenwand erst ab Frequenzen von 20 MHz unterschieden werden können. Den Grund dafür stellt die geringe Dicke der einzelnen Schichten dar, die laut den Ergebnissen von REIDT, 1995 $113 \pm 12 \mu\text{m}$ (Eintrittsecho), $349 \pm 27 \mu\text{m}$ (mittleres Band) und $64 \pm 16 \mu\text{m}$ (Austrittsecho) betragen. Entsprechend den Angaben von POULSEN NAUTRUP, 2001 besitzen 15-MHz-Schallköpfe ein maximales axiales Auflösungsvermögen von 0,1 mm ($100 \mu\text{m}$). Dies bedeutet, dass lediglich das mittlere Band eindeutig dargestellt werden kann, möglicherweise in einigen Fällen aber auch das Eintrittsecho sichtbar sein müsste.

Obwohl bei keinem Tier klinische Symptome vorlagen, wurden bei 2 weiblichen und 3 männlichen Tieren die für eine Zystitis typischen feinen, aufblitzenden Echos (LÜERSSSEN *et al.*, 2001) im Blasenlumen gefunden. Bei einem Weibchen sedimentierten die feinkörnigen Reflexe zur dorsalen Blasenwand (in Rückenlage) und ließen sich aufwirbeln. Die anderen 4 betroffenen Tiere zeigten lediglich vereinzelte aufblitzende Echos, die frei im Harnblaseninhalte schwammen. Obwohl bei allen Tieren bei einer Kontrolle ca. 4 Wochen später noch die gleichen pathologischen Befunde sichtbar waren, stellte sich die Blasenwand in physiologischen Zustand dar und entwickelte laut den Besitzern sowie nach der wiederholten Allgemeinuntersuchung kei-

nes der betroffenen Tiere klinische Symptome. Laut KOCH und BOLZ, 2005 kommen Zystitiden und Urolithiasis bei der Ratte zwar selten vor, ihre Diagnose dürfte jedoch durch die Sonographie deutlich erleichtert sein. Es ist anzunehmen, dass Harnsteine, wie beim Meerschweinchen (GASCHEN *et al.*, 1989; STIEGER *et al.*, 2003), in der Harnblase und selbst im Ureter gut sonographisch diagnostizierbar sind.

Harnröhre

Laut HEBEL und STROMBERG, 1986 besitzt die Pars pelvina urethrae des männlichen Tieres einen Durchmesser von 0,7 mm. Dass sie sich trotzdem in einigen Fällen mit einem 15-MHz-Schallkopf erfassen ließ, lässt sich vielleicht damit erklären, dass der dargestellte Anfangsteil der Urethra aus dem Harnblasenhals kommend noch ein etwas größeres Lumen aufweisen könnte.

Eierstöcke

Aufgrund ihrer geringen Größe stellt die Sonographie der Ovarien bei kleinen Heimtieren eine Herausforderung dar, was in der parallel durchgeführten Arbeit über die Sonographie beim Gerbil sowie in der Arbeit von GNEISER, 2006 deutlich zum Ausdruck kommt. Trotzdem konnten bei der Ratte beide Eierstöcke regelmäßig eindeutig identifiziert und dargestellt werden.

Die durchgeführten Messungen wurden durch mehrere Faktoren beeinflusst. Die generell schwierige Abgrenzbarkeit zum umliegenden Gewebe, seine Lagevariabilität, gekoppelt mit der sonographischen Strukturlosigkeit des Ovars erschwerten eine exakte Vermessung dieses Organs. Eine geringe Rolle könnten auch die zyklusbedingten Größenveränderungen des Ovars spielen. Die in dieser Arbeit gewonnenen Werte sind jedoch trotzdem in derselben Größenordnung wie die von HEBEL und STROMBERG, 1986 veröffentlichten anatomisch verifizierten Angaben.

Eine deutliche Abgrenzung von Follikeln oder Gelbkörpern konnte in keinem Fall erfolgen. Graafsche Follikel erreichen laut HEBEL und STROMBERG, 1986 eine Größe zwischen 650 und 700 μm und befinden sich somit im Grenzbereich des Auflösungsvermögens eines 15-MHz-Schallkopfes. Eine diagnostisch verwertbare Abgrenzung und Differenzierung von Funktionskörpern des Rattenovars gelang transkutan bisher nur in einer vor kurzem durchgeführten Studie mit einem 29-MHz-Schallkopf (HILDEBRANDT, 2006, persönliche Mitteilung). Die Zyklusbestimmung

bei der Ratte kann durch einfach zu erzeugende Vaginaausstriche erfolgen, deren Herstellung in TSUKAMURA *et al.*, 2000 ausführlich beschrieben wird. Für die sonographische Ovardarstellung zur Zyklusbestimmung besteht folglich keine Indikation.

Trotz der oben beschriebenen Einschränkung der Morphometrie des Rattenovars, sollte eine massivere Form der von KOMÁREK *et al.*, 2000 beschriebenen Organatrophie mit Hilfe der Sonographie erkannt werden können. Auch andere pathologische Veränderungen die mit einer deutlichen Veränderung der Größe oder Echogenität des Ovars einhergehen können sicherlich, ähnlich wie beim Meerschweinchen (BEREGI *et al.*, 1999) per Sonographie diagnostiziert werden.

Gebärmutter

Auch die sichere Reproduzierbarkeit adäquater Ultraschallbilder des Uterus stellt hohe Anforderungen an die technische Ausrüstung sowie das Können des Untersuchers. Besonders die Darstellung von Längsschnitten war äußerst anspruchsvoll und konnte nur bei der Hälfte der untersuchten weiblichen Tiere zufrieden stellend erreicht werden. Querschnitte des Rattenuterus hingegen, können vom geübten Untersucher regelmäßig produziert werden. Dabei ist es möglich die einzelnen Hörner lateral der Harnblase (Abb. 40) sowie den parallel verlaufende Part ventral der Harnblase (Abb. 39) zu erfassen.

Eine sonographische Unterscheidung von Myometrium und den verschiedenen Endometriumschichten, wie sie in der humanmedizinischen Literatur beschrieben wird (<http://radiology.creighton.edu/uterus.htm>), lässt sich schon beim Hund (LÜERSEN und JANTHUR, 2001) nicht realisieren und ist bei der Ratte transkutan unmöglich.

Der Zyklusstand der Rattenweibchen zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt wurde nicht festgestellt. Ein Vergleich der Ergebnisse zytologisch untersuchter Vaginaausstriche mit den sich darstellenden Veränderung von Größe, Echogenität und Echotextur, möglicherweise unter Einbezug der Modifikationen des Ovars, könnte Inhalt einer interessanten, auf den vorliegenden Ergebnissen aufbauenden, Arbeit sein.

Vereinzelt bei der Ratte vorkommende Erkrankungen, wie z. B. Endometriumzysten, glandulär-zystische Hyperplasie (KOMÁREK *et al.*, 2000) oder eine Pyometra (WIJNBURGEN, 2005) zeigen sich bei Hund und Katze vor allem durch relativ typi-

sche anechogene Bereiche (LÜERSSSEN und JANTHUR, 2001). Ob dies auch für die Ratte zutrifft, müsste in einer pathologisch ausgerichteten Arbeit geklärt werden.

Hoden und Nebenhoden

Ratten sind aufgrund ihres weiten Leistenspaltes zwar in der Lage ihre Hoden in die Bauchhöhle zurückziehen (HEBEL und STROMBERG, 1986; KOMÁREK *et al.*, 2000; SALOMON, 2005); bei den für diese Arbeit untersuchten Tier war dies jedoch nie der Fall.

HEBEL und STROMBERG, 1986 erwähnen in ihren Ausführungen über den Hoden nicht explizit ein Mediastinum testis, sondern sprechen lediglich von Bindegewebssträngen, die von der Kapsel in die Organmitte ziehen. Dies ist ein möglicher Grund dafür, dass ein Mediastinum testis nicht sonographisch dargestellt werden konnte, sondern das Hodenparenchym sich nahezu homogen präsentierte.

Indikationen für die Sonographie des Hodens und Nebenhodens, wie z.B. Tumore, Entzündungen oder Kryptorchismus bei der Ratte sind in der Literatur bisher noch nicht beschrieben.

Die Darstellung des Nebenhodenkörpers gestaltet sich aufgrund seines geringen Durchmessers und seiner Lage medial am Hoden als schwierig, während sich, wie diese Arbeit zeigen konnte, Nebenhodenkopf und –schwanz sonographisch sehr gut darstellen und beurteilen lassen.

Akzessorische Geschlechtsdrüsen

Die akzessorischen Geschlechtsdrüsen ließen sich bei der Ratte erstaunlich deutlich darstellen. Die Zuordnung der einzelnen Drüsen stellte dabei die größte Herausforderung dar. Auf der Grundlage der Arbeit von SUZUKI *et al.*, 1991 gelang jedoch eine Identifizierung der jeweiligen Strukturen.

Beim Vergleich der Ergebnisse der dieser Arbeit mit den Befunden von SUZUKI *et al.*, 1991 zeigten sich Unterschiede. Mit dem ihnen zur Verfügung stehenden 7,5-MHz-Transducer erzeugten SUZUKI *et al.*, 1991 Bilder, die vor allem in Echogenität wie Echostruktur maßgeblich von den vorliegenden Ergebnissen differierten.

Neben der forschungstechnischen Relevanz der Sonographie der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, die SUZUKI *et al.*, 1991 in ihrer Arbeit betonen, kann die Ultraschalltechnik auf den klinisch-andrologischen Bereich ausgeweitet werden.

Trächtigkeit

Wie in der Literatur beschrieben kann die Trächtigkeit bei der Ratte mit einem 7,5-MHz-Schallkopf bereits am 8. Tag der Trächtigkeit festgestellt werden (SCHERER, 1993). Im Rahmen dieser Studie standen jedoch lediglich Tiere zur Verfügung, die von ihren Besitzern auf Verdacht zur sonographischen Trächtigkeitsuntersuchung gebracht wurden. Alle diese Tiere waren zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung schon 10 oder mehr Tage trächtig. Da am 8. Tag die Implantation stattfindet, kann dieser als frühest möglicher Termin zur Trächtigkeitsdiagnose angenommen werden. Im Vergleich zur tatsächlichen pränatalen Entwicklung der Ratte nach HEBEL und STROMBERG, 1986 stimmt lediglich der Beginn der Ossifikation mit der frühesten sonographische Darstellbarkeit knöcherner Strukturen überein.

Die enorme Abhängigkeit der Darstellung und Datierung der Trächtigkeit von der Schallkopffrequenz wird beim Vergleich mit den Ergebnissen von INABA und INOUE, 1985 deutlich, die mit einem 5-MHz-Transducer die knöcherne Wirbelsäule und das schlagende Herz erst ab dem 19. Trächtigkeitstag (Tag 22=Geburt) identifizieren konnten.

Da die Früchte zum Ende der Trächtigkeit relativ große Ausmaße annehmen, kann die Anwendung eines größeren Schallkopfes von Nutzen sein, insbesondere dann wenn nicht die Detailerkennbarkeit, sondern die Vermessung des Fetus im Vordergrund steht.

Die in der Literatur zahlreich zitierte Ungefährlichkeit der sonographischen Untersuchung bei der Trächtigkeitsuntersuchung wurde kürzlich durch Ergebnisse einer Studie von ANG *et al.*, 2006 in Frage gestellt. Nach der Exposition von Mäuseembryonen am Tag 16 mit 6 MHz über 30 Minuten, stellten die Forscher fest, dass einige Nervenzellen möglicherweise aufgrund des Druckes der Ultraschallwellen nicht an ihre richtige Position wanderten. Weitere Untersuchungen über die Reliabilität und die Auswirkungen dieser Ergebnisse müssen abgewartet werden.

Fazit

Die in dieser Studie erarbeiteten Ergebnisse bestätigen die Aussagen zahlreicher Autoren, dass die Sonographie der Ratte, vor allem durch die Möglichkeit Verlaufsstudien an ein und demselben Tier durchführen zu können, eine wertvolle Bereicherung für die tierexperimentelle Forschung darstellt. Zusätzlich wurde das enorme

Potential für die veterinärmedizinisch-klinische Diagnostik deutlich. Viele Krankheiten sind in der einschlägigen Literatur bei der Ratte nicht beschrieben. Eine Erklärung dieser Tatsache könnten die bisher eingeschränkten diagnostischen Möglichkeiten für diese Tierart darstellen. Durch den hier etablierten Standarduntersuchungsgang und die beschriebenen und dargestellten Referenzbilder des gesunden Organismus konnte eine Basis zur sonographischen Diagnostik zahlreicher Erkrankungen erstellt werden.

Voraussetzungen hierfür sind eine moderne technische Ausrüstung und eine intensive Schulung des Untersuchers aufbauend auf bereits bestehenden Kenntnissen beispielsweise über die Sonographie von Hund und Katze.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden sonographische Untersuchungen bei Ratten durchgeführt, mit dem Ziel einen standardisierten Untersuchungsgang zur sonographischen Beurteilung der Bauchorgane sowie der Gravidität der Ratte zu entwickeln.

25 gesunde Ratten im Alter von 0,5 bis 1,5 Jahren wurden mit einem 15-MHz-Schallkopf sonographisch untersucht. Vergleichend mit der bereits etablierten Sonographie bei Hund und Katze wurde speziell für die Ratte die optimale Technik zur sonographischen Erfassung der Organe herausgearbeitet bzw. die Darstellbarkeit der einzelnen Organschnitte beurteilt. Es wurde dabei vorrangig auf die Darstellung normal-anatomischer bzw. physiologischer Zustände Wert gelegt, um den Grundstein für eine Beurteilung und Zuordnung pathologischer Prozesse zu legen.

Mit Ausnahme des Pankreas konnten alle abdominalen Organe sonographisch erfasst und die optimalen Ankopplungspositionen bzw. Standardebenen der einzelnen Organe herausgearbeitet werden. Hierbei wurde die bisher nicht in der Literatur erwähnte Schallkopfpositionierung von dorsal getestet, die zu einer deutlich verbesserten Darstellung von Niere, Nebenniere und Milz führte.

Drei weibliche Ratten wurden zur Trächtigkeitskontrolle untersucht. Trotz des aggressiveren Verhaltens der tragenden Weibchen konnte eine Ultraschalluntersuchung problemlos durchgeführt werden, ohne die Tiere stark zu belasten. Als geeignete Parameter für die Schätzung des Trächtigkeitstages erwiesen sich die Darstellbarkeit des schlagenden Herzens, der Gliedmaßenentwicklung und des Ossifikationsgrades des fetalen Skelettes.

Die Sonographie der Ratte stellte sich als gut durchführbare und diagnostisch wertvolle Methode sowohl für die tierärztliche Praxis als auch für den Einsatz in der tierexperimentellen Forschung heraus.

7 Summary

Abdominal sonography in the rat (*Rattus norvegicus f. domestica*)

In this study ultrasonic examinations in rats were performed to develop a standardized examination technique for the sonographic evaluation of the abdominal organs and the gravidity of the rat.

25 healthy rats in the age between 0.5 and 1.5 years were sonographically examined with a 15 MHz-Transducer. Comparing with the already established sonography in the dog and cat the optimal technique for imaging the organs especially in the rat were developed and the representativity of the different organ planes were evaluated. The emphasis was led on the imaging of normal anatomic and physiologic conditions to get a base for the evaluation of pathologic processes.

In exclusion of the pancreas all of the abdominal organs could have been detected and the optimal transducerpositions and standard planes for the different organs were developed. To perform sagittal planes the transducer was placed dorsolateral on the abdominal wall, a transducer position that was never mentioned in literature before. This lead to a markable improved imaging of the kidney, adrenal gland and spleen.

Three female rats were examined for gravidity control. Despite the more aggressive behaviour of the pregnant rats an ultrasonographic examination could have been performed without problems and without stressing the rats to much. Good parameters for the determination of the gestation day were the visibleness of the beating heart, of the development of the extremities and of the ossification grade of the fetal skeleton.

The sonography of the rat turned out to be a practicable and diagnostical worthy tool for the veterinary clinic as well as for the use in animal-experimental research.

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Gastrointestinaltrakt nach Entfernung des Jejunums, Ventralansicht	11
Abb. 2: Milz, Facies visceralis (links oben), Transversalschnitt (rechts unten)	14
Abb. 3: Niere im Horizontalschnitt (= Dorsalschnitt)	16
Abb. 4: Weiblicher Geschlechtsapparat, Ventralansicht	18
Abb. 5: Weiblicher Geschlechtsapparat in der Frühträchtigkeit, Lateralansicht	19
Abb. 6: Uterus duplex, Vagina simplex	20
Abb. 7: Männliche Geschlechtsorgane, Ventralansicht, Lateralansicht	22
Abb. 8: Handling beim Dorsalschnitt Handling beim Sagittalschnitt von ventral....	44
Abb. 9: Handling beim Sagittalschnitt von dorsal.....	44
Abb. 10: Ebenen im Rattenkörper	46
Abb. 11: Magen, Dorsalschnitt.....	51
Abb. 12: leerer Magen, Sagittalschnitt.....	51
Abb. 13: Duodenum descendens, Dorsalschnitt.....	53
Abb. 14: Duodenum, Transversalschnitt.....	53
Abb. 15: Zäkum, Sagittalschnitt	55
Abb. 16: Rektum, Harnblase, linker Uterus Transversalschnitt von ventral	55
Abb. 17: Dick- und Dünndarm, Transversalschnitt	56
Abb. 18: Standardleberschnitt Level I	58
Abb. 19: Standardleberschnitt Level II	59
Abb. 20: Standardleberschnitt Level III	59
Abb. 21: Standardleberschnitt Level IV	60
Abb. 22: Leber, Transversalschnitt von rechts ventral	60
Abb. 23: Leber, Transversalschnitt von rechts lateral	61
Abb. 24: Milzquerschnitt, Dorsalschnitt.....	63
Abb. 25: Milzquerschnitt, Sagittalschnitt von dorsal.....	63
Abb. 26: Milzlängsschnitt, Transversalschnitt ventrokaudal verkippt	64
Abb. 27: rechte Nebenniere, Dorsalschnitt	66
Abb. 28 linke Nebenniere, Dorsalschnitt.....	67
Abb. 29: rechte Nebenniere, Transversalschnitt von lateral	67
Abb. 30: rechte Niere, Dorsalschnitt	70
Abb. 31: rechte Niere, Sagittalschnitt von dorsal	71
Abb. 32: rechte Niere, Transversalschnitt.....	71

Abb. 33: rechte Niere, Transversalschnitt.....	72
Abb. 34: Harnblase bei einem Rattenbock, Sagittalschnitt	74
Abb. 35: Harnblase bei einem Weibchen, Transversalschnitt.....	74
Abb. 36: linkes Ovar, Dorsalschnitt.....	77
Abb. 37: rechtes Ovar, Dorsalschnitt	78
Abb. 38: Uterus, Sagittalschnitt	80
Abb. 39: Uterus unmittelbar kranial der Cervix uteri, Transversalschnitt	80
Abb. 40: Uterus, Transversalschnitt.....	81
Abb. 41: Hoden, Sagittalschnitt	82
Abb. 42: Nebenhodenkopf, Sagittalschnitt.....	83
Abb. 43: Nebenhodenschwanz, Sagittalschnitt.....	83
Abb. 44: Hoden, Transversalschnitt.....	84
Abb. 45: Schema der Standardschnittebenen zur Darstellung der akzessorischen Geschlechtsdrüsen	85
Abb. 46: Standardschnitt der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Level I	87
Abb. 47: Standardebene der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Level II	88
Abb. 48: Standardebene der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Level III	88
Abb. 49: Standardebene der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Level IV	89
Abb. 50: Standardebene der akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Level V	89
Abb. 51: Frucht am Tag 10 der Trächtigkeit	91
Abb. 52: Früchte am Tag 13 der Trächtigkeit	92
Abb. 53: Frucht am Tag 13 der Trächtigkeit	92
Abb. 54: Früchte am Tag 14 der Trächtigkeit	93
Abb. 55: Frucht am 14. Tag im Vergleich zum Paraffinschnitt vom 15. Tag.	93
Abb. 56: Früchte am Tag 16 der Trächtigkeit	94
Abb. 57: Frucht am Tag 16 der Trächtigkeit	94
Abb. 58: Frucht am Tag 16 der Trächtigkeit	95
Abb. 59: Frucht am Tag 17 der Trächtigkeit	95
Abb. 60: Frucht am Tag 17 der Trächtigkeit im Sagittalschnitt	96
Abb. 61: Frucht am Tag 17 der Trächtigkeit im Horizontalschnitt	96
Abb. 62: Frucht am 20. Tag der Trächtigkeit im Vergleich zum Paraffinschnitt	97
Abb. 63: Schädel einer Frucht am Tag 20 der Trächtigkeit.....	97
Abb. 64: Frucht am Tag 20 der Trächtigkeit	98

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Unterschiedliche Nomenklatur der Rattenleber durch verschiedene Autoren	13
Tab. 2: Sonographisch erfasste morphologische Hauptmerkmale und Größen von Mäuseembryonen.....	40
Tab. 3: Sonographisch ermittelte Maße der Nebennieren in Millimetern.	66
Tab. 4: Sonographisch ermittelte Maße der Nieren in Millimetern	70
Tab. 5: Sonographisch ermittelte Maximal- und Minimalwerte der Länge und Breite des Ovars in Millimetern	77
Tab. 6: Vergleich der Maximal- und Minimalwerte für Länge, Breite und Dicke der Nebennieren mit Werten aus der Literatur. Angaben in Millimetern.	106
Tab. 7: Vergleich der Maximal- und Minimalwerte für Länge, Breite und Dicke der Nieren mit Werten aus der Literatur. Angaben in Millimetern.	108

10 Literaturverzeichnis

Abou-Madi N (2006)

Anesthesia and analgesia of small mammals.

In: Gleed RD, Ludders JW: Recent advances in veterinary anesthesia and analgesia: companion animals.

http://www.ivis.org/advances/Anesthesia_Gleed/aboutmadi/chapter.asp?LA=1

Ackermann N, Hager D, Kaude J (1989):

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

Ang ESBC, Jr, Gluncic V, Duque A, Schafer ME et al. (2006):

Prenatal exposure to ultrasound waves impacts neuronal migration in mice.

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103(34): 12903-10

Bauck L, Bihun C (1997):

Small rodents: Basic anatomy, physiology, husbandry, and clinical techniques.

In: Hillyer EV, Quesenberry KE: Ferrets, rabbits and rodents: clinical medicine and surgery, W.B. Saunders Company, Philadelphia, S. 291-306

Beregi A, Zorn S, Felkai F (1999):

Ultrasonic diagnosis of ovarian cysts in ten guinea pigs.

Veterinary Radiology and Ultrasound 40(1): 74-76

Berghoff PC (1989):

Maus und Ratte.

In: Berghoff PC: Tierärztliche Heimtierpraxis Band 1: Kleine Heimtiere und ihre Erkrankungen, Parey Verlag, Berlin, Hamburg, S. 88-105

Berlin SC, Goske MJ, Obuchowski N, Alexander F et al. (1998):

Small bowel obstruction in rats: diagnostic accuracy of sonography versus radiography.

J Ultrasound Med 17(8): 497-504

Block B (2005):

Der Sono-Trainer.

3. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, New York

Bonfert A (1928):

Vergleichende Untersuchungen über die Homologie der Darmteile bei Nagetieren unter teilweiser Berücksichtigung der arteriellen Blutversorgung.

Anatomischer Anzeiger 65(1): 365-398

Brown AS, Zhang M, Cucevic V, Pavlin CJ et al. (2005):

In vivo assessment of postnatal murine ocular development by ultrasound biomicroscopy.

Curr Eye Res 30(1): 45-51

Burbank A (1989):

Zur mikroskopischen Anatomie des endokrinen Pankreas bei Ratte, Maus, Meerschweinchen und Kaninchen.
Vet. Med. Diss., LMU, München

Burnie D, (2001):

Tiere.
Dorling Kindersley Limited, London

Burrell L, Chan R, Phillips P, Calafiore P et al. (1996):

Validation of an echocardiographic assessment of cardiac function following moderate size myocardial infarction in the rat.
Clin Exp Pharm Physiol 23(6-7): 570-572

Chang CP, Chen L, Crabtree GR (2003):

Sonographic staging of the developmental status of mouse embryos in utero.
Genesis 36(1): 7-11

Cittadini A, Stromer H, Katz S, Clark R et al. (1996):

Differential cardiac effects of growth hormone and insulin-like growth factor-1 in the rat: A combined in vivo and in vitro evaluation.
Circulation 93(4): 800-809

Coatney RW (2001):

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

D'Arrigo JS, Ho S-Y, Simon RH (1993):

Detection of experimental rat liver tumors by contrast-assisted ultrasonography.
Investigative Radiology 28(3): 218-222

D'Arrigo JS, Simon RH, Ho S-Y (1991):

Lipid-coated uniform microbubbles for earlier sonographic detection of brain tumors.
J Neuroimaging 1(3): 134-139

Donaldson HH (1924):

Memoirs of the Wistar Institute of Anatomy and Biology: 6. The rat.
2nd ed., Philadelphia

Drescher T, Letterer H, Richter K-P (1990):

Zur Gewebecharakterisierung der Leber mittels Ultraschallschwächung im Tierexperiment.
Ultraschall Med 11(2): 104-108

Eustis SL, Boorman GA, Hayashi Y (1990):

Pathology of the Fischer Rat.
Academic Press, San Diego

Forman D, Cittadini A, Azhar G, Douglas P et al. (1997):

Cardiac morphology and function in senescent rats: Gender-related differences.
J Am Coll Cardiol 30(7): 1872-1877

Foster F, Pavlin C, Harasiewicz K, Christopher D et al. (2000):

Advances in ultrasound biomicroscopy.
Ultrasound Med Biol 26(1): 1-27

Frings B (2004):

Abdominale Sonographie beim Frettchen (*Mustela putorius f. furo* L- 1758).
Vet Med Diss, LMU, München

Fritsch R, Gerwing M (1993):

Allgemeines zur Durchführung der Sonographie.
In: Fritsch R, Gerwing M: Sonographie bei Hund und Katze, Enke Verlag, Stuttgart,
S. 18-20

Fritsch R, Gerwing M (1993):

Physikalische und technische Grundlagen der Sonographie.
In: Sonographie bei Hund und Katze, Enke Verlag, Stuttgart, S. 3-27

Gaschen L, Ketz C, Lang J, Weber U et al. (1989):

Ultrasonographic detection of adrenal gland tumor and urolithiasis in a guinea pig.
Veterinary Radiology and Ultrasound 39(1): 43-46

Gaschen L, Schuurman H-J, Bruttel K, Tanner M et al. (2001):

MRI and ultrasonographic detection of morphologic and hemodynamic changes in
chronic renal allograft rejection in the rat.
J Magn Reson Imaging 13(1): 232-241

Gneiser B (2006):

Abdominale Sonographie beim Degu.
Vet Med Diss, LMU, München

Gorgas D (2004):

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

Green EC (1963):

Anatomy of the rat.
Hafner Publishing, New York

Grzimek B (1969):

Band 2: Säugetiere.
In: Grzimeks Tierleben. Enzyklopädie des Tierreichs, Verlag Kindler, Zürich,
S. 353-358

Grzimek B (1988):

Band 3: Säugetiere.

In: Grzimeks Tierleben. Enzyklopädie des Tierreichs, Verlag Kindler, München, S. 165-176

Habermehl K-H (1975):

Die Altersbestimmung bei Haus- und Labortieren.

Parey Verlag, Hamburg, Berlin

Harland CC, Bamber JC, Gusterson BA, Mortimer PS (1993):

High frequency, high resolution B-scan ultrasound in the assessment of skin tumours.

Br J Dermatol 128(5): 525-532

Hebel R, Stromberg MW (1986):

Anatomy and embryology of the laboratory rat.

BioMed Verlag, Würthsee

Hebel R, Stromberg MW (1976):

Anatomy of the laboratory rat.

Waverly Press, Baltimore

Heine WOP (1998):

Umweltmanagement in der Labortierhaltung.

Pabst Science Publishers, Lengerich, Berlin, Düsseldorf, Leipzig, Riga, Scottsdale, Wien, Zagreb

Hida Y, Matsui N, Kawada T, Fushiki T (1999):

Ultrasonography evaluation of abdominal fat in live rats.

Journal of Nutritional Science and Vitaminology 45(5): 609-619

Inaba T, Inoue A (1985):

Use of echography in rats for pregnancy diagnosis.

Japanese Journal of Veterinary Science 47(3): 523-525

Isenbügel E (1985):

Heimtierhaltung - Motivation und Voraussetzungen.

In: Isenbügel F, Frank W: Heimtierkrankheiten,

Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 14-16

Janthur M, Lüerssen D (2001):

Nieren und Harnleiter.

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

Hund Katze, 3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 210-227

Joos KM, Blair WF, Brown TD, Gable RH (1990):

Flow field mapping in the anesthetized rat.

Microsurgery 11(1): 12-18

Keirstead HS, Fedulov V, Cloutier F, Steward O et al. (2005):

A noninvasive ultrasonographic method to evaluate bladder function recovery in spinal cord injured rats.

Experimental Neurology 194(1): 120-127

Kemp RW (2000):

Handling and restraint.

In: Krinke GJ: The Laboratory Rat, Academic Press, London, S. 31-43

Kiefer I, Alef M, Müller F, Himmelsbach P et al. (2004):

Sonographie bei Heimtieren.

Ultraschall Med 25(1): S. 91

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

Ultrasound measurement of aortic diameters in rodent models of aneurysm disease.

Journal of Surgical Research 112(1): 97-101

Koch S, Bolz P (2005):

Ratte.

In: Göbel T, Ewringmann A: Heimtierkrankheiten, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 148-171

Koller R (1932):

Das Rattenbuch.

Schaper Verlag, Hannover

Komárek V (2000):

Gross anatomy.

In: Krinke GJ: The Laboratory Rat, Academic Press, London, S. 253-275

Komárek V, Gembardt C, Krinke A, Mahrous T, A et al. (2000):

Synopsis of the organ anatomy.

In: Krinke GJ: The Laboratory Rat, Academic Press, London, S. 283-319

Koolhaas JH (1999):

The laboratory rat.

In: Poole T: The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals, 7th ed., Blackwell Sciences, S. 313-330

Künzel F, Hittmair K (2002):

Sonographische Diagnosestellung eines Trichobezoars bei einem Langhaarmeerschweinchen.

Tierärztl. Mschr. 89(1): 66-69

Kupferwasser I, Darius H, Buerke M, Rupprecht HJ et al. (1998):

Transesophageal ultrasonographic imaging in rat hearts: visualization of aortic valve vegetations in non-bacterial thrombotic endocarditis.

J Am Soc Echocardiogr 11(2): 201-5

Kuriyama S, Tsujimoto T, Nakatani Y, Tsujinoue H et al. (1999):

Sonographic estimation of liver tumor development induced by oral administration of thioacetamide in rat.

In Vivo 13(2): 129-134

Layer G (1986):

Korrelation morphologischer und biochemischer Befunde mit Ultraschallparametern der normalen und pathologisch veränderten Rattenleber.

Med. Diss., Heidelberg

Litwin SE, Katz SE, Morgan JP, Douglas PS (1994):

Serial echocardiographic assessment of left ventricular geometry and function after large myocardial infarction in the rat.

Circulation 89(1): 345-354

Litwin SE, Katz SE, Weinberg EO, Lorell BH et al. (1995):

Serial echocardiographic-Doppler assessment of left ventricular geometry and function in rats with pressure-overload hypertrophy. Chronic angiotensin-converting enzyme inhibition attenuates the transition to heart failure.

Circulation 91(10): 2645-2654

Lüerssen D, Janthur M (2001):

Gebärmutter und Scheide.

In: Poulsen Nautrup C, Tobias R: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, 3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 260-272

Lüerssen D, Janthur M (2001):

Magen und Darm.

In: Poulsen Nautrup C, Tobias R: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, 3. Auflage, Schlütersche, Hannover, S. 165-181

Lüerssen D, Janthur M (2001):

Nebennieren.

In: Poulsen Nautrup C, Tobias R: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, 3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 240-244

Lüerssen D, Prüfer A, Janthur M (2001):

Harnblase.

In: Poulsen Nautrup C, Tobias R: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, 3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 228-237

Mattoon JS, Auld DM, Nyland TG (2002):

Abdominal ultrasound scanning techniques.

In: Nyland TG, Mattoon JS: Small animal diagnostic ultrasound, W.B. Saunders Company, Philadelphia, S. 49-81

Maurer B (2005):

Auswirkungen von "Gentling"-Programmen auf das Verhalten von Laborratten (Wistar).

Vet. Med. Diss., LMU, München

Mor-Avi V, Korcarz C, Fentzke RC, Lin H et al. (1999):

Quantitative evaluation of left ventricular function in a transgenic mouse model of dilated cardiomyopathy with 2-dimensional contrast echocardiography.
J Am Soc Echocardiogr 12(3): 209-14

Niebergalla A (2003):

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

Nyland TG, Mattoon JS, Herrgesell EJ, Wisner ER (2002):

Physical principles, instrumentation, and safety of diagnostic ultrasound.
In: Nyland TG, Mattoon JS: Small animal diagnostic ultrasound, 2nd edition, W. B. Saunders Company, Philadelphia, S. 1-18

Nyland TG, Mattoon JS, Herrgesell EJ, Wisner ER (2002):

Spleen.
In: Nyland TG, Mattoon JS: Small animal diagnostic ultrasound, 2nd edition, W.B. Saunders Company, Philadelphia, S. 128-143

Nyland TG, S MJ, Herrgesell EJ, Wisner ER (2002):

Liver.
In: Nyland TG, Mattoon JS: Small animal diagnostic ultrasound, 2nd edition, W. B. Saunders Company, Philadelphia, S. 93-127

Olds RJ, Olds JR (1984):

Farbatlas der Anatomie der Ratte: Sektionsanleitung.
Schober Verlag, Hengersberg, S. 14

Panalis J, Schlolaut W, Lange K, Schley P (1985):

Trichobezoare beim Angorakaninchen - Untersuchungen zur Diagnose und Prophylaxe.
Kleintierpraxis 30(1): 209-213

Pawlush D, Moore R, TI M, WR D (1993):

Echocardiographic evaluation of size, function and mass of normal and hypertrophied rat ventricles.
J Appl Physiol 74(5): 2598-2605

Petzsch H (1992):

Die große farbige Enzyklopädie. Urania-Tierreich in 6 Bänden: Säugetiere.
1. Auflage, Urania Verlag, Leipzig, Jena, Berlin

Popesko P, Rajtova V, Horak J (1990):

Atlas anatomie malych laboratornych zvierat.
2. Ausgabe, Priroda, Bratislava

Poulsen Nautrup C (2001):

Physikalische Grundlagen.

In: Poulsen Nautrup C, Tobias R: Atlas und Lehrbuch der Ultraschall Diagnostik bei Hund und Katze, 3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 21-30

Poulsen Nautrup C (2001):

Technische Grundlagen.

In: Poulsen Nautrup C, Tobias R: Atlas und Lehrbuch der Ultraschall Diagnostik bei Hund und Katze, 3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 31-59

Poulsen Nautrup C (2001):

Untersuchungstechniken.

In: Poulsen Nautrup C, Tobias R: Atlas und Lehrbuch der Ultraschall Diagnostik bei Hund und Katze, 3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 76-82

Qin Y, van Cauteren M, Osteaux M, Willems G (1990):

Determination of liver volume in rats using MRI.

European Journal of Radiology 11(1): 191-195

Reidt M (1995):

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

Bochum

Robinson R (1984):

Norway rat.

In: Mason K: Evolution of domestical animals, FAO, Rome, S. 284-290

Rosenfield AT, Zeman RK, Cicchetti DV, Siegel NJ (1985):

Experimental acute tubular necrosis: US appearance.

Radiology 157(3): 771-774

Salomon FV (2005):

Anatomische Besonderheiten bei der Ratte (*Rattus norvegicus*).

In: Salomon F-V, Geier, Gille: Anatomie für die Tiermedizin, Enke Verlag, Stuttgart, S. 745-750

Scherer K (1993):

Trächtigkeitsdiagnose bei Kaninchen, Meerschweinchen und Ratte.

Tierärztliche Praxis 21, Sonderheft Ultraschall Diagnostik in der Veterinärmedizin, S. 63-64

Scherrer-Crosbie M, Steudel W, Hunziker PR, Foster GP et al. (1998):

Determination of right ventricular structure and function in normoxic and hypoxic mice: a transesophageal echocardiographic study.

Circulation 98(10): 1015-21

Scherrer-Crosbie M, Steudel W, Ullrich R, Hunziker PR et al. (1999):
Echocardiographic determination of risk area size in a murine model of myocardial ischemia.

Am J Physiol 277(3 Pt 2): H986-92

Schleyer D (1971):

Zur makroskopischen und mikroskopischen Anatomie des Genitaltrakts der weiblichen Albinoratte (*Mus rattus norvegicus albinos*).

Vet. Med. Diss., LMU, München

Scholz S, Lüerssen D (2001):

Milz.

In: Poulsen Nautrup C, Tobias R: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze, 3. Auflage, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 202-210

Schulze S, Holm-Nielsen A, Mogensen P (1991):

Transurethral ultrasound scanning in the evaluation of invasive bladder cancer.

Scand J Urol Nephrol 25(3): 215-217

Schwarz ER, Pollick C, Meehan WP, Kloner RA (1998):

Evaluation of cardiac structures and function in small experimental animals: transthoracic, transesophageal, and intraventricular echocardiography to assess contractile function in rat heart.

Basic Res Cardiol 93(6): 477-486

Silverman RH, Lizzi FL, Ursea BG, Rondeau MJ et al. (2001):

High-resolution ultrasonic imaging and characterization of the ciliary body.

Invest Ophthalmol Vis Sci 42(5): 885-894

Soots A, Lautenschlager I, Krogerus L, Saarinen O et al. (1998):

An experimental model of chronic renal allograft rejection in the rat using triple drug immunosuppression.

Transplantation 65(1): 42-46

Starck D (1995):

5. Teil: Säugetiere, 5/1: Allgemeines, Ordo 1-9.

In: Wirbeltiere, Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, New York, S. 594-654

Stieger SM, Wenker C, Ziegler-Gohm D, Flückiger M (2003):

Ureterolithiasis and papilloma formation in the ureter of a guinea pig.

Veterinary Radiology and Ultrasound 44(3): 326-239

Stout DB, Chatziioannou AF, Lawson TP, Silverman RW et al. (2005):

Small animal imaging center design: the facility at the UCLA Crump Institute for Molecular Imaging.

Molecular imaging and biology 7(6): 393-402

Stützel K (1994):

Instrument und physikalische Grundlagen.

In: Stützel K: Abdominale Sonographie bei Hund und Katze, Verlag Medicus-Partner, Budapest, S. 12-33

Stützel K (1994):

Praktische Durchführung der Ultraschalluntersuchung des Abdomens.

In: Stützel K: Abdominelle Sonographie bei Hund und Katze, Verlag Medicus-Partner, Budapest, S. 34-40

Suzuki T, Takezawa Y, Tamura Y, Mashimo T et al. (1991):

Sectional anatomy of the pelvis in the male rat with ultrasound correlations.

Anatomical Record 231(2): 275-85

Tsukamura H, Ohkura S, Maeda K-i (2000):

Physiology of reproduction.

In: Krinke GJ: The Laboratory Rat, Academic Press, London, S. 145-176

van der Gulden WJI, Hooijdonk van CL, Jong de P, Kremer AK (1975):

Versuchstierkunde und Versuchtiertechnik, Band I.

Veröffentlichung der Gesellschaft für Versuchstierkunde, Nr. 4, S. 97-102

Verhoef-Verhallen E (1999):

Kaninchen- und Nagetiere-Enzyklopädie.

Dörfler Verlag, Eggolsheim

Walker WF, Jr, Homberger DG (1997):

Anatomy and dissection of the rat.

3. Auflage, W. H. Freeman and Company, New York

Wijnbergen A (2005):

Ratte.

In: Fehr M, Sassenburg K, Zwart P: Krankheiten der Heimtiere, Schlütersche Verlag, Hannover, S. 133-159

Wilson DE, Reeder DM (1993):

Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference.

Smithsonian Books, Washington

Yang R, Kopecky KK, Rescorla FJ, Galliani CA et al. (1993):

Changes of hepatoma echo patterns with tumor growth: a study of microanatomic basis in a rat model.

Investigative Radiology 28(6): 507-512

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

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

European radiology 10(3): 417-424

Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn PD Dr. Sven Reese für die Überlassung des Themas und die hervorragende und intensive Betreuung und Zusammenarbeit danken, die meine Arbeit an dieser Dissertation besonders lehrreich und interessant gemacht haben.

Bei Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. mult. H.-G. Liebich bedanke ich mich für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes und der technischen Geräte am Institut für Tieranatomie (I).

Im Besonderen möchte ich mich auch bei Elina Grodtmann für die sehr gute Zusammenarbeit während der Zeit der gemeinsamen Untersuchungen und dem nachfolgenden Austausch herzlichst bedanken. Die Zeit mit dir hat mich sehr bereichert und ich hoffe wir bleiben in Kontakt.

Vielen Dank an alle Lektoren, die sich viel Zeit für die kritische Durchsicht meiner Arbeit genommen haben.

Bei Matthias Benz bedanke ich mich von ganzem Herzen. Seine Motivation, sein Interesse, sein weitergegebenes Wissen und seine Zuneigung haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Meiner Familie, der ich diese Arbeit widme, möchte ich auf diesem Wege zeigen, wie entscheidend ihre Unterstützung und ihr Vertrauen für mich waren und sind. Ohne euren Zuspruch und eure Liebe wäre dies alles nicht möglich gewesen!

Lebenslauf

JULIA LEHMANN

Geb. am 05. Juni 1979 in Freiburg im Breisgau

ELTERN

Peter Lehmann

Franziska Lehmann, geb. Bittighofer

GESCHWISTER

Constanze Lehmann

Annette Lehmann

AUSBILDUNG

1989-1995	Hansjakob-Realschule, Freiburg
1995-1998	Max-Weber-Wirtschaftsgymnasium, Freiburg
1999-2005	Studium der Tiermedizin, Ludwig-Maximilians-Universität München
2001-2002	Auslandssemester, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
03/2005	Approbation als Tierärztin

BERUFSERFAHRUNG

09/2005-08/2006	Assistenz in der Kleintierklinik Landwasser, Freiburg
seit 10/2006	Internship an der Tiermedizinischen Universität Wien

PROMOTION

02/2005-10/2006	Anfertigung der vorliegenden Dissertation am Institut für Tieranatomie der Ludwig-Maximilians-Universität München, Lehrstuhl für Tieranatomie (I), insbesondere Systematische und Topographisch-klinische Anatomie
-----------------	--