

Funktionelle Anatomie und Sonographie des Rüdenpenis

Catharina Hölscher

INAUGURAL-DISSERTATION zur Erlangung des Grades eines **Dr. med. vet.**
beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2012

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2012

© 2012 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

Aus dem Klinikum Veterinärmedizin
Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie
der Groß- und Kleintiere mit tierärztlicher Ambulanz
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. A. Wehrend

Funktionelle Anatomie und Sonographie
des Rüdenpenis

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Dr. med. vet.
beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

Catharina Hölscher

Tierärztin aus Coesfeld

Gießen 2012

Mit Genehmigung des Fachbereichs für Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer

Gutachter: Prof. Dr. Axel Wehrend

Prof. Dr. Dr. Stefan Arnhold

Tag der Disputation: 26.04.2012

Erklärung nach §10(5) der Promotionsordnung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen:

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Arbeit selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Catharina Hölscher

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	5
2	Literaturübersicht	6
2.1	Anatomie	6
2.1.1	Anatomie des Penis des Rüden.....	6
2.1.2	Gefäßstruktur	9
2.1.3	Innervation	12
2.2	Physiologie der Peniserektion	12
2.3	Grundlagen des Ultraschalls.....	14
2.3.1	Physikalische Grundlagen.....	14
2.3.2	Verhalten der Schallwellen.....	16
2.3.3	Preprocessing und Postprocessing.....	17
2.3.4	Bilddarstellungsverfahren.....	18
2.3.5	Der Dopplereffekt.....	20
2.3.6	Anwendungsverfahren	22
2.3.7	Artefakte.....	23
2.3.8	Grundlagen des Compoundverfahrens	24
2.3.9	Grundlagen der Graustufenanalyse	25
2.4	Ultraschalluntersuchung des Penis	27
2.5	Priapismus.....	29
2.5.1	Priapismus beim Hund.....	30
3	Material und Methoden.....	32
3.1	Anatomische Präparate	32
3.2	Probanden.....	32
3.2.1	Hunde der Gruppe A.....	33
3.2.2	Hunde der Gruppe B.....	33

Inhaltsverzeichnis

3.3	Vorbericht und andrologische Untersuchung.....	33
3.4	Ultraschallgeräte.....	34
3.4.1	Zonare Diagnostic ultrasound system.....	34
3.4.2	Honda HS-1500	35
3.5	Hunde der Gruppe A	36
3.5.1	Vermessung des Penis.....	36
3.5.2	Sonographische Untersuchung des Penis unter Verwendung des Zonare Z.one.....	37
3.5.3	Graustufenanalyse.....	39
3.6	Hunde der Gruppe B	40
3.6.1	Vermessung des Penis im erigierten Zustand.....	41
3.6.2	Sonographische Untersuchung des Penis im erigierten Zustand unter Verwendung des Zonare Z.one.....	41
3.7	Vermessung der Aufnahmen im B-Mode.....	44
3.8	Statistische Auswertung	46
4	Ergebnisse.....	48
4.1	Andrologische Untersuchung der Rüden.....	48
4.2	Messungen am Penis in Bezug auf die Länge der Pars longa glandis und des Bulbus glandis	49
4.3	Messungen am Ultraschallbild.....	51
4.4	Statistischer Einfluss der Körpermasse und der Kastration.....	60
4.5	Anatomische Strukturen am Präparat.....	64
4.6	Anatomische Strukturen im Ultraschall.....	66
4.6.1	Sonographische Untersuchung des Penis in Längs- und Querschnitten bei Rüden der Gruppe A und B im unerigierten Zustand	67
4.6.2	Sonographische Untersuchung des Penis in Längs- und Querschnitten bei Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand.....	74
4.7	Graustufenanalyse im Bereich der Querschnittsebenen	79

4.7.1	Statistische Auswertung der Grauwertanalyse.....	84
4.8	Korrelation einzelner Parameter	85
5	Diskussion	88
5.1	Diskussion der Fragestellung	88
5.2	Diskussion der Materialien.....	89
5.2.1	Anatomische Präparate.....	89
5.2.2	Probanden	89
5.2.3	Ultraschallgeräte	90
5.3	Diskussion der Methodik	91
5.3.1	Sonographische Untersuchung.....	91
5.3.2	Sonographie im erigierten Zustand	91
5.3.3	Sonographie im unerigierten Zustand	92
5.3.4	Graustufenanalyse.....	92
5.4	Diskussion der Ergebnisse	93
5.4.1	Messergebnisse und Korrelationen.....	93
5.4.2	Anatomische Präparate.....	96
5.4.3	Sonographie im B-Mode bei Rüden der Gruppen A und B im	
	unerigierten Zustand	96
5.4.4	Sonographie im B-Mode bei Rüden der Gruppe B im erigierten	
	Zustand.....	97
5.4.5	Zusammenhang der Ergebnisse der andrologischen Untersuchung	
	und sonographischen Darstellung.....	100
5.4.6	Einsatz des Compoundverfahrens	100
5.4.7	Graustufenanalyse.....	101
5.5	Abschließende Bemerkung.....	101
6	Zusammenfassung	102
7	Summary.....	105

8	Literaturverzeichnis.....	108
9	Anhang.....	116
9.1	Signalement der Rüden aus Gruppe A.....	116
9.2	Signalement der Rüden aus Gruppe B.....	117
9.3	Kumulierte Normalverteilung Ergebnisse einzelner Messstrecken Gruppe A und B.....	119
10	Danksagung	132

1 Einleitung und Fragestellung

Während in der Humanmedizin die Ultraschalluntersuchung des Penis bereits seit mehreren Jahren beschrieben ist, finden sich hierzu in der Veterinärmedizin nur wenige Quellen. Dabei hat sich in der Humanmedizin diese nicht invasive Untersuchungsmethode als geeignet erwiesen pathologische Veränderungen, insbesondere auch im Hinblick auf die Priapismusdiagnostik, am Penis darzustellen. Währenddessen liegen in der Tiermedizin nur wenige Veröffentlichungen über Fallberichte zum Priapismus beim Rüden vor, die teilweise die Darstellung dieser Erkrankung durch die Sonographie einschließen. Da es Parallelen in Anatomie und Pathologie des Penis zwischen Mensch und Hund gibt, stellt sich die Frage, inwiefern die Ultraschalluntersuchung des Penis auch in der Tiermedizin beim Rüden etabliert werden könnte.

Ziel der Arbeit war es zunächst, ein besonderes Augenmerk auf die Darstellung der anatomischen Strukturen und Gewebe des Penis zu richten, um diese im Ultraschallbild voneinander zu differenzieren und anhand ihrer physiologischen Strukturen zu untersuchen. Ein weiteres Ziel war die funktionelle Darstellung der entsprechenden Strukturen, die über den Vergleich im erigierten und unerigierten Zustand erfolgen sollte. Hierzu sollten ergänzend auch die Maße des Rüdenpenis sowohl im nicht erigierten als auch im erigierten Zustand in Relation zum Körpergewicht des Rüden erfasst werden. Sonographische Darstellungen haben sich in der Humanmedizin bei Erektionsstörungen, wie z. B. der Impotentia coeundi und den verschiedenen Formen des Priapismus bewährt und ermöglichen Aussagen zur Prognose bezüglich der Erhaltung der erektilen Funktion oder aber sogar zur Erhaltung des gesamten Organs. Es ist davon auszugehen, dass die Methodik eine sinnvolle Ergänzung in der Veterinärmedizin darstellt, welche auch die weiterführende Diagnostik bei Fällen von Penispathologien, wie Priapismus, oder Erektionsstörungen sinnvoll bereichert.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomie

2.1.1 Anatomie des Penis des Rüden

Der Penis des Rüden wird in drei Abschnitte eingeteilt: Radix penis, Corpus penis und Glans penis (Christensen 1954). Er wird in unerigiertem Zustand von der Vorhaut, dem Präputium, bedeckt.

Das Präputium setzt sich von der Bauchwand ab und ist im auslaufenden Teil allseits frei. Den Eingang zur Präputialkavität bildet das Ostium präputiale. Die Präputialkavität besteht aus einem Innen- und einem Penisblatt. Die beiden Blätter gehen in Höhe des Bulbus glandis ineinander über (Gasse 2004).

Im Penis existieren zwei verschiedene Schwellkörpertypen (Abb. 1 und 2): 1. das Corpus rigidum penis (auch Corpus cavernosum), 2. das Corpus spongiosum penis (Budras 2000).

Das Corpus cavernosum entspringt als paarige Anlage an der Tuberositas ischiadicum (Christensen 1954) und ist dort am Knochen durch die ebenfalls paarigen Crura penis fixiert (Budras 2000). Das Corpus cavernosum teilt sich in einen linken und rechten Anteil auf, die jeweils in dorso-lateraler Lage nach distal verlaufen und als Os penis enden (Christensen 1954). Diese Zweiteilung lässt sich im Bereich des Penisschaftes makroskopisch durch ein vollständiges Septum erkennen (Gasse 2004). Das Corpus spongiosum und das Corpus cavernosum werden von der Tunica adventitia umgeben, welche mit elastischen Fasern durchzogen ist und Mediantrabekel in das Corpus cavernosum entlässt (Liebich 2004). Das Corpus spongiosum verläuft ventro-median im Bereich des Caput penis bedeckt vom Os penis (Budras 2000). Aus ihm entfaltet sich der Glans-Schwellkörper, auch Corpus spongiosum glandis, genannt. Dieser bildet die Glans penis (Budras 2000). Die Glans penis beinhaltet nur beim Rüden und beim Hengst einen ausgeprägten venösen Schwellkörper. Im Bindegewebe zwischen den kavernen Räumen sind vermehrt elastische Fasern und glatte Muskelzellen vorhanden (Liebich 2004).

Das Os penis entwickelt sich nach der Geburt als distaler, verknöchertes Teil des Corpus cavernosum. Es hat eine verdickte Basis und verjüngt sich nach distal zu einer fibrösen Spitze. An der ventralen Fläche befindet sich der Sulcus urethralis, in dem die Urethra mit dem Corpus spongiosum verläuft (Christensen 1954, Gasse 2004). Die Urethra besteht aus einem häutig-muskulösem Schlauch, bei dem eine Pars pelvina urethrae und eine Pars spongiosa urethrae unterschieden werden können. Dieser Schlauch ist ab der Einmündung des Ductus deferens sowohl für den Transport des Harns, wie auch des Spermas verantwortlich. Die Auskleidung des Lumens wird fast vollständig von einem Übergangsepithel gebildet. Die Pars spongiosa urethrae, der kavernöse Penisteil, beinhaltet in seiner Lamina propria dünnwandige Venen. Diese Venen bilden aufgrund ihres erheblichen Umfangs einen Schwellkörper, das Corpus spongiosum urethrae (Liebich 2004). Im Bereich des Corpus penis ist es durch das paarige Corpus cavernosum dachförmig bedeckt. Die Glans penis besteht aus einem Bulbus glandis und einer Pars longa glandis.

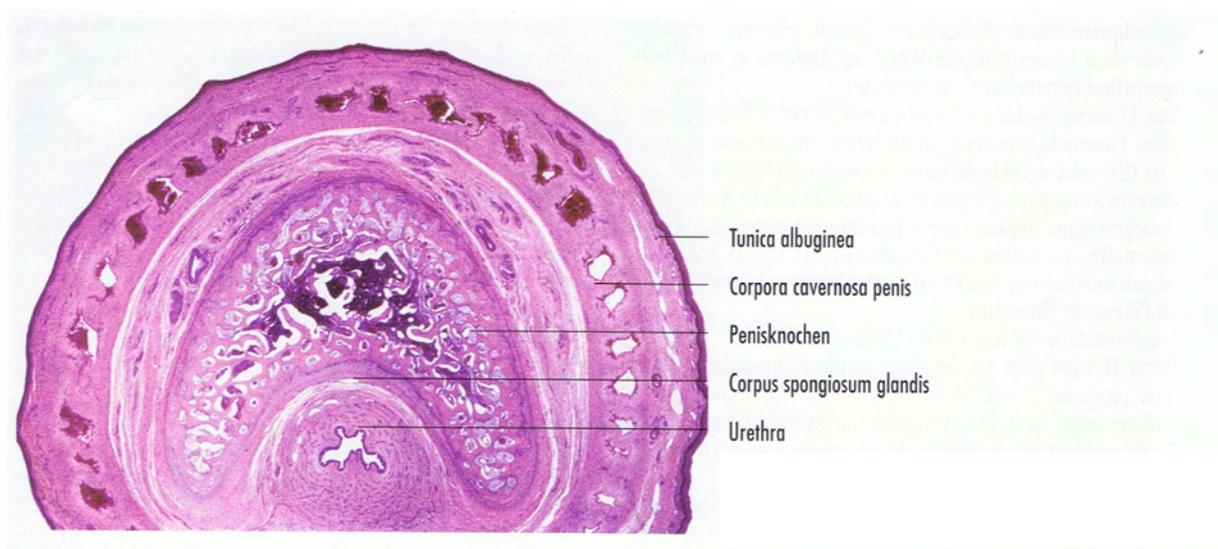


Abb. 1: Histologischer Querschnitt des Rüdennpenis mit Darstellung der Schwellkörper, des Penisknochens und der Harnröhre (Liebich 2004)

Der Bulbus glandis umschließt den proximalen Anteil des Os penis. Sein umfangreichster und erweiterungsfähigster Anteil befindet sich dorsal (Christensen 1954).

Vier paarige Muskeln sind im Bereich des Penis aufzufinden: 1. Der Musculus (M.) bulbospongiosus, 2. der M. ischiocavernosus, 3. der M. ischiourethralis und 4. der M. retractor penis. Mit Ausnahme des M. retractor penis handelt es sich um quergestreifte Muskulatur. Der M. bulbospongiosus geht aus dem M. urethralis im Bereich der Beckenhöhle hervor. Er ist durch ein Septum zweigeteilt und bedeckt den Bulbus penis (Gasse 2004). Er fusioniert mit dem M. retractor penis im proximalen Drittel des Corpus penis (Christensen 1954) und strahlt Muskelfaserbündel in das Septum scroti ein (Gasse 2004). Der M. ischiocavernosus entspringt beidseits am Arcus ischiadicus und umfasst die Crura penis, um mit deren Vereinigung im Abschnitt der Radix penis zu enden. Der M. ischiourethralis hat seinen Ursprung zwischen M. ischiocavernosus und M. obturatorius internus an der Innenseite des Tuber ischiadicum. Er fließt mit seiner Sehne in das Ligamentum transversum perinei ein, wodurch er Einfluss auf die Vena dorsalis penis ausübt und durch deren Kompression zur Füllung des erektilen Gewebes beiträgt (Gasse 2004). Der M. retractor penis hat seinen Ursprung am Kreuzbein oder den ersten Schwanzwirbeln. Er verschmilzt mit der kontralateralen Seite als ventrale Mastdarmschleife und zieht paarig über den M. bulbospongiosus hinweg, um dann in das Penisblatt des Präputiums einzustrahlen. Aufgrund seiner schwachen Ausbildung wird er als funktionell unbedeutend eingeschätzt (Gasse 2004).

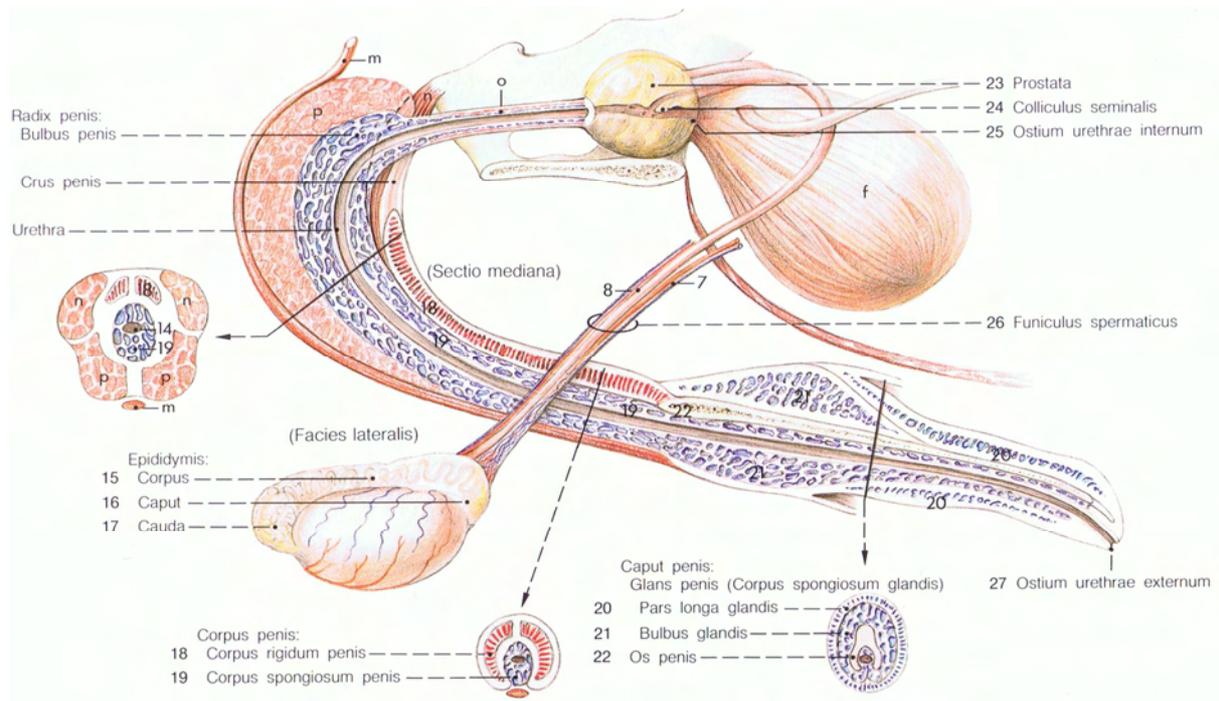


Abb. 2: Anatomische Übersicht des Rüdenpenis mit Einteilung der funktionell-anatomischen Abschnitte und Bezeichnung der anatomischen Strukturen (Budras 2000)

2.1.2 Gefäßstruktur

Die Blutversorgung des Penis wird über einen Endast der Arteria (A.) pudenda interna, der A. penis, sichergestellt. Aus der Aorta zweigt die A. iliaca interna ab, welche im weiteren Verlauf in Höhe des Abgangs der A. glutea caudalis in die A. pudenda interna übergeht (Budras 2000).

Die A. penis entlässt ihrerseits die A. bulbi penis, welche das Corpus spongiosum versorgt. Danach wird die A. profunda penis entlassen, aus welcher die Blutversorgung des Corpus cavernosum resultiert. Als dritte Arterie wird die A. dorsalis penis aus der A. penis entlassen. Sie verläuft dorsal gelegen bis zur Penisspitze und anastomosiert als tierartige Besonderheit des Hundes mit der A. pudenda externa über deren Ramus praeputialis (Waibl et al. 1996a).

Die A. bulbi penis teilt sich kurz nach deren Einmündung in das Corpus spongiosum in zwei bis drei Äste auf. Der Hauptast verläuft über eine kurze Strecke auf dem dorsomedialen Anteil des Bulbus nach distal und mündet dann in diesem. Ein weiterer Ast mündet kurz nach seiner Entstehung im Corpus spongiosum. Diese beiden Hauptäste der A. bulbi penis verzweigen sich innerhalb des Bulbus penis in viele Arteriolen, welche das arterielle Blut direkt in die kavernösen Räume leiten (Ninomiya et al. 1989).

Die A. profunda penis teilt sich kurz nach ihrem Ursprung in zwei Äste. Einer dieser Äste verläuft nach distal und endet im proximalen Anteil des Corpus cavernosum, während der andere nach proximal führt, um im Crus penis zu münden. Auch diese Äste transportieren Blut über viele Arteriolen direkt in die kavernösen Räume des Corpus cavernosum (Ninomiya et al. 1989).

Die A. dorsalis penis führt Blut nach distal zum Bulbus glandis und spaltet sich im proximalen Bereich der Glans penis in drei Äste auf: In einen oberflächlichen, einen tiefen und einen präputialen Ast (Christensen 1954). Der präputiale Ast verläuft dorso-distal und teilt sich wiederum in viele Äste, die teilweise den oberflächlichen Teil der Pars longa glandis, teilweise das äußere Blatt des Präputiums mit Blut versorgen und mit Endästen der A. pudenda externa anastomosieren (Christensen 1954). Der oberflächliche Ast führt ventro-distal zum Epithel der Glans penis. Der tiefe Ast durchdringt die Tunica albuginea und trifft tief im Gewebe des Bulbus glandis auf die dorsolaterale Oberfläche des Os penis (Christensen 1954).

Das Schwellgewebe des Corpus cavernosum penis und des Corpus spongiosum penis entwickelt sich aus kavernenartig erweiterten arteriellen Bluträumen. Beim Fleischfresser hat das umgebende Gewebe einen hohen Anteil glatter Muskelzellen bei einem gleichzeitig geringen Anteil an Bindegewebe (Liebich 2004). Die kavernösen Räume des Corpus cavernosum penis werden von Arteriae (Aa.) helicinae versorgt, welche als epitheloide Sperrarterien mit Venen anastomosieren. Die Intima der Kavernen enthält epitheloide glatte Muskelzellen, bei deren Kontraktion die kavernösen Räume fast vollständig verschlossen werden (Liebich 2004). Im Corpus cavernosum penis sind die kavernösen Räume klein, eng und quer zur Längsachse ausgerichtet, während sie im Corpus spongiosum penis längs angeordnet sind (Ninomiya et al. 1989).

Der venöse Abfluss erfolgt über die Vena (V.) pudenda interna und die V. pudenda externa, wobei die V. pudenda interna in die V. iliaca interna übergeht und diese dann Blut in die V. iliaca communis überführt. Die V. iliaca communis ihrerseits fließt in die V. cava caudalis ein. Die V. pudenda externa geht in die V. iliaca externa ein (Christensen 1954).

Die V. penis, der zweite Endast der V. pudenda interna, teilt sich beim Fleischfresser in die V. bulbi penis und die V. profunda penis (Waibl et al. 1996b).

Die V. dorsalis penis geht, anders als bei den übrigen Spezies, bereits aus der V. pudenda interna hervor (Waibl et al. 1996b). Sie ist paarig angelegt, und die beiden Äste verlaufen zunächst nach caudal, bevor sie sich vereinen. Durch beide Äste wird das venöse Blut des Bulbus glandis abgeleitet (Ninomiya et al. 1989).

Der Verlauf der V. pudenda interna ist zwischen dem M. levator ani, dem M. coccygeus und dem M. obturatorius internus nachzuvollziehen. Bei Kontraktion dieser Muskeln wird die V. pudenda interna komprimiert (Ninomiya et al. 1989).

Die V. profunda penis ist für den venösen Abfluss des Corpus cavernosum penis zuständig. Sie entsteht aus fünf bis sechs Nebenästen in Höhe der Crura penis. Histologisch ist ein sich verjüngendes Lumen im Ursprung darstellbar, welches sich beim Hervortreten aus dem kavernen Körper vergrößert (Ninomiya et al. 1989).

Die V. bulbi penis tritt aus dem Corpus spongiosum penis hervor und transportiert Blut aus diesem bis zu ihrer Einmündung in die V. penis. Die zuführenden Äste treten vom ventro-medialen Anteil in das Gefäß ein. Auch hier ist ein verengtes Lumen im Bereich des Austrittes aus dem Corpus spongiosum penis darstellbar (Ninomiya et al. 1989).

Die V. superficialis glandis hat ihren Ursprung im dorso-proximalen Teil der Pars longa glandis und verläuft über die dorsale Fläche der Pars longa glandis nach proximal. Sie endet über mindestens zwei Verbindungen in der V. pudenda externa (Christensen 1954, Ninomiya et al. 1989).

2.1.3 Innervation

Der Penis wird sowohl über parasymphatische als auch über sympathische Anteile innerviert. Dies erfolgt über den Nervus (N.) pudendus, welcher anteilmäßig vor allem aus dem Ventralast des dritten Sakralnerven besteht. Die parasymphatischen Fasern dieses Nerven, die Nervi (Nn.) pelvini, stammen aus dem Lumbosakralmark und fließen in den Plexus pelvinus ein. Der N. pudendus lässt sich als N. dorsalis penis bis zur Penisspitze verfolgen und verzweigt sich in der Glans penis (Liebich 2004). Hayashida et al. (1996) fertigten eine histologische Studie bezüglich der Innervation der Arterien, Venen und des Corpus cavernosum an und konnten sowohl große Nervenbündel als auch feine Nervenfasern in der Adventitia und auch in der äußeren Schicht der Media der Arterien nachweisen. Außerdem befand sich im Trabekularsystem des Corpus cavernosum ein feines Netzwerk aus Nervenfasern.

2.2 Physiologie der Peniserektion

Der Rüdenpenis wird wie auch der Penis des Hengstes dem muskulokavernösen Typ zugeordnet. Während der Erektion erhält das Gewebe durch die begrenzte Erweiterung der Tunica albuginea eine derb-elastische Konsistenz (Liebich 2004).

Im unerigierten Zustand ist hauptsächlich der Sympathikus aktiv. Die Durchblutung dient alleine der Gewebeversorgung (Andersson und Wagner 1995). In dieser Phase befinden sich die glatten Muskelzellen der Intima innerhalb des Corpus cavernosum sowie die glatten Muskelzellen der Anastomosen zwischen Arterien und Venen in Kontraktion. Somit sind die Hohlräume des erektilen Gewebes weitgehend verschlossen (Liebich 2004). Der N. pelvinus ist als parasymphatischer Anteil der Innervation des Penis hauptverantwortlich für die Erektion (Carati et al. 1987). Rochat (2001) benennt die Erektion ausgelöst durch den N. pelvinus als reflektorische Erektion. Demgegenüber stellt er die psychogene Erektion, welche durch das übergeordnete zerebrale Zentrum hervorgerufen wird.

Viele Autoren stützen ihre Aussagen bezüglich der Mechanismen der Erektion auf Experimente, in denen sie durch elektrische Manipulation am N. pelvinus eine Erektion bei adulten, narkotisierten Hunden verschiedener Rassen und Größen auslösten (Carati et al. 1987, Dorr und Brody 1967). Inwieweit diese Mechanismen den Erektionsmechanismen unter physiologischen Bedingungen entsprechen, ist unklar.

Die Corpora cavernosa bilden im Bezug auf den Blutdruck während der Erektion ein Hochdrucksystem, während im Corpus spongiosum und in der Glans penis ein geringerer Druck vorherrscht (Christensen 1954; Purohit und Beckett 1979). Während der Erektion dilatieren die Arteriolen der Schwellkörper bedingt durch eine Erschlaffung der glatten Muskulatur und das Gewebe des Penis füllt sich mit Blut (Carati et al. 1987).

Aboseif und Lue (1988) sowie Christensen (1954) unterscheiden mehrere Phasen während der Entwicklung der Rigidität des Penis: In der ersten Phase dilatieren zunächst die helicalen und kavernen Arterien. Es kommt zu einer vermehrten arteriellen Durchblutung und durch Kontraktion der kavernen glatten Muskulatur zu einer geringen Druckerhöhung. Dorr und Brody (1967) stellten in einer Studie fest, dass in dieser Phase der Blutdruck in der A. dorsalis penis fällt, während der Druck in den Venen und im Bulbus glandis ansteigt. In der zweiten Phase findet ein geringer Druckabfall statt, der durch einen erhöhten venösen Abfluss bedingt ist (Aboseif und Lue 1988, Andersson und Wagner 1995). Während dieser Phase wird das Corpus cavernosum penis nicht vermehrt durchblutet. Die abschließende dritte Phase ist durch den höchsten Druckanstieg innerhalb des erektilen Gewebes gekennzeichnet und mit einem vollständigen Sistieren des venösen Abflusses verbunden.

Die vollständige Rigidität des Penis wird durch die Druckerhöhung innerhalb der Corpora cavernosa und eine gleichzeitige äußere Kompression seitens der Tunica albuginea und den damit stagnierenden venösen Abfluss erreicht. Zusätzliche Starrheit zur vollständigen Erektion ist durch die Kontraktion des M. bulbospongiosus und M. ischiocavernosus gegeben, weshalb der intrakavernöse Druck über den systolischen Blutdruck hinaus ansteigt; zudem kommt es zu keinerlei Blutfluss durch das Gefäßsystem (Aboseif und Lue 1988).

Zum Ende der Erektion nimmt die Aktivität des sympathischen Systems zu, was zu einem erhöhten venösen Abfluss, unterstützt durch die Kontraktion der glatten Muskulatur innerhalb des Trabekularsystems des erektilen Gewebes, und zu einem rapiden massiven Abfall des intrakavernösen Druckes führt, so dass der Penis in den unerigierten Zustand übergeht (Andersson und Wagner 1995).

2.3 Grundlagen des Ultraschalls

2.3.1 Physikalische Grundlagen

Die mechanischen Dichtewellen, welche als Ultraschall benannt werden, umfassen Frequenzen außerhalb des menschlichen Hörbereichs von 20 kHz bis 100 MHz, wobei die medizinisch genutzten Frequenzen in der Regel zwischen 1 und 10 MHz, selten bis 15 MHz, liegen. Ultraschallwellen werden durch die piezoelektrische Eigenschaft einiger Kristalle, wie z. B. Quarz oder Lithiumniobat, erzeugt. Durch hochfrequente elektrische Wechselspannungen beginnen diese Kristalle zu schwingen und geben damit Ultraschallwellen ab. Eine Aufnahme von Ultraschallwellen durch die Kristalle erzeugt im Gegenzug eine messbare Wechselspannung (Fritsch und Gerwing 1993, Poulsen-Nautrup 2007a).

Poulsen-Nautrup (2007a) trifft folgende Aussagen bezüglich des Ultraschalls: Je nach durchlaufender Materie zeigen Ultraschallwellen verschiedene Verhaltensmuster. Die Amplitude (J) beschreibt die maximale Auslenkung einer Schwingung und vergrößert sich bei erhöhter Energiezufuhr. Dies hat in der Real-Time-Sonographie ein helleres Bild zur Folge. Die Schallwellengeschwindigkeit hängt von der Frequenz und der Wellenlänge ab. Sie wird durch die Ausbreitungsgeschwindigkeit und damit durch die Beschaffenheit des Mediums beeinflusst. Je höher die Dichte eines Mediums, desto schneller breitet sich der Schall aus. Je geringer die Dichte, desto geringer ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit.

Als Impedanz wird der Schallwellenwiderstand bezeichnet, welcher überwunden werden muss, um die Moleküle eines Gewebes in Schwingungen zu versetzen.

Einfluss auf die Impedanz nehmen die Dichte des Gewebes und die Ausbreitungsgeschwindigkeit (Fritsch und Gerwing 1993). Eine Reflexion der Schallwellen kann sich an akustischen Grenzflächen vollziehen. Diese Grenzflächen beschreiben den Übergang zwischen zwei Stoffen unterschiedlicher Impedanz. Wellen, die reflektiert werden, werden vom Schallkopf wieder aufgefangen, sofern sie zuvor in einem Winkel von 90° auf das Medium aufgetroffen sind und damit um 180° wieder zurückgeworfen wurden. Die nicht reflektierten Wellen transmittieren durch das Medium. Wellen, die in einem Winkel kleiner als 90° auf die Materie treffen, werden gebrochen und erreichen in der Regel den Schallkopf nicht. Das heißt, dass nur senkrecht getroffene Flächen hinsichtlich ihrer Echogenität und Schichtdicke sicher beurteilt werden können (Poulsen-Nautrup 2007a). Das Verhältnis zwischen Reflexion und Transmission hängt von dem Impedanzunterschied der beiden benachbarten Stoffe ab. Je höher dieser ist, desto mehr Schallwellen werden reflektiert (Fritsch und Gerwing 1993). Ein Beispiel für einen sehr hohen Impedanzunterschied ist der Übergang zu Knochengewebe. Wird Schallenergie bei der Transmission durch ein Medium in Wärme umgewandelt, so spricht man von Absorption. Die Absorption ist in dichten Geweben wie Knochen oder Konkrementen sehr hoch. So werden vom Knochen ca. 50% der Schallenergie reflektiert, während der Rest absorbiert wird. Dagegen erzeugt Luft eine Totalreflektion. Durch diese hohe Reflektion bzw. Absorption wird der Schall vollkommen ausgelöscht, und hinter dem Gewebe entsteht ein sogenannter Schallschatten. Wässrige Flüssigkeiten leiten dagegen den Schall fast vollkommen weiter, wodurch die Darstellung der nachfolgenden Strukturen aufgrund der hohen Schallintensität verstärkt wird (Fritsch und Gerwing 1993). In weicheren Geweben nimmt die Absorption mit der Erhöhung der Frequenz linear zu, so dass bei höheren Frequenzen eine geringe Eindringtiefe vorherrscht. An Randbereichen von stark absorbierenden Stoffen findet eine Beugung der Schallwellen in den Schallschatten hinein statt. Dieses Phänomen ist auch an abgerundeten Organen, wie Niere oder Fruchtblase zu beobachten. Es entsteht ein divergierender Schallschatten (Poulsen-Nautrup 2007a).

2.3.2 Verhalten der Schallwellen

Die räumliche Ausdehnung der Schallwellen hängt in axialer Richtung von Dauer und Länge des Schallimpulses ab und ist in jedem Abstand zum Schallkopf identisch. Die laterale Ausdehnung hingegen ist abhängig von der Eindringtiefe und der Form der Ultraschallquelle und variiert. Damit sind je nach Entfernung zum Schallkopf das Nahfeld, auch Fresnel-Zone, die Fokuszone und das Fernfeld (Fraunhofer-Zone) zu unterscheiden (Fritsch und Gerwing 1993). Eine dritte Ebene senkrecht zur lateralen Ausdehnung ist die Schichtdicke, die durch die Tiefe der Piezokeramik beeinflusst wird (Poulsen-Nautrup 2007b).

Fast parallel verlaufende und interferierende Schallwellen kennzeichnen das Nahfeld. Grenzflächen gleicher Reflexionsqualität werden im Nahfeld unterschiedlich echogen abgebildet, da Gebiete mit sich gegenseitig auslöschenden Schallwellen dicht neben sich verstärkenden Regionen liegen. Damit ist das Nahfeld unerwünscht und kann mit hoher Frequenz und möglichst kleiner Ultraschallquelle klein gehalten werden. Die Verwendung einer Vorlaufstrecke ist für das Nahfeld von Vorteil, da es durch die Stauchung der Bildzeilen in diesem Bereich zu einem Schlüssellockeffekt kommt und damit zu einer geringen Auflösung (Poulsen-Nautrup 2007b). In der Fokuszone sind die Schallwellen gebündelt. Dieser Bereich ist kurz, ergibt jedoch die beste laterale Auflösung. Die Größe des Nahfeldes ist abhängig von dem Durchmesser des Wandlers und der Schallfrequenz. Je höher die Frequenz und je größer die Schallquelle, desto besser die Einschnürung der Schallwellen und deren Intensität. Im Fernfeld divergieren die Ultraschallwellen wieder auseinander, wodurch die laterale Auflösung abnimmt (Fritsch und Gerwing 1993). Das Fernfeld gestaltet sich bei niedriger Frequenz und großer Ultraschallquelle geringer. Um Strukturen im Nahfeld besser darstellen zu können, bedient man sich einer Vorlaufstrecke, durch die der Abstand zwischen Schallkopf und Gewebe vergrößert und das zu untersuchende Gewebe in der Fokuszone abgebildet wird. Auch mechanische und elektronische Fokussierungen werden zur Hilfe genommen, um das Nahfeld zu verkürzen. Die Schichtdickenfokussierung wird durch Linsen in Linear- und Konvexschallköpfen sowie durch eine elektronisch zeitverschobene Ansteuerung bei Annular-Phased-Array-Sektortransducern erreicht (Poulsen-Nautrup 2007b).

Der Begriff Auflösung beschreibt den Mindestabstand zweier gerade noch bildlich getrennt voneinander darstellbarer Punkte. Im Bereich des Ultraschalls werden ein laterales und ein axiales Auflösungsvermögen unterschieden (Fritsch und Gerwing 1993). Die Dauer und die Länge des Schallimpulses beeinflussen das axiale Auflösungsvermögen eines Systems. So muss der Abstand zweier darzustellender Grenzflächen größer als die halbe Länge des Ultraschallimpulses multipliziert mit der Schallausbreitungsgeschwindigkeit im Gewebe sein. Daraus ergibt sich im weichen Gewebe im Bereich der Fokuszzone ein axiales Auflösungsvermögen von 1,5 mm bei 1 MHz, von 1,0 mm bei 3,5 MHz, von 0,2 mm bei 7,5 MHz und von 0,1 mm bei 15 MHz. Das laterale Auflösungsvermögen hingegen wird durch die Ultraschallfrequenz sowie durch die Geometrie des Schallfeldes und die Eindringtiefe beeinflusst. Sie ist zwei- bis viermal schlechter als die axiale Auflösung und kann durch die Bündelung der Schallwellen bei Fokussierung des Schwingers verbessert werden (Fritsch und Gerwing 1993). Bei einem 7,5 MHz Schallkopf kann in der Fokuszzone ein laterales Auflösungsvermögen von 0,6 mm erreicht werden. Generell gilt, je höher die gewählte Frequenz, desto geringer die Eindringtiefe und desto höher das Auflösungsvermögen und umgekehrt. Damit deckt der 5 MHz Schallkopf fast alle Einsatzgebiete ab (Poulsen-Nautrup 2007b).

2.3.3 Preprocessing und Postprocessing

Die Begriffe Intensität der ausgesandten Schallimpulse, die zeitabhängige Verstärkung, die Gesamtverstärkung, das Enhancement, der Dynamikbereich und die Bildintegration fallen unter den Bereich des Preprocessing, d. h. alle Maßnahmen an den Ultraschallwellen vor deren Signalumwandlung (Poulsen-Nautrup 2007b).

Die Schallintensität beträgt maximal 100 mW/cm^2 , was 100 % entspräche und in der Regel auch verwendet wird. Jedoch kann diese bei niedrigen Frequenzen bis auf 45-75 % herunter reguliert werden. Die Tiefenverstärkung, auch time gain compensation (TCG), gleicht den Intensitätsverlust der Ultraschallwellen mit zunehmendem Abstand vom Schallkopf aus. Dabei kann die Schallschwächung abhängig vom Gewebe, beispielsweise im Muskel bis zu 3 dB pro cm und MHz betragen. Der Ausgleich erfolgt im Zuge der Empfangsimpulsverarbeitung (Fritsch und Gerwing 1993). Das Gain, die Gesamtverstärkung, ist eine Funktion, die zeitunabhängig die

Echos aller Gewebeschichten verstärkt. Alle Einstellungen sind so zu wählen, dass im abgedunkelten Raum alle Graustufen und auch weiß und schwarz gut zu differenzieren sind. Das Echoenhancement befähigt, einzelne Echos gezielt zu verstärken. Im Dynamikbereich wird der Bereich zwischen dem kleinsten und dem größten dargestellten Echo festgelegt. Ein weiches Bild entsteht in einem hohen Dynamikbereich von bis zu 70 dB, ein hartes dagegen bei einem niedrigen Dynamikbereich (Poulsen-Nautrup 2007b).

Für den Ultraschall unbewegter Organe eignet sich zur Vorhebung kleiner Strukturen die sogenannte Bildintegration. Es können dabei 1,2, 1,5 oder 2 Bilder addiert werden (Poulsen-Nautrup 2007b).

Die Nachbearbeitung eines dargestellten Bildes wird als Postprocessing bezeichnet. Dies umfasst vor allem die Kontrastregulierung durch Veränderungen an der Graustufen-Skala (Poulsen-Nautrup 2007b).

2.3.4 Bildarstellungsverfahren

Man unterscheidet verschiedene Bildverfahren, welche zusätzlich unterteilt werden können: Das A-Bildverfahren, das M-Bildverfahren, das B-Bildverfahren und das Dopplerverfahren.

Das A-Bildverfahren oder Impulsechoverfahren war in den 60er Jahren im Bereich der Trächtigkeitsdiagnostik etabliert, wird heute aber nur noch in Ausnahmefällen verwendet. Bei dieser Methode werden Gewebeflächen, die in einer Linie hintereinander liegen, auf einer Kathodenstrahlröhre als vertikale Signale mit unterschiedlicher Amplitude dargestellt (Poulsen-Nautrup 2007b).

Beim M-Mode oder TM-Mode Verfahren werden eindimensionale Ultraschallwellen in zeitlicher Abhängigkeit nach rechts wandernd dargestellt. So ermöglicht die Darstellung beweglicher Grenzflächen im Zeit-Bewegungsintervall die Messung von Geschwindigkeit und Bewegungsausmaß. Dieses Verfahren findet in der Echokardiographie Verwendung (Fritsch und Gerwing 1993).

Beim B-Bildverfahren oder auch B-Mode stellen sich die aufgefangenen reflektierten Schallwellen als unterschiedlich helle Punkte auf einem Monitor dar. Dabei nehmen

die Impedanzsprünge der dargestellten Grenzflächen und deren Abstände zueinander Einfluss auf die Darstellung. Dieses Verfahren ist das meist eingesetzte Verfahren (Fritsch und Gerwing 1993).

Die Ultraschallbilder können ein- oder zweidimensional dargestellt werden. Die verschiedenen Reflexionsgrade der Gewebe ergeben unterschiedliche Graustufen in der bildlichen Darstellung. Zeitlich gesehen ist eine Differenzierung zwischen Aufzeichnungs- und Real-Time-Verfahren möglich (Poulsen-Nautrup 2007b).

Zu den zweidimensionalen Aufzeichnungsverfahren gehört beispielsweise das Compound-Verfahren. Bei diesem Verfahren werden einzelne eindimensionale Bilder zu einem zweidimensionalen Bild zusammengesetzt. Reflexionen von hintereinanderliegenden Grenzstrukturen werden in einer vertikalen Linie wiedergegeben. Die einzelnen Bilder werden während der Untersuchung durch vorgegebene manuelle Positionsänderungen des Schallkopfes erzeugt und dann im Gerät zusammengefügt (Poulsen-Nautrup 2007b). Von Vorteil ist bei diesem Verfahren die Möglichkeit, ganze Körperquerschnitte darstellen zu können. Allerdings stellen ein hoher Zeitaufwand, das Risiko der Bildung von Artefakten bei Bewegung des Patienten und die fehlende Möglichkeit, Bewegungen darzustellen, deutliche Nachteile dar (Fritsch und Gerwing 1993).

Das eindimensionale TM-Mode Verfahren und die zweidimensionale Sonographie zählen zu den Real-Time-Verfahren. Diagnostischer Standard ist heute das Real-Time-Verfahren, bei welchem mindestens 20-50 zweidimensionale Bilder pro Sekunde entstehen. Das Scannen eines Bereiches erfolgt mechanisch oder elektronisch (Poulsen-Nautrup 2007b).

Je nach verwendetem Schallkopf liegt ein Sektor-, Linear- bzw. Parallel- oder Konvexsonogramm vor. Die Schallwellen werden divergierend ausgesandt (Fritsch und Gerwing 1993). Das Bildformat ist dreieckig bis schmal-trapezförmig. Diese Schallköpfe arbeiten mechanisch, elektrisch (Phased-Array-Applikator) oder mit beiden Techniken (Annular-Array-Applikator). Sie haben eine kleine Auflagefläche und dadurch bedingt eine gute Ankopplung. Dies ist gerade im Bereich der Zwischenrippenräume günstig (Poulsen-Nautrup 2007b). Allerdings ist das Nahfeld durch einen kleinen Bildausschnitt gekennzeichnet, und die Auflösung in der Tiefe wie auch in Randzonen ist vermindert (Fritsch und Gerwing 1993).

Bei Verwendung eines Linear- oder Parallelschallkopfes, dem Multielementschallkopf, entsteht ein Bild gleich der Breite des Schallkopfes. Hier werden mehrere Piezokristalle zu einer Gruppe zusammengefasst, die dann eine Sende- und Empfangseinheit bilden und mit anderen Gruppen interagieren. Es werden elektronisch gesteuerte Linear-Arrays und Phased-Arrays differenziert. Der Unterschied liegt in der phasenweise getrennten Ansteuerung einiger Elemente bei den Phased-Arrays. Ein positiver Aspekt ist in der guten lateralen und schallkopfnahen Auflösung und in der guten elektronischen Fokussierung zu sehen. Nachteilig ist dagegen die große Auflagefläche (Fritsch und Gerwing 1993).

Eine Zwischenstufe der beiden vorgenannten Systeme bildet der Konvexschallkopf. Das breit-trapezförmige Bildformat entsteht aus Signalen der in konvexer Form nebeneinander liegenden Piezoelementen. Die Ankopplung und die schallkopfnahen Auflösung sind als gut zu bewerten (Poulsen-Nautrup 2007b).

Das Tissue Harmonic Imaging Verfahren (THI) beschreibt die Verwendung einer sogenannten Oberwelle zur Bilddarstellung, welche die doppelte Frequenz der gesendeten Unterwelle besitzt. Die Oberwelle (harmonische) entsteht durch die nichtlineare Ausbreitung der gesendeten Ultraschallwellen im Gewebe, genauer durch die Änderung der druckabhängigen Phasengeschwindigkeit der Welle (Heynemann et al. 2004).

2.3.5 Der Dopplereffekt

Anders als die von unbewegten Objekten reflektierten Schallwellen haben die Schallwellen von bewegten Substanzen eine Frequenzverschiebung oder einen Dopplershift. Der Dopplershift stellt die Differenz zwischen der Frequenz der ausgesandten und der reflektierten Schallwellen dar. Bewegt sich ein Medium auf den Schallkopf zu, so wird die Frequenz der reflektierten Schallwellen größer als die Frequenz der ausgesandten Wellen. Im Gegensatz dazu wird die Frequenz kleiner, wenn sich das Medium vom Schallkopf weg bewegt (Poulsen-Nautrup 2007b).

Angewandt wird der Dopplereffekt bei der Messung von Blutströmen. Die Strömungsgeschwindigkeit und das Verhältnis zwischen Bewegungsrichtung der Blutkörperchen und der Ausbreitungsrichtung der Ultraschallwellen bestimmen die

Größe des Dopplershifts. So können mathematisch korrigierte Fließgeschwindigkeiten des Blutes dargestellt werden (Poulsen-Nautrup 2007b).

Werden TM-Mode bzw. eine zweidimensionale Sonographie und das Dopplerverfahren kombiniert, spricht man von der Duplexsonographie (Poulsen-Nautrup 2007b).

Beim kontinuierlichen Dopplerverfahren, dem CW-Dopplerverfahren, liegen ein Sende- und ein Empfängerelement vor. Die Echos der bewegten Elemente werden in Form einer für jedes vaskuläre System typischen Kurve dargestellt. Die Gestalt der Kurve ist abhängig von der Spitzengeschwindigkeit, welche bis zu sehr hohen Werten bei diesem Verfahren gemessen werden kann. Das Haupteinsatzgebiet bildet die Kardiologie (Poulsen-Nautrup 2007b).

Beim gepulsten Dopplerverfahren (PW-Dopplerverfahren) findet nur ein Piezokristall Verwendung. Dieser wird zwischen Sender und Empfänger hin und her geschaltet. Die Empfangsintervalle ergeben sich aus dem Verhältnis zwischen Piezoelement und dem zu untersuchenden Gefäß. Aus diesem Abstand ergibt sich die Anzahl der pro Sekunde gesendeten Signale, die Pulsrepetitionsrate (PRF). Die PRF verhält sich proportional zur mittleren Schallgeschwindigkeit und umgekehrt proportional zur doppelten Eindringtiefe. Eine Winkelkorrektur und damit die Messung von nicht parallel zum Schallkopf verlaufenden Blutströmen sind möglich, allerdings können sehr hohe Fließgeschwindigkeiten nicht erfasst werden. Die Darstellung beim CW- und PW-Dopplerverfahren erfolgt mittels einer zeitabhängigen Y-Achse und einer X-Achse, an der die bildlichen Veränderungen abgebildet werden. Objekte, die sich auf den Schallkopf zu bewegen, werden im positiven Bereich zur Nulllinie, solche, die sich vom Schallkopf weg bewegen, im negativen Bereich dargestellt. Zu den gepulsten Dopplerverfahren zählt auch das farbkodierte Dopplerverfahren. Dieses Verfahren wird häufig als Duplexsonographie angewendet, und Strömungen werden in rot, blau oder im Falle von Turbulenzen mit gelb/grün wiedergegeben. Es gilt als einfache und schnelle Methode, gerade im Bereich des Herzultraschalls (Poulsen-Nautrup 2007b).

Um bei den verschiedenen Dopplerverfahren den Dopplershift noch reell beurteilen zu können, darf dieser nicht größer sein als die Hälfte der maximalen Pulsrepetitionsrate. Dieser maximale Dopplershift wird auch als Nyquist-Frequenz

bezeichnet. Eine Veränderung der Nyquist-Frequenz und damit eine Erhöhung des Dopplershifts kann durch eine Verschiebung der Nulllinie und eine Erhöhung der Pulsrepetitionrate erreicht werden. Auch im Dopplerbereich ist eine Signalgesamtverstärkung (Gain) möglich. Durch das Herausfiltern niedriger Frequenzen werden langsame Bewegungen von z. B. Herz- oder Gefäßwänden aus dem Messbereich entfernt. Dies geschieht durch Zuhilfenahme des Wandfilters (low velocity reject). Gleichzeitig kann im PW- und CW-Verfahren das Hintergrundrauschen mit dem Signalfilter (Rauschunterdrückung) herausgenommen werden. Auch kann der maximale Geschwindigkeitsbereich festgelegt werden, wodurch die gesamte Messskala ausgenutzt werden kann. Die Festlegung des Messvolumens beim PW-Verfahren ist so zu wählen, dass das zu untersuchende Gefäß möglichst zentral angesprochen wird. Beim farbkodierten Verfahren sollte der Bereich möglichst klein gewählt werden, um die axiale Auflösung zu optimieren. Auch der Einsatz einer zeitabhängigen Verstärkung steht zur Verfügung (Poulsen-Nautrup 2007b).

2.3.6 Anwendungsverfahren

Zur Sicherstellung einer optimalen Ankopplung an die Körperoberfläche wird Ultraschallkontaktgel verwendet. Hauptbestandteile im Gel sind Glycerol und Wasser.

Die erstellten Abbildungen werden zunächst nach der Lage und Größe der einzelnen Strukturen beurteilt. Dabei kann der Vergleich zu benachbarten, gut ansprechbaren Strukturen oder die exakte Vermessung der Längs- und Querachse sowie der Gesamtfläche durchgeführt werden (Fritsch und Gerwing 1993). Die Beurteilung der dargestellten Gewebestrukturen erfolgt in Bezug auf ihre Echostärke, -größe und -dichte. Entsteht in einem Gewebe keinerlei Echo, gilt dieses als echofrei oder anechogen. Dies ist bei homogenen Flüssigkeiten der Fall, und die Abbildung erfolgt schwarz. Im nachfolgenden Gewebe entsteht dabei eine Schallverstärkung. Eine geringe Echodichte wird in dunklen Graustufen wiedergegeben und als echoarm oder hypoechogen bezeichnet. So stellen sich z. B. Lymphknoten, Blut oder ein Abszeß physiologisch als echoarm dar. Parenchymatöse Organe erscheinen in ihrer Darstellung als graue Bildfläche. Dies wird als mittel reflexdicht bezeichnet. Hellgrau

bis weiß erscheinen hingegen Grenzflächen mit starker Reflexion. Sie sind echoreich oder hyperechogen. Zu diesen Geweben zählen sowohl luft- und gashaltige Organe als auch Knochengewebe (Fritsch und Gerwing 1993).

Die Echoverteilung charakterisiert die Gewebe als homogen oder inhomogen. So wird eine gleichmäßige Verteilung der Echos als homogen und eine ungleichmäßige Verteilung als inhomogen bezeichnet (Fritsch und Gerwing 1993). Aus der komplexen Interaktion von Absorption, Streuung und Reflexion resultiert die Darstellung der Textur parenchymatöser Organe. Die Darstellung der Textur ist durch die spezifische Anordnung von sogenannten „Speckles“ charakterisiert (Lorenz und Delorme 2000), wobei ein Speckle aus mehreren benachbarten Pixeln, den kleinsten Bildelementen, besteht (Delorme und Zuna 1995).

2.3.7 Artefakte

Die Begriffe Wiederholungsecho, Rauschen, Schallschatten, akustische Spiegelung, Schichtdickenartefakt, Bogenartefakt, Kometenschweifartefakt, laterale Schallauslöschung und relative distale oder dorsale Schallverstärkung stehen für Kunstprodukte der Sonographie, deren Auftreten die Beurteilung eines Gewebes beeinträchtigen kann (Fritsch und Gerwing 1993).

Ein Wiederholungsecho oder Revertebration bezeichnet die gleichmäßige Wiederholung einer reflexreichen Grenzschicht in nachfolgenden Bereichen. Dabei nimmt die Echodichte dieser Revertebrationen kontinuierlich ab. Die Reflexion zwischen zwei vorliegenden reflexreichen Grenzschichten kann unterschiedlich oft erfolgen. Ein Beispiel stellt die schlechte Ankopplung an die Haut dar. Revertebrationen werden auch als Auslöser für die sogenannten Kometenschweifartefakte verantwortlich gemacht. Diese entstehen hinter kleineren Knochen oder Fremdkörpern als schmutzige Schallschatten (Fritsch und Gerwing 1993).

Bogenartefakte bezeichnen Fehlprojektionen von reflexreichen Strukturen, wie Knochen, Gasen oder Fremdkörpern, in benachbarte hypoechogene Strukturen als bogenförmige Reflexlinie (Fritsch und Gerwing 1993).

Liegen in einem Ultraschallbild mehrere kleine inhomogene Echos (diffuses Rauschen) vor, so kann dies das Resultat einer zu hoch gewählten Verstärkung sein. Dieses Artefakt kommt vor allem in echofreien Geweben zum Vorschein. Als weitere Ursache eines Störechos kommen aber auch weitere, im Raum betriebene elektrische Geräte in Frage (Poulsen-Nautrup 2007c).

Ein Schallschatten wird durch eine Totalreflexion im Gewebe erzeugt. Dies ist bei Knochen oder auch unvollständig bei Konkrementen der Fall. Dabei liegt die minimale Ausdehnung einer Struktur zur Erzeugung eines Schallschattens bei 2-3 mm. Aber auch flüssigkeitsgefüllte Organe, an deren Rändern es zur Brechung der Schallwellen kommt, können einen solchen Schatten erzeugen. Dabei spricht man von einer lateralen Schallauslöschung. Im Gegensatz zur Schallauslöschung findet im Bereich dorsal bzw. distal von reflexarmen Strukturen eine Schallverstärkung statt (Fritsch und Gerwing 1993).

Der Schall des Nah- und Fernfeldes erzeugt aufgrund seiner lateralen Ausdehnung an den Rändern von flüssigkeitsgefüllten Organen ein sogenanntes Schichtdickenartefakt. Es bildet sich ein Saum unscharf abzugrenzender Echos (Poulsen-Nautrup 2007c).

Im Bereich der Dopplersonographie ist häufig die Spiegelung der Geschwindigkeitsdarstellung an der Nulllinie zu beobachten. Dieses Aliasing-Phänomen entsteht durch die Messung zu hoher Geschwindigkeiten, welche oberhalb der Nyquistfrequenz liegen. Starke Bewegungen des Organsystems oder der Muskulatur können als Störsignale die Messung beeinflussen. Auch eine zu hoch oder zu niedrig gewählte Gesamtverstärkung kann die Graphik negativ beeinflussen (Poulsen-Nautrup 2007c).

2.3.8 Grundlagen des Compoundverfahrens

Anfang der 70er Jahre wurden die ersten Ultraschallsysteme mit einer Compound-Technik ausgestattet. Diese Technik bestand in der Zusammenfügung vieler einzeln aufgenommener Bildlinien zu einem Gesamtbild. Der verwendete Schallkopf war lediglich in der Lage, eine Linie zu senden. Nach Veränderung der Schallkopfposition entstanden weitere Linien, die dann zu einem Bild addiert wurden (Schade 2002).

Heute sind grundsätzlich zwei Verfahren des Compoundings zu unterscheiden: 1. das Spatial Compounding und 2. das Frequenz Compounding. Beim Spatial Compounding werden Bilder aus unterschiedlichen Richtungen oder Winkeln aufgenommen und dann zu einem Gesamtbild addiert (Hetzel 2003). Beim Einsatz des Frequenz-Compounding führt die simultane Summation räumlicher und frequenzabhängiger Ultraschallsignale zu einem Bild in Echtzeit. Dies bedingt eine höhere Bildschärfe und eine bessere Detailauflösung (Thomas et al. 2007).

Die sogenannten „Speckles“ entstehen, wie bereits beschrieben, durch Interferenzbildung von Streuvolumina (Nauth et al. 1986). So bilden höhere Frequenzen ein feineres Specklemuster als niedrige Frequenzen. Durch eine Kombination hoher und niedriger Frequenzen werden diese Muster gemittelt (Hetzel 2003).

2.3.9 Grundlagen der Graustufenanalyse

Die Graustufenanalyse (GSA) beschreibt ein computergestütztes Quantifizierungsverfahren der Graustufen im B-Mode Verfahren (Kauffold et al. 2010). Dabei sind 256 Graustufen zu differenzieren, wobei das menschliche Auge lediglich 20 bis 30 Graustufen zu unterscheiden vermag. Die Graustufenanalyse dient der Beurteilung der charakteristischen Ultraschalltextur eines untersuchten Organs. Grundlage ist dabei die Annahme, dass sich in homogenen Bereichen eines Gewebes die Dämpfung, die Streufunktion oder die räumliche Streuerverteilung quantitativ in Korrelation zum Gewebe festlegen lassen (Gärtner et al. 1998). Die Beschreibung der Textur ergänzt die Ultraschalluntersuchung zusätzlich zur Festlegung der Organgröße und –form sowie pathologischer Veränderungen. Drei visuelle Kriterien kennzeichnen die Textur eines Bildausschnittes: 1. die Helligkeit, 2. die Kontraste und 3. die Homogenität der Bildpunkte. Die Darstellung der Textur sowie die Charakteristika der Speckles sind abhängig von 1. dem untersuchten Organ, 2. dem durchschallten Medium, 3. dem verwendeten Gerät und 4. dessen Einstellung (Delorme und Zuna 1995).

In die quantitative Bewertung der Textur werden verschiedene Parameter einbezogen: 1. Die Grauwertstatistiken erster Ordnung zur Rekapitulation der

Bildhelligkeit, 2. die Gradientenstatistiken erster Ordnung zur Feststellung des Kontrastes, 3. die Statistiken der Grauwertabhängigkeitsmatrix zur Festlegung der Mikrostruktur, grobkörnigen Textur und der Homogenität, 4. die Verlaufsstatistiken zusätzlich zur Beschreibung der Homogenität. Diese statistischen Parameter werden aus dem digitalisierten B-Mode mit Hilfe einer speziellen Software entweder direkt im verwendeten Ultraschallgerät oder aber in einem externen angeschlossenen PC berechnet (Delorme und Zuna 1995).

Es wird im B-Mode Bild eine region of interest (ROI) mit einer einstellbaren Fläche von 1-5 cm² gewählt. Innerhalb dieses Bezirkes werden die Struktur und Verteilung der Graustufen analysiert. Zu den Parametern der Grauwertstatistik der ersten Ordnung gehören der mittlere Grauwert, die Standardabweichung, die Schiefe, der Exzeß und die Quantile der Grauwertverteilung. Sie beschreiben die Verteilungsform der Grauwerte ohne Berücksichtigung auf deren Anordnung. Die Parameter der Gradientenstatistik bestehen aus dem mittleren Gradientenbetrag, der Gradientenvarianz und der relativen Häufigkeit der Kantenelemente. Durch den mittleren Gradientenbetrag werden die Grauwertdifferenzen benachbarter Pixel beschrieben (Delorme und Zuna 1995).

Die Parameter Kontrast, Homogenität, Entropie und Korrelation bilden die Grauwertabhängigkeitsmatrix, welche auf den Grauwerten von Pixelpaaren basiert. Zur Ermittlung der Verlaufslängenstatistik wird das digitalisierte Bild spalten- und zeilenweise auf Ketten sich ähnelnder Grauwerte abgesucht. Der Statistik liegen in diesem Fall die Parameter Verlaufsstückelung, Verlaufslängenbetonung, Abschnittszuteilung und Längenzuteilung zugrunde (Delorme und Zuna 1995).

Die Graustufenanalyse wurde in der Humanmedizin vor allem zur Diagnostik benigner und maligner Veränderungen an parenchymatösen Organen wie der Schilddrüse, Lymphknoten oder der Leber eingesetzt (Delorme und Zuna 1995). Weiter fanden Studien zur Charakterisierung von Hoden und Prostata des Mannes statt (Gärtner et al. 1998). Auch in der Tiermedizin finden sich Studien zur Charakterisierung des Hodengewebes. U.a. führten Kastelic et al. (2001) eine Studie an den Hoden von 129 Bullen und Kauffold et al. (2011) eine Studie am Nebenhoden von 10 Ebern durch und stellten diese in Relation zur Spermaproduktion der Tiere. Eine weitere Studie (Kauffold et al. 2010) erläutert die Ultraschalluntersuchung und Grauwertanalyse am porcinen Uterus.

2.4 Ultraschalluntersuchung des Penis

Zur Ultraschalluntersuchung am Rüdenpenis findet sich nur die Arbeit von Payan-Carreira und Bessa (2008). Daneben existieren zwei Fallberichte von Martins-Bessa et al. (2008) und Lavelly (2009), in denen Abbildungen des Penis im nicht erigierten Zustand im Vergleich zum Penis mit akuten Priapismusgeschehen in einer Ultraschallebene angefügt sind. Payan-Carreira und Bessa (2008) beschreiben die B-Mode Sonographie am physiologischen uneregierten Penis bei 20 Rüden unter Darstellung von Glans penis, Corpus spongiosum und Corpus cavernosum mit Hilfe eines 5-9 MHz Linearschallkopf. Der Penis wurde während der Untersuchung im Präputium belassen.

Verglichen mit der makroskopischen Anatomie des Rüdenpenis, ließen sich die verschiedenen Strukturen im Ultraschall klar darstellen. Das Ultraschallbild der Glans penis zeigt im Querschnitt im Bereich der Penisspitze eine kleine ovale hyperechogene Struktur, angesprochen als das fibro-cartilaginöse Ende des Os penis. Diese Struktur nimmt nach caudal an Dichte zu und wird v-förmig. Es entsteht ein Schallschatten hinter dem Os penis. Die Autoren beschreiben die Urethra als eine anechogene Struktur, welche im Zentrum eines homogenen, geringgradig hyperechogenen Gewebes liegt. Dieses Gewebe wird aufgrund der anatomischen Vorkenntnisse als Corpus spongiosum angesprochen. Nach außen hin lässt sich ein weiteres Gewebe mittlerer Echogenität und Granulierung darstellen, die Pars longa glandis. Die Sinusoide des erektilen Gewebes der Glans und des Corpus cavernosum erscheinen anechogen. Den äußeren Abschluss um die Pars longa glandis bildet die Tunica albuginea als lineare, stark hyperechogene Struktur (Payan-Carreira und Bessa 2008).

Der Querschnitt im Bereich des Bulbus glandis weist neben dem Os penis, der Urethra, dem Corpus spongiosum und der Tunica albuginea, das erektile Gewebe des Bulbus glandis auf. Dieses stellt sich wenig echogen, homogen mit granulierter Textur dar. Eine anechogene Zone, die Tunica albuginea umgebend, spiegelt die präputiale Kavität wieder. Ein sonographischer Querschnitt im Bereich des Corpus penis stellt die Lage der hypoechogenen und homogenen Corpora cavernosa lateral des Corpus spongiosum dar. Präskrotal sind auch die großen Blutgefäße darstellbar.

Postskrotal erhält das Corpus spongiosum einen weniger hyperechogenen Charakter. Dieses erklären sich die Autoren mit der im Vergleich zur präskrotalen Region tieferen Lage des Corpus spongiosum zu den Corpora cavernosa. Hier sind auch der M. ischiocavernosus, der M. bulbospongiosus sowie der M. retractor penis differenzierbar (Payan-Carreira und Bessa 2008).

Die Längsschnitte wurden sowohl in ventro-dorsaler, als auch in latero-lateraler Ebene angefertigt. Hier ist in beiden Schnitten wiederum das Os penis darstellbar, wobei es in der latero-lateralen Ansicht doppelt erscheint, da die v-förmige Beschaffenheit einen doppelten Anschnitt ermöglicht. Distal des Os penis tritt wie auch im Querschnitt durch die Totalreflexion der Schallwellen ein Schallschatten auf. Im Weiteren sind hier die präputiale Kavität, die erektilen Gewebe mit ihren sinusoiden Räumen und die Urethra mit gleicher Echogenität wie in den Querschnitten auffindbar (Payan-Carreira und Bessa 2008).

Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass aufgrund der guten Darstellbarkeit und Nachvollziehbarkeit der anatomischen Strukturen des Rüdenpenis ein Einsatz dieser nicht invasiven Untersuchungstechnik zur Evaluation pathologischer Veränderungen ebenso wie beim Menschen möglich ist (Payan-Carreira und Bessa 2008).

In der Humanmedizin ist der Ultraschall des Penis ein bereits etabliertes Verfahren. Vergleichbar mit der Studie von Payan-Carreira und Bessa (2008) beschreiben Wilkins et al. (2003) die erektilen Gewebe des menschlichen Penis in der Ultraschalldarstellung. Auch beim Menschen stellt sich das Corpus cavernosum als hypoechogenes, homogenes Gewebe dar. Die Tunica albuginea wird als echogene, das Corpus cavernosum begrenzende Struktur beschrieben, welche in ihrer Ausdehnung nicht mehr als 2 mm dick ist. Das Corpus spongiosum erscheint als Gewebe mit einer im Vergleich höheren Reflexion. Bertolotto und Neumaier (1999) beschreiben die Ultraschallanwendung am humanen Penis im Hinblick auf die Darstellung der funktionellen Anatomie. So nimmt mit Beginn der Erektion die Echogenität der Corpora cavernosa ab, was auf eine Volumenzunahme der sinusoiden Räume in den erektilen Geweben zurückgeführt wird. Die Abnahme der Echogenität beginnt an den Lokalisationen der Arterien. Während der maximalen Rigidität des Penis ist die Auskleidung der Sinusoide als feines Maschenwerk anzusprechen. Die kavernösen Papillen erscheinen als klare, echogene Strukturen.

Auch die Arterien können aufgrund der Echogenität ihrer Wände gut lokalisiert werden.

Mittels Farbdoppler-Verfahren konnten sowohl die Shuntgefäße im Corpus spongiosum als auch die Ringgefäße am nicht erigierten Penis dargestellt werden, während die helicalen Arterien und deren Äste nicht darstellbar waren. Im erigierten Zustand steigt der Blutfluss in den Arterien an. Es ist zunächst eine Erhöhung des diastolischen, als auch des systolischen Blutflusses feststellbar. In einer darauffolgenden Phase sinkt der diastolische Blutfluss drastisch ab, um mit Schluss der Venen zu sistieren und sich dann umzukehren. Bei maximaler Rigidität des Penis sinkt auch der systolische Fluss. Beim Rückgang der Erektion ist ein erneuter diastolischer Blutfluss in den Arterien, im Corpus spongiosum und den Venen darstellbar. In den ersten Phasen der Erektion können auch die helicalen Arterien aufgefunden werden (Bertolotto und Neumaier 1999).

2.5 Priapismus

Eine der möglichen Erkrankungen des Penis, bei deren Diagnostik und Prognose der Ultraschall sich bereits beim Menschen als gut geeignet erwiesen hat, ist der Priapismus.

Priapismus ist definiert als persistierende Erektion, welche nicht durch sexuelle Stimulation hervorgerufen wird (Orima et al. 1989). Die Erektion besteht dabei länger als vier Stunden (Lavelly 2009).

Beim Mann stellt Priapismus einen akuten Notfall dar und erfordert schnelle therapeutische Maßnahmen (Anheuser et al. 2009). Es besteht eine geringe Inzidenz von 1,5 pro 100.000 Personen im Jahr, wobei klinische Fälle in allen Altersgruppen auftreten. Die Inzidenz der Erkrankung bei Männern ab dem 40. Lebensjahr lag im Jahr 2001 bei 2,9 pro 100.000 Personen (Eland et al. 2001). Priapismus kann mit dem klinischen Bild der Paraphimose verwechselt werden. Allerdings liegt bei der Paraphimose im Unterschied zum Priapismus keine Erektion vor, sondern der Penis wirkt aufgrund einer Stauung versteift, da er durch

pathologische Veränderungen am Präputium nicht in dieses zurückverlagert werden kann (Lavelly 2009).

2.5.1 Priapismus beim Hund

Neben Priapismusfällen bei Pferd, Katze und Seelöwe (Orima et al. 1989, Schumacher und Hardin 1987, Kuttin et al. 1995) sind einige Fälle beim Hund beschrieben. Lavelly (2009) berichtet von drei Hunden mit Priapismus unterschiedlicher Pathogenese. Ein über 4 bis 5 Wochen an idiopathischem Priapismus leidender kastrierter Rüde wurde erfolgreich mit Pseudoephedrin behandelt. Dieser Hund wurde einer Ultraschalluntersuchung des Abdomens und des Penis in einer transversen Schnittebene unterzogen. Dabei fiel die Vergrößerung des Corpus cavernosum und des Corpus spongiosum auf. Im zweiten Fallbericht handelt es sich um einen Rüden mit einem Bandscheibenvorfall und einer daraufhin durchgeführten Hemilaminektomie an T12-T13, der im Anschluss einen vorübergehenden Priapismus entwickelte. Der dritte Fall beschreibt einen Hund vorgestellt mit einem Priapismus, bei dem im Verlauf der Untersuchungen eine lumbale Menigomyelocoele diagnostiziert wurde. Aufgrund der Untersuchungsbefunde wurden bei diesen Hunden idiopathische und neurologische Ursachen für den vorliegenden Priapismus vermutet. Von Rogers et al. (2002) wird ein Fall von Priapismus bei einem unkastrierten Rüden beschrieben, der vermutlich ursächlich durch Metastasen eines Primärtumors in der Blase oder der Prostata zu erklären ist. Bei der Obduktion des Hundes wurden neben Veränderungen in Blase, Prostata und Lunge auch Ansammlungen von neoplastischen Zellen im Corpus spongiosum und Corpus cavernosum gefunden. Über einen sekundären Priapismus aufgrund eines perinealen Abszesses berichten Martins-Bessa et al. (2008). Bei dem betroffenen intakten Boxerrüden wurde mittels Röntgen und Ultraschall ein perinealer Abszess diagnostiziert. Die sonographische Untersuchung des Penis durch eine transverse Sonographie des Bulbus glandis veranschaulichte die Urethra umgeben von dem Corpus spongiosum und dem v-förmigen, das Corpus spongiosum einfassende, hyperechogene Os penis. Das Corpus spongiosum stellte sich mit geringer Echogenität dar. Das erektile Gewebe der Pars longa glandis und des Bulbus glandis beschrieben die Autoren als vergrößert, mit verringerter Echogenität. Sie zogen den Vergleich zur Darstellung des Rüdenpenis im nicht erigierten Zustand

durch Payan-Carreira und Bessa (2008). Aufgrund des fehlenden Therapieerfolges im Hinblick auf den vorliegenden Priapismus wurden eine Penisamputation und eine Urethrostomie sowie eine Kastration durchgeführt. Die histologische Untersuchung ergab eine Nekrose, Hämorrhagien und multiple Thromben im Penismus, vor allem in dem erektilen Gewebe, zudem eine Kompression der Urethra. Am Eingang zur präputialen Kavität befand sich Granulationsgewebe mit einer Infiltration von neutrophilen Granulozyten.

Eine chirurgische Therapie in Form einer Shuntbildung, wie sie beim Menschen beschrieben ist, wurde laut Rochat (2001) beim Hund noch nicht dokumentiert. Lediglich die Inzision der Glans penis und des Bulbus glandis über die Tunica albuginea wird von Orima et al. (1989) beschrieben. Durchgeführt wurde diese Behandlung bei einem Rüden, welchem während des Deckaktes mit einem Bambusstock auf die Wirbelsäule geschlagen wurde. Daraufhin blieb die Erektion bestehen und es wurde eine chirurgische Behandlung durchgeführt, um das überschüssige Blut aus der Glans und dem Bulbus glandis zu entfernen. Die Inzision wurde anschließend mit heparinierter 0,9 %iger Kochsalzlösung gespült. Die Autoren postulieren, dass das Trauma im Bereich der Lendenwirbel den Auslöser für den Priapismus darstellte. Über die Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit wurde keine Aussage gemacht.

3 Material und Methoden

Die gesamten Untersuchungen erfolgten im Ultraschallraum der Kleintierabteilung der Klinik für Gynäkologie, Geburtshilfe und Andrologie der Groß- und Kleintiere mit tierärztlicher Ambulanz der Justus-Liebig-Universität Gießen.

3.1 Anatomische Präparate

Zu Beginn der Studie wurden zur Veranschaulichung der anatomischen Strukturen vier Penisse von euthanasierten Rüden im Bereich der Radix penis vom Körper abgetrennt und präpariert. Die Rüden, welche aus dem Institut für Veterinärpathologie der Justus-Liebig-Universität in Gießen stammten, wurden aus medizinischen Gründen euthanasiert und waren für die Tierkörperbeseitigung vorgesehen. Ein Penis diente dabei für Voruntersuchungen zur Festlegung der sonographischen Einstellungen. Es wurden bei allen Penissen das Präputium entfernt und jeweils 3 Querschnitte angefertigt: 1. im Bereich der Penisspitze, 2. im mittleren Bereich der Pars longa glandis und 3. im mittleren Bereich des Bulbus glandis. Die einzelnen Abschnitte der Präparation wurden in 10 %igem Formalin fixiert, um eine weitere Dokumentation der anatomischen Gegebenheiten zu einem späteren Zeitpunkt zu ermöglichen.

3.2 Probanden

Im Verlauf der Studie wurden insgesamt 80 Rüden untersucht. Die Hunde waren unterschiedlicher Rassen, Alters- und Gewichtsklassen (Anhang Kap. 9.1 und 9.2), kastriert und unkastriert. Sie wurden in zwei Untersuchungsgruppen eingeteilt.

Bei allen Hunden wurden der Vorbericht sowie die Geschlechtsgesundheit durch Adspektion und Palpation der Geschlechtsorgane erfasst. Pathologische Veränderungen wurden vermerkt.

3.2.1 Hunde der Gruppe A

In Gruppe A befanden sich insgesamt 44 Hunde 19 verschiedener Rassen (Anhang Kap. 9.1), davon waren 30 Rüden chirurgisch kastriert und 14 Rüden nicht kastriert, wobei einer der Rüden ca. 3 Stunden nach erfolgter chirurgischer Kastration untersucht wurde. Das Alter der Hunde variierte von einem Jahr bis zu 11 Jahren. Die Körpermasse lag zwischen 8,1 kg und 83 kg. Die Hunde wurden nach Absprache mit den Besitzern zur Untersuchung vorgestellt.

3.2.2 Hunde der Gruppe B

Die 36 Rüden der Gruppe B (Anhang Kap. 9.2) wurden ausnahmslos zur andrologischen Untersuchung in der Klinik für Geburtshilfe, Gynäkologie und Andrologie der Justus–Liebig-Universität Gießen vorgestellt. Grund der Untersuchung war eine Untersuchung auf Zuchttauglichkeit, einschließlich der Überprüfung der Spermaqualität der einzelnen Hunde und eine, im Einzelfall erwünschte, Herstellung von Tiefgefriersperma. Es waren 22 Rassen vertreten. Die Hunde waren zwischen 1,5 und 11 Jahren alt und wiesen eine Körpermasse zwischen 9,1 und 82 kg auf.

3.3 Vorbericht und andrologische Untersuchung

Der Vorbericht umfasste die Frage nach einem regelmäßigen Deckeinsatz der nicht kastrierten Rüden und die Frage nach vorangegangenen systemischen Erkrankungen, insbesondere fieberhaften Infektionen, und bereits bekannten andrologischen Erkrankungen.

Die andrologische Untersuchung beinhaltete bei allen Rüden die Adspektion und Palpation des Penis innerhalb des Präputiums und die Adspektion der Penisschleimhaut am vorgelagerten Penis. Der Penis konnte vorgelagert werden, indem mit der einen Hand das Präputium leicht nach caudal verschoben und mit der

anderen Hand der Penis durch Druck im Bereich des Bulbus glandis nach cranial vorgelagert wurde. Bei den intakten Rüden wurden neben der Untersuchung des Penis zusätzlich beide Hoden einer Adspektion und Palpation unterzogen. Dabei wurde auf Symmetrie, Zustand der Haut, Konsistenz, Oberflächentemperatur und Verschiebbarkeit des Skrotums geachtet. Symmetrie, Lage und Form der Hoden fanden besondere Aufmerksamkeit, und die Konsistenz des Hodengewebes wurde durch Palpation bestimmt. Bei der Palpation bestand zudem die Möglichkeit, besondere Schmerzhaftigkeiten, Zubildungen und Lage sowie Konsistenz von Nebenhodenkopf, -körper und -schwanz zu beurteilen.

3.4 Ultraschallgeräte

3.4.1 Zonare Diagnostic ultrasound system

Für die Darstellungen im B-Mode wurde ein Zonare Z.one smartcart Ultraschallgerät der Firma Physia GmbH, Neu-Isenburg verwendet (Abb. 3). Die Rüden wurden mit einem Linearschallkopf vom Typ L14-5w, welcher bei Anwendung des Compoundverfahrens auf CH (Compound Harmonic) 12 MHz eingestellt war, untersucht. Die Einstellung CH 12 MHz beinhaltet die Kombination des Tissue Harmonic Imaging Verfahrens mit dem Frequenz Compounding Verfahren. Dabei wird sowohl die gesendete Frequenz (Unterwelle) von 6 MHz sowie die im Gewebe erzeugte Oberwelle von 12 MHz in Addition genutzt. Die Bilder ohne den Einsatz des Compoundings wurden mit einer Frequenz von 7 MHz angefertigt. Die Eindringtiefe betrug je nach Gewicht und Größe des Hundes 3-6 cm. Bei den Untersuchungen fand zur Sicherstellung einer optimalen Ankopplung ein handelsübliches Ultraschallkontaktgel Verwendung. Im Bedarfsfall wurde bei starker Behaarung des Präputiums vor der Untersuchung Alkohol angewandt.



Abb. 3: Zonare Z.one Ultraschallgerät der Firma Physia GmbH zur Erstellung der Aufnahmen im B-Mode Verfahren

3.4.2 Honda HS-1500

Die Graustufenanalyse wurde mit einem portablen Ultraschallgerät vom Modelltyp HS-1500 der Marke Honda von der Firma Physia GmbH, Neu-Isenburg durchgeführt (Abb. 4). Verwendung fand eine Linearsonde vom Typ HLV-375M, welche Bilder im B-Mode mit einer eingestellten Frequenz von 7,5 MHz anfertigte. Die Fokussierung befand sich bei allen angefertigten Bildern in der obersten Stellung. Die Geräteeinstellungen waren bei den gesamten Untersuchungen auf $V=65$, $\text{Dynamic Range}=75$, $\text{Range (mm)}=60$ und $\gamma\text{-Correction}=1$ festgelegt.



Abb. 4: Portables Honda HS-1500 Ultraschallgerät der Firma Physia GmbH zur Durchführung der Grauwertanalyse

3.5 Hunde der Gruppe A

3.5.1 Vermessung des Penis

Auf die andrologische Untersuchung folgte die Vermessung des Penis mit einem handelsüblichen 200 cm langen Schneidermaßband (Abb. 5). Der Penis wurde am stehenden Tier im Präputium belassen und von seiner lateralen Seite aus in folgenden Strecken vermessen:

1. Die Länge der Pars longa glandis, d. h. von der Penisspitze bis zum Beginn des Bulbus penis.
2. Die Länge des Bulbus penis.



Abb. 5: Vermessung des Penis zur Ermittlung der Länge der Pars longa glandis und des Bulbus glandis

3.5.2 Sonographische Untersuchung des Penis unter Verwendung des Zonare Z.one

Die sonographische Untersuchung im B-Mode erfolgte am stehenden Tier auf dem Untersuchungstisch von der linken Körperseite aus. Der Penis wurde innerhalb des Präputiums belassen und die natürliche Behaarung blieb erhalten. Der durch die manuelle Führung des Schallkopfes übermittelte Druck auf das untersuchte Gewebe war dabei möglichst gering zu halten. Es wurden unter Verwendung einer geeigneten Menge an Ultraschallkontaktgel je Proband insgesamt vier Bilder erstellt:

1. Ein Längsschnitt in latero-lateraler Richtung, wobei der Schallkopf waagrecht im mittleren Bereich der Pars longa glandis angelegt wurde (Abb. 6).
2. Ein Querschnitt der Pars longa glandis im Bereich der Penisspitze, wobei der Schallkopf senkrecht in ventro-dorsaler Richtung aufgesetzt wurde (Abb. 7).
3. Ein Querschnitt der Pars longa glandis im mittleren Bereich zwischen Penisspitze und Beginn des Bulbus glandis. Auch dieser erfolgte in ventro-dorsaler Richtung (Abb. 8).
4. Ein Querschnitt im mittleren Bereich des Bulbus glandis ebenfalls in ventro-dorsaler Richtung (Abb. 9).



Abb. 6: Lokalisation des Schallkopfes zur sonographischen Darstellung des Penis-Längsschnitts, unerigiert, im B-Mode-Verfahren



Abb. 7: Lokalisation des Schallkopfes zur sonographischen Darstellung des Querschnitts im Bereich der Penisspitze, unerigiert, im B-Mode-Verfahren

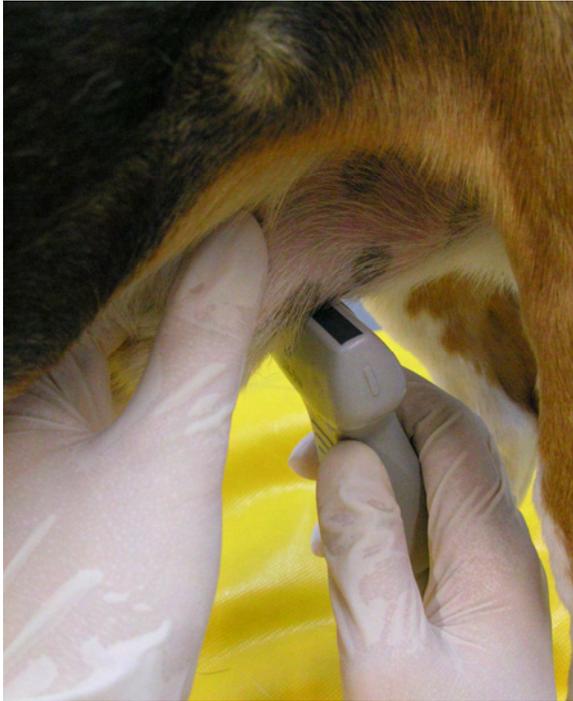


Abb. 8: Lokalisation des Schallkopfes zur sonographischen Darstellung des Querschnitts im mittleren Bereich der Pars longa glandis, unerigiert, im B-Mode Verfahren



Abb. 9: Lokalisation des Schallkopfes zur sonographischen Darstellung des Querschnitts des Bulbus glandis, unerigiert, im B-Mode Verfahren

Die Eindringtiefe betrug je nach Gewicht des Hundes 3 oder 5 cm. Bei allen Rüden wurden die Schnitte im Compoundverfahren im B-Mode dargestellt. Die Einstellung betrug in diesem Fall CH 12 MHz. Zusätzlich zu den vier Bildern im Compoundverfahren wurden bei 15 Hunden weitere vier Bilder der beschriebenen Schnitte ohne Anwendung des Compoundverfahrens mit einer Frequenz von 7 MHz erstellt.

3.5.3 Graustufenanalyse

Die Graustufenanalyse erfolgte im Anschluss mit dem portablen HS-1500 Ultraschallgerät. Die Einstellung der Frequenz betrug 7,5 MHz. Es wurden unter Einsatz eines möglichst geringen Druckes auf das Gewebe jeweils drei Querschnitte angefertigt:

1. Ein Querschnitt der Pars longa glandis im Bereich der Penisspitze, wobei der Schallkopf senkrecht in ventro-dorsaler Richtung aufgesetzt wurde.
2. Ein ventro-dorsaler Querschnitt der Pars longa glandis im mittleren Bereich zwischen Penisspitze und Beginn des Bulbus glandis.
3. Ein Querschnitt im mittleren Bereich des Bulbus glandis ebenfalls in ventro-dorsaler Richtung.

In jedem dieser Querschnitte wurden zwei rechteckige Regions of interest (ROI) mit einer Größe von $0,25 \text{ cm}^2$ gewählt. Diese befanden sich unmittelbar rechts- und linksseitig des Os penis in gleicher Höhe, d. h. innerhalb des Schwellkörpergewebes der Glans penis. Bei der Erstellung eines Histogramms innerhalb der ROI wurden automatisch durch die beinhaltete Software des Ultraschallgerätes folgende Parameter ausgewertet:

1. **N-all**, d. h. die Gesamtdatenmenge der ROI.
2. **Nmost**, d. h. die Datenmenge der häufigsten Graustufe.
3. **Nm/Na**, d. h. Anteil der Datenmenge der häufigsten Graustufe an der Gesamtdatenmenge.
4. **Lmean**, d. h. Benennung der durchschnittlichen Graustufe.
5. **SD**, d. h. Standardabweichung.

3.6 Hunde der Gruppe B

Die Rüden der Gruppe B wurden in Anwesenheit einer läufigen oder präparierten klinikseigenen Beagle- oder Fremdhündin stimuliert und das Ejakulat für die weiterführenden Untersuchungen fraktioniert aufgefangen (Pesch et al. 2007).

Nachdem das Ejakulat in den drei Fraktionen aufgefangen wurde, erfolgte die weitere Untersuchung der Probanden im Rahmen dieser Studie. Dabei wurde durch manuelle pulsierende Stimulation mit mittlerem Druck in Höhe des Corpus cavernosum penis die Erektion aufrechterhalten. Der erigierte Penis war je nach Erektionsverhalten des Rüden bei 25 der 37 Rüden bis hinter den Bulbus glandis, bei 12 der 37 Rüden lediglich bis vor den Bulbus glandis vorgelagert. Die inkomplette Vorlagerung in 12 Fällen resultierte aus dem zögerlichen Erektionsbeginn der

betroffenen Rüden und dem Bestreben, keinen verfrühten Abbruch der Erektion auszulösen.

3.6.1 Vermessung des Penis im erigierten Zustand

Die Vermessung des Penis im erigierten Zustand entsprach der im unerigierten Zustand, d. h. Messung:

1. der Länge der Pars longa glandis, d. h. von der Penisspitze bis zum Beginn des Bulbus glandis.
2. der Länge des Bulbus glandis.

3.6.2 Sonographische Untersuchung des Penis im erigierten Zustand unter Verwendung des Zonare Zone

Bei der sonographischen Untersuchung des Penis im erigierten Zustand bestand, mit Ausnahme einzelner nicht komplett vorgelagerter Organe, direkter Kontakt zwischen dem Linearscanner und der Penisschleimhaut. Das handelsübliche Ultraschallkontaktgel wurde zuvor im Wasserbad auf eine der Handwärme entsprechende Temperatur angewärmt. Auch bei diesen Probanden wurde der Druck durch den Scanner auf das Gewebe möglichst gering gehalten. Vergleichend mit der sonographischen Untersuchung der Hunde aus Gruppe A wurden Bilder folgender Ebenen aufgezeichnet:

1. Ein Längsschnitt in latero-lateraler Richtung, wobei der Schallkopf waagrecht im mittleren Bereich der Pars longa glandis aufgesetzt wurde (Abb. 10).
2. Ein Querschnitt der Pars longa glandis im Bereich der Penisspitze, wobei der Schallkopf senkrecht in ventro-dorsaler Richtung aufgesetzt wurde (Abb. 11).
3. Ein ventro-dorsaler Querschnitt der Pars longa glandis im mittleren Bereich zwischen Penisspitze und Beginn des Bulbus glandis (Abb. 12).

4. Ein Querschnitt im mittleren Bereich des Bulbus glandis ebenfalls in ventrodorsaler Richtung (Abb. 13).

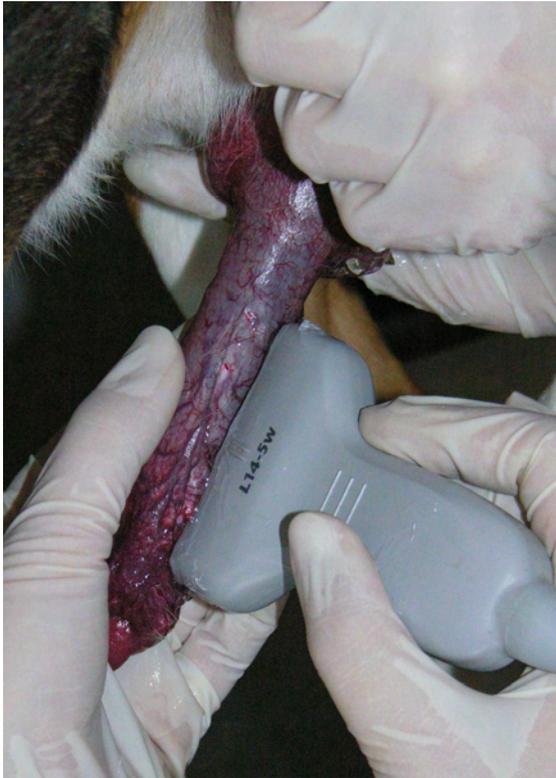


Abb. 10: Lokalisation des Schallkopfes zur sonographischen Darstellung des Längsschnitts, erigiert, im B-Mode-Verfahren

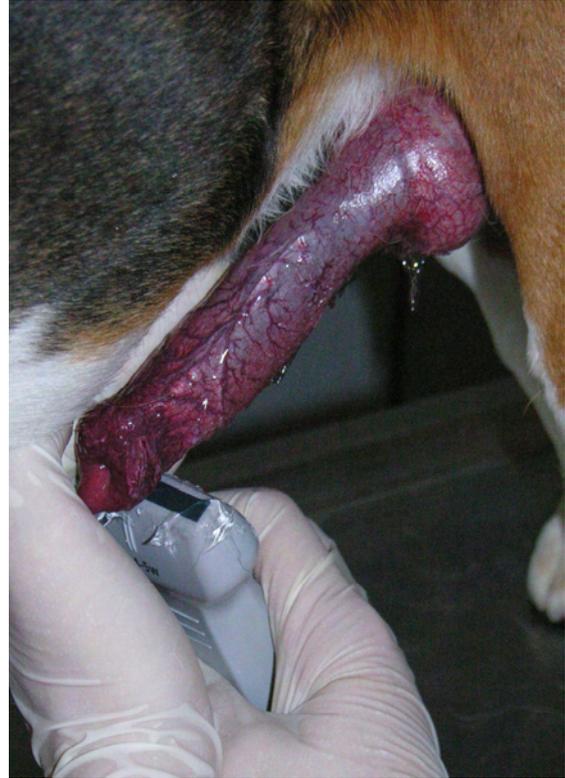


Abb. 11: Lokalisation des Schallkopfes zur sonographischen Darstellung des Querschnitts im Bereich der Penisspitze, erigiert, im B-Mode-Verfahren



Abb. 12: Lokalisation des Schallkopfes zur sonographischen Darstellung des Querschnitts im mittleren Bereich der Pars longa glandis, erigiert, im B-Mode-Verfahren



Abb. 13: Lokalisation des Schallkopfes zur sonographischen Darstellung des Bulbus glandis, erigiert, im B-Mode-Verfahren

Bei allen Rüden der Gruppe B wurde das Compoundverfahren mit einer Einstellung von CH12 MHz angewandt. Die Eindringtiefe war in Korrelation zum Gewicht des jeweiligen Hundes auf 5 oder 6 cm festgelegt. Nach Beendigung der Untersuchung konnte die manuelle Stimulation eingestellt und damit die Erektion beendet werden. Nach einer Mindestzeit von 10 Minuten post erectionem und einer der Detumeszenzgeschwindigkeit angepassten Höchstzeit wurde die Untersuchung des jeweiligen Rüden entsprechend der Vorgaben der Gruppe A wiederholt (Kap. 3.5.1 und 3.5.2.). Hierzu wurde der Penis im unerigierten Zustand erneut vermessen und die respektiven Lokalisationen wurden sonographisch untersucht.

Zusätzlich wurden bei 10 der 37 Rüden dieselben Untersuchungen bei einer Frequenz 7 MHz wiederholt. Die Eindringtiefe wurde in Korrelation zum Gewicht des jeweiligen Hundes mit 3 oder 5 cm festgelegt.

3.7 Vermessung der Aufnahmen im B-Mode

Die gesamten Aufnahmen aller Rüden der Gruppen A und B, welche mit dem Zonare Z.one diagnostic ultrasound system erstellt wurden, lagen nach der Speicherung als Rohdaten (IQ-Daten) vor und konnten einem Postprocessing unterzogen werden. Die Vermessung erfolgte im Anschluss und bezog sich auf folgende Messstrecken, welche bei einer lückenhaften Darstellung, z. B. durch den Schallschatten des Os penis, vervollständigt wurden:

1. Im latero-lateralen Längsschnitt (Abb. 14) konnte die Gesamtbreite des Penis von der links- bis zur rechtsseitigen lateralen Begrenzung, der Tunica albuginea, abgegrenzt werden. Die Messstrecke wurde am unerigierten Penis unmittelbar cranial des Os penis und am erigierten Penis im linken Drittel des Bildes angesetzt. Zudem wurde diese Strecke bei möglicher Differenzierung der anatomischen Strukturen dreigeteilt: 1. die Gesamtbreite des Penis (Abb. 14, weißer Pfeil), 2. die linksseitige laterale Ausdehnung des erektilen Gewebes der Glans penis (Abb. 14, roter Pfeil), 3. die laterale Ausdehnung des Corpus spongiosum inkl. des Os penis (Abb. 14, schwarzer Pfeil) und 4. die rechtsseitige laterale Ausdehnung des erektilen Gewebes der Glans penis (Abb. 14, blauer Pfeil).

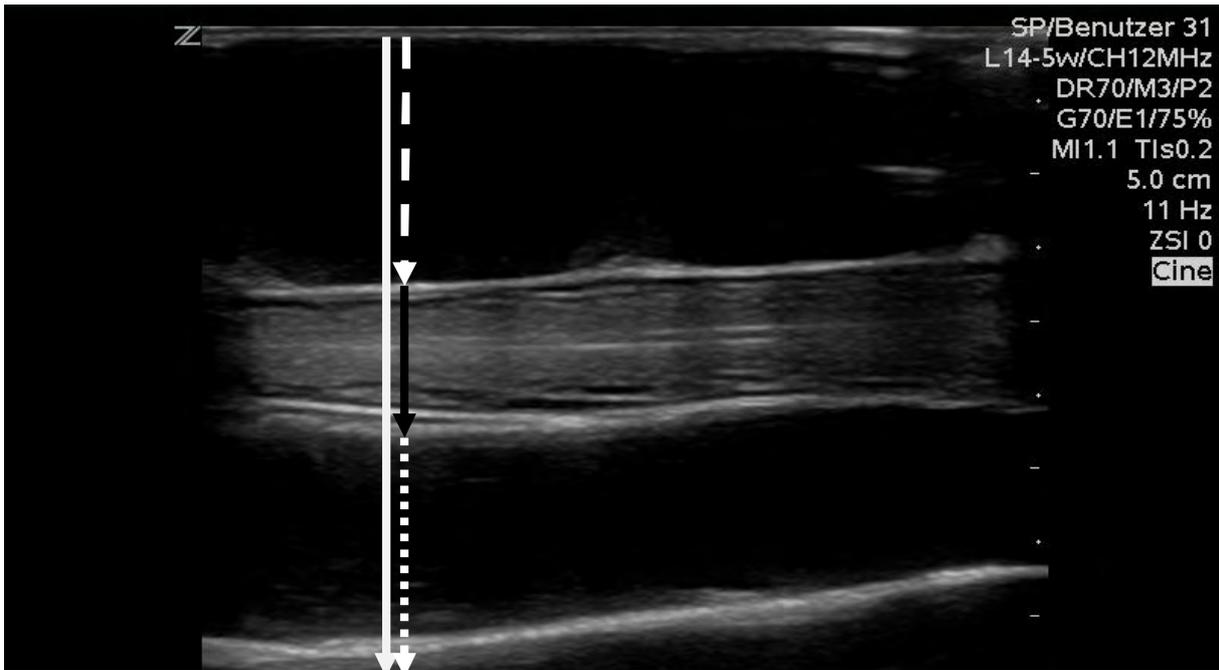


Abb. 14: Messstrecken im Längsschnitt der B-Mode Abbildungen: weißer Pfeil: Gesamtbreite des Penis; gestrichelter Pfeil: Breite linksseitiger Anteil des erektilen Gewebes; schwarzer Pfeil: Breite des Corpus spongiosum; punktierter Pfeil: Breite rechtsseitiger Anteil des erektilen Gewebes

2. In den ventro-dorsalen Querschnitten der Bereiche Penisspitze, Mitte der Glans penis und Mitte des Bulbus glandis bestanden die Messstrecken aus:
 1. dem vertikalen Durchmesser des Organs exkl. des Präputiums (Abb. 15, roter Pfeil),
 2. dem Gesamtumfang des Organs (Abb. 16, rote Linie) und
 3. der Querschnittsfläche des Organs an der jeweiligen Lokalisation, welche aus dem Gesamtumfang von der gerätinternen Software berechnet wurde.

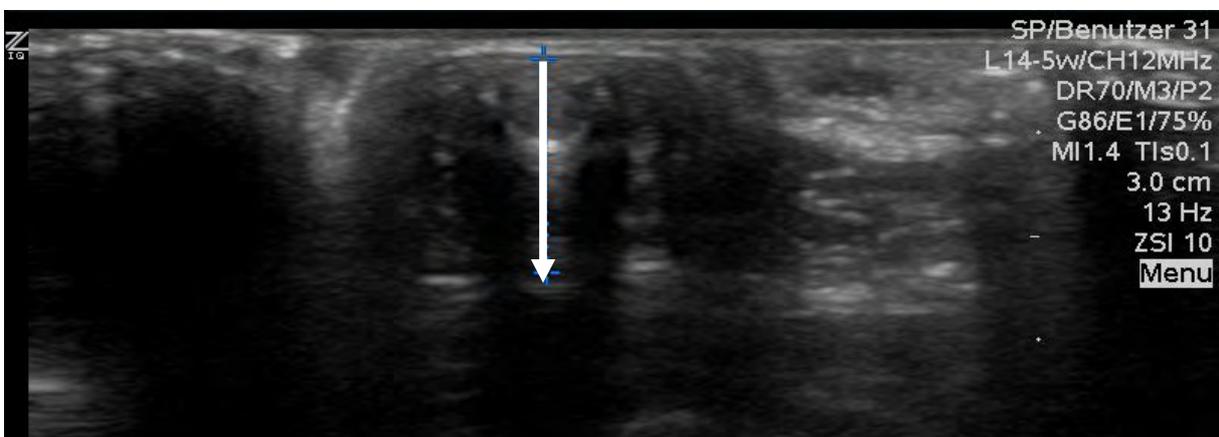


Abb.15: Messstrecke vertikaler Durchmesser des Penis im Querschnitt am Ultraschallbild

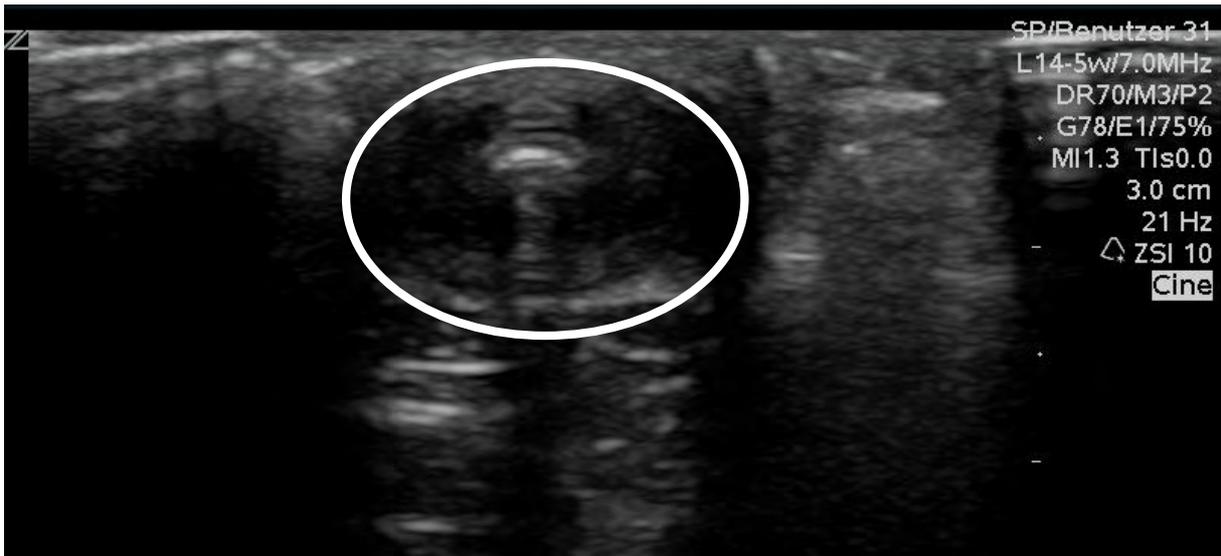


Abb.16: Messstrecke Umfang und Fläche des Penis im Querschnitt am Ultraschallbild

Bei den Abbildungen der Penisquerschnitte im erigierten Zustand wurde zusätzlich der Umfang des Corpus spongiosum bestimmt.

3.8 Statistische Auswertung

Die Daten der Messergebnisse wurden unter Berücksichtigung der Variablen Alter, Körpermasse und Kastrationsstatus in der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen ausgewertet. Dabei wurde auf das Statistikprogramm BMDP/Dynamics zurückgegriffen (Dixon, 1993). Die Diagramme der statistischen Auswertungen wurden auf einem Personalcomputer unter Verwendung des Programms Microsoft® Excel® 2007 (Microsoft® Corporation) erstellt.

Die Berechnung beinhaltete: 1. die arithmetischen Mittelwerte, 2. die Standardabweichungen, 3. die Variationskoeffizienten, 4. die Minima, 5. die Maxima und 6. die Stichprobenumfänge.

Beim Vergleich der Gruppen auf signifikante Unterschiede in den einzelnen Parametern kam der t-Test zum Einsatz. Die Berechnungen dieses Testverfahrens wurden mit dem Programm BMDP3D durchgeführt.

Die Gruppen wurden zunächst getrennt voneinander mittels einer multiplen linearen Regressionsanalyse ausgewertet, wobei die Rüden der Gruppe A in kastrierte und unkastrierte Rüden und die Rüden in Gruppe B in den Zuständen erigiert und unerigiert unterschieden wurden. Die einzelnen Kovariablen wurden dabei auf ihre Signifikanz überprüft.

Es wurden einfaktorielle Kovarianzanalysen zwischen den kastrierten und unkastrierten Rüden der Gruppe A sowie den unkastrierten Rüden der Gruppe A und den Rüden der Gruppe B im unerigierten Zustand und eine zweifaktorielle Kovarianzanalyse innerhalb der Gruppe B im Hinblick auf die Messwiederholungen des erigierten und unerigierten Zustands durchgeführt, um den Gruppeneinfluss auf die Signifikanz bestimmen zu können. Dieser Gruppenvergleich fand mit dem Student-Newman-Keuls-Verfahren statt (Sachs, 1992).

Zwischen den Parametern Körpermasse und Länge der Pars longa glandis sowie Länge der Pars longa glandis und Gesamtbreite des Penis wurde eine Korrelationsanalyse für die Gruppe A und die Gruppe B im erigierten und unerigierten Zustand durchgeführt. Die Auswertung ergab den jeweiligen Korrelationskoeffizienten und die Regressionsgerade.

Die Ergebnisse der Grauwertanalyse wurden für die Parameter Nmost und Lmean im Zuge der einfaktoriellen Kovarianzanalyse der Gruppe A ausgewertet.

Es wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ festgelegt, so dass p-Werte $\leq 0,05$ als signifikant gewertet wurden.

4 Ergebnisse

4.1 Andrologische Untersuchung der Rüden

Die andrologische Untersuchung der Rüden ergab bei 5 intakten Rüden der Gruppe A einen geringgradigen Präputialkatarrh, welcher durch geringgradig muköses, weiß-gelbliches Sekret aus der Präputialöffnung und eine geringgradige Rötung der Penisschleimhaut gekennzeichnet war. Bei einem der Rüden war vorberichtlich die Behandlung eines Stickertumors mit Vincristin vorausgegangen. Dieser Rüde litt an einem intermittierenden Priapismus, der zur Zeit der Untersuchung allerdings nicht vorlag, sondern vor mehreren Tagen abgeklungen war. Ein weiterer Rüde dieser Gruppe wurde untersucht, nachdem er mit einer rezidivierenden erektilen Blutung vorgestellt wurde, welche zuletzt mehrere Tage vor der Untersuchung beobachtet wurde.

Auffällig war bei vier kastrierten Rüden dieser Gruppe die Penisgröße im Verhältnis zu der Ausfüllung des Präputiums durch das Organ. So war das Präputium bei der palpatorischen Untersuchung leicht und sehr locker über dem Penis verschiebbar. Es konnte ein deutlicher Zwischenraum zwischen Präputium und Penis nachgewiesen werden. Bei den betroffenen Rüden handelte es sich um einen zweijährigen Deutschen Schäferhund-Mischlingsrüden mit einer Körpermasse von 43 kg, welcher mit einem Alter von 6 Monaten kastriert wurde, um einen einjährigen Australian Cattle Dog-Mischling mit einer Körpermasse von 15,5 kg, der ebenfalls im Alter von 6 Monaten kastriert wurde, um einen 4-jährigen Parson Russel Terrier mit einer Körpermasse von 8,9 kg und einem Kastrationsalter von 9 Monaten und um einen 2-jährigen Border Collie-Mischlingsrüden mit einer Körpermasse von 24,6 kg und einem Kastrationsalter von 7 Monaten.

Unter den Rüden der Gruppe B lag bei einem Rüden ein geringgradiger Präputialkatarrh und bei drei Rüden ein mittel- bis hochgradiger Präputialkatarrh vor. Bei den letztgenannten Hunden war der Ausfluss von dickflüssigem weiß-gelblichem Sekret bereits ohne Manipulation am Präputium zu beobachten. Die Penisschleimhaut war mittelgradig gerötet. Keiner der Rüden mit Präputialkatarrh war vorberichtlich einer Behandlung unterzogen worden.

4.2 Messungen am Penis in Bezug auf die Länge der Pars longa glandis und des Bulbus glandis

Länge der Pars longa glandis in Gruppe A:

In der Gruppe A wurde ausschließlich der nicht erigierte Penis untersucht. Die Länge der Pars longa glandis ergab sich aus der Messstrecke von der Penisspitze bis zum Bulbus glandis. Die Messung der Hunde der Gruppe A ergab eine mittlere Länge der Pars longa glandis von $5,13 \text{ cm} \pm 1,28 \text{ cm}$. Die kürzeste Pars longa glandis wurde bei einem Parson Russel Terrier (Nr. 38, siehe Anhang tabellarische Übersicht der Probanden) mit $2,60 \text{ cm}$ gemessen. Dieser 4-jährige Hund wurde mit einem Alter von 9 Monaten kastriert und hatte zum Untersuchungszeitpunkt ein Gewicht von $8,9 \text{ kg}$. Die Pars longa glandis mit dem höchsten Messwert innerhalb dieser Gruppe konnte bei einem 9,5-jährigen intakten Rhodesian Ridgeback Rüden (Nr. 31, 43 kg) mit einem Wert von $9,20 \text{ cm}$ ermittelt werden.

Bei der getrennten Betrachtung von kastrierten und intakten Rüden dieser Gruppe lag der Mittelwert der kastrierten Rüden bei $4,82 \text{ cm} \pm 0,86 \text{ cm}$ und der Mittelwert der intakten Rüden bei $5,84 \text{ cm} \pm 1,73 \text{ cm}$. Der um den Einfluss der Kovariablen Alter und Körpermasse bereinigte Mittelwert lag bei den kastrierten Rüden bei $5,00 \text{ cm}$ und bei den unkastrierten Rüden bei $5,43 \text{ cm}$.

Für die kastrierten Rüden wurde ein Minimalwert von $2,60 \text{ cm}$ (Nr. 38) gemessen. Der Maximalwert dieser Untergruppe konnte mit $7,20 \text{ cm}$ bei einem Rhodesian Ridgeback-Mischlingsrüden (Nr. 19, 40 kg) ermittelt werden. Dieser 5,5-jährige Rüde wurde mit einem Alter von 11 Monaten kastriert.

Unter den intakten Rüden der Gruppe A wurde der Minimalwert bei einem 1,5-jähriger Beagle Rüden (Nr. 16, $12,2 \text{ kg}$) mit $4,00 \text{ cm}$ gemessen. Der Maximalwert wurde bei einem 9,5-jährige Rhodesian Ridgeback Rüden (Nr. 31, 43 kg) mit $9,20 \text{ cm}$ gemessen.

Länge der Pars longa glandis in Gruppe B:

Die Länge der Pars longa glandis der Rüden der Gruppe B wurde zunächst im erigierten Zustand bestimmt. Der Mittelwert lag im erigierten Zustand bei $11,65 \text{ cm} \pm 1,42 \text{ cm}$. Nach erfolgter Detumeszenz lag der Mittelwert bei $6,76 \text{ cm} \pm 1,26 \text{ cm}$. Damit betrug die Längenabnahme der Pars longa glandis während der Detumeszenz im Durchschnitt $41,97 \%$.

Im erigierten Zustand wurde der Minimalwert von $9,00 \text{ cm}$ bei einem 2-jährigen Beagle Rüden (Nr. 57, $9,1 \text{ kg}$) gemessen. Der Maximalwert von $15,00 \text{ cm}$ konnte bei einem 1,5-jährigen Bearded Collie (Nr. 60, $27,6 \text{ kg}$) ermittelt werden.

Im unerigierten Zustand konnte mit einem Messwert von $4,30 \text{ cm}$ bei einem 2-jährigen Beagle Rüden (Nr. 58, $9,8 \text{ kg}$) der Minimalwert gemessen werden. Der Maximalwert lag bei $9,80 \text{ cm}$ und wurde bei einem 6-jährigen Landseer (Nr. 59, 60 kg) bestimmt.

Länge des Bulbus glandis in Gruppe A:

Die Länge des Bulbus glandis betrug im Mittel in der Gruppe A $2,58 \text{ cm} \pm 0,67 \text{ cm}$. Das Minimum lag bei $0,90 \text{ cm}$ (Nr. 38). Der Maximalwert wurde mit $4,50 \text{ cm}$ bei einem 6-jährigen intakten Landseer Rüden (Nr. 42, $54,5 \text{ kg}$) gemessen.

Bei alleiniger Betrachtung der kastrierten Rüden ergab sich ein Mittelwert von $2,39 \text{ cm} \pm 0,52 \text{ cm}$. In der Untergruppe der intakten Rüden lag der Mittelwert bei $2,99 \text{ cm} \pm 0,78 \text{ cm}$.

Für die kastrierten Rüden lag der Minimalwert bei $0,90 \text{ cm}$ (Nr. 38). Der Maximalwert von $3,50 \text{ cm}$ konnte bei einem 8-jährigen Golden Retriever Rüden (Nr. 41, $40,5 \text{ kg}$) gemessen werden.

In der Untergruppe der intakten Rüden lag der Minimalwert bei $2,10 \text{ cm}$, der bei einem 1-jährigen Miniatur Bullterrier (Nr. 28, $13,7 \text{ kg}$) gemessen wurde. Der Maximalwert konnte bei dem oben aufgeführten 6-jährigen Landseer Rüden (Nr. 42) mit $4,50 \text{ cm}$ ermittelt werden.

Länge des Bulbus glandis in Gruppe B:

Bei der im erigierten Zustand durchgeführten Messung des Bulbus glandis konnte ein Mittelwert von $5,75 \text{ cm} \pm 0,73 \text{ cm}$ errechnet werden. Nach erfolgter Detumeszenz lag der Mittelwert bei $3,53 \text{ cm} \pm 0,60 \text{ cm}$. Die mittlere Längenabnahme des Bulbus glandis betrug rechnerisch 38,61 %.

Im erigierten Zustand wurde der Minimalwert mit 4,70 cm bei einem 2-jährigen Bearded Collie (Nr. 69, 21,9 kg) gemessen. Der Maximalwert betrug bei einem 2,5-jährigen Bernhardiner (Nr. 65, 82 kg) 7,90 cm.

Im unerigierten Zustand nach einer Detumeszenzzeit von mindestens 10 Minuten wurde ein Minimalwert von 2,40 cm am Bulbus glandis eines 1,5-jährigen Border Collie-Mischlingsrüden (Nr. 61, 21,2 kg) gemessen. Der Maximalwert betrug 5,00 cm (Nr. 59).

4.3 Messungen am Ultraschallbild

Gesamtbreite des Penis in Gruppe A:

Die Gesamtbreite des Penis wurde im latero-lateralen Längsschnitt von der links- bis zur rechtsseitigen äußeren Begrenzung des Organs gemessen. Innerhalb der Gruppe A ergab diese Messung einen Mittelwert von $1,45 \text{ cm} \pm 0,29 \text{ cm}$. Das Minimum lag bei 0,85 cm (Nr. 38). Das Maximum lag bei 2,42 cm. Dieser Wert wurde bei einem 8-jährigen intakten Bernhardiner (Nr. 37, 83 kg) ermittelt.

Bei getrennter Betrachtung der kastrierten und intakten Hunde dieser Gruppe lag der Mittelwert der Penisbreite bei den kastrierten Hunden im Bereich von $1,35 \text{ cm} \pm 0,15 \text{ cm}$. Demgegenüber ergaben die Messungen in der Untergruppe der intakten Rüden einen Mittelwert von $1,67 \text{ cm} \pm 0,38 \text{ cm}$.

Die Messung der kastrierten Rüden ergab einen Minimalwert von 0,85 cm (Nr. 38) Der Maximalwert von 1,69 cm konnte bei einem 3-jährigen Husky-Mischling (Nr. 17, 28,9 kg) gemessen werden. Dieser Rüde wurde mit einem Jahr kastriert.

Unter den intakten Rüden ergab die Messung eines 1-jährigen Border Collie Rüden (Nr. 39, 19 kg) einen Minimalwert von 1,25 cm. Der Maximalwert lag bei 2,42 cm (Nr. 37).

Gesamtbreite des Penis in Gruppe B:

In der Gruppe B wurde die Messung der Gesamtpenisbreite zunächst im erigierten Zustand durchgeführt. Der Mittelwert dieser Messung lag bei 3,31 cm \pm 0,52 cm. Nach der Detumeszenz ergaben die Messungen einen Mittelwert von 1,95 cm \pm 0,29 cm. Aus dem Verhältnis der mittleren Penisbreite im erigierten Zustand und nach erfolgter Detumeszenz ergab sich eine Größenabnahme von 41,09 %.

Der im erigierten Zustand gemessene Minimalwert wurde bei einem Schweizer Sennenhund (Nr. 45, 40,3 kg) mit 2,52 cm gemessen. Dieser Rüde war 4 Jahre alt. Der Maximalwert betrug 4,64 cm (Nr. 59, 60 kg).

Die Messung des Penis eines 3-jährigen Kurzhaar Collies (Nr. 70, 27,6 kg) im unerigierten Zustand ergab mit 1,48 cm den Minimalwert dieser Gruppe. Der Maximalwert nach erfolgter Detumeszenz betrug 2,92 cm (Nr. 65, 82 kg).

Breite des erektilen Gewebes der Pars longa glandis in Gruppe A:

Die im latero-lateralen Längsschnitt gemessene Breite des erektilen Gewebes der Pars longa glandis betrug nach Addition der rechts-und linksseitigen Messungen im Mittel 0,90 cm \pm 0,19 cm. Der Anteil des erektilen Gewebes an der mittleren Gesamtbreite des Penis lag rechnerisch bei durchschnittlich 62,07 %. Der Minimalwert dieser Messung lag bei 0,56 cm (Nr. 38). Der Maximalwert betrug 1,52 cm (Nr. 37).

Innerhalb der Untergruppe der kastrierten Rüden ergab die Berechnung einen Mittelwert von 0,84 cm \pm 0,12 cm. Für die Gruppe der intakten Rüden lag der Mittelwert bei 1,07 cm \pm 0,23 cm. Der Anteil des erektilen Gewebes an der Gesamtbreite des Penis lag für die kastrierten Rüden bei 64,07 % und für die intakten Rüden bei 61,48 %.

Ergebnisse

Das Minimum der kastrierten Rüden lag bei 0,56 cm (Nr. 38). Das Maximum bei 1,09 cm (Nr. 17).

Mit einem Wert von 0,72 cm konnte das Minimum für die intakten Rüden aus Gruppe A festgelegt werden (Nr. 39). Der Maximalwert lag bei 1,52 cm (Nr. 37).

Breite des erektilen Gewebes der Pars longa glandis in Gruppe B:

In der Gruppe B ergab die Messung und Addition des rechts- und linksseitigen erektilen Gewebes der Pars longa glandis im erigierten Zustand einen Mittelwert von 2,45 cm \pm 0,45 cm. Im unerigierten Zustand dagegen lag der Mittelwert bei 1,29 cm \pm 0,28 cm. Die prozentuale Größenabnahme des erektilen Gewebes während der Detumeszenz im Messbereich lag rechnerisch bei 47,35 %.

Der Anteil des erektilen Gewebes an der Gesamtbreite des Penis lag im erigierten Zustand bei 74,01 %. Nach der Detumeszenz lag der Anteil des erektilen Gewebes an der Gesamtbreite des Penis bei 66,15 %.

Das Minimum der Messung im erigierten Zustand lag bei 1,40 cm (Nr. 45) und der Maximalwert bei 3,57 cm (Nr. 59).

Im unerigierten Zustand lag der Minimalwert bei 0,92 cm und wurde am Penis eines 4-jährigen Schweizer Schäferhundes (Nr. 62, 43 kg) ermittelt. Der Maximalwert war bei 1,95 cm (Nr. 65, 82 kg) angesiedelt.

Breite des Corpus spongiosum in Gruppe A:

Die Messung der Breite des Corpus spongiosum ergab für die Gruppe A einen Mittelwert von 0,53 cm \pm 0,12 cm. Das Minimum dieser Messung wurde mit einem Wert von 0,29 cm (Nr. 38) festgelegt. Das Maximum dieser Messung lag bei 0,90 cm (Nr. 37).

Unter differenzierter Betrachtung der kastrierten und intakten Rüden ergab die Messung des Corpus spongiosum der kastrierten Rüden eine mittlere Breite von 0,52 cm \pm 0,11 cm. Die Messung der intakten Rüden dagegen ergab rechnerisch einen Mittelwert von 0,56 cm \pm 0,15 cm.

Innerhalb der Untergruppe der kastrierten Rüden wurde ein Minimalwert von 0,29 cm (Nr. 38, 8,9 kg) und ein Maximalwert von 0,70 cm festgelegt. Der Maximalwert wurde bei einem 11-jährigen Foxterrier-Mischlingsrüden (Nr. 27, 11,1 kg) ermittelt. Dieser Rüde wurde im Alter von 10 Jahren kastriert.

Die Messung der intakten Rüden ergab einen Minimalwert von 0,43 cm, welcher durch einen 3-jährigen Welsh Corgi vertreten wurde (Nr. 33, 15 kg). Der Maximalwert lag bei 0,90 cm (Nr. 37, 83 kg).

Breite des Corpus spongiosum in Gruppe B:

Die Breite des Corpus spongiosum und der anliegenden Anteile des Os penis sowie der enthaltenen Urethra ergab im erigierten Zustand eine mittlere Breite von $0,86 \text{ cm} \pm 0,19 \text{ cm}$. Nach vollzogener Detumeszenz lag der Mittelwert bei $0,69 \text{ cm} \pm 0,10 \text{ cm}$. Aus diesen Werten ergab sich die rechnerische Abnahme der Breite des Corpus spongiosum während der Detumeszenz um durchschnittlich 19,77 %.

Während der vollständigen Erektion lag der Minimalwert dieser Messung bei 0,52 cm (Nr. 58, 9,8 kg). Der Maximalwert war bei 1,20 cm angesiedelt und wurde bei einem einjährigen Bernhardiner (Nr. 66, 63 kg) nachgewiesen.

Nach der erfolgten Detumeszenz lag das Minimum bei 0,47 cm (Nr. 70) und das Maximum bei 0,97 cm (Nr. 65).

Ergänzend zur deskriptiven Statistik der Dispersion der Messergebnisse sind in Tab. 1 die Maßzahlen: unteres (1.) Quartil, Median und oberes (3.) Quartil, bei den Rüden der Gruppe A für einzelne Messstrecken und vergleichend dazu in Tab. 2 bei Rüden der Gruppe B dargestellt. Die bildliche Darstellung ist im Anhang 9.3 eingefügt, wobei die Diagramme als kumulierte Normalverteilung die prozentuale Verteilung widerspiegeln und das untere Quartil, den Median, das obere Quartil sowie den Interquartilabstand ablesen lassen.

Ergebnisse

Tab. 1: Übersicht der Maßzahlen einzelner Messstrecken unterteilt in die Quartile 1-3 für Gruppe A

Messstrecke	Gruppe A,					
	Gruppe A, kastriert		Gruppe A, intakt			
	1.Quartil	Median	3.Quartil	1.Quartil	Median	3.Quartil
Länge Pars longa glandis	4,3 cm	4,9 cm	5,3 cm	4,2 cm	4,9 cm	5,2 cm
Länge Bulbus glandis	2,2 cm	2,5 cm	2,9 cm	2,0 cm	2,3 cm	2,8 cm
Gesamtbreite Penis	1,3 cm	1,4 cm	1,5 cm	1,3 cm	1,3 cm	1,4 cm
Breite erectiles	0,8 cm	0,9 cm	1,0 cm	0,8 cm	0,8 cm	0,9 cm
Gewebe Pars longa glandis	0,5 cm	0,5 cm	0,6 cm	0,4 cm	0,5 cm	0,6 cm
Breite Corpus spongiosum	0,5 cm	0,5 cm	0,6 cm	0,4 cm	0,5 cm	0,6 cm

Ergebnisse

Tab. 2: Übersicht der Maßzahlen einzelner Messstrecken unterteilt in die Quartile 1-3 für die Gruppe B

Messstrecke	Gruppe B, erigiert			Gruppe B, unerigiert		
	1.Quartil	Median	3.Quartil	1.Quartil	Median	3.Quartil
Länge Pars longa glandis	10,3 cm	11,8 cm	12,5 cm	6,0 cm	6,9 cm	7,5 cm
Länge Bulbus glandis	5,2 cm	5,7 cm	6,2 cm	3,1 cm	3,5 cm	3,9 cm
Gesamtbreite Penis	2,9 cm	3,3 cm	3,6 cm	1,8 cm	1,9 cm	2,0 cm
Breite erektilen Gewebe Pars longa glandis	2,1 cm	2,4 cm	2,7 cm	1,1 cm	1,2 cm	1,4 cm
Breite Corpus spongiosum	0,7 cm	0,9 cm	1,0 cm	0,6 cm	0,7 cm	0,8 cm

Weitere Befunde an den untersuchten Lokalisationen für Gruppe A und B:

Die Vermessung der angefertigten ventro-dorsalen Querschnitte im Bereich der Penisspitze, des mittleren Bereiches der Pars longa glandis und des Bulbus glandis beinhaltet des Weiteren den vertikalen Durchmesser, den Gesamtumfang und die Querschnittsfläche. Die Ergebnisse sind für die Rüden der Gruppe A in Tab. 3 zusammengefasst.

Die Auswertung der B-Mode Aufnahmen bei den Rüden der Gruppe B im erigierten und unerigierten Zustand ergab die in Tab. 4 dargestellten Ergebnisse. Zusätzlich beinhaltet diese Darstellung die Messergebnisse der Querschnittsfläche des Corpus spongiosum in den Lokalisationen des mittleren Bereiches der Pars longa glandis und des Bulbus glandis für die Rüden dieser Gruppe im erigierten Zustand.

Tab. 3: Weitere Befunde für die Penisspitze, den mittleren Teil der Pars longa glandis und den Bulbus glandis bei den Rüden der Gruppe A

Lokali- sation	Messstrecke	Gruppe A	Gruppe A, kastriert	Gruppe A, intakt
		Mittelwert ± SD [Min/ Max]	Mittelwert ± SD [Min/ Max]	Mittelwert ± SD [Min/ Max]
Penis- spitze	vertikaler Durchmesser	1,3 cm ± 0,3 cm [0,9 cm/ 2,6 cm]	1,2 cm ± 0,1 cm [0,9 cm/ 1,4 cm]	1,5 cm ± 0,4 cm [1,2 cm/ 2,6 cm]
	Gesamt- umfang	4,9 cm ± 1,0 cm [3,4 cm/ 9,1 cm]	4,6 cm ± 0,4 cm [3,4 cm/ 5,3 cm]	5,7 cm ± 1,4 cm [4,5 cm/ 9,1 cm]
	Querschnitts- fläche	1,9 cm ² ± 0,9 cm ² [0,9 cm ² / 6,4 cm ²]	1,6 cm ² ± 0,3 cm ² [0,9 cm ² / 2,1 cm ²]	2,6 cm ² ± 1,4 cm ² [1,5 cm ² / 6,4 cm ²]

Ergebnisse

Pars longa glandis	vertikaler Durchmesser	1,4 cm ± 0,3 cm [0,9cm/ 2,5cm]	1,3 cm ± 0,1 cm [0,9 cm/ 1,5 cm]	1,6 cm ± 0,4 cm [1,3cm/ 2,5cm]
	Gesamtumfang	5,2 cm ± 1,0 cm [3,6 cm/ 9,2 cm]	4,8 cm ± 0,4 cm [3,6 cm/ 5,6 cm]	6,0 cm ± 1,4 cm [4,7 cm/ 9,2 cm]
	Querschnittsfläche	2,1 cm ² ± 1,0 cm ² [1,0 cm ² / 6,4 cm ²]	1,7 cm ² ± 0,3cm ² [1,0 cm ² / 2,4 cm ²]	2,9 cm ² ± 1,4 cm ² [1,7 cm ² / 6,4 cm ²]
Bulbus glandis	vertikaler Durchmesser	1,6 cm ± 0,3 cm [1,1 cm/ 2,7 cm]	1,5 cm ± 0,2 cm [1,1 cm/ 2,0 cm]	1,9 cm ± 0,4 cm [1,3 cm/ 2,7 cm]
	Gesamtumfang	6,1 cm ± 1,2 cm [4,2 cm/ 9,9 cm]	5,7 cm ± 0,8 cm [4,2 cm/ 7,8 cm]	6,9 cm ± 1,6 cm [5,2 cm/ 9,9 cm]
	Querschnittsfläche	2,9 cm ² ±1,2 cm ² [1,3 cm ² / 6,5 cm ²]	2,5 cm ² ± 0,7 cm ² [1,3 cm ² / 4,6 cm ²]	3,7 cm ² ± 1,6 cm ² [2,0 cm ² / 6,5 cm ²]

Tab. 4: Weitere Befunde für die Penisspitze, den mittleren Teil der Pars longa glandis und den Bulbus glandis bei den Rüden der Gruppe B

Lokalisation	Messstrecke	Gruppe B	Gruppe B,
		erigiert	unerigiert
		Mittelwert ± SD	Mittelwert ± SD
		[Min/Max]	[Min/Max]
Penisspitze	vertikaler Durchmesser	2,9 cm ± 0,5 cm [1,3 cm/3,8 cm]	1,8 cm ± 0,2 cm [1,4 cm/2,2 cm]
	Gesamtumfang	9,5 cm ± 1,2 cm	6,4 cm ± 0,8 cm

Ergebnisse

		[7,0 cm/12,0 cm]	[5,2 cm/8,4 cm]
	Querschnittsfläche	7,1 cm ² ± 1,9 cm ² [3,9 cm ² /11,3 cm ²]	3,2 cm ² ± 0,8 cm ² [2,1 cm ² /5,4 cm ²]
Pars longa glandis	vertikaler Durchmesser	3,5 cm ± 0,6 cm [2,1 cm/4,6 cm]	1,9 cm ± 0,2 cm [1,5 cm/2,6 cm]
	Gesamtumfang	11,0 cm ± 1,5 cm [7,5 cm/14,3 cm]	7,0 cm ± 1,0 cm [5,5 cm/9,8 cm]
	Querschnittsfläche	9,6 cm ² ± 2,7 cm ² [4,4 cm ² /16,1 cm ²]	3,8 cm ² ± 1,2 cm ² [2,3 cm ² /7,3 cm ²]
	Fläche des Corpus spongiosum	0,4 cm ² ± 0,2 cm ² [0,2 cm ² /1,0 cm ²]	-
Bulbus glandis	vertikaler Durchmesser	4,4 cm ± 0,5 cm [3,6 cm/5,2 cm]	2,2 cm ± 0,4 cm [1,7 cm/3,4 cm]
	Gesamtumfang	15,4 cm ± 2,0 cm [10,7 cm/18,9 cm]	8,0 cm ± 1,4 cm [6,4 cm/12,0 cm]
	Querschnittsfläche	18,5 cm ² ± 4,3 cm ² [11,7 cm ² /26,7 cm ²]	5,1 cm ² ± 1,9 cm ² [3,2 cm ² /11,2cm ²]
	Fläche des Corpus spongiosum	0,4 cm ² ± 0,1 cm ² [0,2 cm ² /0,7 cm ²]	-

Aus den Ergebnissen der Messungen der Penisspitze im erigierten und unerigierten Zustand des Penis der verschiedenen Hunde ergab sich die durchschnittliche prozentuale Größenabnahme. So nahm der vertikale Durchmesser der Penisspitze während der Detumeszenz im Vergleich zur Erektion um 39,02 % ab. Der Gesamtumfang des Querschnitts verkleinerte sich um 32,56 % und die Querschnittsfläche war im unerigierten Zustand 55,69 % kleiner als im erigierten Zustand. Die Maße des Querschnitts im mittleren Bereich der Pars longa glandis im erigierten und unerigierten Zustand vergleichend wurden folgende prozentuale Zusammenhänge festgestellt: 1. Der mittlere vertikale Durchmesser war im erigierten

Zustand um 46,00 % größer als im unerigierten Zustand. 2. Der durchschnittliche Gesamtumfang des gewählten Querschnitts nahm um 36,59 % zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ab. 3. Die mittlere Abnahme der Querschnittsfläche im erigierten und unerigierten Zustand betrug 60,87 %. Die prozentualen Unterschiede der Maße des mittleren Bereichs des Bulbus glandis zwischen dem erigierten und unerigierten Zustand des Rüdenpenis lagen beim vertikalen Durchmesser im Mittel bei 48,85 %. Der Gesamtumfang war im erigierten Zustand durchschnittlich 47,98 % größer als im unerigierten Zustand. Die Querschnittsfläche nahm während der Detumeszenz um durchschnittlich 72,49 % ab.

4.4 Statistischer Einfluss der Körpermasse und der Kastration

Gruppe A:

Der Einfluss der Körpermasse und der Kastration auf die erhobenen Penisparameter in Gruppe A sind in Tab. 5 dargestellt. Des Weiteren zeigt die Tabelle die um die Körpermasse bereinigten Mittelwerte der beiden Untergruppen im Vergleich auf.

Tab. 5: Einfluss der Körpermasse und der Kastration auf einzelne Messstrecken im Vergleich der kastrierten und unkastrierten Rüden der Gruppe A unter Benennung der Signifikanz (p), des Regressionskoeffizienten (r) und der bereinigten Mittelwerte (bMW)

Messstrecke	p (Körpermasse)	r (Körpermasse)	p (Kastration)	bMW kastrierte Rüden [cm]	bMW unkastrierte Rüden [cm]
Länge Pars longa glandis	0,0001	0,062	0,089	4,99	5,43
Länge des Bulbus penis	0,0001	0,028	0,03	2,47	2,80

Ergebnisse

Gesamtbreite Penis	0,003	0,014	0,0001	1,38	1,60
Breite Corpus spongiosum	0,0018	0,004	0,81	0,53	0,54
Breite erektiles Gewebe	0,0023	0,005	0,0009	0,85	1,04

In Tab. 6 sind der Einfluss der Körpermasse und der Kastration auf die erhobenen Parameter im Bezug auf die Untergruppe der kastrierten Rüden der Gruppe A und in Tab. 7 der Einfluss der Körpermasse auf die erhobenen Parameter für die intakten Rüden der Gruppe A ersichtlich. Der Regressionskoeffizient beschreibt die Längenzunahme der jeweiligen Messstrecke pro kg Körpermasse.

Tab. 6: Einfluss der Körpermasse und des Kastrationsalters auf einzelne Messstrecken bei kastrierten Rüden der Gruppe A unter Benennung der Signifikanz (p) und des Regressionskoeffizienten (r)

Messstrecke	p (Körper- masse)	r (Körper- masse)	p (Kastrations- alter)
Länge Pars longa glandis	< 0,0001	0,069	0,041
Länge des Bulbus Penis	0,0004	0,035	0,021
Gesamtbreite Penis	0,072	0,006	0,061
Breite Corpus spongiosum	0,081	0,004	0,11

Ergebnisse

Breite erektilen Gewebe	0,57	-	0,14
-------------------------	------	---	------

Tab. 7: Einfluss der Körpermasse auf einzelne Messstrecken bei unkastrierten Rüden der Gruppe A unter Benennung der Signifikanz (p) und des Regressionskoeffizienten (r)

Messstrecke	p (Körpermasse)	r
Länge Pars longa glandis	0,031	0,05
Länge des Bulbus penis	0,029	0,025
Gesamtbreite Penis	0,003	0,014
Breite Corpus spongiosum	0,016	0,005
Breite erektilen Gewebe	0,016	0,01

Gruppe B:

Für die Rüden in Gruppe B im erigierten und unerigierten Zustand wurden die in Tab. 8 aufgeführten Einflüsse der Körpermasse auf die untersuchten Parameter zuzüglich der angegebenen Regressionskoeffizienten statistisch berechnet und verglichen.

Tab. 8: Einfluss der Körpermasse auf einzelne Messstrecken Rüden der Gruppe B vergleichend während und nach der Erektion unter Benennung der Signifikanz (p) und des Regressionskoeffizienten (r)

Messstrecke	p (Körpermasse) erigiert / nicht erigiert	r (Körpermasse) erigiert / nicht erigiert
Länge Pars longa glandis	0,0033 / < 0,0001	0,044 / 0,049

Ergebnisse

Länge des Bulbus penis	0,0014 / < 0,0001	0,023 / 0,025
Gesamtbreite Penis	< 0,0001 / < 0,0001	0,019 / 0,013
Breite Corpus spongiosum	0,015 / 0,011	0,005 / 0,003
Breite erektilen Gewebe	0,0015 / 0,0002	0,014 / 0,012

Gruppen A und B im Vergleich:

Ein Vergleich der unkastrierten Rüden der Gruppe A und der Rüden der Gruppe B im unerigierten Zustand ist in Tab. 9 ausgeführt. Dieser Vergleich bezog sich auf die Einflüsse der Faktoren Gruppe und Körpermasse. Zudem wurden die bereinigten Mittelwerte der jeweiligen Messstrecke und Gruppe wiedergegeben.

Tab. 9: Einfluss der Gruppe und der Körpermasse auf einzelne Messstrecken bei unkastrierten Rüden der Gruppe (Gr.) A und Rüden der Gruppe (Gr.) B im unerigierten Zustand im Vergleich unter Benennung der Signifikanz (p) und der bereinigten Mittelwerte (bMW)

Messstrecke	Signifikanz der Gruppe	Signifikanz Körpermasse	bMW (Gr. A)	bMW (Gr. B)
Länge Pars longa glandis	0,18	< 0,0001	6,19	6,62
Länge des Bulbus penis	0,06	< 0,0001	3,18	3,46
Gesamtbreite penis	0,14	< 0,0001	1,79	1,90
Breite Corpus spongiosum	0,019	< 0,0001	0,58	0,68
Breite erektilen Gewebe	0,32	< 0,0001	1,17	1,24

4.5 Anatomische Strukturen am Präparat

Am Querschnitt im Bereich der Penisspitze (Abb. 17) wurde im äußeren Bereich das im gesamten Radius ausgebildete erektile Gewebe der Pars longa glandis sichtbar. Es erschien schwammartig und von weißlicher bis rosa-roter Farbe. Von dorsal gesehen folgte auf das Gewebe der Pars longa glandis der mehr zentral gelegene Penisknochen, welcher sich als weiß-gräuliche rund-ovale Struktur darstellte. Weiter ventral ließ sich unmittelbar unterhalb des Os penis das Corpus spongiosum auffinden. Dieses Gewebe stellte sich dicht und weiß bis dunkelrosa dar. Innerhalb des Corpus spongiosum lag die Urethra, deren Wand in Falten lag und somit das Lumen der Harnröhre verschloss.

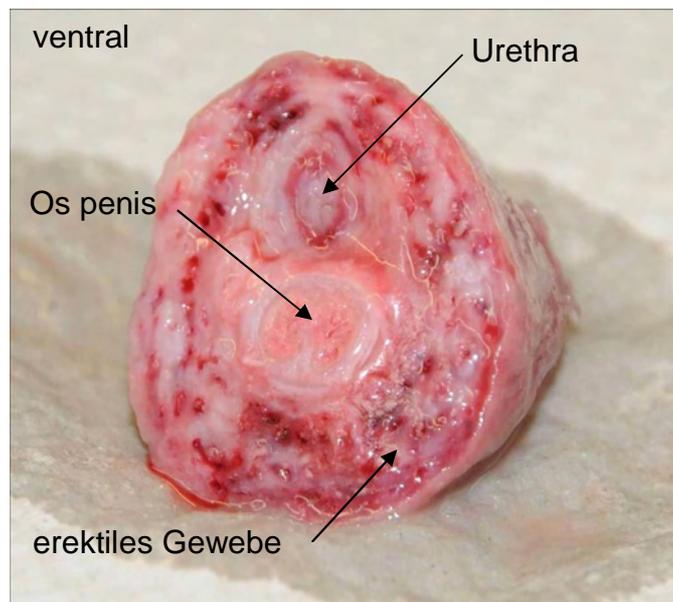


Abb. 17: Anatomisches Präparat des Querschnittes der Penisspitze mit Benennung einzelner Strukturen

Im Querschnitt des mittleren Bereichs der Pars longa glandis (Abb. 18) ließ sich wiederum als äußere umgebende Struktur das erektile Gewebe der Glans penis darstellen. Mit seiner schwammartigen Strukturierung und rosa-roter Farbgebung nahm es in dieser Lokalisation einen deutlich größeren Bereich des Querschnitts ein als im Schnitt im Bereich der Penisspitze und erschien in Bezug auf die Septierung gleichmäßiger unterteilt. Der Penisknochen erschien an dieser Stelle v-förmig.

Zentral gelegen und vom Os penis eingebettet war das Corpus spongiosum mit der Urethra zu lokalisieren, deren Lumen in diesem Schnitt ebenfalls verschlossen war.

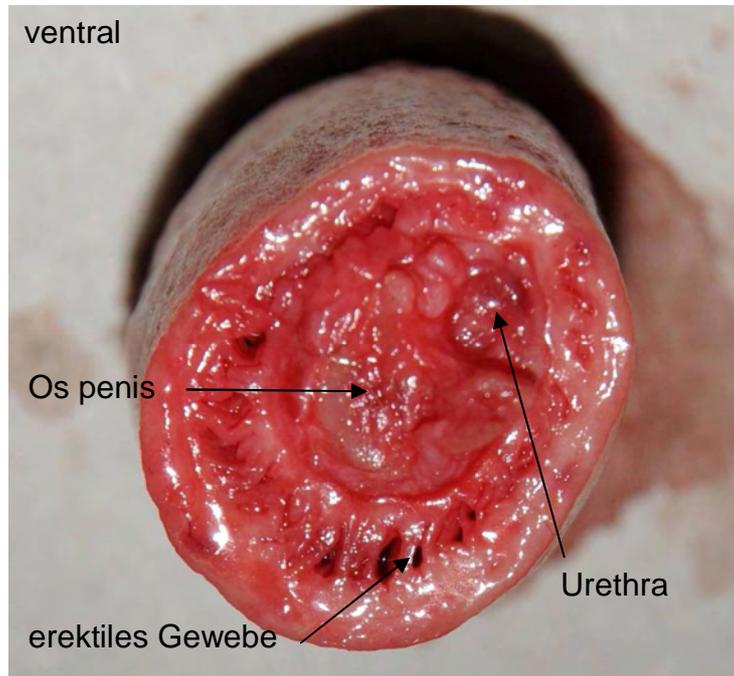


Abb. 18: Anatomisches Präparat des Querschnittes des mittleren Bereiches der Pars longa glandis mit Benennung einzelner Strukturen

Als prominente Struktur des Querschnitts im mittleren Bereich des Bulbus glandis (Abb. 19) ließ sich das schwammartig septierte und in roter Farbe erscheinende erektile Gewebe des Bulbus glandis darstellen. Der größte Anteil dieses Gewebes lag im lateralen und dorsalen Bereich der Querschnittsfläche. Im ventralen Abschnitt der Fläche befand sich lediglich eine Gewebebrücke zwischen rechts- und linksseitigem Anteil des Bulbus glandis. Das Os penis mit dem eingelagerten Corpus spongiosum und der Urethra bildete ebenso wie im Querschnitt der Pars longa glandis eine v-förmige Figur.

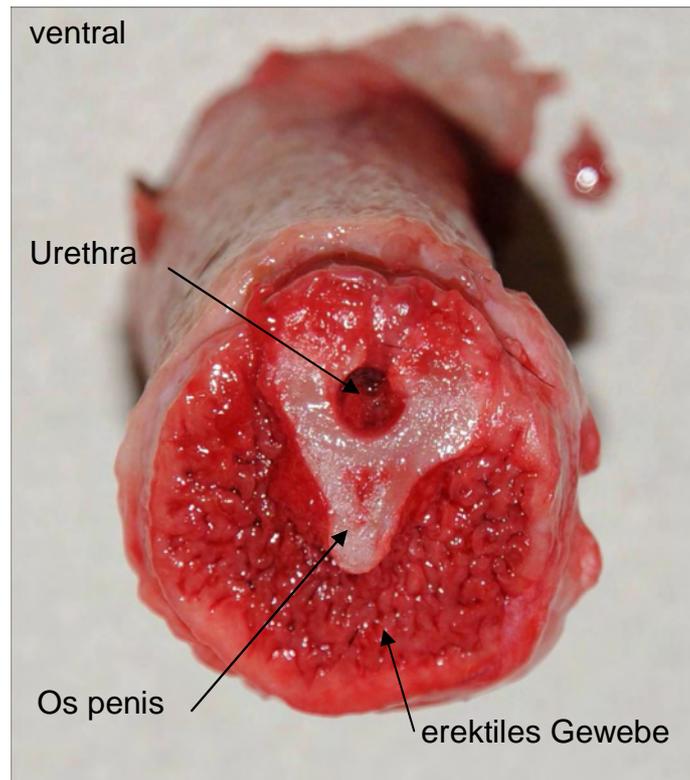


Abb. 19: Anatomisches Präparat des Querschnittes des Bulbus glandis mit Benennung einzelner Strukturen

4.6 Anatomische Strukturen im Ultraschall

Zum Nachweis der Reproduzierbarkeit im Hinblick auf die Darstellung der anatomischen Strukturen des Rüdenpenis im Ultraschall wurden diese hinsichtlich ihrer Anordnung und Ausdehnungen im B-Mode und der sonographischen Qualität ihrer Abbildung beurteilt. Zudem wurden die Abbildungen der einzelnen Strukturen im unerigierten und erigierten Zustand verglichen.

4.6.1 Sonographische Untersuchung des Penis in Längs- und Querschnitten bei Rüden der Gruppe A und B im unerigierten Zustand

Längsschnitt in latero-lateraler Richtung:

Bei der Abbildung der Pars longa glandis im latero-lateralen Längsschnitt wurde bei den Untersuchungen im unerigierten Zustand der Rüden der Gruppe A und B die Lage verschiedener anatomischer Strukturen nachvollzogen. Unter Verwendung des Linearscanners mit dem Einsatz des Compoundeffektes und der Einstellung CH12 MHz stellten sich die Strukturen bei den Rüden der Gruppe A wie folgt dar (Abb. 20):

Zunächst war schallkopfnah die Haut des Präputiums in Form einer wenige mm breiten Bande sichtbar. Diese ließ sich als homogene Struktur mittlerer Echogenität darstellen. Es folgte als anechogene schmale Linie über die gesamte Länge des abgebildeten Präputiums die Präputialkavität. Im Anschluss stellte sich zunächst die hyperechogen abgebildete schmale Tunica albuginea dar. Es folgte im Anschluss das erektile Gewebe der Pars longa glandis, welches sich aufgrund mehrerer längsorientierter Bereiche von verschiedener Echogenität, d. h. sowohl mit hypoechogenen als auch anechogenen Zonen, als heterogenes Gewebe darstellen ließ. Eine zentrale, hyperechogene, längliche, schmale Struktur ließ sich als das Os penis identifizieren. Der Ursprung des Os penis lag im cranialen Fünftel des Bildes; unterhalb dieser Struktur war ein mehr oder weniger gut ausgeprägter Schallschatten zu sehen. In Bereichen, in denen der Schallschatten unterhalb des Os penis Lücken aufwies, wie auch im Bereich cranial des Os penis, war das Corpus spongiosum auf ganzer Bildlänge als heterogenes, weniger hyperechogenes Gewebe darstellbar, in dessen Zentrum die Urethra als geringgradig hyperechogene Linie zu lokalisieren war. Das Corpus spongiosum wie auch die Urethra waren lediglich bei 30 % der Hunde darstellbar. Auf die optische Grenze des Corpus spongiosum folgte wiederum ein mehr heterogener und hypoechogener Bereich, der als rechtsseitiger schallkopfferner Anteil des erektilen Gewebes der Pars longa glandis anzusprechen war. Den Abschluss bildete die hyperechogen erscheinende schmale Tunica albuginea vor der anechogenen Präputialkavität.

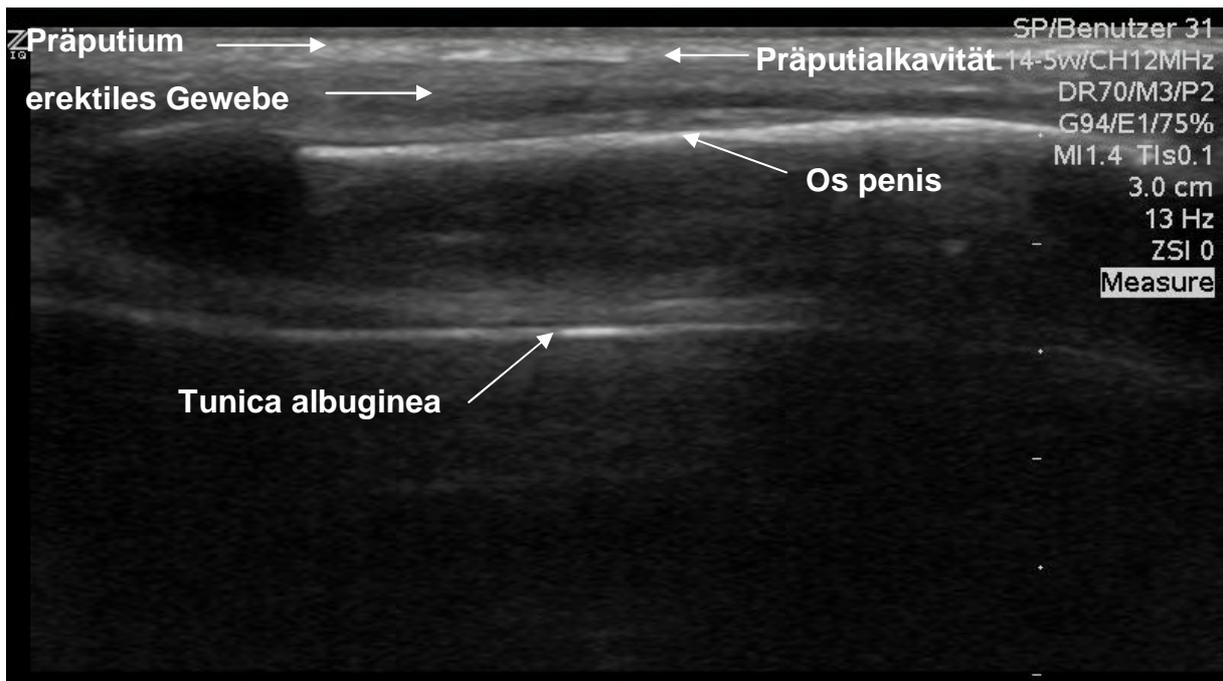


Abb. 20: Längsschnitt im B-Bild bei Rüden der Gruppe A unter Einsatz des Compoundverfahrens und Benennung einzelner Strukturen

Bei der Untersuchung der Rüden aus Gruppe B waren die Strukturen in ihrer Form und Lage entsprechend der beschriebenen Sachverhalte der Rüden der Gruppe A nachvollziehbar. Das erektile Gewebe der Pars longa glandis war sowohl in seinem schallkopfnahen als auch schallkopffernen Anteil visuell von größerer Ausdehnung. Die Heterogenität des erektilen Gewebes war bedingt durch größere Echogenitäts- und Ausdehnungsunterschiede der längsorientierten Bereiche deutlicher zu erfassen als bei Betrachtung der Abbildungen der Rüden aus Gruppe A. Das Corpus spongiosum erschien ebenfalls in größerer Ausdehnung und zunehmender Heterogenität bedingt durch eine Abnahme der Echogenität und eine Zunahme von dargestellten Speckles.

Bei Verwendung des Linearscanners ohne Einsatz des Compoundings und mit der Frequenzwahl 7 MHz waren die Strukturen in gleicher Lokalisation und Ausdehnung wie unter Einsatz des Compoundeffekts darzustellen. Die Echogenitätsunterschiede und damit das Maß an Heterogenität innerhalb des erektilen Gewebes der Pars longa glandis waren sowohl im schallkopfnahen, als auch im schallkopffernen Anteil sehr deutlich. Das Corpus spongiosum erschien bei fast allen Hunden als heterogene Struktur mittlerer Echogenität, deutlich differenzierbar von dem übrigen Gewebe. Die Tunica albuginea wie auch das Os penis konnten als deutlich

hyperechogen klassifiziert werden. Im gesamten Bildbereich des Organs waren deutliche Ansammlungen an Speckles zu lokalisieren. Diese häuften sich in beiden Anteilen des erektilen Gewebes der Pars longa glandis.

Querschnitt im Bereich der Penisspitze:

Bei der Abbildung der Penisspitze im Querschnitt unter Verwendung des Compoundings war das Organ in beiden Gruppen in runder bis leicht ovaler Form darzustellen.

In den Darstellungen der Rüden aus Gruppe A mit der Einstellung CH12 MHz war zunächst schallkopfnah das Präputium aufzufinden (Abb. 21). Es stellte sich homogen und von mittlerer Echogenität dar und war im mittleren Organbereich eher als gerade Linie zu verfolgen, im lateralen Bereich dagegen vollzog es die runde Form des Penis nach. Die Präputialkavität war als anechogene schmale Linie umfassend darstellbar. Das erektile Gewebe der Pars longa glandis stellte sich durch Bereiche verschiedener Echogenitäten mit einer Bandbreite von anechogen bis hypoechogen als heterogen dar. Zentral innerhalb der Organgrenzen war das Os penis als geringgradig nach distal gebogene, hyperechogene Struktur zu identifizieren. Unterhalb des Os penis folgte ein deutlich ausgeprägter Schallschatten, welcher die schallkopffernen Strukturen in ihrer Darstellbarkeit unterbrach. Das Corpus spongiosum und die Urethra waren in dieser Schnittebene nicht bei allen Rüden von dem übrigen Gewebe zu differenzieren.

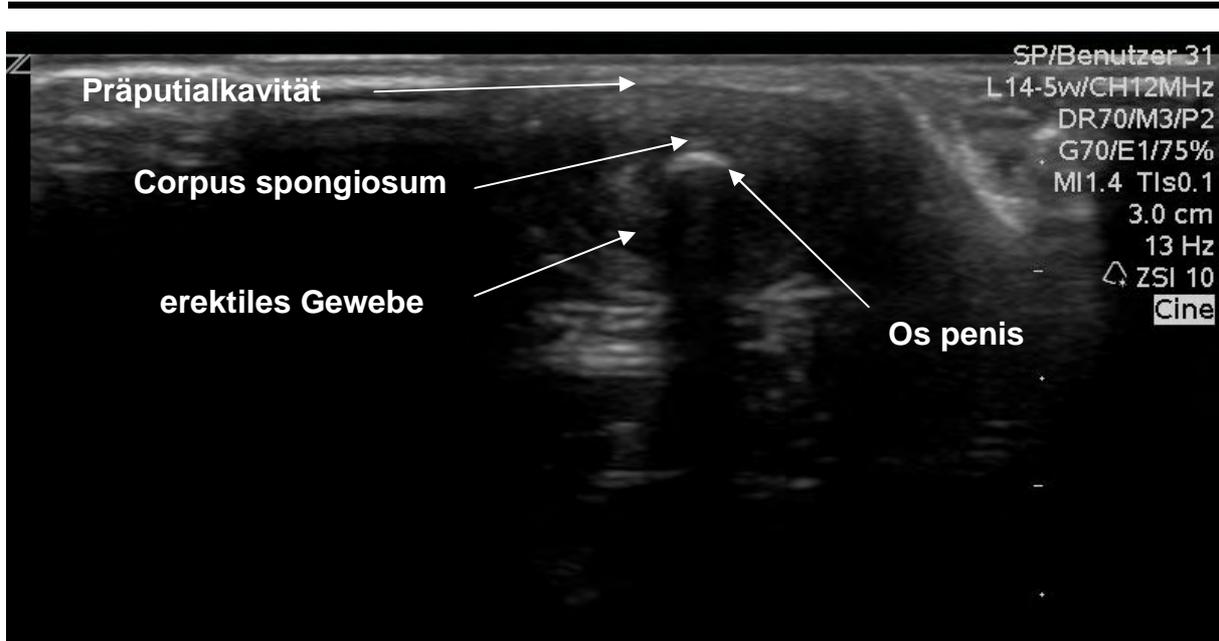


Abb. 21: Querschnitt eines Penis bei einem Rüden der Gruppe A im Bereich der Penisspitze im B-Bild mit Einsatz des Compoundverfahrens

Die Untersuchung der Rüden aus Gruppe B ergab im Querschnitt der Penisspitze mit den Abbildungen der Gruppe A vergleichbare Ergebnisse. Lediglich die Heterogenität des erektilen Gewebes der Pars longa glandis war hier durch die Anhäufung von Speckles größer.

Mit einer Einstellung von 7 MHz ohne das Compoundverfahren waren die Strukturen in ihrer Lokalisation und Ausdehnung in gleicher Weise darzustellen wie unter Verwendung des Compoundings. In dieser Einstellung war im Bereich des erektilen Gewebes der Pars longa glandis eine deutliche Menge an Speckles aufzufinden. Die Strukturgrenzen waren hier allerdings im Vergleich zum Ergebnis unter Einsatz des Compoundverfahrens deutlicher anzusprechen. Die Auflösung vor allem in den tieferen Organschichten erschien besser.

Querschnitt im mittleren Bereich der Pars longa glandis:

Die Abbildungen im ventro-dorsalen Querschnitt des mittleren Bereichs der Pars longa glandis unter Verwendung des Compoundverfahrens ließen bei den Hunden der Gruppe A folgende Strukturen in ihrer Lokalisation und Schallqualität nachvollziehen (Abb. 22): Schallkopfnah lag die homogen erscheinende Haut des Präputiums mit mittlerer Echogenität. Diese ließ die Form des Organs erkennen und

konnte lediglich im ventralen Bildbereich nicht bei allen Hunden eindeutig visualisiert werden. Im Anschluss war die Präputialkavität zwischen dem Präputium und dem erektilen Gewebe der Pars longa glandis als anechogene schmale Linie zu identifizieren. Den Hauptanteil der Querschnittsfläche füllte das hypoechogen erscheinende erektile Gewebe der Pars longa glandis aus. Hier konnte durch die Anhäufung von Speckles eine Heterogenität dargestellt werden. Zentral wurde das Os penis aufgefunden, welches sich in seiner v-förmigen Gestalt bei einigen Probanden in einen ventralen Anteil und zwei punktförmige Endbereiche aufteilte. Bei der Mehrzahl der Probanden war diese v-förmige Struktur des Os penis dagegen durchgängig nachzuvollziehen. Den ventral auf das Os penis folgenden Bildbereich kennzeichnete ein deutlicher Schallschatten. Innerhalb der Einfassung des Os penis konnte bei einem großen Teil der Hunde das Corpus spongiosum als homogenes, geringgradig hyperechogenes Gewebe dargestellt werden. Die Grenzen dieses Gewebes sowie die eingefasste Urethra waren nicht deutlich abzugrenzen. In einigen Fällen war die Urethra im Zentrum des Corpus spongiosum als geringgradig hyperechogene, punktförmige Struktur zu identifizieren.

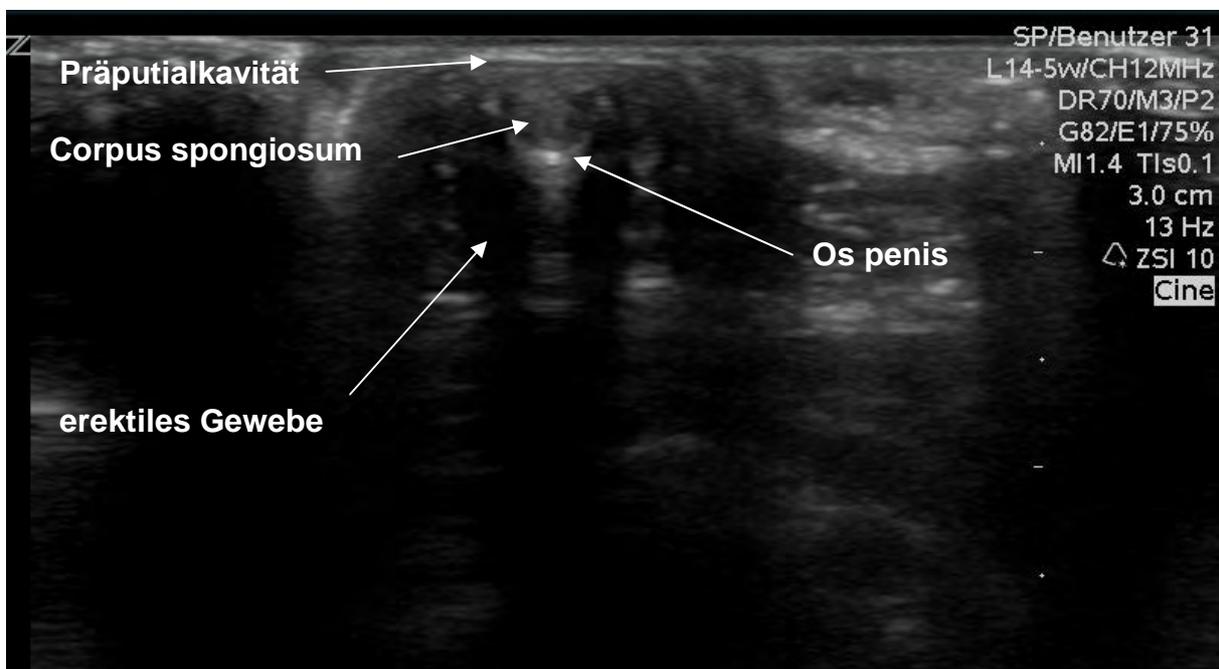


Abb. 22: Querschnitt eines Penis bei einem Rüden der Gruppe A im mittleren Bereich der Pars longa glandis im B-Bild mit Einsatz des Compoundverfahrens

Auf den B-Mode Abbildungen dieser Lokalisation bei den Rüden der Gruppe B im unerigierten Zustand stellten sich die visualisierten funktionell-anatomischen Strukturen in gleicher Weise dar wie für die Gruppe A beschrieben.

Ohne den Einsatz des Compoundverfahrens war ähnlich wie bei der Abbildung der Penisspitze der Anteil der Speckles deutlich erhöht, und es lag eine deutlich bessere Auflösung im Fernfeld vor. Diese Verbesserung der Auflösung in tieferen Gewebeschichten ermöglichte eine vereinfachte Abgrenzbarkeit des Organs, bedingt durch die deutliche Differenzierung zwischen Präputialgewebe, Präputialkavität und Penisgewebe.

Querschnitt im mittleren Bereich des Bulbus glandis:

Im mittleren Bereich des Bulbus glandis war schallkopfnah erneut das homogene Präputium mit mittlerer Echogenität zu visualisieren (Abb. 23). Die anechogene strichförmige Präputialkavität konnte in Anlehnung an die Organform nachvollzogen werden. Das erektile Gewebe des Bulbus glandis erschien vergleichbar mit dem anatomisch vorangegangenen erektilen Gewebe der Pars longa glandis hypoechogen und, durch die Anhäufung von Speckles und anechogenen Bereichen, heterogen. Diese Anhäufungen lassen zum Teil eine fächerförmige Anordnung vermuten. Das v-förmige Os penis stellte sich in dieser Lokalisation in allen Fällen dreiteilig dar. Die ventral gelegenen Enden waren dabei als punktförmige hyperechogene Strukturen zu erkennen und der dorsale Anteil als gebogene hyperechogene Bande sichtbar. Unterhalb jedes Anschnitts des Os penis zeigte sich ein deutlicher Schallschatten. Das in das Os penis eingebettete Corpus spongiosum stellte sich wie schon in den vorherigen Lokalisationen als geringgradig hyperechogen dar. Die zentral gelegene Urethra war in ca. 25 % der Fälle als geringgradig hyperechogener Punkt darstellbar.

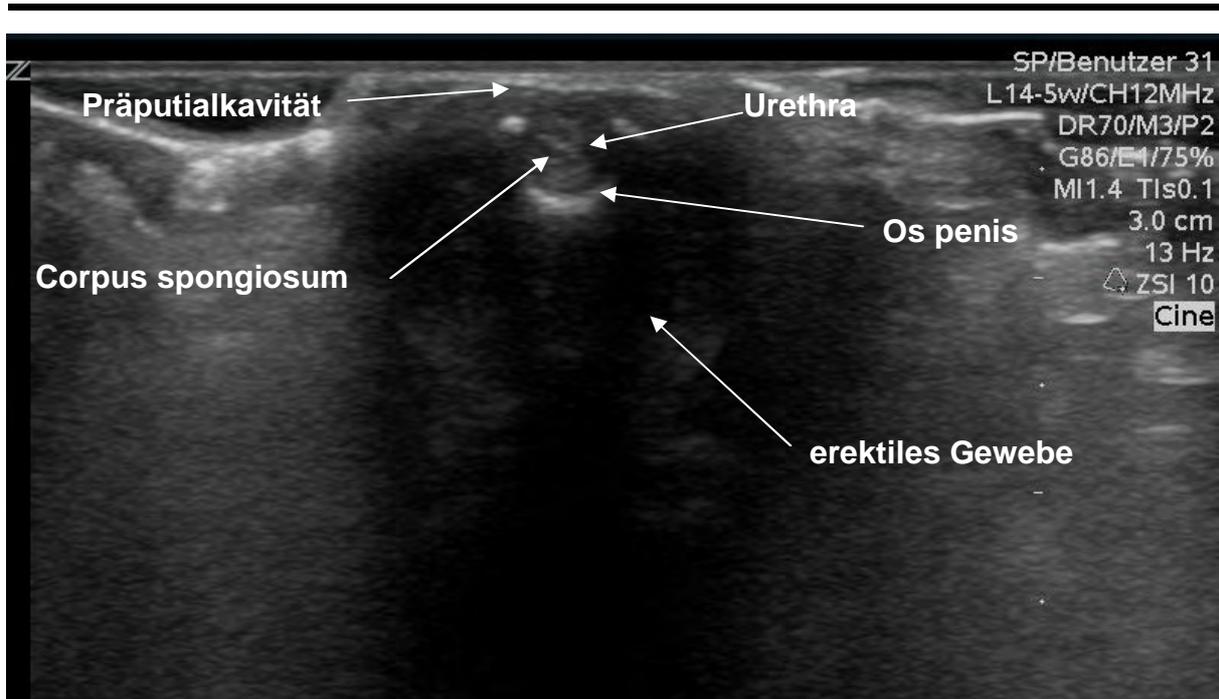


Abb. 23: Querschnitt eines Penis bei einem Rüden der Gruppe A im mittleren Bereich des Bulbus glandis mit Einsatz des Compoundverfahrens

Die Abbildungen dieser Lokalisation für die Rüden der Gruppe B in unerigiertem Zustand stellten sich im Bereich des erektilen Gewebes des Bulbus durch deutlich ausgedehntere, anechogene Bereiche etwas differenziert zu den Ergebnissen der Untersuchungen innerhalb der Gruppe A dar. Die Anhäufung der Speckles in diesem Gewebe ließ bei diesen Abbildungen eine etwas deutlichere fächerförmige Anordnung vermuten. Zudem war im Zentrum des Corpus spongiosum die Urethra als hyperechogene Struktur in fast allen Fällen zu erkennen.

Wie schon in den anderen Lokalisationen waren auch hier bei Verwendung einer Frequenz von 7 MHz ohne das Compoundverfahren die Organgrenzen im distalen Bildbereich deutlicher festzulegen. Die Speckles waren prägnanter, obwohl die anechogenen Bereiche innerhalb des erektilen Gewebes des Bulbus rein subjektiv in ihrer Ausdehnung größer erschienen. Die Speckles verliehen in diesem Schnitt auch dem Corpus spongiosum eine deutliche Heterogenität, aufgrund derer die Urethra nicht eindeutig im Zentrum des Corpus spongiosum zu identifizieren war.

Aufgrund der eingangs beschriebenen Ergebnisse der andrologischen Untersuchung der Rüden lag hier besonderes Augenmerk auf den eventuellen Differenzen der

andrologisch auffälligen Rüden zu den übrigen Hunden. Dabei war jedoch eine differenzierte Darstellung der andrologisch-pathologisch auffälligen Rüden bezüglich eines vorliegenden Präputialkatarrhs oder der palpatorisch nachgewiesenen Hypotrophie des Penis in keinem Fall festzustellen. Lediglich der Fall des intermittierenden Priapismus mit einem vorberichtlich behandelten Sticker Tumor ließ in der sonographischen Untersuchung des latero-lateralen Längsschnittes im Bereich des erektilen Gewebes der Pars longa glandis geringgradige Veränderungen durch unregelmäßige Gewebebrücken mittlerer Echogenität, welche in das Zentrum des erektilen Gewebes hineinragten, erkennen (Abb. 24).

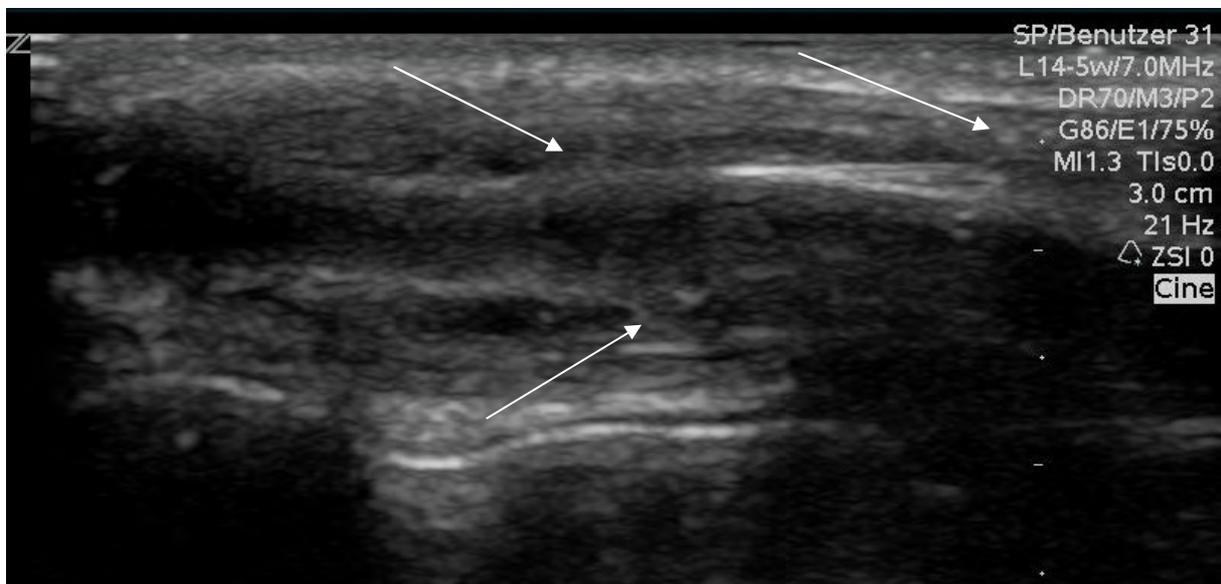


Abb. 24: Längsschnitt des Penis eines an intermittierendem Priapismus erkrankten, mit Vincristin vorbehandelten, kastrierten Rüden mit Kennzeichnung möglicher Veränderungen am erektilen Gewebe (Pfeile)

4.6.2 Sonographische Untersuchung des Penis in Längs- und Querschnitten bei Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand

Längsschnitt in latero-lateraler Richtung:

Im Längsschnitt des erigierten Rüdenpenis (Abb. 25) war schallkopfnah die Tunica albuginea als schmale hyperechogene Linie darstellbar. An beiden Anteilen der

Tunica albuginea anliegend folgte das erektile Gewebe der Pars longa glandis, das als längsorientierte, breite, heterogene bzw. zum größten Teil anechogene Bande gekennzeichnet war. Innerhalb des Gewebes waren geschwungene, mittel- bis hyperechogene Septen erkennbar, deren Ursprung im Bereich des Os penis lagen. Daneben befanden sich vor allem zwischen diesen Septen, aber auch im übrigen Anteil des Gewebes wolkenförmige Bereiche mittlerer Echogenität. Mittig zwischen dem rechts- und linksseitigen Anteil des erektilen Gewebes der Pars longa glandis lag das Corpus spongiosum. Das Os penis stellte sich im erigierten Zustand anders als im unerigierten Zustand in dieser Lokalisation nicht dar. Das Corpus spongiosum wies wiederum eine tendenziell hyperechogene Textur mit längsorientierten anechogenen Zügen im Marginalbereich auf. Im Zentrum des Corpus spongiosum ließ sich die Urethra verfolgen. Ihre rechts- und linksseitigen Schleimhautwände waren deutlich durch ihre Hyperechogenität als schmale Linien von dem zentralen Lumen mittlerer Echogenität zu differenzieren.

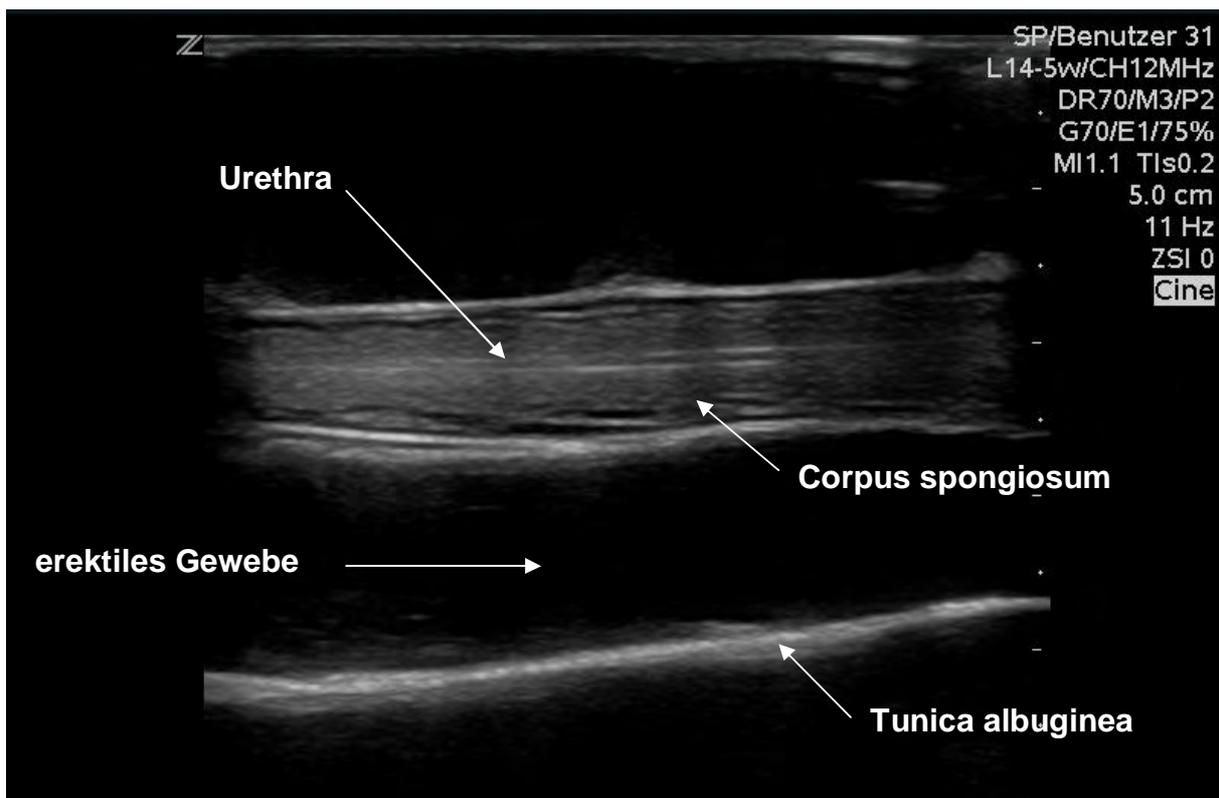


Abb. 25: Längsschnitt des Penis im B-Bild bei einem Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand

Querschnitt im Bereich der Penisspitze:

In der gewählten Lokalisation des Querschnitts der Penisspitze (Abb. 26) konnte die umliegende Organbegrenzung, die Tunica albuginea, lateral nicht durchgehend dargestellt werden. In den abgebildeten Bereichen stellte sie sich hyperechogen dar. Das erektile Gewebe der Pars longa glandis zeigte schwammartige Septen, die von mittleren bis hyperechogenen Bereichen gekennzeichnet waren. Die durch die Septen begrenzten, anechogenen und formvariablen Zwischenräume waren gleichmäßig innerhalb des Gewebes verteilt. Diese Zwischenräume waren jedoch bei einigen Hunden mit einer mittleren Echogenität und homogen abgebildet. Das Os penis war in dieser Lokalisation im Gegensatz zu den Abbildungen im unerigierten Zustand nicht aufzufinden. Das zentralgelegene Corpus spongiosum ließ sich als heterogenes Gewebe von mittlerer Echogenität visualisieren. Im peripheren Übergang zum erektilen Gewebe zeigte sich eine ringförmige Abgrenzung, von der ausgehend dünne Septen geringgradiger Hyperechogenität mit kleinen anechogenen Zwischenräumen in das Corpus spongiosum einstrahlten.

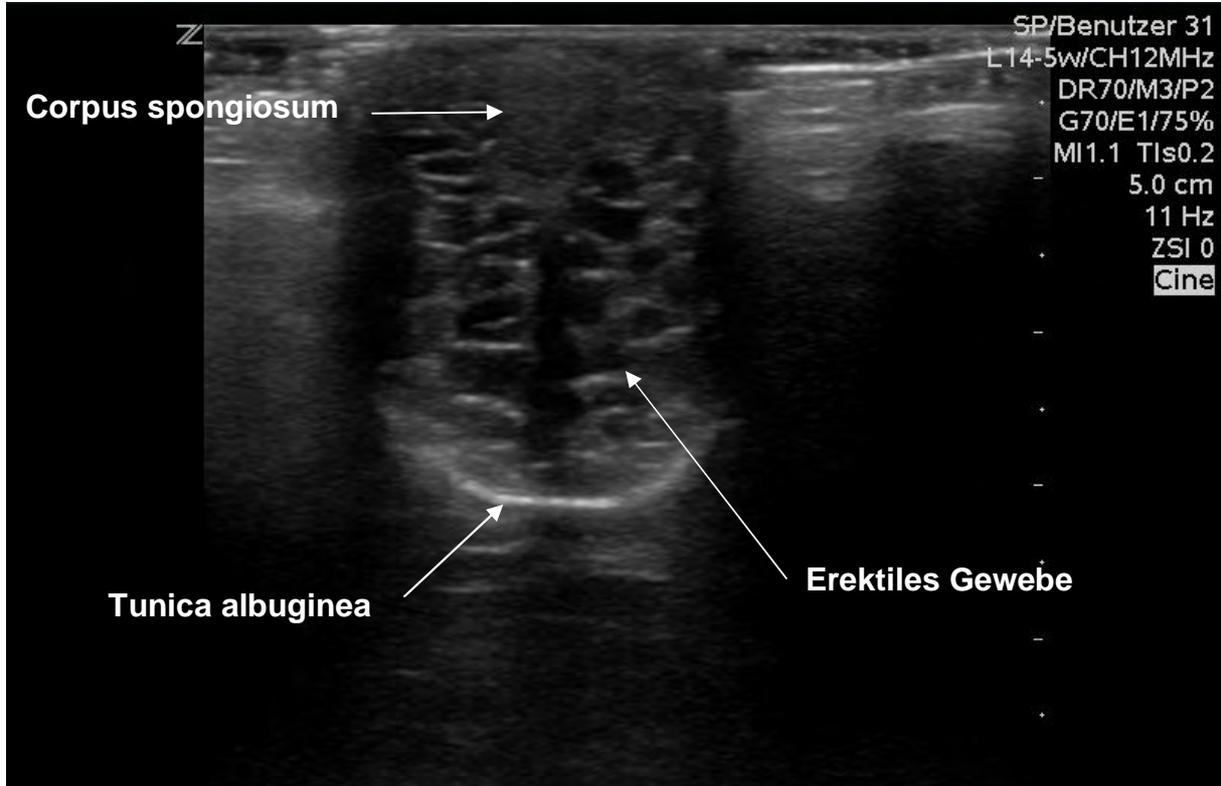


Abb. 26: Querschnitt im Bereich der Penisspitze im B-Bild bei einem Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand

Querschnitt im mittleren Bereich der Pars longa glandis:

Im Querschnitt des erigierten Penis im mittleren Bereich der Pars longa glandis (Abb. 27) konnte die Tunica albuginea wiederum als hyperechogene Struktur, mit nach lateral unvollständig nachweisbaren Organgrenzen dargestellt werden. Das erektile Gewebe der Pars longa glandis war durch hyperechogen erscheinende Septen in ungleichmäßige Bereiche unterteilt. Die Anordnung der Septen war vom Organzentrum aus gesehen horizontal bis fächerförmig. Die Zwischenräume stellten sich teilweise anechogen, aber auch zum Teil mit mittlerer bis hyperechogener Schallintensität dar. Ventral des Corpus spongiosum ließ sich das Os penis als v-förmiges, hyperechogenes Gewebe lokalisieren. Die Einlagerung des Corpus spongiosum in die V-Form des Os penis konnte in dieser Abbildung nicht in dem Maße nachvollzogen werden, wie es im unerigierten Zustand in dieser Lokalisation möglich war. Das Corpus spongiosum ließ sich wie in der vorangegangenen Lokalisation, dem Querschnitt der Penisspitze, als heterogenes Gewebe mittlerer Echogenität visualisieren. Die Urethra war wiederum nicht eindeutig vom übrigen Gewebe zu differenzieren. Im peripheren Bereich des annähernd kreisförmigen Corpus spongiosum befanden sich anechogene Zwischenräume. Den Übergang vom Corpus spongiosum zum erektilen Gewebe der Pars longa glandis bildete eine geringgradig hyperechogene Linie, welche mit den in das erektile Gewebe einstrahlenden Septen in Verbindung zu stehen schien.

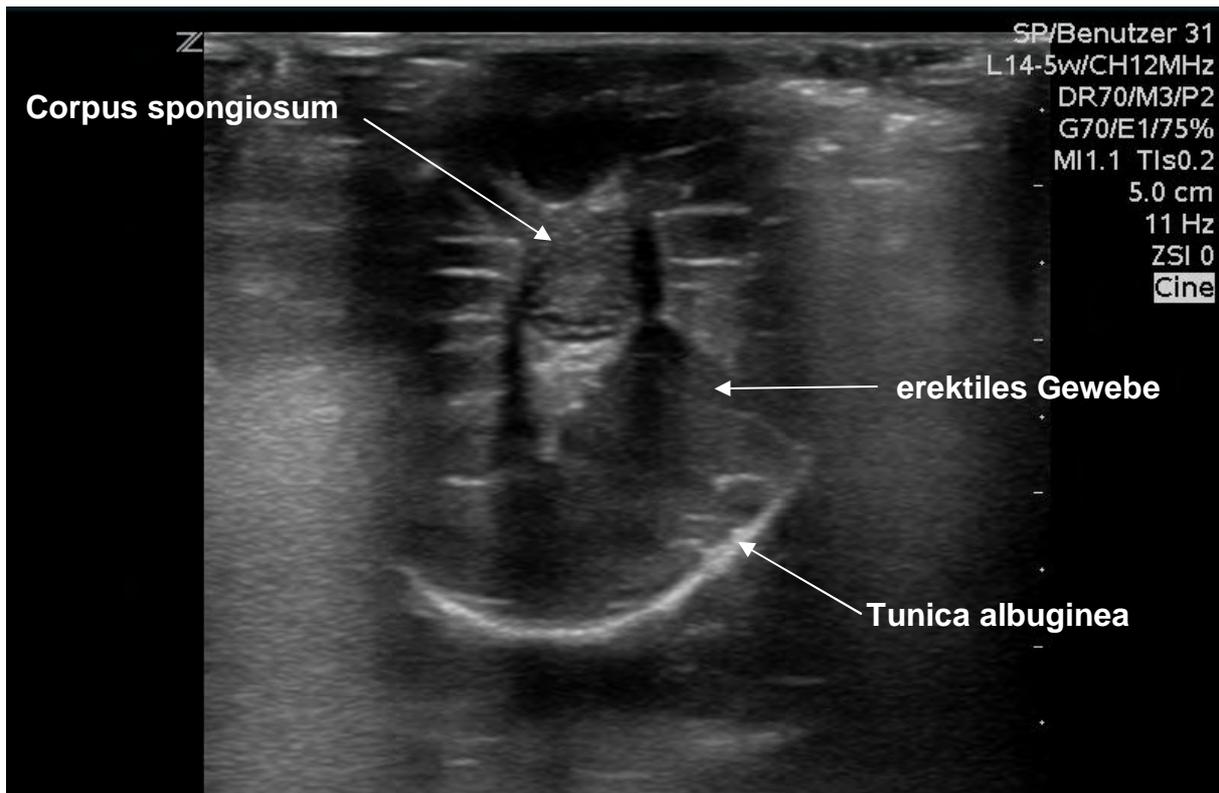


Abb. 27: Querschnitt im mittleren Bereich der Pars longa glandis im B-Bild bei einem Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand

Querschnitt im mittleren Bereich des Bulbus glandis:

Im vollständig erigierten Zustand des Penis konnte im Bereich des Bulbus glandis (Abb. 28) wie auch in den vorherigen Querschnitten die Tunica albuginea als hyperechogene, linienförmige äußere Begrenzung identifiziert werden. Bei den Rüden, bei denen es aufgrund des Erektionsverhaltens nicht möglich war, das Präputium vollständig zurück zu verlagern, ließ sich schallkopfnah zunächst noch die Haut des Präputiums mit mittlerer Echogenität darstellen. Das erektile Gewebe des Bulbus glandis war ähnlich der Abbildung des Querschnitts der Penisspitze auch in dieser Lokalisation durch hyperechogene schwammartige Septen in einzelne, kleine, zum Teil anechogene, zum Teil heterogene, mittel- bis hyperechogene Zwischenräume aufgeteilt. Das hyperechogen abgebildete Knochengewebe des Os penis war vergleichbar der Abbildungen im unerigierten Zustand dieser Lokalisation in drei Anteile differenzierbar. So konnte man den ventralen Teil sowie die Endanteile des v-förmigen Os penis nachvollziehen. Unterhalb dieser verschiedenen Anteile lagen deutliche Schallschatten innerhalb des ventral gelegenen Gewebes. Das Corpus spongiosum und die Urethra konnten in dieser Lokalisation im erigierten

Zustand nicht eindeutig dargestellt werden. Es war lediglich innerhalb der Anteile des Os penis ein geringer Anteil mehr oder weniger undifferenzierten Gewebes mit einer mittleren Echogenität aufzufinden.

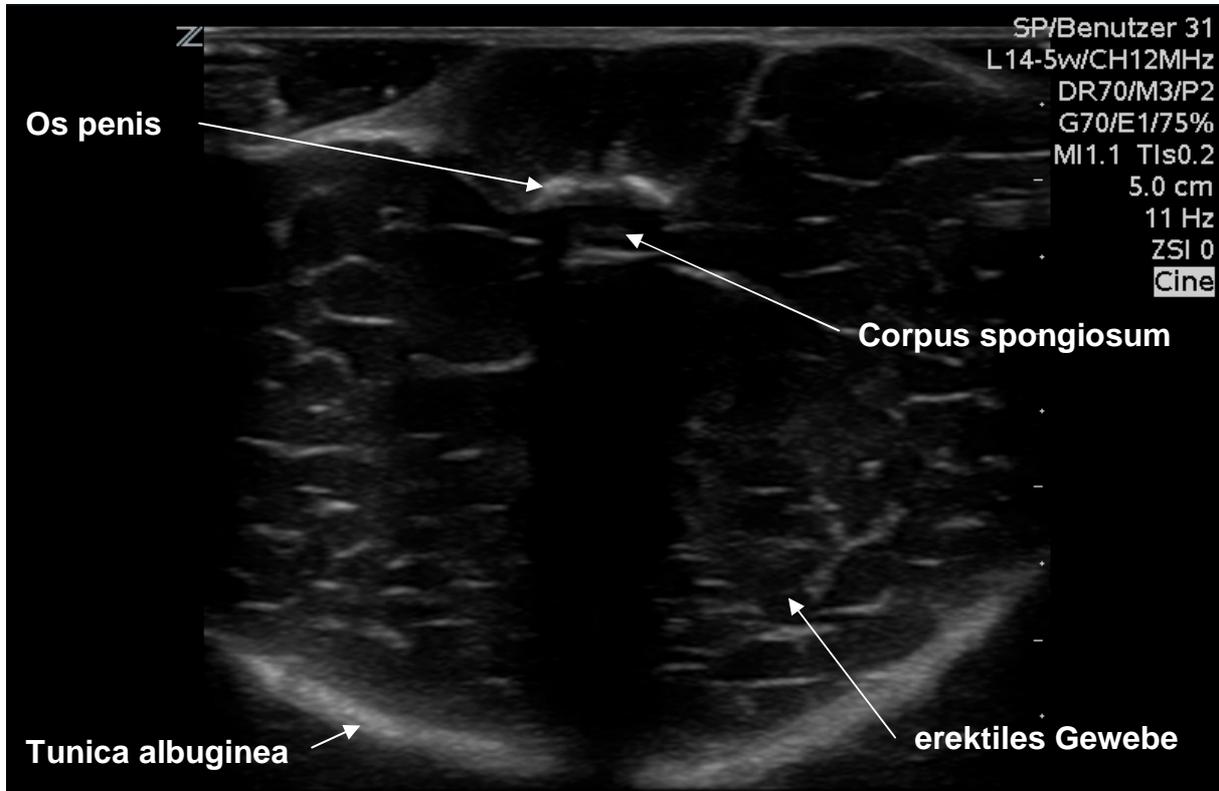


Abb. 28: Querschnitt im mittleren Bereich des Bulbus glandis im B-Bild bei einem Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand

Eine differenzierte Darstellung der andrologisch-pathologisch auffälligen Rüden bezüglich eines vorliegenden Präputialkatarrhs, eines intermittierenden Priapismus oder der palpatorisch nachgewiesenen Hypotrophie des Penis war wie auch im unerigierten Zustand des Penis innerhalb der beiden Gruppen A und B nicht möglich.

4.7 Graustufenanalyse im Bereich der Querschnittsebenen

Die bei der Untersuchung der Rüden aus Gruppe A durchgeführte Graustufenanalyse wurde durch die im portablen Grauwertanalysegerät enthaltene Software durchgeführt. Die errechneten Parameter konnten für die jeweils am Os

Ergebnisse

penis rechts- und linksseitigen Anteile des erektilen Gewebes der Pars longa glandis in den drei ventro-dorsalen Querschnitten erfasst werden. Die Gesamtmenge der Daten innerhalb der ROI lag in allen Messungen bei 1521.

Bereich der Penisspitze:

Die Untersuchung der Gruppe A (Abb. 29) ergab bei Betrachtung aller Probanden im Bereich der Penisspitze linksseitig eine durchschnittliche Graustufe von $9,2 \pm 3,7$ und rechtsseitig eine durchschnittliche Graustufe von $8,0 \pm 3,9$. Bei Betrachtung der Untergruppe der kastrierten Rüden ergaben sich rechnerisch durchschnittliche Grauwerte linksseitig von $9,8 \pm 3,5$ und rechtsseitig von $8,7 \pm 3,6$. Innerhalb der Gruppe der intakten Rüden konnte linksseitig die durchschnittliche Graustufe mit $7,3 \pm 4,0$ und rechtsseitig die durchschnittliche Graustufe mit $5,9 \pm 4,5$ festgelegt werden (Tab. 10).

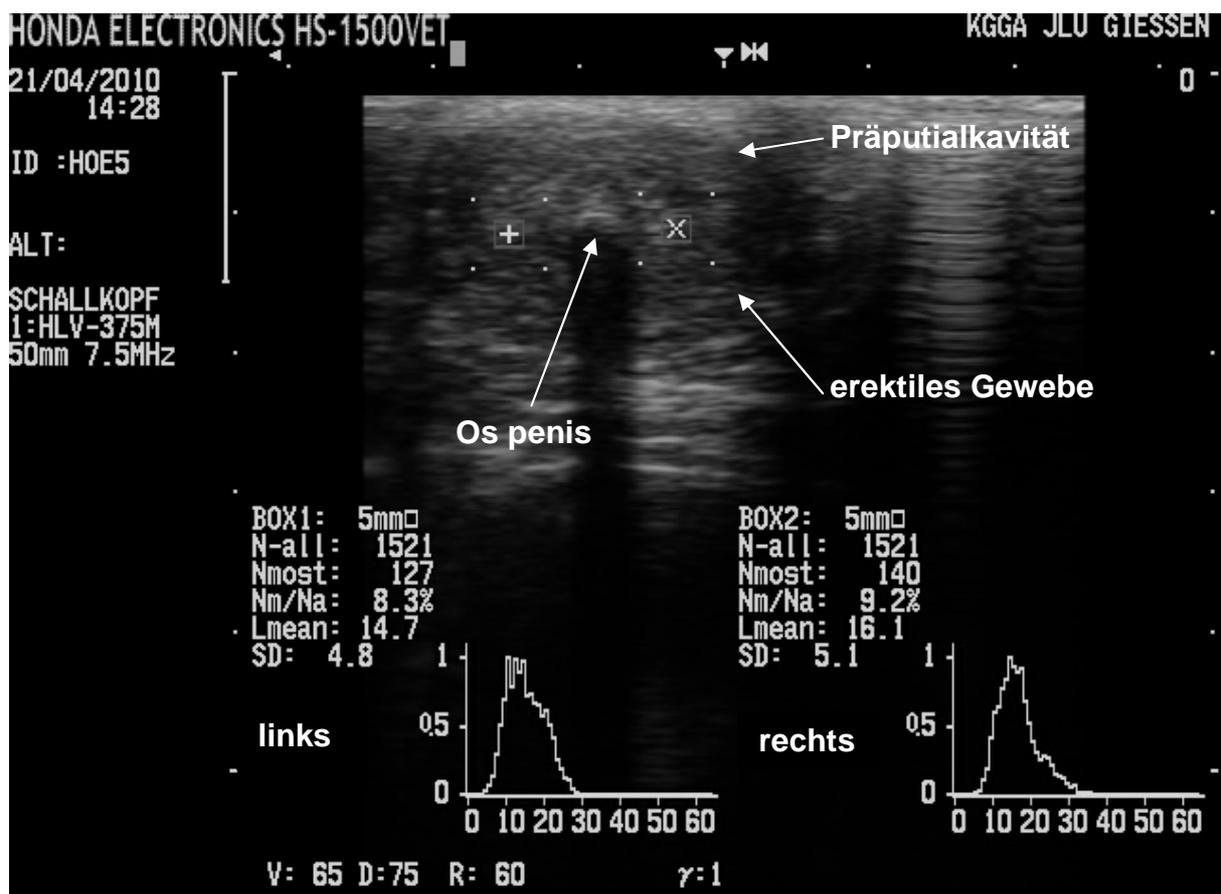


Abb. 29: Beispiel einer Graustufenanalyse an einem Querschnitt im Bereich der Penisspitze bei einem Rüden der Gruppe A

Ergebnisse

Tab. 10: Graustufenanalyse im Bereich der Penisspitze bei Rüden der Gruppe A

Messwert	Gruppe A	Gruppe A, kastriert	Gruppe A, intakt
	Mittelwert \pm SD [Min/Max]	Mittelwert \pm SD [Min/Max]	Mittelwert \pm SD [Min/Max]
N-most links	208,7 \pm 77,2 [127/422]	192,8 \pm 59,3 [136/375]	265,8 \pm 104,7 [127/422]
Nm/Na links	13,7 % \pm 5,1 % [8,3 %/27,7 %]	12,7 % \pm 3,9 % [8,9 %/24,7 %]	17,5 % \pm 6,9 % [8,3 %/27,7 %]
Lmean links	9,2 \pm 3,7 [2,0/16,8]	9,8 \pm 3,5 [3,8/16,8]	7,3 \pm 4,0 [2,0/14,7]
SD links	3,7 \pm 0,9 [1,8/5,2]	3,8 \pm 0,8 [1,9/5,2]	3,2 \pm 1,0 [1,8/4,8]
N-most rechts	245,6 \pm 109,6 [129/624]	218,5 \pm 78,0 [129/464]	340 \pm 148,5 [140/624]
Nm/Na rechts	16,2 % \pm 7,2 % [8,5 %/41,0 %]	14,4 % \pm 5,1 % [8,5 %/30,5 %]	22,4 % \pm 9,8 % [9,2 %/41 %]
Lmean rechts	8,0 \pm 3,9 [2,0/16,1]	8,7 \pm 3,6 [2,0/14,9]	5,9 \pm 4,5 [2,2/16,1]
SD rechts	3,5 \pm 1,1 [1,4/5,5]	3,7 \pm 1,0 [1,4/5,5]	2,8 \pm 1,1 [1,8/5,1]

N-most: Datenmenge der häufigsten Graustufe

Nm/Na: Datenmenge der häufigsten Graustufe/ Gesamtdatenmenge

Lmean: Durchschnittliche Graustufe

SD: Standardabweichung

Ergebnisse

links: linksseitiger Anteil des erektilen Gewebes der Pars longa glandis

rechts: rechtsseitiger Anteil des erektilen Gewebes der Pars longa glandis

Bereich der Pars longa glandis:

Für den Bereich der Pars longa glandis wurde zunächst auch die gesamte Gruppe A mit ihren Ergebnissen betrachtet. Die durchschnittliche Graustufe dieser Lokalisation wurde linksseitig mit einem Wert von $9,7 \pm 4,2$ und rechtsseitig mit einem Wert von $9,9 \pm 4,2$ berechnet. Die Ergebnisse der Untersuchung der kastrierten Rüden sind im Folgenden abgegrenzt zu den Ergebnissen der intakten Rüden aufgeführt. Die Berechnung der durchschnittlichen Grauwerte ergab für die kastrierten Rüden linksseitig $10,3 \pm 4,2$ und rechtsseitig $10,6 \pm 4,0$. Bei den intakten Rüden betrug dieser Wert linksseitig $8,4 \pm 4,0$ und rechtsseitig $8,0 \pm 4,6$ (Tab. 11).

Tab. 11: Graustufenanalyse für den Querschnitt im mittleren Bereich der Pars longa glandis bei Rüden der Gruppe A

Messwert	Gruppe A	Gruppe A, kastriert	Gruppe A, intakt
	Mittelwert \pm SD [Min/Max]	Mittelwert \pm SD [Min/Max]	Mittelwert \pm SD [Min/Max]
N-most links	204,2 \pm 63,6 [96/395]	198,4 \pm 60,1 [132/395]	214,6 \pm 76,9 [96/351]
Nm/Na links	13,4 % \pm 4,2 % [6,3 %/26 %]	13,1 % \pm 3,9 % [8,7 %/26, %]	14,1 % \pm 5,1 % [6,3 %/23,1 %]
Lmean links	9,7 \pm 4,2 [2,5/22,3]	10,3 \pm 4,2 [2,5/22,3]	8,4 \pm 4,0 [3,4/16,9]
SD links	3,9 \pm 1,0 [2,0/6,3]	4,0 \pm 1,0 [2,0/5,8]	3,8 \pm 1,2 [2,5/6,3]

Ergebnisse

N-most rechts	197,3 ± 60,5 [113/408]	189,0 ± 59,5 [124/408]	220,0 ± 64,5 [113/318]
Nm/Na rechts	12,9 % ± 3,8 % [7,4 %/24,8 %]	12,4 % ± 3,6 % [8,2 %/24,8 %]	14,4 % ± 4,3 % [7,4 %/20,9 %]
Lmean rechts	9,9 ± 4,2 [3,2/22,4]	10,6 ± 4,0 [3,2/22,4]	8,0 ± 4,6 [3,9/17,5]
SD rechts	3,9 ± 1,0 [1,6/6,1]	3,9 ± 1,0 [1,6/6,1]	4,0 ± 1,0 [3,0/6,0]

siehe Legende Tab. 10

Bereich des Bulbus glandis:

Auch im Bereich des Bulbus glandis wurde die Grauwertanalyse auf die gleiche Weise durchgeführt (Tab. 12). Für Gruppe A gesamt konnte linksseitig ein durchschnittlicher Grauwert von $9,7 \pm 3,7$ und rechtsseitig ein durchschnittlicher Grauwert von $9,7 \pm 3,9$ ermittelt werden. Die Betrachtung der durchschnittlichen Graustufe differenziert für die kastrierten und intakten Rüden ergab im Fall der kastrierten Rüden linksseitig einen Wert von $10,5 \pm 3,8$ und rechtsseitig einen Wert von $10,5 \pm 3,8$. Für die intakten Rüden lag der linksseitige Wert bei $7,6 \pm 2,4$ und der rechtsseitige betrug $7,7 \pm 4,0$.

Tab. 12: Graustufenanalyse im Bereich des Bulbus glandis bei Rüden der Gruppe A

Messwert	Gruppe A	Gruppe A, kastriert	Gruppe A, intakt
	Mittelwert ± SD [Min/Max]	Mittelwert ± SD [Min/Max]	Mittelwert ± SD [Min/Max]
N-most links	200,5 ± 60,6 [124/395]	192,3 ± 56,8 [124/395]	218,3 ± 70,9 [125/351]

Ergebnisse

Nm/Na links	13,2 % ± 4,0 % [8,2 %/26,0 %]	12,7 % ± 3,7 % [8,2 %/26,0 %]	14,4 % ± 4,7 % [8,2 %/23,1 %]
Lmean links	9,7 ± 3,7 [2,5/18,7]	10,5 ± 3,8 [2,5/18,7]	7,6 ± 2,4 [3,4/10,6]
SD links	3,9 ± 1,0 [2,0/5,8]	4,0 ± 0,9 [2,0/5,8]	3,7 ± 0,8 [2,5/5,1]
N-most rechts	200,3 ± 60,7 [117/408]	192,9 ± 60,6 [132/408]	220,5 ± 63,5 [117/318]
Nm/Na rechts	13,1 % ± 3,8 % [7,7 %/24,8 %]	12,6 % ± 3,7 % [8,7 %/24,8 %]	14,5 % ± 4,2 % [7,7 %/20,9 %]
Lmean rechts	9,7 ± 3,9 [3,2/20,7]	10,5 ± 3,8 [3,2/20,7]	7,7 ± 4,0 [3,9/15,2]
SD rechts	4,0 ± 1,2 [1,6/6,7]	4,0 ± 1,3 [1,6/6,7]	4,0 ± 1,0 [3,0/5,8]

4.7.1 Statistische Auswertung der Grauwertanalyse

Die statistische Berechnung der Signifikanzen des Kastrationsstatus in Bezug auf die durchschnittliche Graustufe und die Datenmenge der häufigsten Graustufe ergab in Gruppe A durch den Vergleich der kastrierten und intakten Rüden ausschließlich für die Datenmenge der häufigsten Graustufe (N-most) rechts- und linksseitig im Bereich der Penisspitze eine signifikante Abhängigkeit vom Kastrationsstatus ($p_{\text{links}} < 0,029$ und $p_{\text{rechts}} < 0,016$).

4.8 Korrelation einzelner Parameter

Die Berechnung der Korrelation zwischen der Körpermasse und der Länge der Pars longa glandis ergab für die Gruppe A eine Signifikanz von $p < 0,001$ und einen Korrelationskoeffizienten von 0,801 (Abb. 30).

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Gruppe A ergab die genannte Korrelation für die Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand eine Signifikanz von $p < 0,001$ und einen Korrelationskoeffizienten von 0,546 (Abb. 31). Im unerigierten Zustand wurden eine Signifikanz von $p < 0,001$ und ein Korrelationskoeffizient von 0,699 ermittelt (Abb. 32).

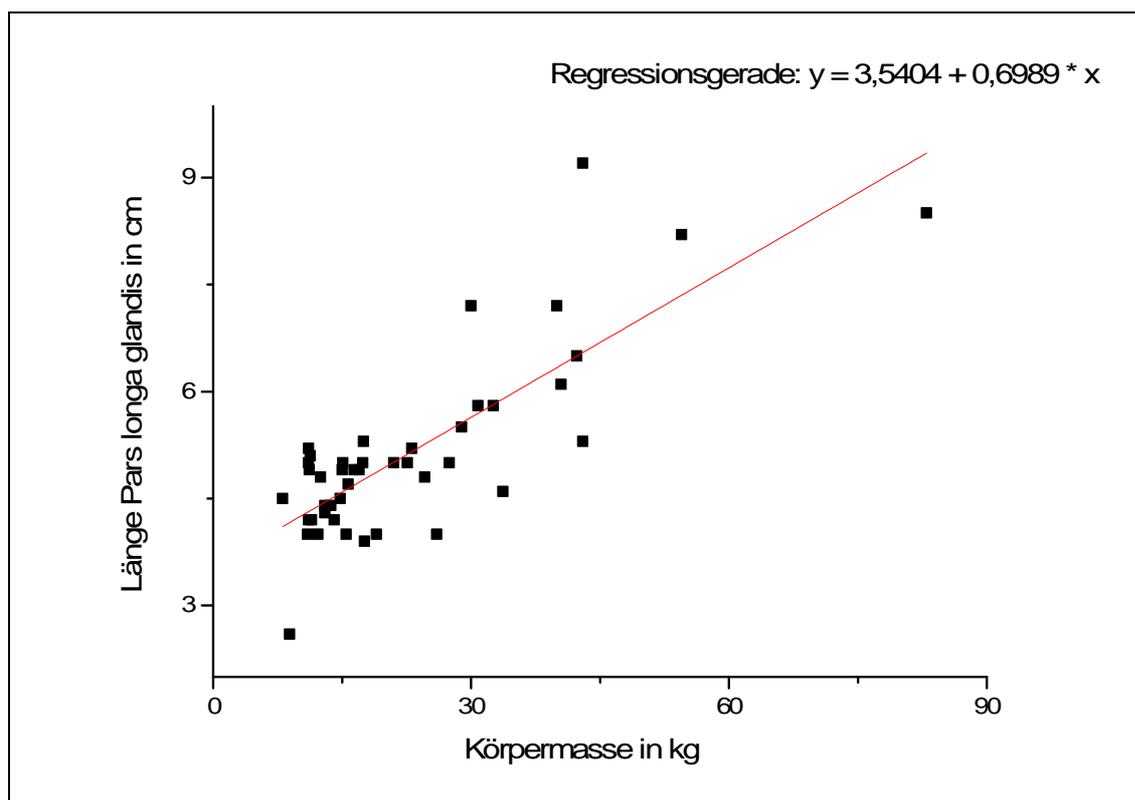


Abb. 30: Korrelation der Körpermasse und der Länge der Pars longa glandis bei Rüden der Gruppe A

Ergebnisse

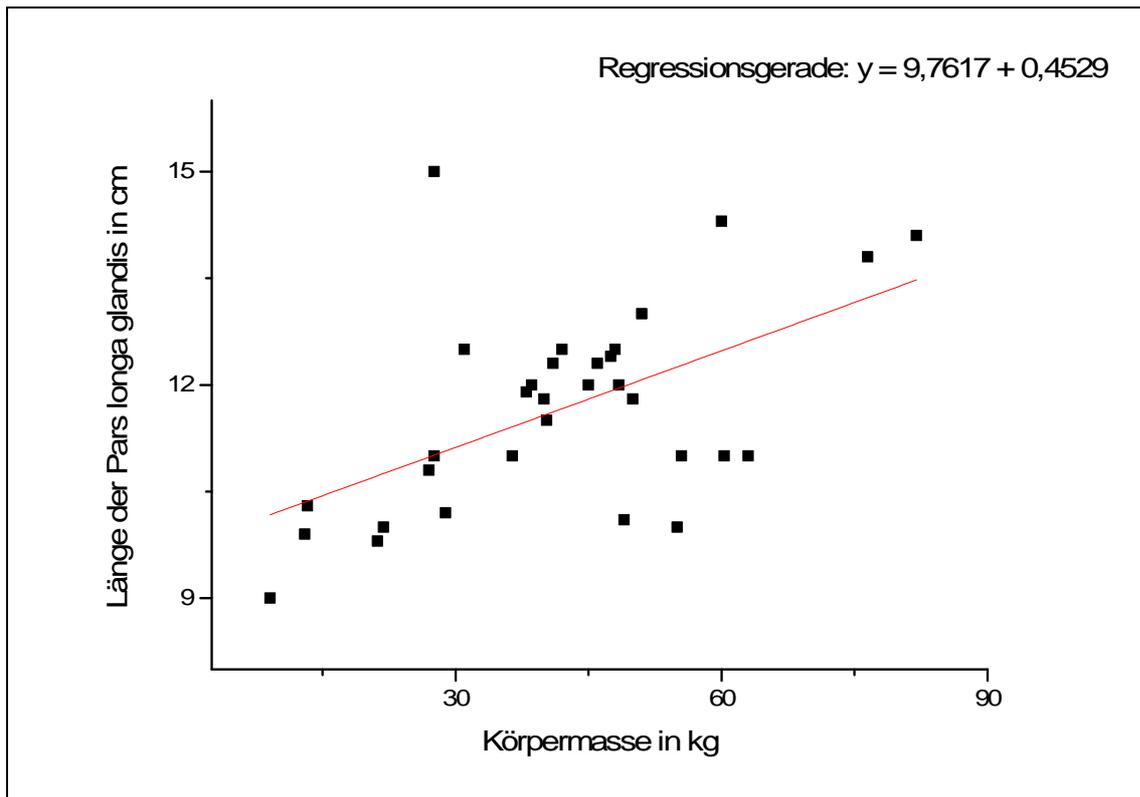


Abb. 31: Korrelation der Körpermasse und der Länge der Pars longa glandis bei Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand

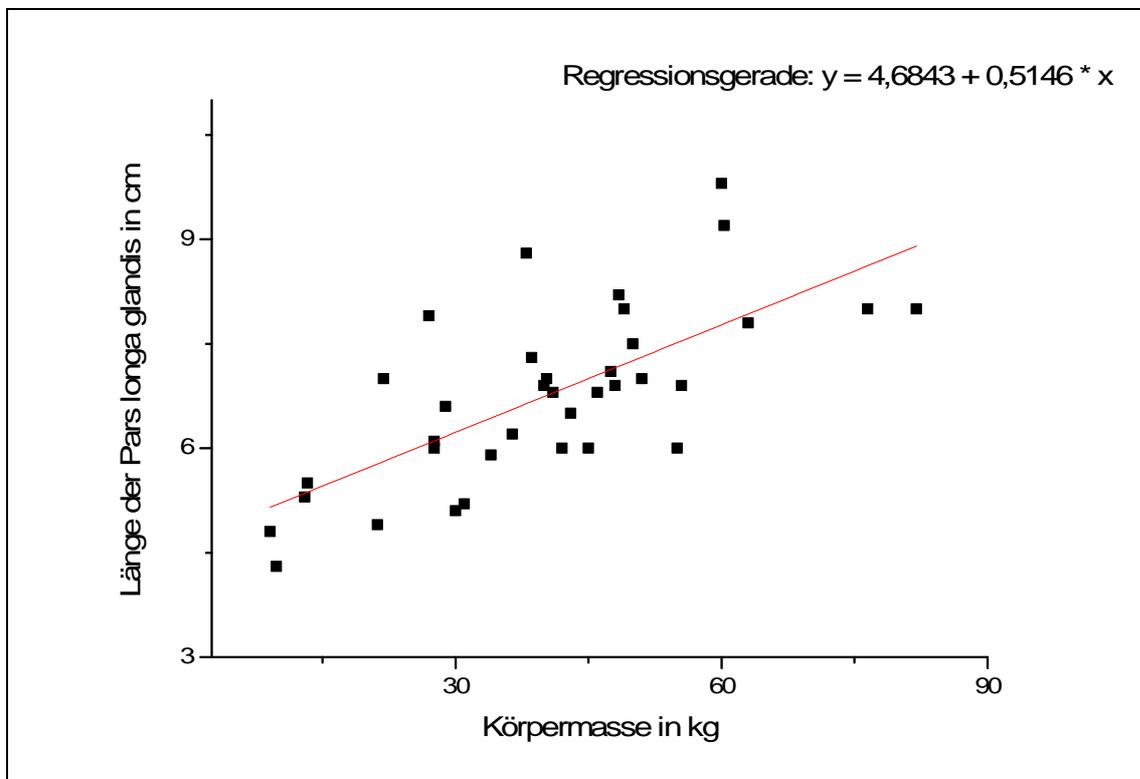


Abb. 32: Korrelation der Körpermasse und der Länge der Pars longa glandis für Rüden der Gruppe B im unerigierten Zustand

Ergebnisse

Im Weiteren wurde die Korrelation zwischen der Länge der Pars longa glandis und der Gesamtbreite des Penis in den einzelnen Gruppen untersucht. Dies ergab für die Gruppe A eine Regressionsgerade von $y = 0,46914 + 0,19082 * x$ bei einer Signifikanz von $p < 0,001$ und einem Korrelationskoeffizienten von 0,850.

In der Gruppe B wurde im erigierten Zustand im Vergleich dazu eine Regressionsgerade von $y = 1,6257 + 0,14703 * x$ und ein Korrelationskoeffizient von 0,390 ermittelt. Die Signifikanz lag bei $p < 0,030$. Im unerigierten Zustand der Gruppe B ergaben sich eine Regressionsgerade von $y = 1,3234 + 0,09375 * x$, eine Signifikanz von $p < 0,025$ und ein Korrelationskoeffizient von 0,377.

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Fragestellung

In der Tiermedizin ist die sonographische Untersuchung des physiologischen und nicht erigierten Rüdenpenis lediglich durch Payan-Carreira und Bessa (2008) beschrieben. Zwar veröffentlichten Martins-Bessa et al. (2008) und Lavelly (2009) in ihren Fallberichten die sonographische Darstellung des Rüdenpenis bei einem Priapismus im Vergleich zur sonographischen Darstellung im nicht erigierten Zustand in Form zweier Abbildungen, jedoch zogen sie dabei nicht den Vergleich zu den physiologischen Gegebenheiten während der Erektion und ließen die Darstellung und den Vergleich der verschiedenen funktionellen Bereiche unbeachtet.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, die funktionelle Anatomie des Rüdenpenis durch die B-Mode-Sonographie grundlegend darzustellen und den Vergleich zwischen der Darstellbarkeit der Strukturen im nicht erigierten und erigierten Zustand des Penis zu ziehen, um dieses Verfahren zu etablieren. Die Abbildungen im B-Mode wurden mit Hilfe des Compoundverfahrens angefertigt. Der Grund, dieses Verfahren zu wählen, ergab sich aus den in den Vorversuchen überprüften Einstellungen und der Optimierung der Bildqualität. Zur Überprüfung der qualitativen Unterschiede zwischen den Abbildungen mit und ohne Einsatz des Compoundings wurden zusätzliche Abbildungen im B-Mode ohne Anwendung des Compoundverfahrens erstellt und ausgewertet. Im Weiteren lag das Augenmerk auf den Abmessungen des Penis und wiederum dem Vergleich der Ausdehnungen im nicht erigierten und erigierten Zustand. Der Hintergrund dieser Fragestellung bestand in dem Mangel an Daten über die physiologischen Abmessungen des Rüdenpenis und die vorliegenden Größenverhältnisse der funktionellen Gewebe. Ziel der zusätzlich durchgeführten Graustufenanalyse war es die Ultraschallabbildungen des erektilen Gewebes der Pars longa glandis und des Bulbus glandis zu quantifizieren, um die mangelnde Fähigkeit des menschlichen Auges mehr als 20 bis 30 Graustufen zu unterscheiden (Gärtner et al. 1998), und damit die subjektive Bewertung der Gewebedarstellung auszugleichen. Das sollte die Möglichkeit der zukünftigen Klassifizierung und Bewertung des erektilen Gewebes der Glans penis in seiner Beschaffenheit und Funktionsfähigkeit offenlegen.

5.2 Diskussion der Materialien

5.2.1 Anatomische Präparate

Durch die Anfertigung der anatomischen Präparate sollten, vergleichend mit der Studie von Payan-Carreira und Bessa (2008), die funktionell-anatomischen Strukturen und Verhältnisse dargestellt werden. Dies begünstigte die Nachvollziehbarkeit der Gegebenheiten im B-Mode und die sichere Zuordnung der Strukturen.

5.2.2 Probanden

Die Rüden der Gruppe A unterschieden sich bezüglich Rasse, Alter, Körpermasse, Kastrationsstatus und Kastrationsalter. Die Rüden der Gruppe B unterschieden sich in der Rasse, dem Alter und der Körpermasse. Die verschiedenen Rassen wurden gewählt, um eine Rassediversität zu gewährleisten und damit einen Einfluss der Rasse auf die untersuchten Parameter auszuschließen.

Ebenso wurde der Einfluss des Alters auf die Entwicklung des Penis als gering eingeschätzt, da keine Rüden in die Untersuchung einbezogen wurden, deren Lebensalter unter einem Jahr lag bzw. die sich vor Erreichen der Geschlechtsreife befanden.

Zur Feststellung der Beeinflussung der Penismaße durch die Körpergröße des Hundes wurde das Körpergewicht als Vergleichsgröße bestimmt. Das Gewicht wurde in diesem Zusammenhang als sinnvoll erachtet, da von einer Vergleichbarkeit der Körpermassen der Rüden trotz ihrer unterschiedlichen Rassen ausgegangen wurde. Diese Vergleichbarkeit wird durch die physikalische Gegebenheit der Gewebe ermöglicht. So wird bei Gewebe eines Säugetieres von einer Dichte von 1 kg/m^3 ausgegangen. Ist diese Dichte zwischen den zu vergleichenden Probanden identisch und wird von einer konstanten Form des zu untersuchenden Organs, dem Penis, ausgegangen, so kann die Körpermasse als räumliche Dimension gesehen werden. Der Kastrationsstatus wurde als möglicher Einflussfaktor hinzugezogen, da durch die Ausschaltung der hormonellen Einflüsse von Testosteron auf das Gewebe eine Veränderung des erektilen Gewebes vermutet wurde. Daneben sollte der Einfluss

des Kastrationsalters auf die Darstellbarkeit des Gewebes und die Ausdehnung der funktionellen Gewebe überprüft werden. Besonders im Hinblick auf die unter einem Jahr kastrierten Rüden, bei denen eine Hypotrophie des Gewebes vermutet wurde, sollte dieser Einfluss überprüft werden. Es ist jedoch möglich, dass die kleine Gruppengröße der deutlich unter einem Jahr kastrierten Rüden die Aussagekraft der Werte aus statistischer Sichtweise einschränkt.

5.2.3 Ultraschallgeräte

Das verwendete Gerät zur Erstellung der B-Mode Bilder, das Zonare Z.one, wurde im Zuge der vorliegenden Arbeit als Neuanschaffung in den Klinikbetrieb eingeführt. Der Vorteil dieses Gerätes lag in der guten Visualisierung der Bilder durch einen großzügig gewählten Bildschirm sowie der Möglichkeit, durch das enthaltene Compoundverfahren verschiedene Frequenzen zur Erzeugung des Bildes zu nutzen, um in allen Bildebenen eine möglichst gute Auflösung mit einem geringen Anteil an Speckles zu erhalten. Diese Vorteile des Compoundverfahrens wurden bereits u.a. von Schade (2002) und Heynemann et al. (2004) hervorgehoben. Zudem bestand die Möglichkeit, die Untersuchungen zunächst als Rohdaten zu speichern, um sie später im Rahmen eines Postprocessings bearbeiten zu können. Als Schallkopf wurde ein Linearschallkopf verwendet, was zudem einen Vergleich der Daten mit denen von Payan-Carreira und Bessa (2008) ermöglichte. Die gewählte Grundfrequenz von CH 12 MHz unter Verwendung des Compoundings bzw. 7 MHz ergab sich aus der gerätinternen Voreinstellung „Small parts“, welche für die Untersuchung kleiner oberflächlicher Strukturen geeignet erschien. Durch diese höheren Frequenzen nimmt zwar die Eindringtiefe ab, jedoch verbessert sich die Auflösung (Poulsen-Nautrup 2007b). Die Eindringtiefe wurde je nach Hundegröße auf 3 - 6 cm bemessen, um das gesamte Organ möglichst deutlich in die Fokuszonen rücken zu können.

Für die Grauwertanalyse wurde ein portables Ultraschallgerät, das Honda HS-1500, verwendet. Dieses Gerät fand im Vorfeld bereits für die Untersuchungen im Rahmen der von Kauffold et al. (2011) durchgeführten Arbeit Verwendung. Um die Vergleichbarkeit zu optimieren, wurde auch hier ein Linearschallkopf eingesetzt. Die gewählte Frequenz von 7,5 MHz war geeignet, um oberflächliche Strukturen in einer

hohen Auflösung darzustellen. Die weiteren Einstellungen wurden während der Untersuchungen belassen, da die Veränderung dieser Werte das Ergebnis der Graustufenanalyse maßgeblich beeinflusst (Delorme und Zuna 1995).

5.3 Diskussion der Methodik

5.3.1 Sonographische Untersuchung

Die Wahl der vier Lokalisationen für die sonographischen Schnittebenen wurde getroffen, um die funktionell-anatomischen Unterschiede der verschiedenen Bereiche am Rüdenpenis aufzeigen zu können und um eine Vergleichbarkeit mit anderen Veröffentlichungen, wie der Studie von Payan-Carreira und Bessa (2008) oder den Fallberichten von Lavelly (2009) und Martins-Bessa et al. (2008), zu ermöglichen.

Dabei wurde mit größtmöglicher Sorgfalt die jeweilige Lokalisation korrekt bei jeder Untersuchung festgelegt, um die Vergleichbarkeit der Abbildungen zu gewährleisten. Dies bereitete lediglich im mittleren Bereich der Pars longa glandis geringe Schwierigkeiten. Dennoch konnte der mittlere Bereich durch genaues Abschätzen unter Berücksichtigung der vorgenommenen Messungen zur Länge der Pars longa glandis erfasst werden.

5.3.2 Sonographie im erigierten Zustand

Die Ultraschalluntersuchung der Rüden der Gruppe B wurde zunächst im erigierten Zustand durchgeführt und nach erfolgter Detumeszenz im nicht erigierten Zustand wiederholt. Der Hintergrund dieser Reihenfolge lag in der Belastung der Rüden durch die vorgenommene Manipulation am Penis während der Ultraschalluntersuchung und der damit verbundenen Abnahme der Erektionsbereitschaft. Um diese Erektionsbereitschaft bei einer zusätzlichen Belastung durch die Stresssituation des Klinikbesuchs zu optimieren, wurden die Rüden zuerst bis zur vollständigen Erektion stimuliert.

Damit ein möglichst einheitliches Maß der Detumeszenz innerhalb der Gruppe erreicht werden konnte, wurde bei allen Rüden ein Intervall von 10 Minuten vom Zeitpunkt der beginnenden Detumeszenz bis zur nachfolgenden zweiten Ultraschalluntersuchung eingehalten. Die beginnende Detumeszenz wurde visuell durch den Zeitpunkt der vollständigen Rückverlagerung des Penis in das Präputium festgelegt.

5.3.3 Sonographie im unerigierten Zustand

Für die sonographische Untersuchung der Rüden im unerigierten Zustand wurde die Behaarung des Präputiums in ihrer jeweiligen Ausbildung belassen. Ein Grund dafür war die mangelnde Bereitschaft von ca. 50 % der Rüdenbesitzer bei einer „Routineuntersuchung“ dem Scheren der Hunde zuzustimmen. Dies führte bei einem Teil der Rüden mit starker Behaarung dieses Organs zu einer im Vergleich minimal schlechteren Ankopplung des Schallkopfes an die Haut. Dieses wurde in Kauf genommen, um die Untersuchungen möglichst praxisorientiert zu gestalten, und versucht, durch eine Entfettung der Haut mit Alkohol oder einer vermehrten Menge an Ultraschallgel auszugleichen. Zudem konnte die Qualitätsminderung der Abbildungen mit schlechterer Ankopplung durch ein optimales Postprocessing der gespeicherten Rohdaten am Gerät ausgeglichen werden.

5.3.4 Graustufenanalyse

Für die Graustufenanalyse bestand die Schwierigkeit in der nicht durchführbaren Optimierung der Abbildungen im Bezug auf die Fokussierung, Gesamtverstärkung, Tiefenausgleich, Kantenbetonung, Dynamicrange und Bildkorrelation. Dies konnte aufgrund der maßgeblichen Einflüsse auf die Ergebnisse der Messungen bei einer Veränderung der Bildeinstellung (Delorme und Zuna 1995) nicht erfolgen. Daher fielen die Ergebnisse der Visualisierung der funktionell-anatomischen Strukturen qualitativ sehr unterschiedlich aus. Die Platzierung der ROI stellte sich durch die vergleichsweise kleine Querschnittsfläche der Corpora cavernosa als kompliziert dar und erforderte teilweise mehrere Versuche, um einen Einschluss anderer Gewebe in die ROI zu vermeiden. Das Verfahren stellte sich daher im Vergleich zu vorherigen

Untersuchungen an großflächigeren Geweben (Delorme und Zuna 1995, Kauffold et al. 2011, Kauffold et al. 2010) nur als bedingt geeignet dar.

5.4 Diskussion der Ergebnisse

5.4.1 Messergebnisse und Korrelationen

Die Ergebnisse der Messungen in den verschiedenen Lokalisationen und Messstrecken haben gezeigt, dass bei den einzelnen Werten eine enge Spannbreite besteht und wie erwartet die Werte mit der Körpermasse der ausgewachsenen Hunde korrelieren. Die Körpermasse besitzt auf die erhobenen Parameter einen hoch signifikanten Einfluss, was sowohl für die Betrachtung der einzelnen Gruppen als auch für den Vergleich der Gruppen untereinander gilt.

Die Bedeutung des erektilen Gewebes der Glans penis ist an den prozentualen Größenzunahmen bei der vollständigen Erektion in den Maßen Länge der Pars longa glandis, Länge des Bulbus glandis, Gesamtbreite des Penis und Breite des erektilen Gewebes im Vergleich zu der Breite des Corpus spongiosum festzumachen. Während die prozentuale Abnahme z. B. für die Breite des erektilen Gewebes bei durchschnittlich 47 % liegt, nimmt die Breite des Corpus spongiosum lediglich um 19 % ab. Zudem liegt der Anteil des erektilen Gewebes an der Gesamtbreite des Penis bei 60 % für die Rüden der Gruppe A und B im unerigierten Zustand und nimmt im erigierten Zustand in Gruppe B bis zu 74 % zu. Durch die Darstellung der unterschiedlichen Ausdehnungen der einzelnen Gewebe im erigierten und unerigierten Zustand konnte nachgewiesen werden, dass vor allem das erektile Gewebe der Glans penis in seiner Ausdehnung an der Erektion beteiligt ist, währenddessen das Corpus spongiosum von prozentual untergeordneter Bedeutung ist. Dies steht in Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Christensen (1954) und Ninomiya et al. (1989) an anatomischen Modellen. Der statistische Vergleich kastrierter und intakter Rüden der Gruppe A hinsichtlich des Einflusses des Kastrationsstatus auf die Messwerte konnte keinen Einfluss auf die Breite des Corpus spongiosum, jedoch auf die Länge der Pars longa glandis, die Länge des Bulbus glandis, die Gesamtbreite des Penis und die Breite des erektilen Gewebes

aufzeigen, was möglicherweise auf einen testosteronbedingten Einfluss hindeutet. Die erektile Funktion des Schwellgewebes in der Lamina propria der Urethra konnte mit diesen Abbildungs- und Messmethoden nicht nachvollzogen werden.

Die Unterschiede in den Messergebnissen und prozentualen Angaben zwischen den intakten und kastrierten Rüden der Gruppe A sowie den Rüden der Gruppe B im unerigierten Zustand waren nach der Bereinigung der Mittelwerte von den Kovariablen noch festzustellen. Dies ist im Vergleich der intakten und kastrierten Rüden der Gruppe A wiederum durch die funktionellen Unterschiede des Gewebes nach der Kastration und den Einfluss der früh kastrierten Rüden auf die Mittelwerte zu erklären. Der Vergleich zwischen den intakten Rüden der Gruppe A und den Rüden der Gruppe B im unerigierten Zustand nach Bereinigung der Mittelwerte lässt durch die bestehenden Differenzen die Vermutung zu, die Detumeszenz der Rüden der Gruppe B könnte nicht vollständig verlaufen sein, wengleich sich adspektorisch kein Hinweis auf eine weiterbestehende Erektion ergab. Ein weiteres Indiz für diese Vermutung ist der im Vergleich zur Gruppe A niedrigere Korrelationskoeffizient der Korrelation zwischen der Körpermasse und der Länge der Pars longa glandis dieser Rüden. Um diese These zu belegen, bedarf es einer weiteren Untersuchung mit Messwiederholungen zu verschiedenen Zeitpunkten der Detumeszenz.

Es ist davon auszugehen, dass das Alter der Hunde keinen Einfluss auf die Messergebnisse hatte, da kein Rüde mit einem Alter von < 1 Jahr untersucht wurde. Somit ist bei allen Rüden von dem Erreichen der vollständigen Geschlechtsreife (Inaba et al. 1994) und der damit verbundenen vollständigen Ausbildung der funktionell anatomischen Strukturen des Penis auszugehen.

Der Kastrationsstatus und das Kastrationsalter zeigen einen deutlichen Einfluss auf die Messstrecken, mit Ausnahme des Corpus spongiosum. Zudem hat das Kastrationsalter bis zum 9. Lebensmonat einen deutlichen Einfluss, da die betroffenen Hunde hinsichtlich der Penismaße in ihrer Gewichtsklasse deutlich unter den Werten vergleichbarer Hunde lagen. Eine spätere Kastration hat keinen signifikanten Einfluss mehr auf die Ausprägung bzw. Größe des Penis als sekundäres Geschlechtsmerkmal. Besonders fiel in diesem Zusammenhang ein 2-jähriger Parson Russel Terrier Rüde ins Auge, welcher mit einem Alter von 9 Monaten kastriert wurde. Bei diesem Hund wurden die geringsten Werte erhoben bzw. gemessen. Auch wenn er im Bezug auf die Körpermasse mit zu den leichtesten

Hunden zählte, war der Unterschied zu den Rüden vergleichbarer Rasse und Körpermasse dennoch prägnant. Dieser Umstand war auch bei den weiteren untersuchten, frühkastrierten Hunden zu beobachten. Daher ist festzuhalten, dass das Kastrationsalter innerhalb des ersten Lebensjahres möglicherweise einen starken Einfluss auf die Entwicklung des Penis ausübt, was durch eine Studie von Salmeri et al. (1991) bestätigt wird. Die Autoren untersuchten die Auswirkungen einer Frühkastration bei 7 Wochen und 7 Monaten alten Rüden und Hündinnen unter anderem auf die Ausbildung sekundärer Geschlechtsmerkmale. Es wurde in Bezug auf die Größe der Glans penis und die optisch sichtbare Entwicklung des Penis ein deutlicher Unterschied im Vergleich zu intakten Rüden festgestellt. In der vorliegenden Arbeit konnte die genaue Festlegung der Altersgrenze, bis zu der dieser Einfluss von Bedeutung ist, aufgrund der geringen Anzahl frühkastrierter Rüden nicht zuverlässig bestimmt werden. Es ist jedoch bekannt, dass der Hauptanstieg der LH-Rezeptoren, der Androgene im Blutplasma sowie der Hodenmaße im Alter von 6-10 Monaten liegt (Inaba et al. 1994). Damit würde eine Kastration in diesem Zeitraum diese Entwicklung unterbrechen. Weitere Studien an einem größeren Probandenkollektiv sind dennoch notwendig, um diese These zu untermauern und statistisch zu belegen.

Mit der erfolgten Eingrenzung der Basismesswerte für Hunde kleiner bis großer Rassen wurde eine Möglichkeit geschaffen, diese Grundlagen für die Untersuchung des Rüdenpenis kombiniert mit der qualitativen Untersuchung der funktionell-anatomischen Strukturen bei einer klinisch-andrologischen Untersuchung eines Rüden auf dessen *Potentia coeundi* anzuwenden. Die Regressionskoeffizienten der Messstrecken, welche die Zunahme der Strecke in cm pro addiertem kg Körpermasse angeben, stellen sich bei den verschiedenen Gruppen im unerigierten Zustand nahezu einheitlich dar. Daher lassen sich Rückschlüsse auf die Normalwerte eines Rüden in Abhängigkeit zu seiner Körpermasse ziehen. Die Darstellung der Korrelation zwischen der Körpermasse und den Messstrecken sowie der Korrelation zwischen der Länge der *Pars longa glandis* und der Gesamtbreite des Penis verdeutlicht die Möglichkeit, unter Berücksichtigung des Kastrationsstatus und der Geschlechtsreife die Untersuchungsergebnisse eines Rüden zu beurteilen.

5.4.2 Anatomische Präparate

Anhand der anatomischen Präparate konnten die funktionell-anatomischen Strukturen des Rüdenpenis in der Querschnittsebene nachvollzogen werden. Die Ergebnisse waren mit den von Liebich (2004) und Budras (2000) beschriebenen anatomischen Strukturen vergleichbar. Es konnten keine Differenzen zwischen den anatomischen Präparaten dieser Arbeit und den von Payan-Carreira und Bessa (2008) angefertigten Schnitten aufgezeigt werden. Die deutliche Zunahme der Rotfärbung des erektilen Gewebes vom 1. bis zum 3. Querschnitt kann durch den vermehrten Restblutgehalt während des Todes innerhalb des erektilen Gewebes erklärt werden, dessen kavernöser Anteil im Bereich des Bulbus deutlich größer ist als im Bereich der Penisspitze. Somit war im vorderen Bereich aufgrund der Verjüngung der Gefäße und blutgefüllten Kavernen durch die mit dem Tode eingestellte Herztätigkeit ein Blutmangel zu beobachten.

5.4.3 Sonographie im B-Mode bei Rüden der Gruppen A und B im unerigierten Zustand

Die sonographischen Abbildungen wurden im Hinblick auf die Darstellbarkeit der funktionell-anatomischen Strukturen sowie die Echostärke, -größe und -dichte der unterschiedlichen Gewebe ausgewertet und mit den Ergebnissen von Payan-Carreira und Bessa (2008) verglichen. Grundsätzlich übereinstimmend wurden die Lokalisationen und Ausdehnungen der Strukturen durch die B-Mode-Abbildungen dargestellt; allerdings konnte in der vorliegenden Untersuchung die Darstellbarkeit des Os penis im latero-lateralen Längsschnitt mit zwei Anteilen nicht reproduziert werden. Dies lag an dem, durch den schallkopfnahen Anteil der Biegung des Os penis bedingten, deutlichen Schallschatten. Dieser Schallschatten machte eine Beurteilung der weiter ventral im Bild gelegenen Anteile unmöglich. Des Weiteren kam es auf den Winkel zwischen Schallkopf und Präputium an, in welcher Weise die Strukturen im Längsschnitt abgebildet wurden. Dieser Winkel wurde möglichst nahe an 90° gehalten, um den Einfluss auf die Darstellbarkeit möglichst gering zu halten.

Im Hinblick auf die Echostärke, -größe und -dichte konnten bei der vorliegenden Arbeit zahlreiche Übereinstimmungen zu Payan-Carreira und Bessa (2008) nachgewiesen werden. Lediglich die Beschreibung der Darstellbarkeit der Urethra weicht ab. Während Payan-Carreira und Bessa (2008) die Urethra als in der B-Mode-Darstellung anechogen erscheinende Struktur visualisieren, konnte die Urethra in dieser Arbeit nur in der Lokalisation des Querschnittes mittig des Bulbus glandis als punktförmiges hyperechogenes Gebilde im Zentrum des Corpus spongiosum von diesem differenziert werden. Die Hyperechogenität ist durch die, dem Lumen anteilmäßig überlegene, zirkuläre Wand der Urethra zu erklären. Diese Wand liegt im ungedehnten Zustand in Längsfalten, welche während der Ejakulation und während des Harnabsatzes verstreichen (Liebich 2004). Das Lumen sollte daher bei Flüssigkeitsfüllung anechogen erscheinen. Liegt jedoch keine vermehrte Füllung des Lumens vor, so beeinflusst die Wand der Urethra mit ihrem Übergangsepithel maßgeblich die Echogenität.

Wenngleich die Darstellung der funktionell-anatomischen Strukturen des menschlichen Penis mit den Ergebnissen dieser Arbeit vergleichbar ist (Wilkins et al. 2003), gelang es in dieser Arbeit beim Hund nicht, die kavernen Arterien exakt zu identifizieren.

5.4.4 Sonographie im B-Mode bei Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand

Durch die Abbildung der vier Lokalisationen im erigierten Zustand konnten die funktionell-anatomischen Strukturen und Gegebenheiten erneut und in ihrer erektilen Funktion dargestellt werden. Eine prägnante Veränderung der Darstellung lag dabei im Bereich des erektilen Gewebes der Glans penis. Hier nahm im Längsschnitt die Echogenität bis zur Anechogenität hin ab. Lediglich die Trabekel und der Blutfluss waren in Form von Verwirbelungen mittlerer Echogenität innerhalb dieses Gewebes darzustellen. Das Os penis konnte aufgrund seiner anatomischen Lage während der Erektion im mittleren Bereich der Pars longa glandis nicht dargestellt werden; Hinweis auf das Fehlen des Os penis in den Abbildungen dieser Lokalisation gab der fehlende Schallschatten. Die hyperechogen erscheinenden Strukturen beidseits des Corpus spongiosum scheinen diesem aufgrund ihrer trabekulären Verbindungen

zugehörig und als Tunica adventitia des Corpus spongiosum (Liebich 2004) identifizierbar zu sein. Erklärend für das Fehlen des Os penis in dieser Abbildung ist die Ausdehnung des erektilen Gewebes um ca. 60 % und die Beschränkung des Os penis auf seine ursprüngliche Größe und Lokalisation während der Erektion. Das Gewebe des Corpus spongiosum wies in den Querschnitten eine deutliche Unterteilung durch Septen (Liebich 2004) in kleinere anechogene Räume auf. Die vermehrt auffindbaren, anechogenen Bereiche lassen sich durch die vermehrte Blutfüllung des Gewebes und den anechogenen Charakter von Flüssigkeiten im Ultraschallbild erklären. Während im unerigierten Zustand das Gewebe noch verdichtet ist und somit eine mittlere Echogenität aufweist, füllen sich im erigierten Zustand die kavernösen Räume mit Blut und die Echogenität nimmt stark ab (Bertolotto und Neumaier 1999). Die teilweise innerhalb der kavernösen Räume aufzufindenden Bereiche mittlerer Echogenität lassen sich durch den aktiven Blutfluss und die Verwirbelung der Erythrozyten an den Trabekeln erklären. Diese Verwirbelungen lassen einen Vergleich mit der turbulenten Strömung des Wassers zu, die bei einem ausreichenden Geschwindigkeitsgradienten innerhalb eines Fluids entsteht. Dieser Gradient kann Ergebnis eines Reibungswiderstandes durch einen Körper an einer fließenden Flüssigkeit sein. Dieser Körper ist auf das trabekuläre Geflecht innerhalb des erektilen Gewebes assoziierbar.

Das Corpus spongiosum nahm im erigierten Zustand ebenfalls an Echogenität ab und erschien fein granuliert, was abermals durch die Flüssigkeitszunahme innerhalb des schwammartig septierten Gewebes zu erklären ist (Bertolotto und Neumaier 1999). Die im Querschnitt, vor allem im mittleren Bereich der Pars longa glandis aufgefundenen, peripheren anechogenen Bereiche sind mit blutgefüllten Kavernen assoziiert. Jedoch erscheint es aufgrund der fehlenden wandigen Begrenzung und der Lokalisation nicht plausibel, diese als Gefäße anzusprechen (Liebich 2004). Die randständigen Kavernen entstehen durch die Ausläufer der Tunica adventitia in das Corpus spongiosum (Liebich 2004).

Die Darstellung der Urethra variiert ebenfalls zwischen dem erigierten und unerigierten Zustand. Im erigierten Zustand im Längsschnitt waren das Lumen und die Wandanteile deutlich voneinander abzugrenzen. Dies lässt auf eine Füllung des Lumens mit Flüssigkeit während der Erektion und die dadurch bedingte partielle Anechogenität schließen (Liebich 2004). Die Wände erschienen durch ihr im

erigierten Zustand gefülltes Schwellgewebe verdickt (Liebich 2004) und grenzten die Urethra deutlich zum umliegenden Corpus spongiosum ab.

In den drei Querschnitten konnte die Abnahme der Echogenität sowie die Ausdehnung der kavernösen Räume beobachtet werden. Die von Christensen (1954) und Ninomiya et al. (1989) am Präparat beschriebenen kavernösen Räume konnten aufgrund der Echogenitätsunterschiede durch ihre Blutfüllung und Septierung im Ultraschall nachvollzogen werden. In den Querschnitten der Penisspitze und dem mittleren Bereich der Pars longa glandis war das Os penis wie auch im Längsschnitt nicht darzustellen, was in der Ausdehnung des umgebenden Gewebes und den damit verschobenen Lageverhältnissen zwischen Os penis und den erektilen Geweben der Glans penis begründet war. Im Querschnitt des Bulbus glandis konnte das Os penis in seiner dreigeteilten Form analog zum Sonogramm des Bulbus glandis im unerigierten Zustand identifiziert werden. Die Hauptmerkmale, die auf das Vorhandensein oder Fehlen des Os penis in den Abbildungen der jeweiligen Lokalisation hindeuten, sind die Hyperechogenität der Knochenstruktur und der darunterliegende, durch die vollständige Reflexion der Schallwellen am Knochengewebe begründete Schallschatten (Poulsen-Nautrup 2007c).

Wird ein Vergleich zwischen den sonographischen Abbildungen des Penis der geschlechtsgesunden Rüden im erigierten Zustand und denen der Priapismusfälle von Martins-Bessa et al. (2008) und Lavelly (2009) gezogen, so fällt bei dem von Lavelly (2009) beschriebenen Fall keine besondere Abweichung ins Auge. Dies deutet auf das Fehlen von makroskopisch sichtbaren pathologischen Veränderungen durch die anhaltende Blutstase hin. Die Detumeszenz konnte mit einer sechswöchigen Injektionstherapie mit dem α_1 -Adrenorezeptor Agonisten Pseudoephedrin vollständig wiederhergestellt werden. Bei dem Fallbericht von Martins-Bessa et al. (2008) hingegen erscheint das erektile Gewebe fast vollständig anechogen. Bei diesem Hund bestand die Therapiemöglichkeit letztendlich in der Penisamputation. Die histologische Untersuchung des erektilen Gewebes ergab multiple Thromben, Gewebsinfarkte mit ausgedehnten Nekrosen. Dieser Vergleich zeigt die Möglichkeit auf, bei einem vorliegenden Priapismus das Gewebe auf makroskopische bzw. sonographische Veränderungen zu überprüfen, um dann eine gezielte Therapie einleiten zu können bzw. eine prognostische Einschätzung bei einem diagnostischen Therapieversuch zu geben.

5.4.5 Zusammenhang der Ergebnisse der andrologischen Untersuchung und sonographischen Darstellung

Die insgesamt neun Rüden beider Gruppen, bei denen ein akuter Präputialkatarrh festgestellt wurde, waren sonographisch unauffällig. Die je nach Grad der Entzündung vermutete Schleimhautschwellung des Präputiums und der Penisschleimhaut konnte im B-Mode nicht beobachtet oder gemessen werden. Der Fall von intermittierendem Priapismus war sonographisch durch geringgradige Veränderungen auffällig. Eine vermehrte Blutfüllung des Gewebes und die damit verbundene Abnahme der Echogenität waren jedoch nicht zu beobachten. Dies kann durch den unerigierten Zustand des Penis zum Zeitpunkt der Untersuchung und die vorangegangenen, vorberichtlich lediglich kurzfristigen, akuten Priapismuszustände und die dadurch bedingte Unversehrtheit des Gewebes erklärt werden. Die palpatorisch erfasste Hypotrophie des Penis bei einigen frühkastrierten Hunden hatte lediglich Einfluss auf die Ergebnisse der Messwerte, da sonographisch alle Strukturen funktionell-anatomisch korrekt ausgebildet waren.

5.4.6 Einsatz des Compoundverfahrens

Der Einsatz des Frequenz-Compoundverfahrens im Vergleich zu der standardisierten Untersuchung mit nur einer Frequenz hat die von Hetzel (2003) und Schade (2002) aufgestellten Thesen bezüglich der verbesserten Auflösung und des verminderten Auftreten von Speckles weitgehend bestätigt. Der Einsatz mehrerer Frequenzen und die Addition der jeweils entstandenen Bilder führten zu einem Mittelungseffekt im Bezug auf das Specklemuster. Die Abbildungen unter Einsatz des Compoundings ließen die unterschiedlichen Gewebe im oberen und mittleren Bereich des Bildes in einer verbesserten Auflösung und Detailerkennbarkeit mit einem geringeren Anteil an Speckles erscheinen. Dies konnte vor allem für das erektile Gewebe der Glans penis bestätigt werden. Allerdings fiel auf, dass sich die Abgrenzung der Gewebe im unteren Bildbereich, im Vergleich zu den Ergebnissen ohne das Compounding, durch eine mangelhafte Auflösung nicht so deutlich abgrenzen ließen. Der Einsatz des Compoundverfahrens in dieser Geräteeinstellung von CH 12MHz ist demnach geeignet, oberflächliche Strukturen in einer gesteigerten Qualität zu visualisieren.

5.4.7 Graustufenanalyse

Aufgrund des nicht feststellbaren signifikanten Einflusses des Kastrationsalters, der Körpermasse und des Lebensalters der Hunde auf die durchschnittliche Graustufe und die Datenmenge der häufigsten Graustufe ist hier lediglich die festgestellte Range für diese Werte aussagekräftig. Wegen der Eingrenzung dieser Range für die durchschnittliche Graustufe der erektilen Gewebe der Glans penis könnte im Falle einer Zu- oder Abnahme der Gewebedichte, bedingt durch pathologische Veränderungen, Rückschluss auf den Grad der Gewebsschädigung gezogen werden. Um den eventuellen Einfluss pathologischer Veränderungen, wie z. B. einer Gewebnekrose aufgrund eines permanenten Priapismusgeschehens, auf die quantitative Gewebsdarstellung festzustellen, müsste eine genügende Anzahl dieser Fälle der Untersuchung unterzogen werden. Da dies aufgrund der wenigen klinischen Fälle sehr langwierig wäre, ist die Etablierung dieses Verfahrens für die Charakterisierung des erektilen Gewebes des Rüdenpenis in Frage zu stellen.

5.5 Abschließende Bemerkung

Abschließend ist zu bemerken, dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit erweiterte Möglichkeiten des Einsatzes der B-Mode-Sonographie aufzeigen, die funktionell-anatomischen Strukturen des Rüdenpenis darzustellen. Vollkommen neu sind die Erkenntnisse bezüglich der Darstellbarkeit der funktionell-anatomischen Strukturen des Rüdenpenis bei vollständiger Erektion. Die Bedeutung der an der Erektion beteiligten Strukturen konnte anhand früherer anatomischer Studien nachvollzogen werden (Christensen 1954, Carati et al. 1987, Ninomiya et al. 1989,). In Anlehnung an die bereits etablierten Untersuchungen in der Humanmedizin ist es angezeigt (Bertolotto und Neumaier 1999), diesem Schritt auch beim Hund weitere Studien u. a. über die Darstellbarkeit des Blutflusses mittels Dopplereffektes folgen zu lassen (Bertolotto und Neumaier 1999, Chiou et al. 2009). Dadurch könnte auch beim Rüden das Krankheitsbild des Priapismus exakter diagnostiziert, prognostiziert und therapiert werden (Chiou et al. 2009).

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die funktionell-anatomischen Strukturen des Rüdenpenis im nicht erigierten und erigierten Zustand sonographisch nachzuvollziehen und die Veränderungen des Gewebes im erigierten Zustand herauszustellen. Zudem wurde eine Grauwertanalyse zur Quantifizierung der sonographischen Darstellung des erektilen Gewebes durchgeführt.

Für die Untersuchungen wurden die Probanden in Gruppe A und B aufgeteilt. Die 44 Rüden der Gruppe A waren kastriert oder intakt und wurden lediglich in unerigiertem Zustand untersucht. Bei den 36 Rüden der Gruppe B wurde der Penis zunächst in erigiertem Zustand und nach vollendeter Detumeszenz in unerigiertem Zustand untersucht. Zur Anfertigung der Abbildungen im B-Mode-Verfahren wurde ein Zonare Z.one Ultraschallgerät mit einem Linearscanner verwendet. Die gewählte Frequenz betrug unter Verwendung des Compoundverfahrens CH 12 MHz. Bei den Rüden der Gruppe A wurde zudem am erektilen Gewebe der Glans mit einem Honda HS-1500 und einer Linearsonde vom Typ HLV-375M eine Grauwertanalyse durchgeführt. Die eingesetzte Frequenz betrug 7,5 MHz.

Zunächst wurde die Länge der Pars longa glandis und des Bulbus glandis manuell vermessen. Im Weiteren wurden sonographische Abbildungen in folgenden Lokalisationen angefertigt: 1. Latero-lateraler Längsschnitt im Bereich der Pars longa glandis, 2.-4. ventro-dorsale Querschnitte im Bereich der Penisspitze, im mittleren Bereich der Pars longa glandis und im mittleren Bereich des Bulbus glandis. Für die Grauwertanalyse wurde auf den Längsschnitt verzichtet. Die Bilder im B-Mode-Verfahren wurden deskriptiv und hinsichtlich folgender Abmessungen beurteilt und verglichen: 1. Gesamtbreite des Penis, 2. Breite des erektilen Gewebes der Pars longa glandis, 3. Breite des Corpus spongiosum inkl. Os penis und Urethra, 4. vertikaler Durchmesser, 5. Umfang Penis, 6. Querschnittsfläche Penis und 7. Fläche des Corpus spongiosum inkl. der Urethra im erigierten Zustand.

Die Messungen der Pars longa glandis ergaben für die kastrierten Rüden der Gruppe A einen Mittelwert von $4,8 \pm 0,9$ cm, für die intakten Rüden dieser Gruppe $5,84 \pm 1,73$ cm und für die Gruppe B im erigierten Zustand $11,7 \pm 1,4$ cm und unerigiert $6,8 \pm 1,3$ cm. Die Größenabnahme in der Gruppe B nach der Erektion betrug 42 %. Die Länge des Bulbus glandis betrug bei den kastrierten Rüden der

Gruppe A $2,3 \pm 0,5$ cm und bei den intakten Rüden $3,0 \pm 0,8$ cm. Für die Rüden der Gruppe B betrug der Wert im erigierten Zustand $5,8 \pm 0,7$ cm und unerigiert $3,5 \pm 0,6$ cm. Die Größenabnahme lag bei 39 %. Die kastrierten Rüden der Gruppe A hatten eine Gesamtpenisbreite von $1,4 \pm 0,2$ cm. Die intakten Rüden dieser Gruppe erreichten einen Wert von $1,7 \pm 0,4$ cm. In der Gruppe B nahm die Gesamtbreite um 41 %, von $3,3 \pm 0,5$ cm im erigierten Zustand auf $2,0 \pm 0,3$ cm im unerigierten Zustand, ab. Das erektile Gewebe der Glans penis nahm in Gruppe A eine Breite von $0,8 \pm 0,1$ cm bei den kastrierten Rüden und bei den intakten von $1,1 \pm 0,2$ cm ein. Das entsprach einem Anteil an der Gesamtbreite von 61 % bei den kastrierten und von 64 % bei den intakten Rüden. In der Gruppe B erreichte die Breite des erektilen Gewebes der Glans penis im erigierten Zustand einen Wert von $2,5 \pm 0,5$ cm. Dieser Wert lag im unerigierten Zustand bei $1,3 \pm 0,3$ cm und nahm damit um 47 % ab. Der Anteil des erektilen Gewebes der Glans penis an der Gesamtbreit lag demnach bei 74 % im erigierten und bei 66 % im unerigierten Zustand. Die Breite des Corpus spongiosum betrug bei den kastrierten Rüden der Gruppe A $0,5 \pm 0,1$ cm, bei den intakten Rüden dieser Gruppe $0,6 \pm 0,2$ cm und für die Gruppe B im erigierten Zustand $0,9 \pm 0,2$ cm und im unerigierten Zustand $0,7 \pm 0,1$ cm. Die Zunahme der Breite des Corpus spongiosum während der Erektion betrug 19 %. Die Messwerte des vertikalen Durchmessers, des Umfangs und der Querschnittsfläche nahmen von der Spitze bis zum Bulbus linear zu.

Die statistische Auswertung ergab in beiden Gruppen einen signifikanten Einfluss der Körpermasse auf die Messwerte. Im Vergleich zwischen den kastrierten und intakten Rüden der Gruppe A erschien lediglich für die Messstrecke der Breite des Corpus spongiosum der Kastrationsstatus mit einer Signifikanz von $p < 0,81$ nicht signifikant, was auf den Einfluss der Kastration hinsichtlich der Ausbildung der erektilen Gewebe hindeutet. Der Vergleich der intakten Rüden der Gruppe A mit den unerigierten Rüden der Gruppe B deutete nach der Bereinigung der Messwerte von den Kovariablen auf eine nicht vollständige Detumeszenz der Rüden der Gruppe B nach der vorherigen Erektion hin.

Im B-Mode-Verfahren ließen sich die funktionell-anatomischen Strukturen des Penis deutlich voneinander abgrenzen. Im unerigierten Zustand erschien die Tunica albuginea schmal und hyperechogen, die Präputialkavität als dünne anechogene Linie, das erektile Gewebe der Glans penis hypoechogen und durch eine deutliche

Anhäufung von Speckles heterogen. Das Corpus spongiosum stellte sich geringgradig hyperechogen und homogen dar und wurde zum größten Teil von dem hyperechogenen Os penis begrenzt. Die im Corpus spongiosum eingefasste Urethra ließ sich nur im erigierten Zustand als hyperechogene Struktur abgrenzen. Im erigierten Zustand nahm die Echogenität im Bereich des erektilen Gewebes bis zur teilweisen Anechogenität hin ab. Die Unterteilung des Gewebes in kavernöse, blutgefüllte Räume war deutlich nachzuvollziehen.

Die Graustufenanalyse der Gruppe A ergab zwar eine feststellbare Range der durchschnittlichen Graustufe und der Datenmenge der häufigsten Graustufe, jedoch konnten diese Ergebnisse in den verschiedenen Lokalisationen nicht reproduziert werden und die statistische Auswertung ergab keinerlei Zusammenhang zum Kastrationsstatus und damit keine offensichtliche Relevanz der Graustufenanalyse für die Beurteilung der Beschaffenheit des erektilen Gewebes.

Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen die Aussage zu, dass die physiologischen Strukturen des Rüdenpenis durch die B-Mode-Sonographie gut beurteilbar sind. Weitere Untersuchungen zur Darstellung pathologischer Veränderungen sind jedoch notwendig. Die Abmessungen des Rüdenpenis unterliegen einer engen physiologischen Spannbreite und können proportional zum Körpergewicht eingestuft werden. Sie weisen eine Abhängigkeit zum Kastrationsstatus bei den deutlich unter einem Lebensjahr kastrierten Rüden auf. Weiter ist festzuhalten, dass die vollständige Erektionsfähigkeit vor allem durch die Funktionsfähigkeit des erektilen Gewebes der Glans, beeinflusst wird. Diese Arbeit belegt die Möglichkeit, die Erektion mittels der Sonographie qualitativ und quantitativ im Bezug zu den dargestellten physiologischen Gegebenheiten zu beurteilen.

7 Summary

Catharina Hölscher

The aim of this study was to identify functional-anatomical structures of the canine penis during and after erection to demonstrate the respective changes. Additionally, a grey-scale analysis was performed to quantify the results from the ultrasound examination.

The dogs examined were divided in two groups. In group A, 44 intact or castrated dogs were examined non-erected. Regarding 36 dogs of group B, initially an examination was performed at the erected penis; the examination was repeated following complete detumescence of the penis.

A Zonare Z.one ultrasound machine with a linear scanner was used for B-mode pictures. The frequency including compound method was CH12 MHz. In dogs of group A, a grey-scale analysis of the erectile tissue of the penile glans was performed using a Honda HS-1500 and a 7.5 MHz linear probe HLV-375M.

Initially, the length of the pars longa glandis and the bulbus glandis were manually measured. In the following, ultrasound images were taken from the respective locations: 1. latero-lateral longitudinal section at the pars longa glandis, 2.-4. ventro-dorsal cross sections of the penile tip, the middle part of the pars longa glandis and the middle of the bulbus glandis. For grey-scale analysis, only the cross sections were evaluated. B-mode images were described and these penile parameters were measured and compared in and between groups: 1. penile diameter in total, 2. width of the erectile tissue of the pars longa glandis, 3. diameter of the corpus spongiosum including the penile bone and urethra, 4. vertical diameter, 5. circumference of the penis, 6. cross-sectional area and 7. area of the corpus spongiosum incl. urethra during erection.

Measurements of the pars longa glandis for neutered dogs in group A were 4.80 ± 0.85 cm in mean, for intact dogs of this group 5.8 ± 1.7 cm and for dogs of group B during erection 11.7 ± 1.4 cm and after detumescence 6.8 ± 1.3 cm. The decrease of size followig erection was 42%. The length of the bulbus glandis was 2.3 ± 0.5 in neutered dogs in group A and 3.0 ± 0.8 cm in intact dogs of group A. It was 5.8 ± 0.7 during erection in group B dogs and 3.5 ± 0.6 cm non-erected. The

Summary

decrease in size was 39 %. Neutered males in group A had a penile diameter of 1.4 ± 0.2 cm; intact males of group A had a diameter of 1.7 ± 0.4 cm. In group B, the width decreased about 41 % from 3.3 ± 0.5 cm to 2.0 ± 0.3 cm during detumescence. The diameter of the erectile tissue has a diameter of 0.8 ± 0.1 cm in neutered males and 1.1 ± 0.2 cm in intact dogs. This indicates that in neutered male dogs 61% and in intact males 64% are erectile tissue. In group B, the diameter of the erectile tissue was 2.5 ± 0.5 cm. The diameter was 1.3 ± 0.3 cm after erection and therefore decreased about 47%.

The erectile tissue made up 74% of the total width in the erected and 66% in the non-erected penis. The diameter of the corpus spongiosum was 0.5 ± 0.1 cm in neutered males of group A and 0.6 ± 0.2 cm in intact males group A and 0.9 ± 0.2 cm in group B during erection and 0.7 ± 0.1 cm after detumescence. The increase in size during erection was 19%. The vertical diameter, the circumference and the area increased linearly from the tip to the bulbus glandis.

The statistical evaluation showed in both groups that body weight had a significant influence on parameters examined. Comparing neutered and intact males of group A, only the width of the corpus spongiosum was not significantly influenced by castration indicating an influence of castration on development on erectile tissues. Larger means of the intact males of this group compared to neutered males of this group confirmed these results. Comparing diameters from intact males in group A with results of males in group B after detumescence, it seems likely that detumescence was not fully completed after previous erection.

B-mode images can be used to identify functional-anatomical penile structures. The tunica albuginea was small and hyperechogenic in the non-erected penis, the preputial cavity was identified as a small anechogenic line and the erectile tissue of the penile gland as a hypoechogenic, heterogenous structure due to an obvious aggregation of speckles. The corpus spongiosum was slightly hyperechogenic and homogenous and was mainly delimited by the hyperechogenic penile bone. The urethra in the corpus spongiosum was identified as a hyperechogenic structure in the erected penis. In the erected penis, echogenity was obviously decreased to anechogenity in some parts. Separation of the tissue into multiple cavernous, blood-filled divisions was clearly visible.

Summary

Grey-scale analysis identified an obvious range of all mean grey-scales, but the differences could not be proven in all different locations and statistical analysis revealed no significant changes regarding castration state for the erectile tissue.

The results of this thesis confirm that physiological structures of the canine penis can be evaluated using B-mode ultrasound. However, further studies dealing with pathological changes are necessary. The measurements of the canine penis had a small physiological range and are proportional to the body weight. They are dependent on the castration state in dogs neutered younger than one year of age. Furthermore, we found that erection was mainly influenced by the function of the erectile tissue of the penile glans whereas the later can be quantified by grey-scale analysis. The present work underlines the possibility to qualitatively and quantitatively evaluate physiological changes during erection using ultrasound.

8 Literaturverzeichnis

Aboseif S. R., Lue T. F.

Hemodynamics of penile erection

Urol. Clin. N. Am. 15: 1-7; 1988

Andersson K. E., Wagner G.

Physiologie of Penile Erection

Physiol. Rev. Vol. 75, No.1; 1995

Anheuser P., Treiyer A., Steffens J.

Priapismus

Urologe 9, 48: 1105-12; 2009

Bertolotto M., Neumaier C. E.

Penile sonography

Eur. Radiol. 9 (Suppl.3) : 407-12; 1999

Budras K. D.

**7. Kapitel: Harn- und Geschlechtsorgane sowie Becken in
Atlas der Anatomie des Hundes**

Hrsg. Budras K.D., Fricke W., Richter R.

Schlütersche GmbH & Co.KG, 6.Auflage: 68-70; 2000

Carati C. J., Creed K. E., Keogh E. J.

Autonomic control of penile erection in the dog

J. Physiol. 384: 525-38; 1987

Chiou R. K., Aggarwal H., Chiou C.R., Broughton F., Liu S.

Colour doppler ultrasound hemodynamic characteristics of patients with priapism before and after therapeutic interventions

Can. Urol. Assoc. J., Volume 3, Issue 4; 2009

Christensen G.C.

Angioarchitecture of the canine penis and the process of erection

Am. J. Anat., 95: 227-61; 1954

Delorme S., Zuna I.

Quantitative Auswerteverfahren in der B-Bild- und Farbdopplersonographie

Ultraschall Klin. Prax., 10: 50-61; 1995

Dixon W. J.

BMDP Statistical Software Manual, Vol.1 and 2

University of California Press., Berkeley, Los Angeles, London; 1993

Dorr L. D., Brody M. J.

Hemodynamic mechanisms of erection in the canine penis

Am. J. Physiol., Vol. 213, No. 6; 1967

Eland I. .A., van der Lei J., Stricker B. H., Strukenboom M. J.

Incidence of priapism? in the general population

Urology, 57: 970-2; 2001

Fritsch R., Gerwing M.

Physikalische und technische Grundlagen der Sonographie in Sonographie bei Hund und Katze

Hrsg. Fritsch R., Gerwing M.

Ferdinand Enke Verlag Stuttgart: 3-27; 1993

Gärtner T., Zacharias M., Jenerka K. V., Heynemann H., Cobet U.

Geräteunabhängige Ultraschall-Gewebecharakterisierung von Hoden und Prostata

Radiologe, Vol.5 38: 424-33; 1998

Gasse H.

Männliche Geschlechtsorgane von Hund und Katze in Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band II Eingeweide,

Hrsg. Frewein J., Gasse H., Leiser R., Roos H., Thomé H., Vollmerhaus B., Waibl H.
Parey Verlag Stuttgart, 9.Auflage: 363-8; 2004

Hayashida H., Fujimoto H., Yoshida K., Tomoyoshi T., Okamura T., Toda N.

Comparison of Neurogenic Contraction and Relaxation in Canine Corpus Cavernosum and Penile Artery and Vein

Jpn. J. Pharmacol., 72: 231-40; 1996

Hetzel G.

Neue technische Entwicklung auf dem Gebiet des Ultraschalls

Radiologe, 43: 777-92; 2003

Heynemann H., Jenderka K. V., Zacharias M., Fornara P.

Neue Techniken der Urosonographie

Urologe, 43: 1362-70; 2004

Inaba T., Matsuoka S., Kawate N., Mori J., Tonii R.

Developmental changes in testicular luteinizing hormone receptors and androgens in the dog

Res. Vet. Sci., 57(3): 305-9; 1994

Kastelic J. P., Cook R. B., Pierson R. A., Coulter G. H.

Relationship among scrotal and testicular characteristics, sperm production, and seminal quality in 129 beef bulls

Can. J. Vet. Res., 65: 111-5; 2001

Kauffold J., Kessler M., Richter A., Beynon N., Wehrend A.

B-mode Ultrasound and Grey-Scale Analysis of the Epididymis in Boars, and the Relationship to Semen Parameters

Reprod. Domest. Anim., 46(1): 108-13; 2011

Kauffold J., v.d. Bussche B., Failing K., Wehrend A., Wendt M.

Use of B-Mode Ultrasound and Grey-Scale Analysis to Study Uterine Echogenicity in the Pig

J. Reprod. Dev., 56(4): 444-8; 2010

Kuttin E. S., Glas I., Nyska A.

Urothelial carcinoma with metastasis associated with priapism in a sea lion

Israel J. Vet. Med., 50: 163-5; 1995

Langley J. N., Anderson H. K.

The innervation of the pelvic and adjoining viscera. Part VII. Anatomical observations.

J. Physiol., 19: 85-121; 1896

Lavelly J. A.

Priapism in Dogs

Top Companion Anim Med., 24(2): 49-52; 2009

Liebich H. G.

Männliche Geschlechtsorgane in Funktionelle Histologie der Haussäugetiere

Hrsg. Liebich H.G.

Schattauer GmbH, 4. Auflage: 291; 2004

Lorenz A., Delorme S.

B-Bild-Sonographie

Teil1. Physikalische Grundlagen

HNO, 48: 332-9; 2000

Martins-Bessa A., Santos T., Machado J., Pinelas R., Pires M. A., Payan-Carreira R.

Priapism secondary to perineal abscess in a dog - A case report

Reprod. Domest. Anim, 45(3): 558-63; 2010

Nauth P., Loch E. G., Pfannenstiel P., Schmidt H., v. Seelen W.

**Der Stellenwert physikalischer Parameter und digitaler Signalverarbeitung
in der Gewebedifferenzierung**

Ultraschall, 7: 304-7; 1986

Ninomiya H., Nakamura T., Niizuma I., Tsuchiya T.

**Penile vascular system of the dog. An injection-corrosion and histological
study**

Jpn. J. Vet. Sci., 51(4): 765-73; 1989

Orima H., Tsutsui T., Waki T., Kawakami E., Ogasa A.

Surgical treatment of priapism observed in a dog and a cat

Jpn. J. Vet. Sci., 51(6): 1227-9; 1989

Payan-Carreira R., Bessa A. C. M.

Application of B-mode ultrasonography in the assessment of the dog penis

Anim. Reprod. Sci., 106: 174-80; 2008

Pesch S., Schuler G., Wilhelm E., Hoffmann B.

Samengewinnung, -konservierung und künstliche Besamung beim Hund

Tierarztl. Prax. Kleintiere, 35(2): 81-90; 2007

Poulsen-Nautrup C. (a)

Physikalische Grundlagen

in Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze

Hrsg. Poulsen-Nautrup C., Tobias R.

Schlütersche Verlagsanstalt Hannover, 4.Auflage: 21-30; 2007

Poulsen-Nautrup C. (b)

Technische Grundlagen

in Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze

Hrsg. Poulsen-Nautrup C., Tobias R.

Schlütersche GmbH & Co. KG Hannover; 4.Auflage: 31-59; 2007

Poulsen-Nautrup C. (c)

Sonographische Phänomene und Artefakte

in Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze

Hrsg. Poulsen-Nautrup C., Tobias R.

Schlütersche GmbH & Co. KG Hannover; 4.Auflage: 60-75; 2007

Purohit R. C., Beckett S. D.

Penile pressure and muscle activity associated with erection and ejaculation in the dog

Am. J. Physiol., 231: 1343-48; 1979

Rochat M. C.

Priapism: A review

Theriogenology, 65: 713-22; 2001

Rogers L., López A., Gillis A.

Priapism secondary to penile metastasis in a dog

Can. Vet. J., 43(7): 547-9; 2002

Sachs L.

Angewandte Statistik

Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo; 7.Auflage; 1992

Salmeri K. R., Bloomberg M. S., Scruggs S. L., Shille V.

Gonadectomy in immature dogs: effects on skeletal, physical, and behavioral development

J. Am. Vet. Med. Assoc., 198(1): 1193-203; 1991

Schade G.

Erste Erfahrungen mit dem Einsatz von „SonoCT® Real-time Compound Imaging“ im Kopf-Hals-Bereich

Laryngol. Rhinol. Otol. (Stuttg.), 81: 718-24; 2002

Schumacher J., Hardin D. K.

Surgical treatment of priapism in a stallion

Vet. Surg., 16(3): 193-6; 1987

Thomas A., Filimonow S., Slowinski T., Fischer T.

Steigerung der Bildqualität bei der Dignitätsbeurteilung mammasonografischer Herde mittels Frequenz-Compounding

Ultraschall Med., 28: 387-93; 2007

Waibl H., Wilkens H., Münster W. (a)

Arterien von Becken und Schwanz in

Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band III Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane

Hrsg. Habermehl K. H., Vollmerhaus B., Wilkens H., Waibl H.

Parey Verlag Stuttgart, 3.Auflage: 165, 184; 1996

Waibl H., Wilkens H., Münster W. (b)

Venen von Becken und Schwanz in

Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band III Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane

Hrsg. Habermehl K. H., Vollmerhaus B., Wilkens H., Waibl H.

Parey Verlag Stuttgart, 3.Auflage: 267, 274; 1996

Wilkins C. J., Sriprasad S., Sidhu P. S.

Colour Doppler Ultrasound of the Penis

Clin. Radiol., 58: 514-23; 2003

9 Anhang

9.1 Signalement der Rüden aus Gruppe A

Nr.	Rasse	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)
1	Deutscher Jagdterrier	5	11,0
2	DSH Mix	2	43,0
3	Border Collie Mix	5	27,5
4	Beagle	9,5	13,0
5	Weimaraner	3	23,1
6	Beagle	9	15,7
7	Rhodesian Ridgeback Mix	2	42,3
8	Beagle	2	11,1
9	Border Collie Mix	1,5	26,0
10	Border Collie Mix	4,5	17,6
11	Beagle	3,5	13,0
12	Beagle	3,5	8,1
13	Beagle	3	14,1
14	Spitz Mix	3	14,8
15	Beagle	8	15,1
16	Beagle	1,5	12,2
17	HuskyMix	3	28,9
18	Beagle	2	11,2
19	Rhodesian Ridgeback Mix	5,5	40,0
20	Beagle	5	17,0
21	Beagle	1,5	12,5
22	Beagle	3	11,3

Anhang

23	Border Collie Mix	2,5	17,5
24	Beagle	5	17,4
25	Beagle	4,5	16,4
26	Berner Sennen Mix	10,5	33,7
27	Foxterrier Mix	11	11,1
28	Miniaturn Bullterrier	1	13,7
29	DSH Mix	3,5	30,8
30	Foxterrier	4	11,1
31	Rhodesian Ridgeback	9,5	43,0
32	Beagle	2	21,0
33	Welsh Corgi	1	15,0
34	Australian Cattle Dog Mix	4	15,5
35	Border Collie Mix	4	22,6
36	Beagle	11	11,5
37	Bernhardiner	8	83,0
38	Parson Russel Terrier	2	8,9
39	Border Collie	1	19,0
40	Collie Mix	7	24,6
41	Golden Retriever	8	40,5
42	Landseer	6	54,5
43	Bearded Collie	10	30,0
44	Labrador Retriever	1,5	32,6

9.2 Signalement der Rüden aus Gruppe B

Nr.	Rasse	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)
45	Schweizer Sennenhund	4	40,3
46	Neufundländer	3	55,0

Anhang

47	Neufundländer	4	60,3
48	Neufundländer	8	49,0
49	Neufundländer	11	48,4
50	Beagle	1,5	13,3
51	Beagle	2	13,0
52	Rottweiler	7	47,5
53	Rottweiler	1	41,0
54	Presa Canario	3	51,0
55	Labrador Retriever	1,5	34,0
56	Labrador Retriever	1,5	31,0
57	Beagle	2	9,1
58	Beagle	2	9,8
59	Landseer	6	60,0
60	Bearded Collie	1,5	27,6
61	Border Collie Mix	1,5	21,2
62	Schweizer Schäferhund	4	43,0
63	Bullmastiff	3	55,5
64	Riesenschnauzer	4	38,0
65	Bernhardiner	2,5	82,0
66	Bernhardiner	1	63,0
67	Mastiff	3	50,0
68	Holländischer Schäferhund	2	28,9
69	Bearded Collie	2	21,9
70	Kurzhaar Collie	3	27,6
71	Labrador Retriever	6,5	38,6
72	Rhodesian Ridgeback	5,5	42,0
73	Rhodesian Ridgeback	7	48,0
74	Australian Shepherd.	11	30,0
75	Golden Retriever	4	36,4

76	Golden Retriever	2	40,0
77	Bernhardiner	6	76,5
78	Belgischer Schäferhund	2	27,0
79	Deerhound	4	46,0
80	Deerhound	2	45,0

9.3 Kumulierte Normalverteilung Ergebnisse einzelner Messstrecken Gruppe A und B

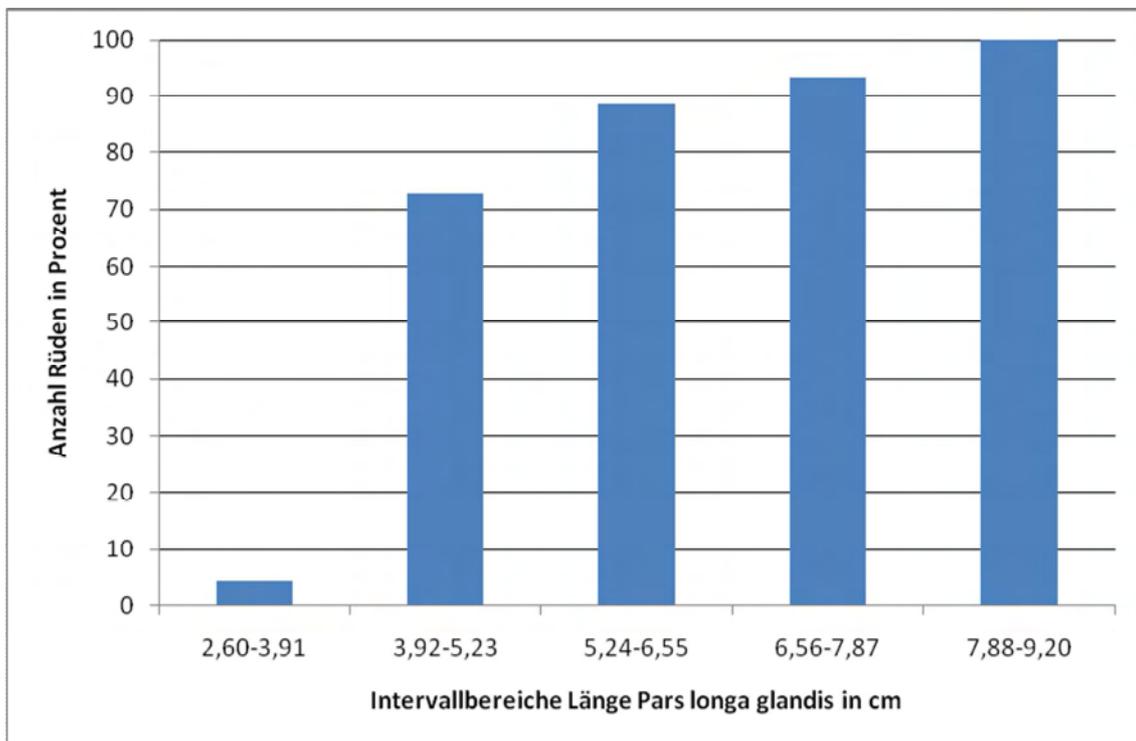


Abb. 33: Kumulierte Normalverteilung der Länge der Pars longa glandis im nicht erigierten Zustand bei Rüden der Gruppe A, n=44

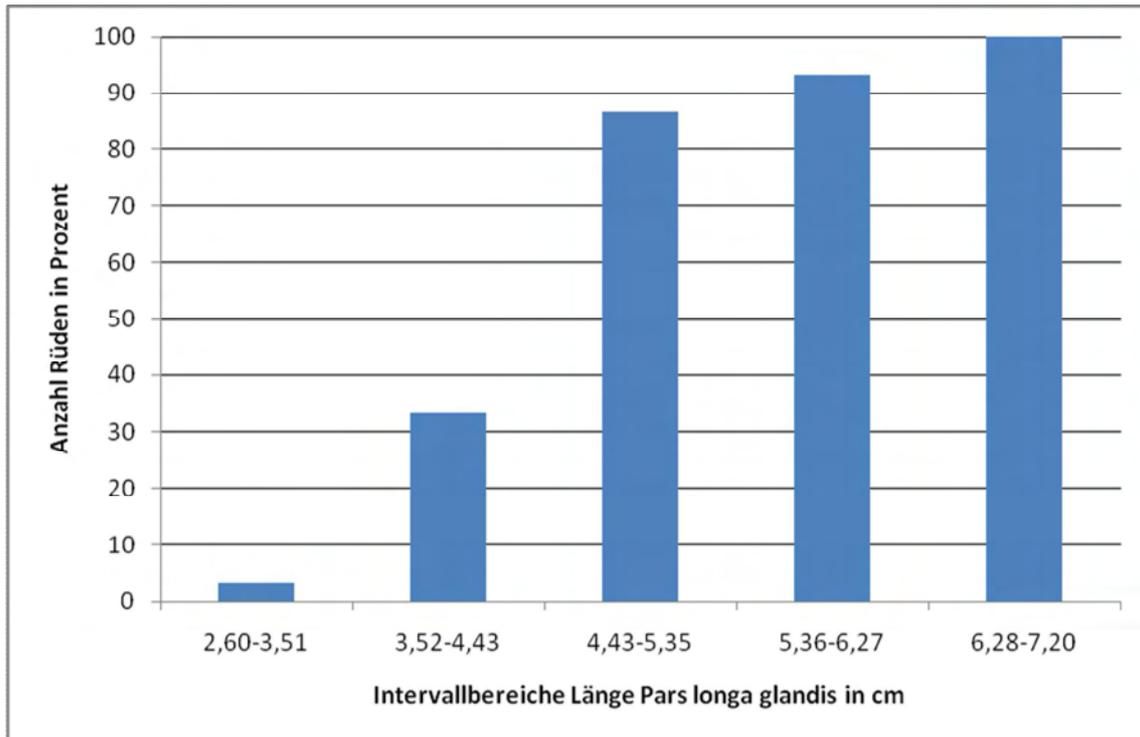


Abb. 34: Kumulierte Normalverteilung der Länge der Pars longa glandis bei kastrierten Rüden der Gruppe A, n=30

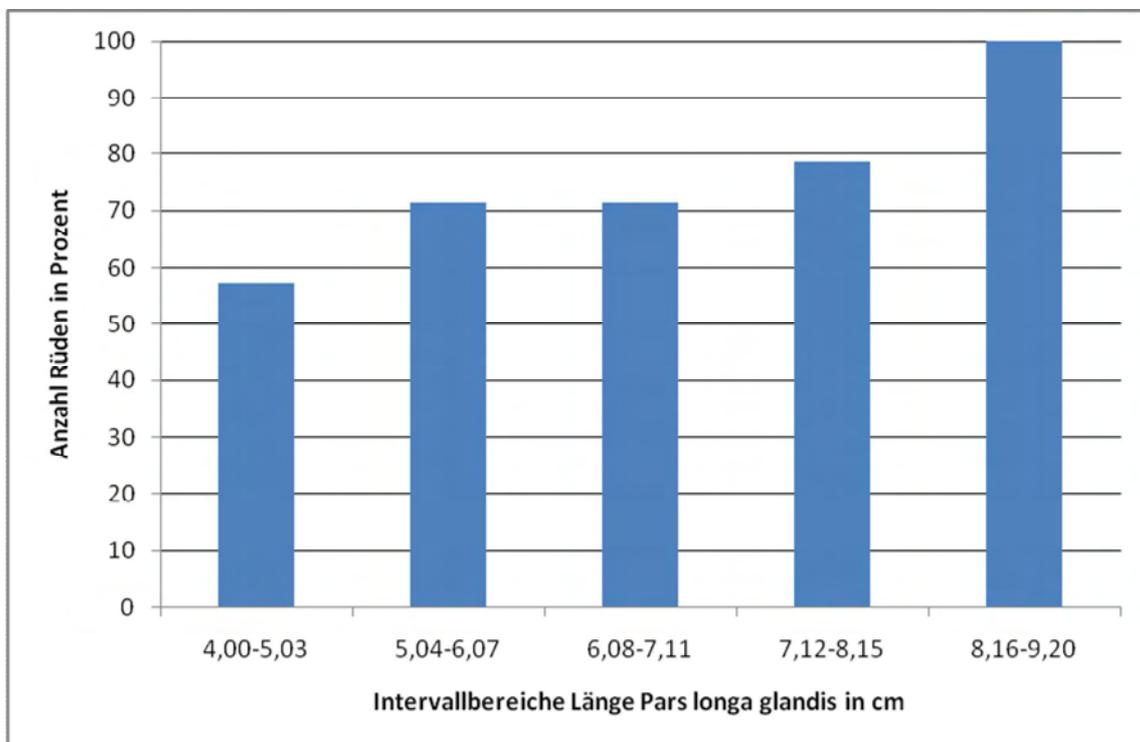


Abb. 35: Kumulierte Normalverteilung der Länge der nicht erigierten Pars longa glandis bei intakten Rüden der Gruppe A n=14

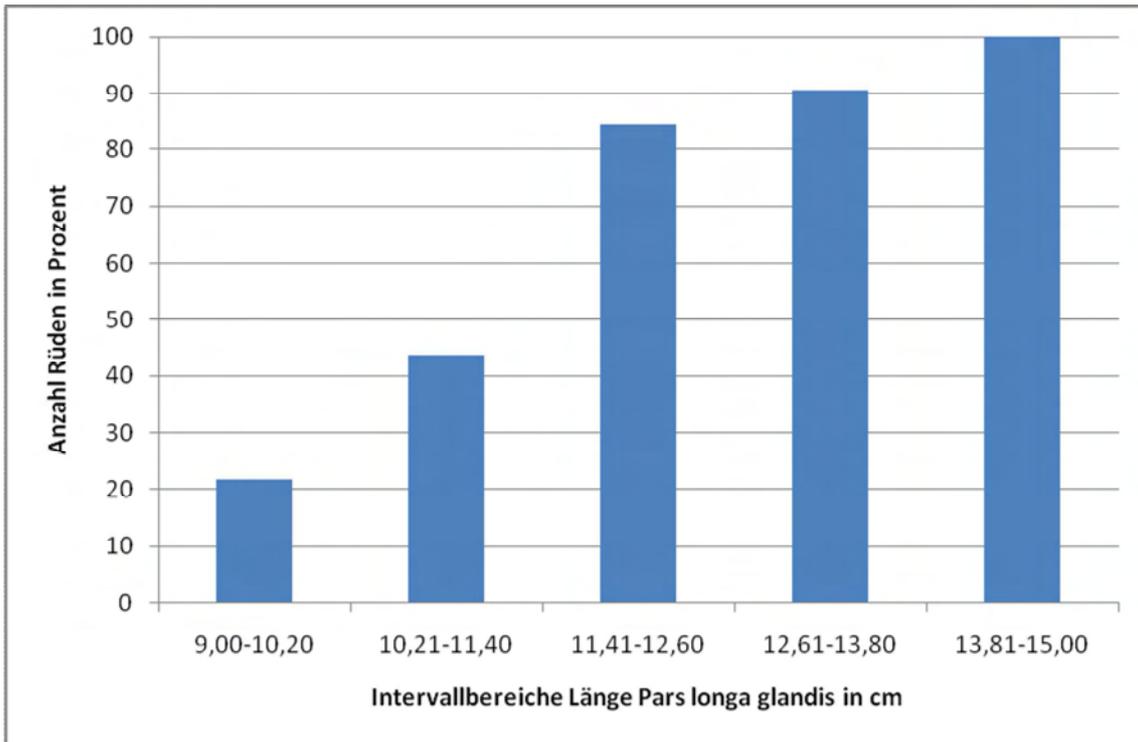


Abb. 36: Kumulierte Normalverteilung der Länge der erigierten Pars longa glandis bei Rüden der Gruppe B, n=32

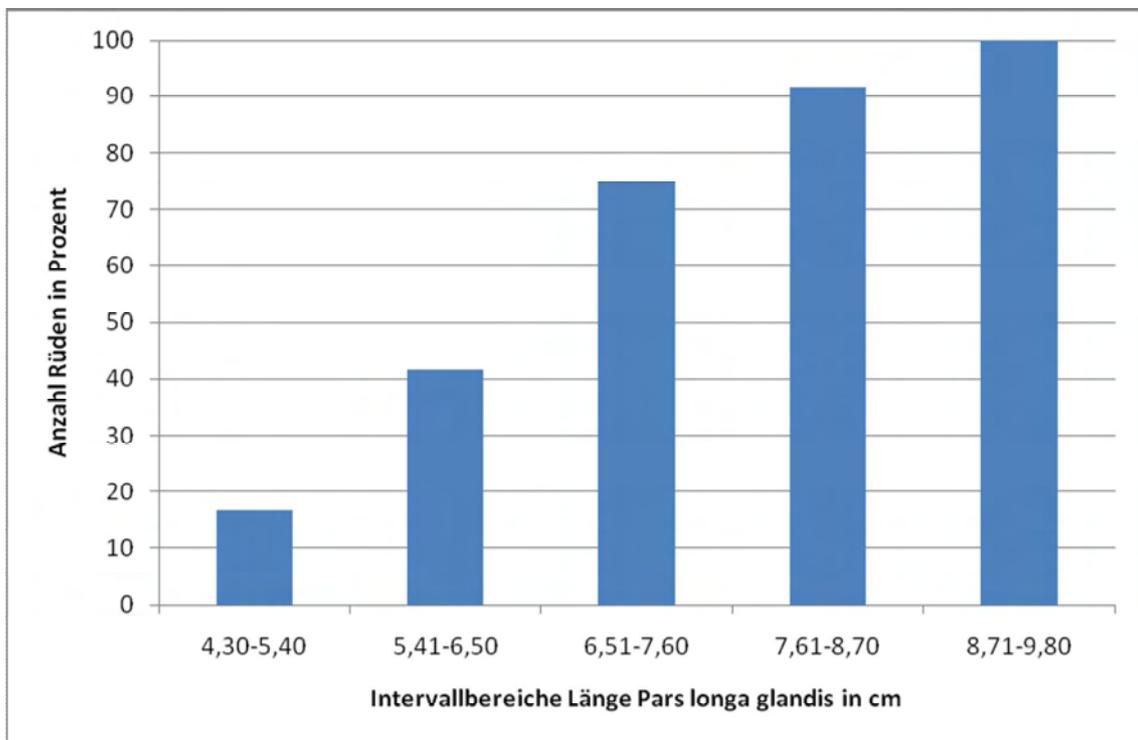


Abb. 37: Kumulierte Normalverteilung der Länge der unerigierten Pars longa glandis bei Rüden der Gruppe B, n=36

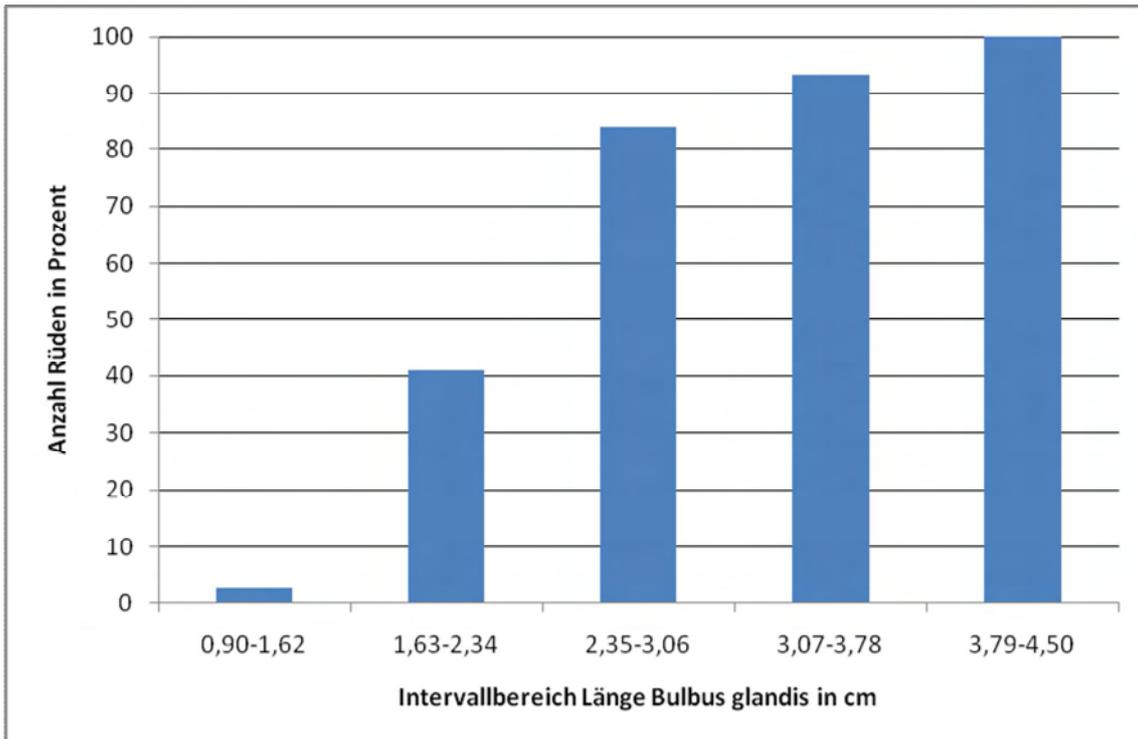


Abb. 38: Kumulierte Normalverteilung der Länge des Bulbus glandis im unerigierten Zustand bei Rüden der Gruppe A, n=44

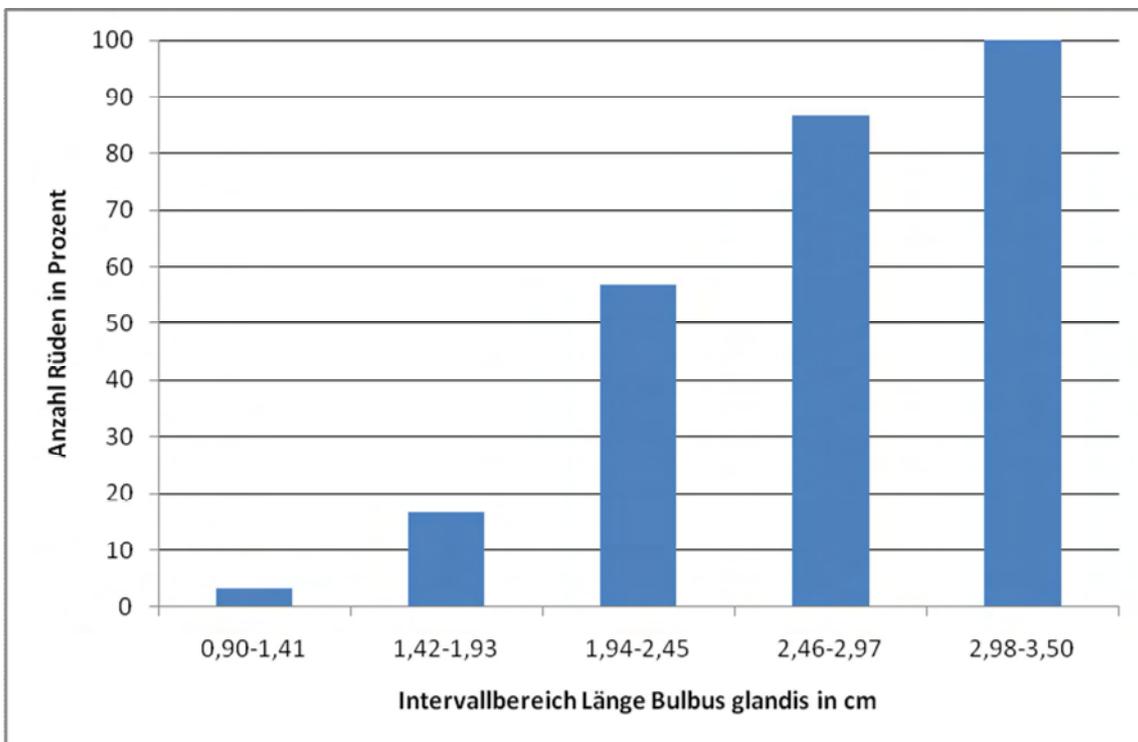


Abb. 39: Kumulierte Normalverteilung der Länge des Bulbus glandis bei kastrierten Rüden der Gruppe A, n=30

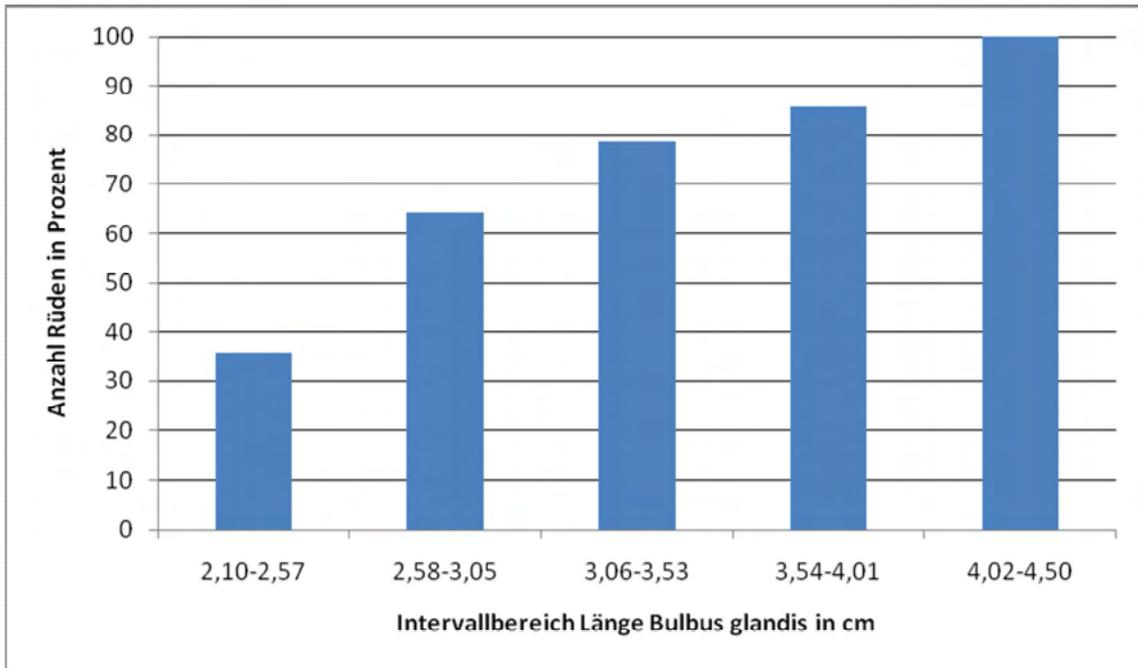


Abb. 40: Kumulierte Normalverteilung der Länge des Bulbus glandis bei intakten Rüden der Gruppe A im unerigierten Zustand, n=14

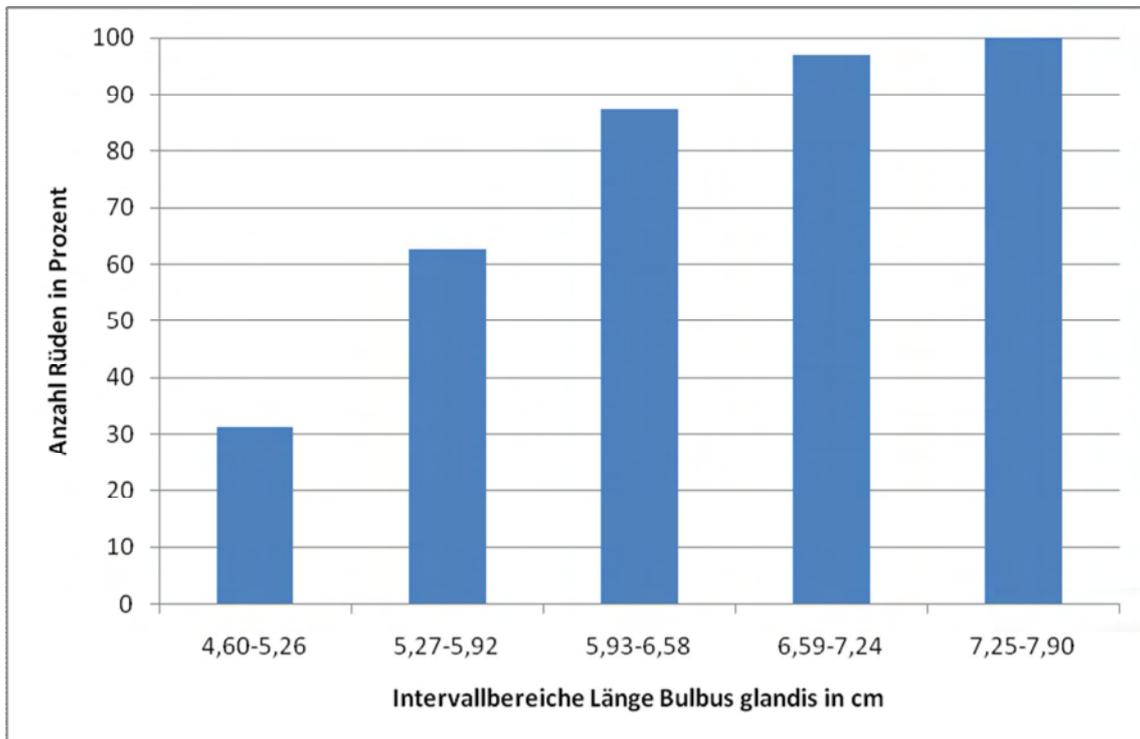


Abb. 41: Kumulierte Normalverteilung der Länge des erigierten Bulbus glandis bei Rüden der Gruppe B, n=32

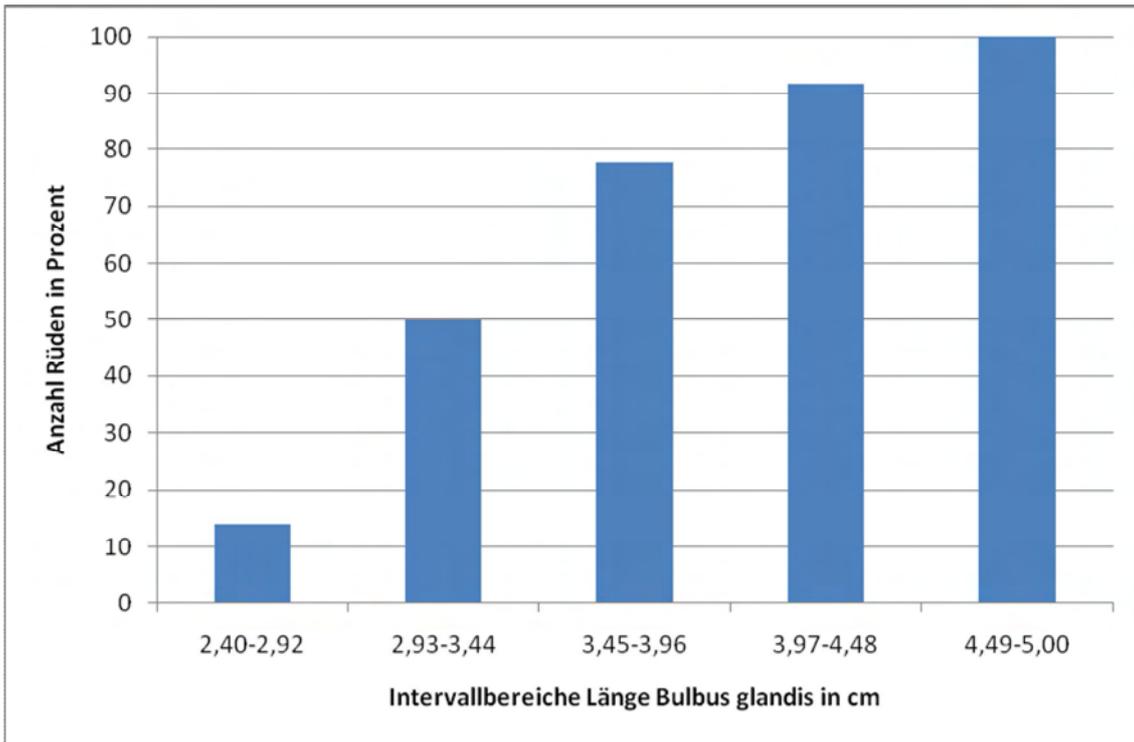


Abb. 42: Kumulierte Normalverteilung der Länge des unerigierten Bulbus glandis bei Rüden der Gruppe B, n=36

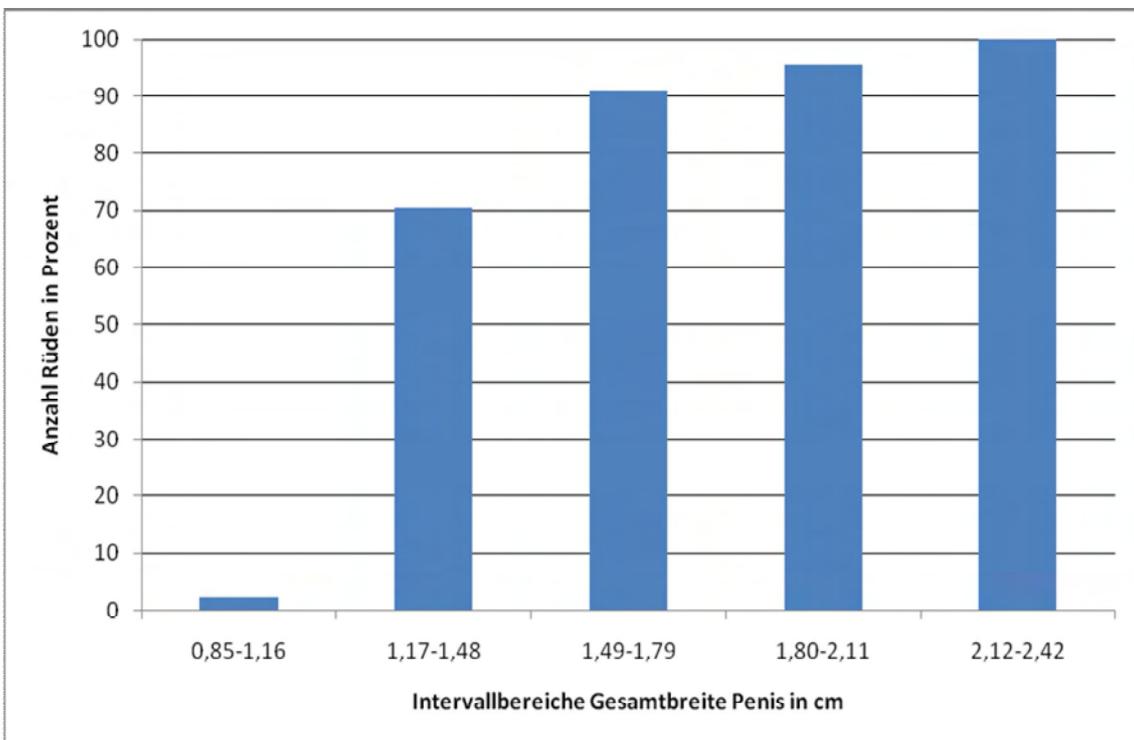


Abb. 43: Kumulierte Normalverteilung der Gesamtbreite des Penis der Rüden der Gruppe A im unerigierten Zustand, n=44

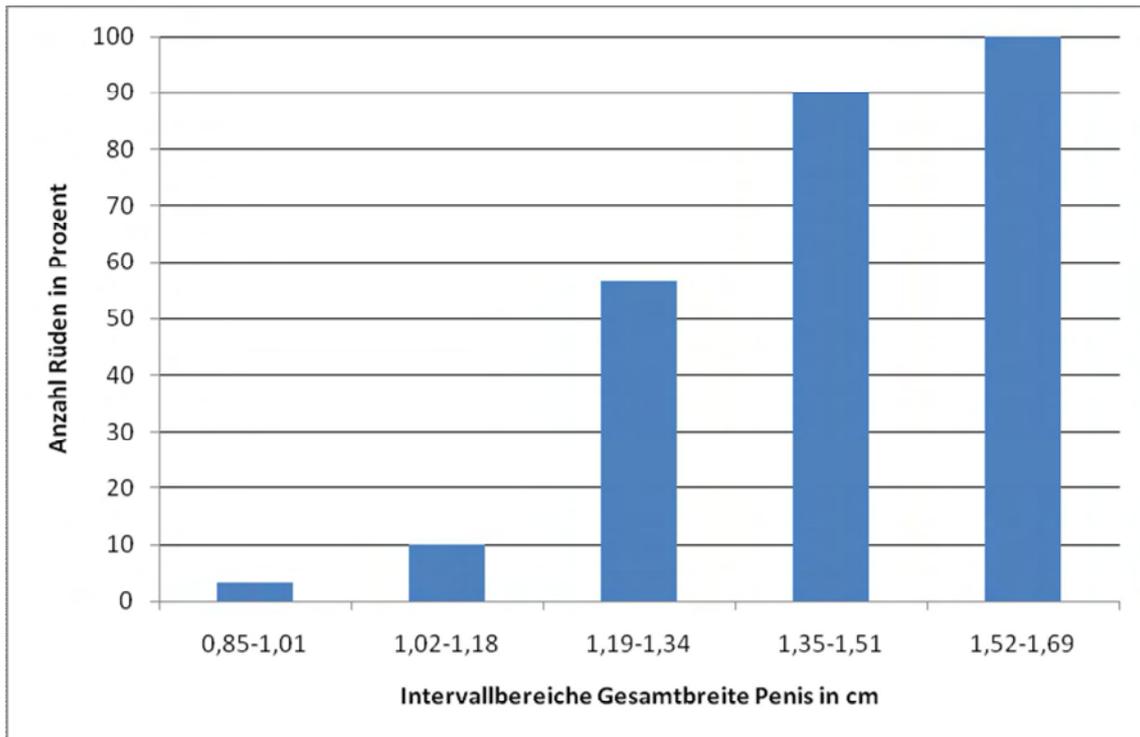


Abb. 44: Kumulierte Normalverteilung der Gesamtbreite des Penis kastrierter Rüden der Gruppe A, n=30

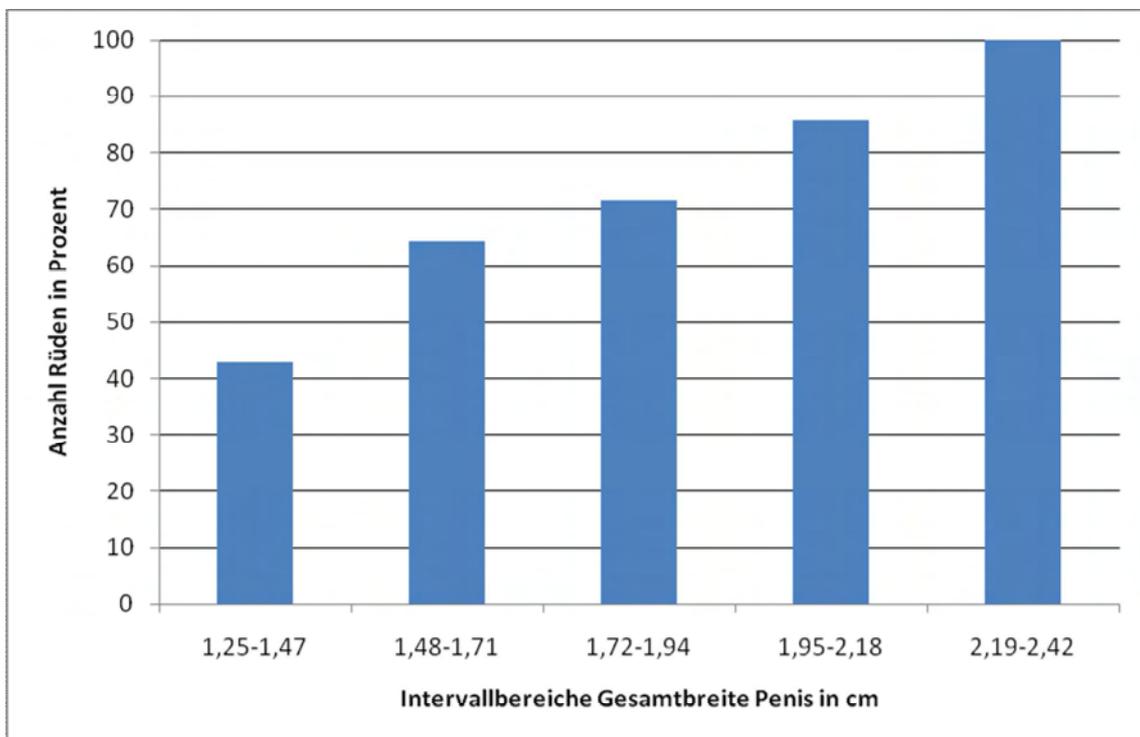


Abb. 45: Kumulierte Normalverteilung der Gesamtbreite des Penis intakter Rüden der Gruppe A im unerigierten Zustand, n=14

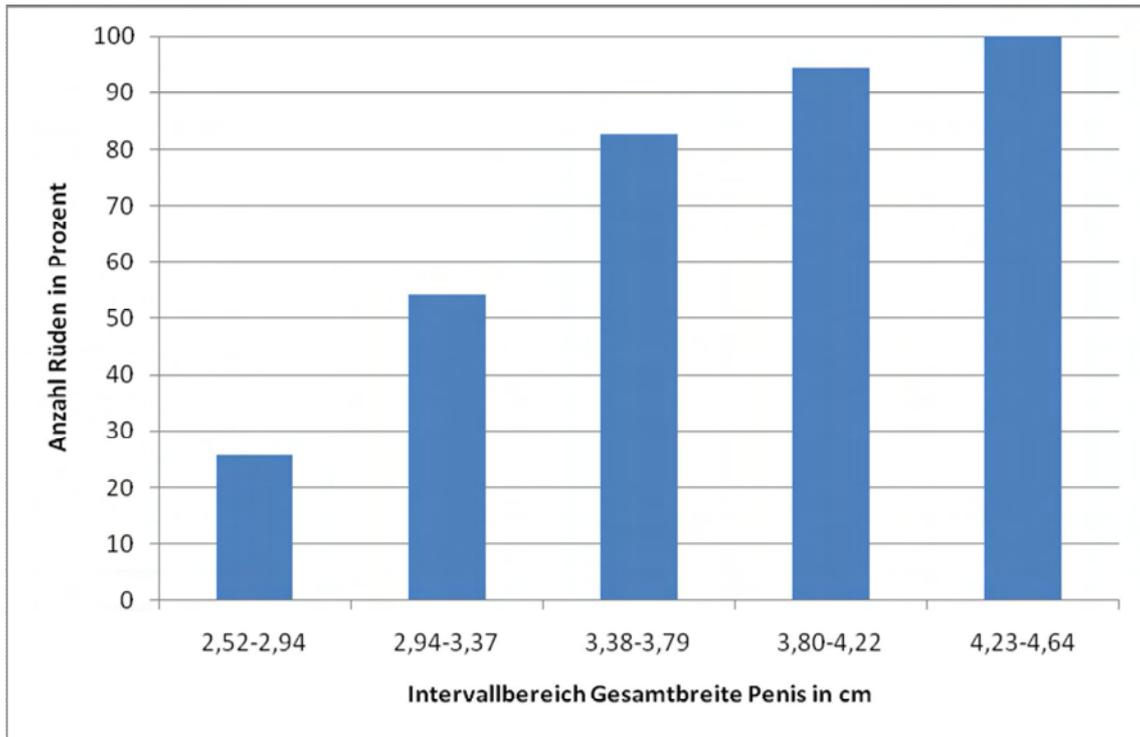


Abb. 46: Kumulierte Normalverteilung der Gesamtbreite des erigierten Penis bei Rüden der Gruppe B, n=35

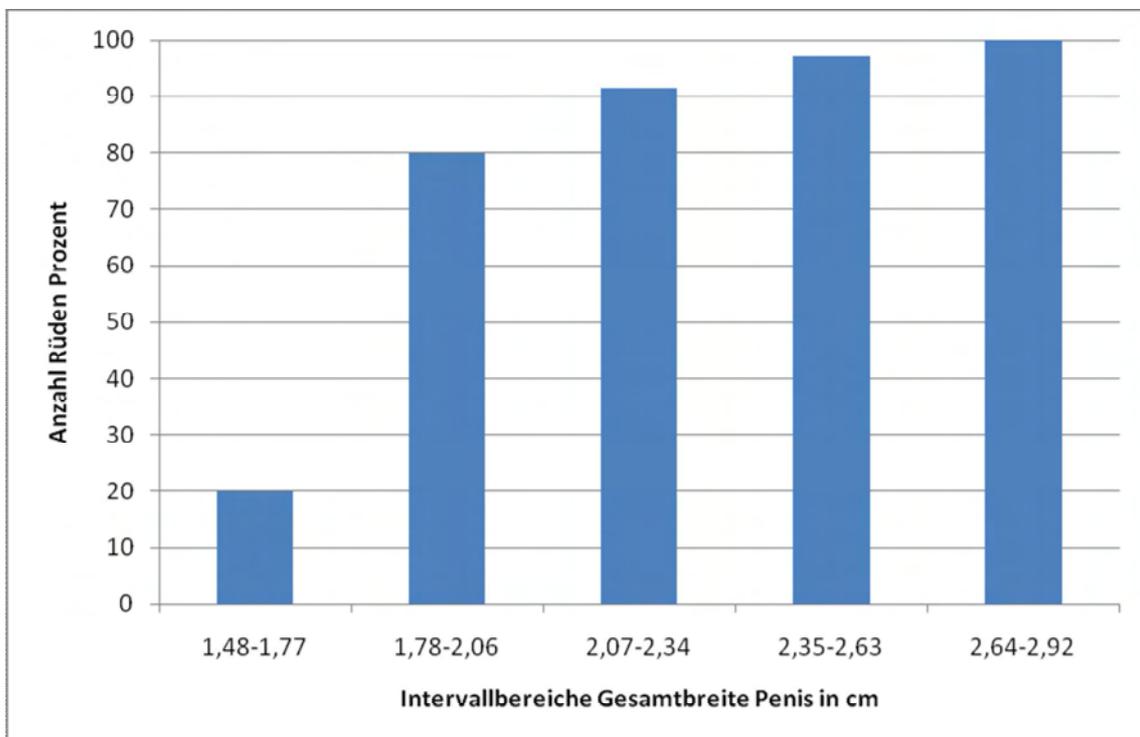


Abb. 47: Kumulierte Normalverteilung der Gesamtbreite des unerigierten Penis bei Rüden der Gruppe B, n=35

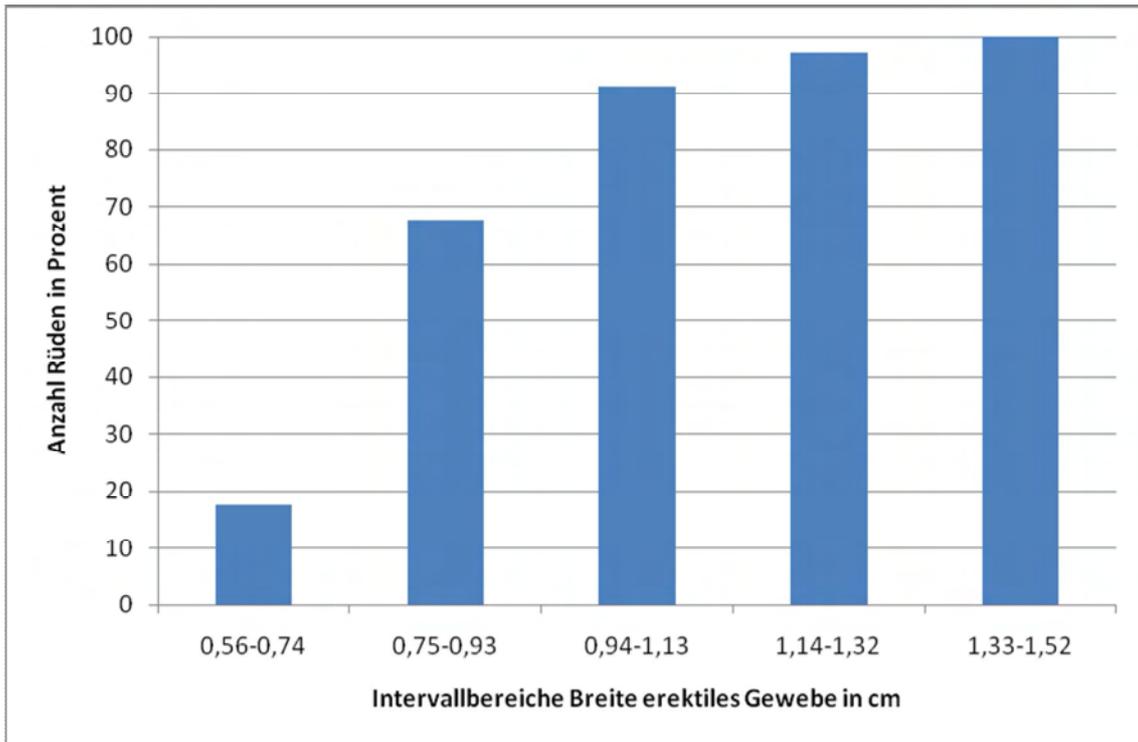


Abb. 48: Kumulierte Normalverteilung der Breite des erektilen Gewebe bei Rüden der Gruppe A im unerigierten Zustand, n=39

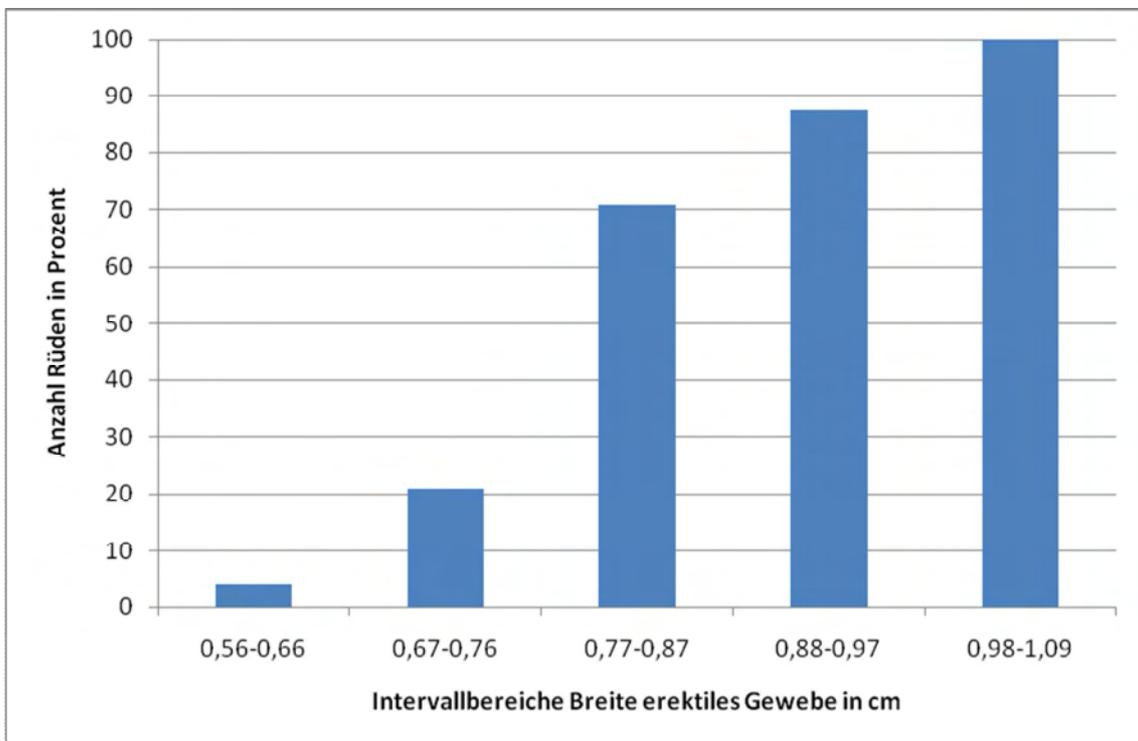


Abb. 49: Kumulierte Normalverteilung der Breite des erektilen Gewebe bei kastrierten Rüden der Gruppe A, n=25

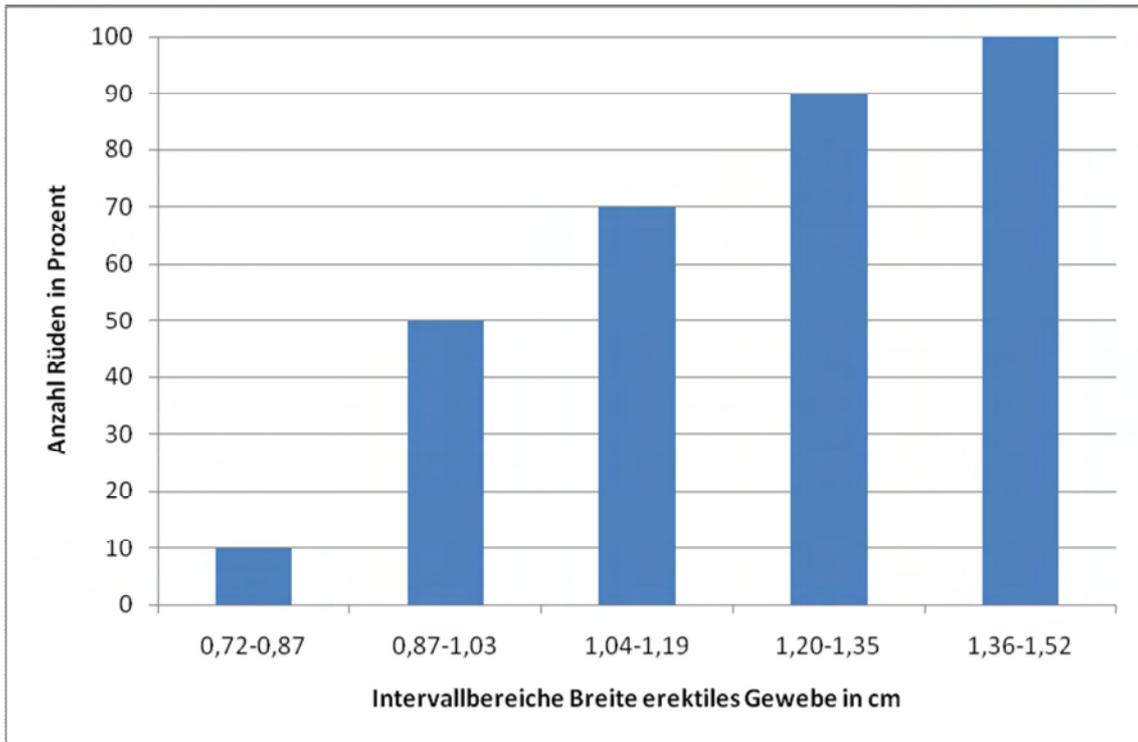


Abb. 50: Kumulierte Normalverteilung der Breite des erektilen Gewebes bei intakten Rüden der Gruppe A im unerigierten Zustand, n=10

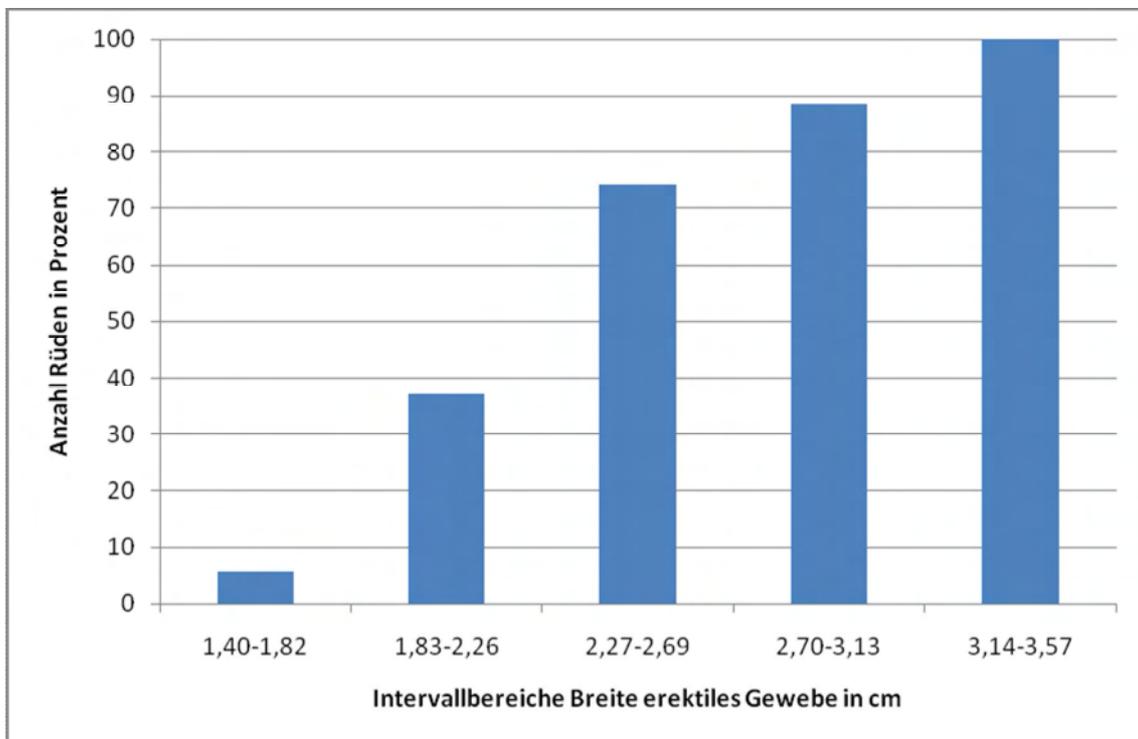


Abb. 51: Kumulierte Normalverteilung der Breite des erektilen Gewebes bei Rüden der Gruppe B während der Erektion, n=35

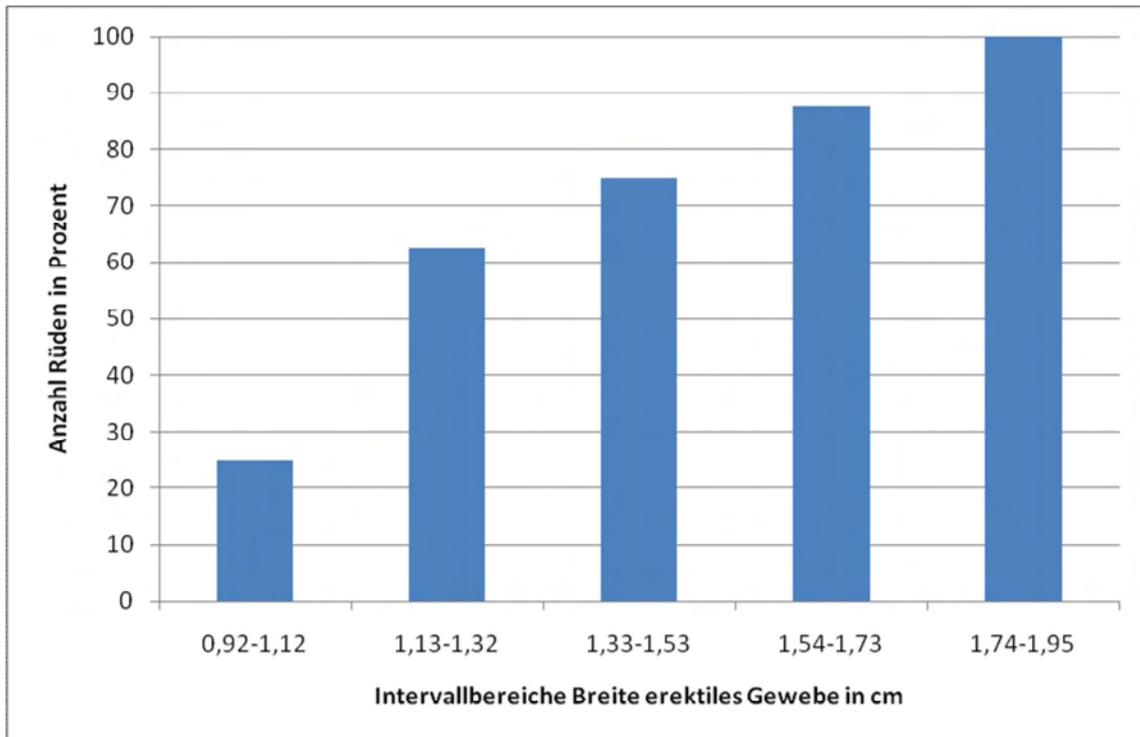


Abb. 52: Kumulierte Normalverteilung der Breite des erektilen Gewebes bei Rüden der Gruppe B im unerigierten Zustand, n=21

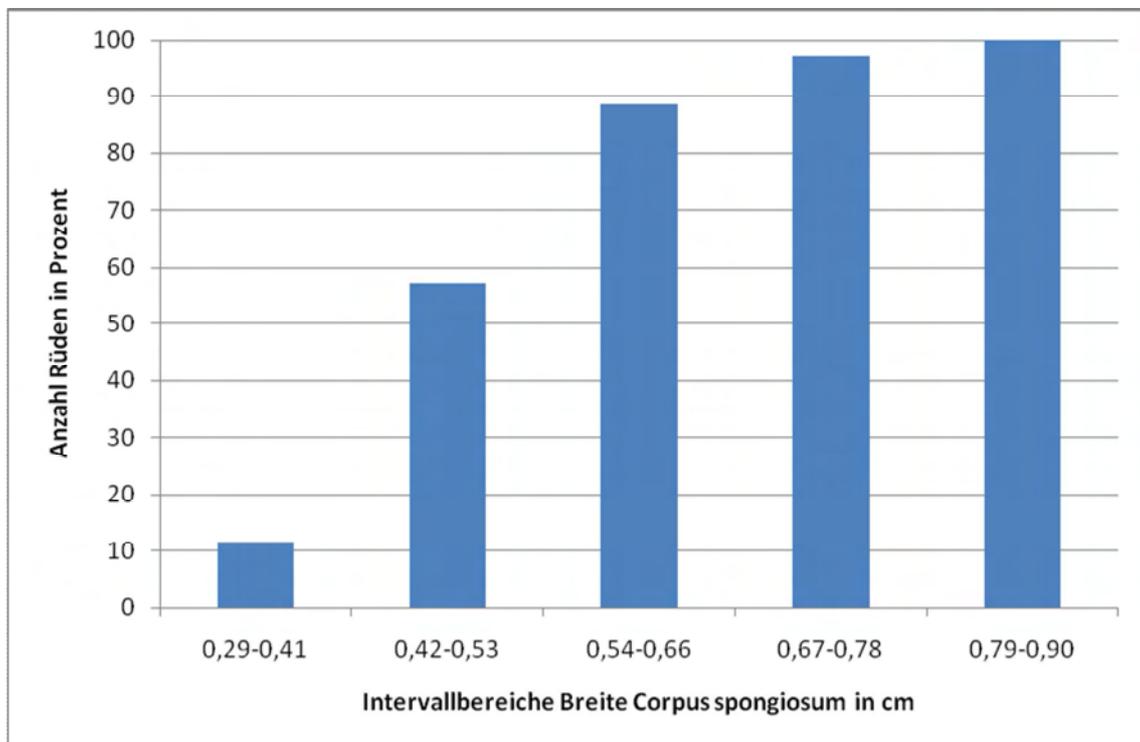


Abb. 53: Kumulierte Normalverteilung der Breite des Corpus spongiosum bei Rüden der Gruppe A im unerigierten Zustand, n=35

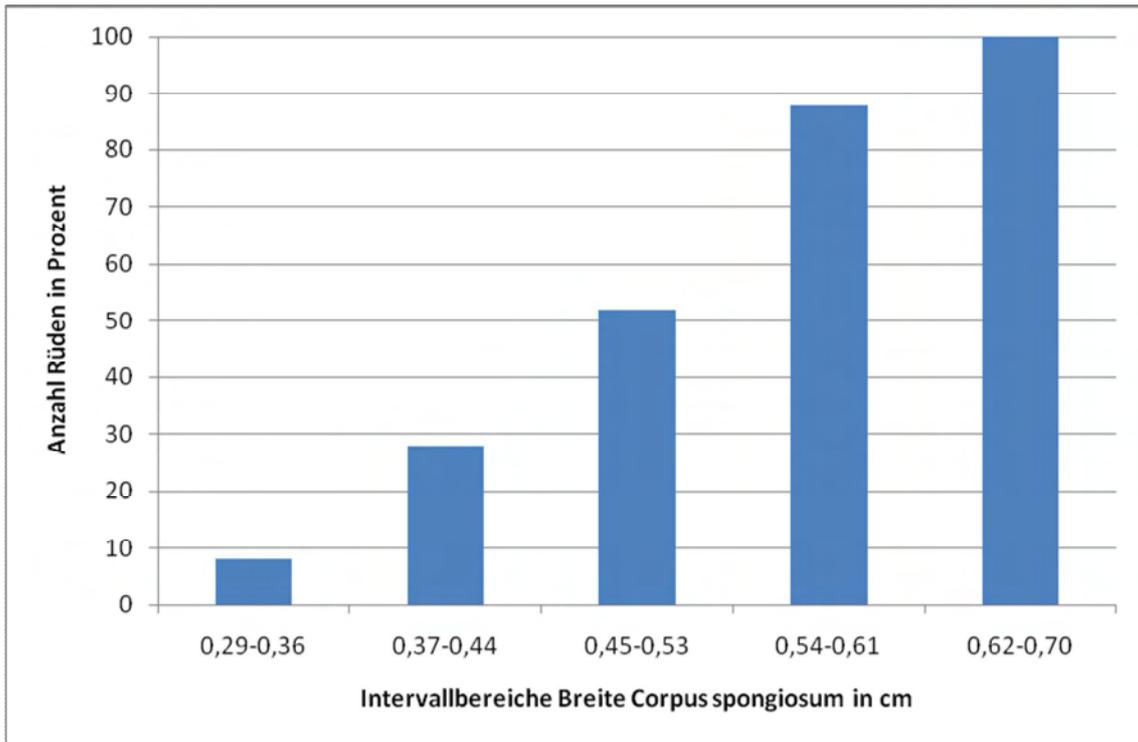


Abb. 54: Kumulierte Normalverteilung der Breite des Corpus spongiosum bei kastrierten Rüden der Gruppe A, n=25

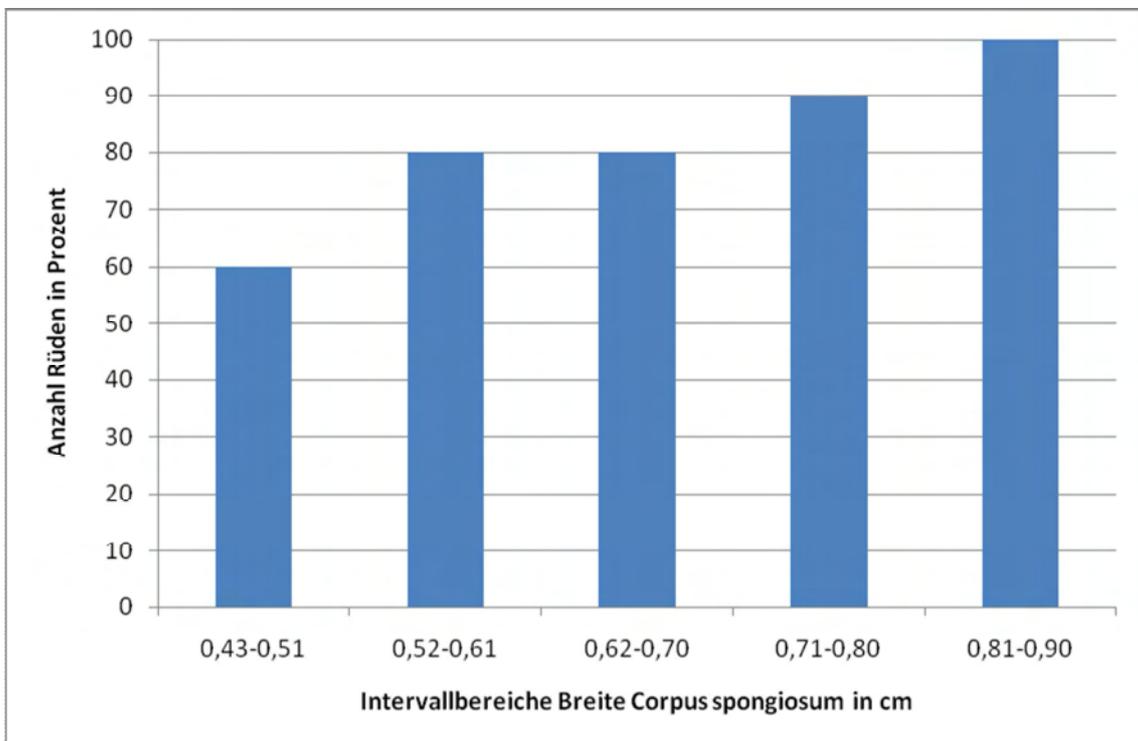


Abb. 55: Kumulierte Normalverteilung der Breite des Corpus spongiosum bei intakten Rüden der Gruppe A im uncastrierten Zustand. n=10

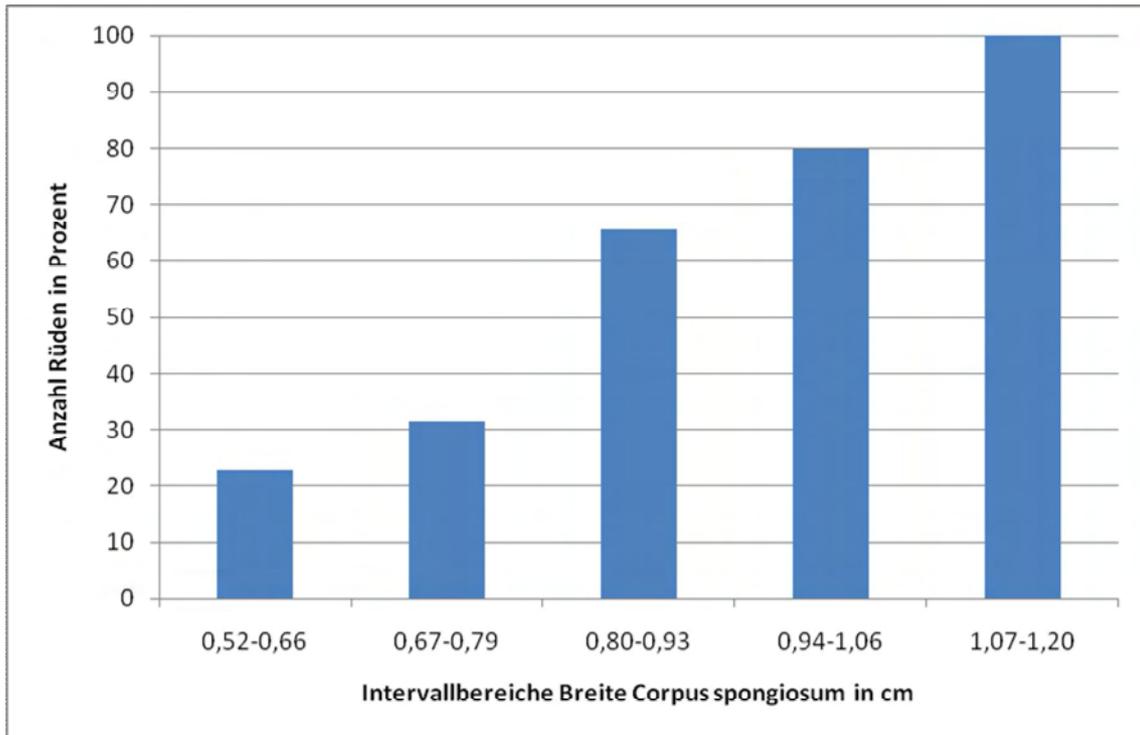


Abb. 56: Kumulierte Normalverteilung der Breite des Corpus spongiosum bei Rüden der Gruppe B im erigierten Zustand, n=35

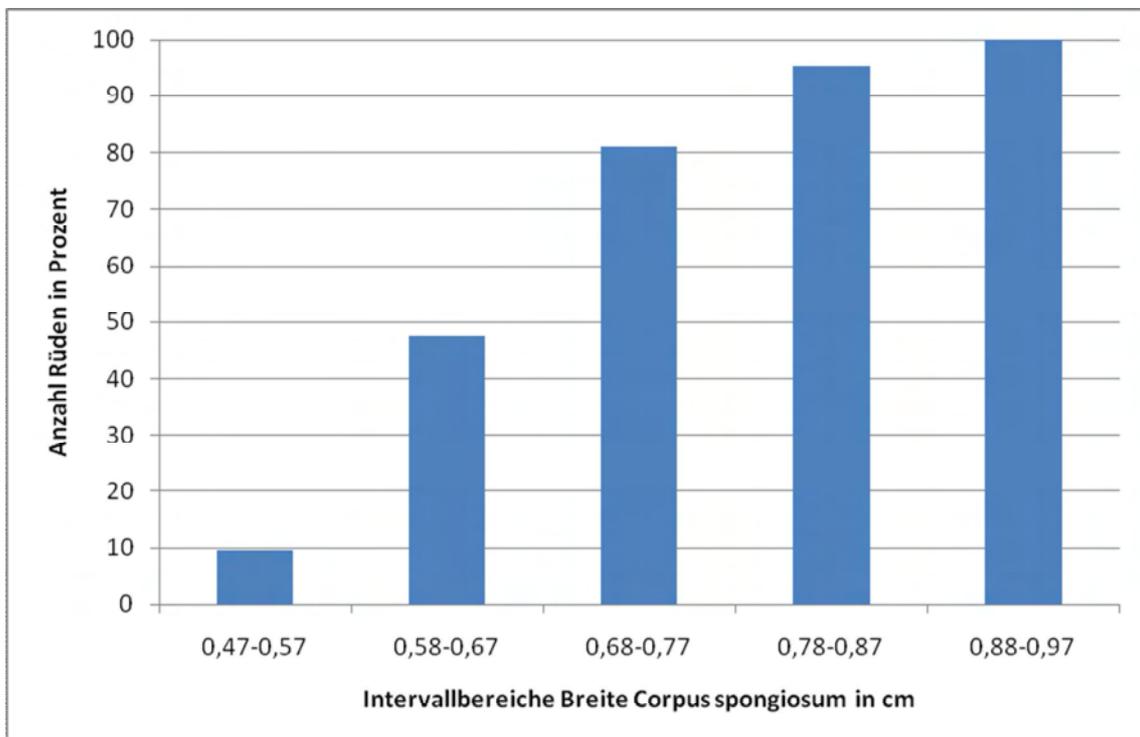


Abb. 57: Kumulierte Normalverteilung der Breite des Corpus spongiosum bei Rüden der Gruppe B im unerigierten Zustand, n=21

10 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Wehrend und Frau Dr. Goericke-Pesch für das Überlassen diese Themas und die Bereitstellung von Räumlichkeiten und Geräten für die durchgeführten Untersuchungen danken. Sie waren stets bereit mit Anregungen und Erfahrungswerten die Entstehung dieser Arbeit zu unterstützen.

Auch dem restlichen Team der KGGA der Justus-Liebig-Universität gilt mein Dank für die Unterstützung der Untersuchungen. Dabei möchte ich besonders Frau Ursula Beckmann, Frau Daniela Klaus und Frau Franziska Sechser erwähnen. Für die freiwillige Bereitstellung der Probanden danke ich allen Hundebesitzern. Frau Miriam Schwarzer gilt mein Dank für die technische Unterstützung bei einigen Hürden im Umgang mit der EDV und Frau Annegret Glöss für das Ausmerzen letzter grammatikalischer Fehler. Ich danke Herrn Dr. Failing und Herrn Dr. König für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der gesammelten Daten, sowie Herrn Harald Wehmeyer für den Druck dieses Dokuments. Gedankt sei auch allen weiteren Freunden und Kollegen sowie meinen Eltern, die mir stets zur Seite standen.



edition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-5887-6



9 783835 958876