

Aus der Klinik für Pferde, allgemeine Chirurgie und Radiologie
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Nichtinvasive Blutdruckmessung mit
Highdefinition-oscillometry-Technik bei Pferden
mit Herzerkrankungen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Wibke Walders
Tierärztin aus Meerbusch

Berlin 2019
Journal-Nr.: 3748

Aus der Klinik für Pferde, allgemeine Chirurgie und Radiologie
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Nichtinvasive Blutdruckmessung mit High- definition-oscillometry-Technik bei Pferden mit Herzerkrankungen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Wibke Walders
Tierärztin aus Meerbusch

Berlin 2019
Journal-Nr.: 3748

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Heidrun Gehlen
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Rudolf Staufenbiel
Dritter Gutachter: PD Dr. Friederike Stumpff

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

horses, heart diseases, blood pressure, pulmonary artery, oscillometry (MeSH),
electrocardiography, ultrasonography

Tag der Promotion: 05.03.2019

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<https://dnb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-86387-968-6

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2019

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2019 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin
verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	III
I EINLEITUNG.....	1
II LITERATURÜBERSICHT	2
2.1 Hämodynamische Grundlagen des Blutdruckes	2
2.2 Regulation des Blutdruckes.....	2
2.3 Zirkadianer Rhythmus des Blutdruckes.....	4
2.4 Blutdruckmessung	5
2.5 Vergleichende Blutdruckmessungen bei Pferden.....	15
2.6 Vergleich verschiedener Blutdruckmessmethoden	17
2.7 Herzerkrankungen beim Pferd.....	18
2.8 Zusammenhang zwischen Herz - und Kreislauferkrankungen und Blutdruck.....	21
2.9 Dopplersonographische Untersuchungen an peripheren Blutgefäßen.....	24
2.10 Herzminutenvolumen als zentraler Kreislaufparameter	27
III MATERIAL UND METHODEN	30
3.1 Probandengut	30
3.2 Methode	33
3.3 Standard - echo - und elektrokardiographische Untersuchung	35
3.4 Herzminutenvolumenbestimmung an der Arteria pulmonalis.....	43
3.5 Dopplersonographische Untersuchung der Zehenarterie.....	47
3.6 Blutdruckmessung mit HDO-Technik.....	54
3.7 Statistische Auswertung.....	59
IV ERGEBNISSE.....	61
4.1 Vorbericht und Allgemeinuntersuchung	61
4.2 Ergebnisse der speziellen Herzuntersuchung	61
4.3 Elektro - und echokardiographische Untersuchungen.....	62
4.4 Einteilung der herzkranken Pferde.....	64
4.5 Ergebnisse der Blutdruckmessung	66
4.6 Einfluss von Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht auf den arteriellen Blutdruck	80
4.7 Herzminutenvolumen der Pferde.....	82
4.8 Peripheres Blutflussvolumen bei Pferden	84
4.9 Korrelation zwischen arteriellem Blutdruck, Blutflussvolumen an der Zehenarterie und Herzminutenvolumen.....	87
4.10 Blutdruckwerte bei drei Pferden vor und nach erfolgreicher Kardioversion.....	88

V	DISKUSSION	90
VI	ZUSAMMENFASSUNG	100
VII	SUMMARY	102
VIII	LITERATURVERZEICHNIS	104
IX	ANHANG	124
	9.1 <i>Tabellen</i>	124
	9.2 <i>Publikationsverzeichnis</i>	134
	9.3 <i>Danksagung</i>	135
	9.4 <i>Selbstständigkeitserklärung</i>	136

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.	Arteria/Arterie
α	alpha
AC	Angle correction/Winkelkorrektur
ACE-Hemmer	Angiotensin converting enzyme/Angiotensin konvertierendes Enzym
ADH	Antidiuretisches Hormon/Vasopressin
A.d.p.l.	Arteria digitalis palmaris lateralis
AI/AVI	Aortenklappeninsuffizienz/aortic valve insufficiency
ANP	Atriales natriuretisches Peptid
Ao	Aorta
App.	Appaloosa
AV-Block	Atrioventrikulärer Block
AV-Knoten	Atrioventrikulärer Knoten
BD	Blutdruck
BFV/min.	Blutflussvolumen/Minute
ca.	circa
cm	Zentimeter
COB	Chronisch obstruktive Bronchitis
CUCV	Coccygeal uncorrected values; nicht auf Herzhöhe korrigierte Werte
CW	Continuous wave
D	Durchmesser
DAP	Diastolic arterial pressure/Diastolischer Blutdruck
DPV	Diastolic peak velocity/Diastolische Spitzengeschwindigkeit

EDV	Enddiastolic velocity/Enddiastolische Geschwindigkeit
EKG	Elektrokardiogramm
et al.	Et alii/und andere
etc.	Et cetera/und so weiter
EU	Europäische Union
evtl.	Eventuell
FS	Fractional shortening/Verkürzungsfraction
ggr.	Geringgradig
Hafl.	Haflinger
HDO	High-definition-oscillometry
Herzerkr.	Herzerkrankungen
HF	Herzfrequenz
hgr.	Hochgradig
HMV	Herzminutenvolumen
IVS	Interventrikularseptum
Kg	Kilogramm
KM	Körpermasse
l	Liter
LA	Linkes Atrium
LKDLA	Lange Herzachse von links kranial
LV	Linker Ventrikel
LVIDd	Left ventricle inner diameter in diastole/enddiastolischer Durchmesser
LVIDs	Left ventricle inner diameter in systole/endsystolischer Durchmesser
LVW	Left ventricle wall/linke freie Ventrikelwand
m	Meter

m	Morgens
MAP	Mean arterial pressure/ mittlerer arterieller Druck
mgr.	Mittelgradig
MHz	Megahertz
MI/MVI	Mitralklappeninsuffizienz/mitral valve insufficiency
min	Minute
ml	Milliliter
ml/min	Milliliter/Minute
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mRNA	Messenger Ribonucleinacid
m/s	Meter/Sekunde
n	Abends
n	Menge/Anzahl der Probanden
N.	Nervus/Nerv
Nr.	Nummer
P	Irrtumswahrscheinlichkeit
PA	Pulmonalarterie
PC	Personal computer
pH	Säuregrad
Polo	Polopony
PRE	Pura Raza Española
PW	Pulsed wave
QH	Quarter horse
QRS – Komplex	Q-Zacke, R-Zacke, P-Zacke (Ausschläge im Elektrokardiogramm)

R ²	Bestimmtheitsmaß/Determinationskoeffizient
RA	Rechtes Atrium
RV	Rechter Ventrikel
RKDKA	Kurze Herzachse von rechts kaudal
RKDLA	Lange Herzachse von rechts kaudal
RKDLA-AO	Lange Herzachse von rechts kaudal mit Darstellung der Aorta
RKRLA	Lange Herzachse von rechts kranial
RI	Resistance-Index
SAP	Systolic arterial pressure/systolischer arterieller Druck
Schulpfd.	Schulpferd
Sek.	Sekunde
SPSS	Früher: statistical package for the social sciences
SPV	Systolic peak velocity/systolische Spitzengeschwindigkeit
TAV	Time averaged velocity/durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit
TPW	Totaler peripherer Widerstand
USB	Universal Serial Bus
VB	Vollblut
VES	Ventrikuläre Extrasystolen
VF	Vorhofflimmern
VTI	Velocity time integral/Geschwindigkeits-Zeit-Integral
WB	Warmblut
z. B.	Zum Beispiel
ZNS	Zentrales Nervensystem

I Einleitung

Den in den Blutgefäßen und den Herzkammern herrschenden Druck bezeichnet man als Blutdruck. Dieser ist abhängig von der Herzleistung, dem Gefäßwiderstand und der Blutviskosität. Die Werte für den arteriellen Blutdruck objektivieren die bisherigen Messwerte zur Beurteilung der Kreislaufsituation (Herzauskultation, Pulsqualität, Beurteilung der Schleimhäute und Bestimmung der kapillären Rückfüllungszeit).

Beim Menschen und bei Kleintieren werden nichtinvasive Blutdruckmessungen zur Früherkennung, Diagnostik und Therapieüberwachung routinemäßig bei verschiedenen Erkrankungen eingesetzt. Erkrankungen von Herz, Nieren, Nebennieren, Schilddrüsen und anderen Organen können zu Veränderungen des Blutdrucks führen. Sowohl Hypertonien als auch Hypotonien können dann wiederum zu sogenannten Endorganschäden an Augen, Herz, Nieren und ZNS führen.

In früheren Studien wurden bei Pferden vor allem die invasive Blutdruckmessung, die beim Pferd als Goldstandard gilt, zur Überwachung des Kreislaufs während der Narkose eingesetzt, um die Durchblutung der Muskulatur und der inneren Organe zu überwachen und sicherzustellen.

Ziel dieser Studie war es, Referenzwerte für den systolischen, diastolischen und mittleren arteriellen Blutdruck beim Pferd zu erhalten und den Einfluss verschiedener Herzerkrankungen auf den Blutdruck zu überprüfen. Dazu wurde ein mit High-definition-oscillometry (HDO) arbeitendes Blutdruckmessgerät verwendet.

Darüber hinaus sollte geprüft werden, inwieweit Alter, Geschlecht, Gewicht und Größe das Herzminutenvolumen sowie das Blutflussvolumen an der Zehenarterie mit dem indirekt gemessenen Blutdruck korrelieren.

II Literaturübersicht

2.1 Hämodynamische Grundlagen des Blutdruckes

Das aus dem Lungenkreislauf dem linken Atrium zugeführte Blut erreicht dieses mit kaum messbarem Druck (< 14 mmHg). In der Diastole fließt das Blut dann passiv entlang des Druckgradienten in den linken Ventrikel.

Lediglich kurz vor Ende der Diastole kontrahiert sich der Vorhof leicht, um das restliche Blut in die Kammer abzugeben. Dadurch kommt es jedoch ebenfalls nicht zu einer messbaren Erhöhung des Blutdruckes. Erst in der Systole wird ein Druck aufgebaut, durch den das Blut über die geöffnete Aortenklappe in den großen Blutkreislauf ausgeworfen wird. Mit jeder Kontraktion des Herzens entsteht somit der messbare systolische arterielle Druck. Neben dem Schlagvolumen des linken Ventrikels spielen auch dessen Austreibungsgeschwindigkeit und die Aortendehnbarkeit (Windkesselfunktion) eine wichtige Rolle für die Höhe des systolischen arteriellen Blutdruckes. Bei älteren Individuen nimmt die Elastizität der Aorta ab, wodurch die Blutdruckamplitude höher wird (ENGELHARDT, 2000).

Der diastolische arterielle Druck wird durch die Dauer der diastolischen Pause und den Grad der Arteriendehnbarkeit bestimmt. Die arteriellen Gefäße besitzen bis zu den präkapillären Widerstandsgefäßen elastische Fasern. Das mit Druck aus dem Herzen ausgestoßene Blut führt zu einer Dehnung der Arterien. Ein Teil des ausgeworfenen Blutes wird dabei in den gedehnten Gefäßen gespeichert. Wenn sich die elastischen Fasern erneut zusammenziehen, wird das gespeicherte Blut beschleunigt und weitertransportiert, wodurch der messbare diastolische Druck entsteht (EGNER et al., 2007).

Der durchschnittlich während der Dauer eines Schlagintervalls herrschende Druck wird als mittlerer arterieller Druck bezeichnet (EGNER, 2007). Dieser ist entscheidend für die Durchblutung in der Peripherie. Als Referenzwerte werden beim Pferd 112 mmHg für den systolischen und 70 mmHg für den diastolischen Blutdruck angegeben (SIEDENTOPF, 1984).

2.2 Regulation des Blutdruckes

Der Blutdruck unterliegt physiologischen Schwankungen von 10 - 15 mmHg. Somit hat jeder Herzschlag seinen eigenen Blutdruckwert zur Folge. Dieser Einfluss wird mit der

Durchführung von drei bis fünf Einzelmessungen minimiert (EGNER et al., 2007). Bei dem arteriellen Blutdruck handelt es sich um das Produkt aus dem Herzminutenvolumen und dem totalen peripheren Widerstand ($HMV \times TPW$). Nach dem Hagen-Poiseuille-Gesetz verhält sich der Gefäßwiderstand dabei umgekehrt proportional zur vierten Potenz des Gefäßradius. Das heißt, eine geringgradig erhöhte Weiterstellung von Blutgefäßen führt zu einer erheblichen Verringerung des Widerstandes (KRZYWANEK, 2006). Dieser wird sowohl von kardiogenen als auch von vaskulären und hämatopoetischen Faktoren beeinflusst.

Die zentrale Regulation des Blutdruckes findet im Kreislaufzentrum in der Pons und in der Medulla oblongata statt. Dorthin gelangen mithilfe von Chemo- und Barorezeptoren Informationen aus der Peripherie bezüglich intravasaler Druckverhältnisse, Gefäßspannung sowie Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidgehalt des Blutes (SPÖRRI, 1987). Die sofortige, schnelle Regulierung des Blutdruckes erfolgt über den Presso- und Chemorezeptorreflex sowie über die Ausschüttung von Katecholaminen aus dem Nebennierenmark. Die mittelfristige Steuerung findet mithilfe des Renin – Angiotensin - Systems und der Freisetzung von Prostaglandinen statt. Aldosteron, das atriale natriuretische Peptid (ANP) und Vasopressin (ADH) sind an der verzögerten Blutdruckregulation beteiligt. Für den Organismus ist es notwendig, dass immer ein Mindestblutdruck aufrechterhalten wird, um die Perfusion der Organe zu gewährleisten (EGNER, 2007; FREY, 2000).

Beim Kleintier führen verschiedene Erkrankungen (Niereninsuffizienzen, Endokrinopathien) zu Veränderungen des Blutdruckes und haben einen Einfluss auf den weiteren Verlauf der ursprünglichen Erkrankung, die Morbidität und die Mortalität, da es zu einer Schädigung der sogenannten Endorgane (Auge, Herz, Niere, ZNS) kommen kann. Therapeutisch werden in der Kleintiermedizin (Hunde und Katzen) bei Bluthochdruck ACE - Hemmer eingesetzt, wogegen eine Hypotension via Volumensubstitution behandelt wird (EGNER et al., 2007).

Im Gegensatz zu den Kleintieren neigen Pferde lediglich während der Narkose, aufgrund einer massiven Hypovolämie (durch starken Blutverlust) oder eines anaphylaktischen Schocks (zum Beispiel post injectionem) zu einer akuten Hypotension, bei der der periphere Puls zum Teil nicht mehr palpierbar ist, obwohl das Herz eine mehr oder weniger normale elektrische Aktivität aufweist. Diese Hypotension stellt ein gefürchtetes Risiko dar, da die Perfusion verringert wird. In der Kleintierpraxis ist die Niereninsuffizienz eine gefürchtete Folge der Hypotension, sie hat in der Pferdepraxis jedoch kaum Relevanz. Hier kommt es eher zu den gefürchteten Muskel - oder auch ZNS - Schädigungen. Als Normalwerte beim narkotisierten Pferd werden von GEHLEN und IONITA (2010) für den systolischen Blutdruck 100 -

120 mmHg, für den mittleren Blutdruck 70 - 80 mmHg und für den diastolischen arteriellen Druck 50 - 60 mmHg angegeben. Bei diesen Drücken ist eine adäquate Perfusion der peripheren Organe gewährleistet. Die beschriebene Hypotonie ist meistens auf die chirurgische Stimulation des Plexus coeliacus, des N. splanchnicus oder auf Zug am Gekröse von Magen oder Darm zurückzuführen. Sie wird mit der Gabe von Flüssigkeit, Dobutamin und Adrenalin behandelt (GASTHUYS und DE MOOR, 2006).

2.3 Zirkadianer Rhythmus des Blutdruckes

Bei dem zirkadianen Rhythmus handelt es sich um einen endogen gesteuerten 24 - Stunden - Rhythmus sämtlicher biologischer Funktionen (BOSS und JÄCKLE, 1994). Er hat seinen „Schrittmacher“ im suprachiasmatischen Nucleus des Hypothalamus, der durch Licht, Dunkelheit, Futtermverfügbarkeit, Umgebungstemperatur etc. reguliert wird (DARDENTE und CERMAKIAN, 2007).

In Studien hat sich gezeigt, dass bei tagaktiven Menschen der Blutdruck am Tag ansteigt und in der Nacht abfällt. Dahingegen ist der Blutdruck bei nachtaktiven Ratten bei Dunkelheit deutlich höher als am hellen Tag. Hier spielen Lichteinfall und Aktivitätsphasen eine bedeutende Rolle (MISHINA et al., 1999).

Im Gegensatz dazu hat sich bei Hunden und Katzen gezeigt, dass der Blutdruck lediglich einer geringen beziehungsweise keiner zirkadianen Rhythmik unterliegt (BROWN et al., 1997; PICCIONE et al., 2005).

Auch bei Fohlen wurde in den ersten 40 Lebenstagen festgestellt, dass der Blutdruck, wie beim Kleintier, keiner zirkadianen Rhythmik unterliegt (PICCIONE et al., 2008). Bei adulten Pferden wurde dagegen ein zirkadianer Rhythmus des Blutdruckes nachgewiesen, der auch in Arbeitsphasen erhalten bleibt. So liegt beim Pferd der systolische arterielle Druck (SAP) nachmittags im Durchschnitt 20 mmHg höher als morgens und auch der diastolische arterielle Druck (DAP) ist nachmittags im Mittel 21 mmHg höher als morgens (PICCIONE, GIANNETTO et al., 2009).

2.4 Blutdruckmessung

2.4.1 Techniken der Blutdruckmessung

Man unterscheidet bei der Blutdruckmessung die invasive (direkte) und die nichtinvasive (indirekte) Technik. Bei beiden Methoden erhält man Messwerte für den systolischen, den diastolischen und bei neueren Untersuchungsmethoden auch für den mittleren arteriellen Blutdruck. Diese Messwerte werden gewöhnlich in Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) angegeben, so wie es nach dem Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. C 185/19 die offizielle in Deutschland und der EU vorgeschriebene Einheit ist (ECKERT et al., 1993). Die Angaben zu den gemessenen Blutdruckwerten werden dabei grundsätzlich in der Reihenfolge systolisch/diastolisch gemacht (ANON, 1998) und die Messlokalisierung sollte sich stets auf Herzhöhe ± 10 cm befinden (ERHARDT et al., 2007). Wenn die Höhe der Messlokalisierung nicht mit der Herzhöhe übereinstimmt, was am stehenden Pferd stets der Fall ist, können die Blutdruckwerte korrigiert werden, indem man 0,7 mmHg (GAY et al., 1977; PARRY et al., 1984) beziehungsweise 0,769 mmHg (BERGSTEN, 1974) pro cm Höhendifferenz zwischen Herzbasis und Messlokalisierung addiert. Beim adulten Pferd liegt die Messstelle an der Schweifrübe durchschnittlich 35 cm über der Herzebene, welches bedeutet, dass die Blutdruckdifferenz zwischen Herz und Schweif ungefähr 27 mmHg beträgt. Ansonsten können die Messergebnisse auch unverändert als coccygeal, uncorrected values (CUVC) angegeben werden (GAY et al., 1977).

2.4.1a Direkte Blutdruckmessung

Eine Blutdruckmessung bezeichnet man als direkte oder auch blutige Messung, wenn das am Messort befindliche Blut direkt mit dem Manometer in Verbindung steht (BUSSE, 1995). Die erste Blutdruckmessung dieser Art fand im Jahre 1728 beim Pferd statt und wurde von Stephen Hales durchgeführt. Dabei wurde die Höhe der Blutsäule in einem Glasrohr gemessen, das mit der Arteria carotis in Verbindung stand (SPÖRRI, 1987).

Da die direkte Blutdruckmessung eine hohe Messgenauigkeit aufweist und die Werte ohne Zeitverzögerung darstellbar sind, werden die Ergebnisse der invasiven Messung als Bezugsgröße für die Zuverlässigkeit indirekter Blutdruckmessmethoden verwendet. Die direkte Methode gilt als Goldstandard (SAWYER et al., 1991, GASTHUYS und DE MOOR, 2006).

Bei der invasiven Technik findet die Messung über ein intravasal liegendes, flüssigkeitsgefülltes Kathetersystem statt. Ein Manometer misst und registriert dabei den Druck. Früher wurde meistens ein Gravitationsmanometer genutzt, später wurden Membranmanometer entwickelt, welche aus einer starrwandigen Kammer mit einer dünnelastischen Platte am einen Ende bestehen. An dem anderen Ende befindet sich die im Blutgefäß liegende Kanüle. Dieses System wird mit Kochsalzlösung gefüllt und die Auslenkung der Membran mit einem Transducer erfasst.

Außerdem gibt es noch das sogenannte Katheter - Tip - Manometer, bei dem sich das Manometer an der Spitze des im Gefäß liegenden Katheters befindet. Eine regelmäßige Eichung aller Systeme ist wichtig für den Erhalt zuverlässiger Messergebnisse (BUSSE, 1995).

Direkte Blutdruckmessung beim Pferd

Bei der direkten Blutdruckmessung gibt es beim Pferd diverse Wahlmöglichkeiten für den arteriellen Zugang. Als Zugangsmöglichkeiten für die invasive Blutdruckmessung werden die Arteria facialis (RICCO et al. 2009; SCHAUVLIEGE et al., 2009; TAYLOR, 1981) sowie die Arteria carotis (RICCO et al. 2009; YAMASHITA et al. 2000) und die Arteria transversa faciei beschrieben (TAYLOR, 1981). Allerdings wird die Nutzung der Arteria carotis für diesen Zweck von TAYLOR (1981) nicht empfohlen.

Darüberhinaus wird der Einsatz der invasiven Blutdruckmessung an den Gliedmaßen an der Arteria metatarsa dorsalis (GEDDES et al., 1977; GIGUÈRE et al., 2005; LATSHAW et al., 1979; PARRY et al., 1982; TAYLOR, 1981) und an der Arteria metatarsa medialis und digitalis beschrieben (TAYLOR, 1981).

Die Prozedur der invasiven Blutdruckmessung wird beim Pferd zur Narkoseüberwachung routinemäßig angewendet (A. facialis, A. metatarsa dorsalis) und als relativ einfach durchzuführen beschrieben. Allerdings sollte man auf eine strenge aseptische Vorbereitung achten (TAYLOR, 1981).

Für die direkten Blutdruckmessungen an Ponys nutzen RICCO et al. (2009) ein kabelloses Messsystem, das eine kontinuierliche Überwachung des Blutdruckes auch in Phasen, in denen man das Pferd nicht berühren kann, zum Beispiel während des Aufstehens ermöglicht. Diese Beobachtungsmöglichkeit ohne direkten Kontakt wird durch einen operativ implantierten Transmitter ermöglicht, der mechanische Signale in Radiowellen umwandelt.

2.4.1b Indirekte Blutdruckmessung

Neben der Methode der direkten Blutdruckmessung wurden noch unterschiedliche Techniken zur indirekten Bestimmung des Blutdruckes entwickelt. Die verschiedenen indirekten Blutdruckmessmethoden basieren auf den Überlegungen des italienischen Kinderarztes Riva-Rocci, der 1896 eine mit einer Pumpe aufblasbare Manschette und ein Manometer (Druckmessgerät) für die Blutdruckmessung entwickelte (MANCIA, 1997; SALVETTI, 1996; ZANCHETTI und MANCIA, 1996; ROGUIN, 2006).

Bei der indirekten Blutdruckmessung werden die wellenförmigen systolischen beziehungsweise diastolischen Blutdruckschwankungen erfasst. Hierzu wird eine Arterie an einer Gliedmaße beziehungsweise am Schwanz oder Schweif durch die aufblasbare Manschette komprimiert, bis distal von dieser Stelle kein Blutfluss mehr stattfindet. Durch Ablassen der Luft in der Manschette kommt der Blutfluss wieder in Gang, wenn der Blutdruck den Manschettendruck übersteigt. Bei der indirekten Blutdruckmessung werden die Blutströmungen also lediglich bei fallendem Manschettendruck gemessen (DEUTSCHE LIGA ZUR BEKÄMPFUNG DES HOHEN BLUTDRUCKES, 1997; ROGUIN, 2006). Vorteilhaft ist, dass kein operativer Eingriff nötig ist und somit beim Tier keine Sedation benötigt wird, die Einfluss auf den Blutdruck hat. Bei der indirekten Blutdruckmessung unterscheidet man zwischen der palpatorischen, der auskultatorischen und der Ultraschall - Doppler - Methode, der Oszillometrie - und der High -definition - oscillometry - Technik.

Indirekte Blutdruckmessung beim Pferd

Die nichtinvasive Form der Blutdruckmessung ist für die routinemäßige Untersuchung in der Praxis besser geeignet als die direkte Methode. Es wird bei allen Formen der indirekten Untersuchung ein aufblasbarer Cuff verwendet, der jedoch am Bein nicht zufriedenstellend funktioniert, da er während des Aufblasens abrutschen kann. Deswegen wird als Messort beim Pferd die Schweifrübe empfohlen. Bei der Blutdruckmessung an der Schweifrübe, liegt die Messlokalisierung jedoch nicht genau auf der Herzebene. TAYLOR (1981) beschreibt diese Diskrepanz zwischen den tatsächlichen und den aufgenommenen Werten jedoch als vernachlässigbar.

Palpatorische Methode

Bei der palpatorischen Methode komprimiert eine aufblasbare Manschette das arterielle Gefäß zum Beispiel an der Gliedmaße (Arm beim Menschen) oder am Schwanz/Schweif (Hund, Katze, Pferd) bis distal davon kein Blutfluss mehr stattfindet. Distal der Manschette kann dann palpatorisch mit dem Finger oder über einen elektronischen Druckwandler der Puls kontrolliert werden. Während die Luft langsam abgelassen wird, kommt der Blutfluss wieder in Gang, weil der Blutdruck den in der Manschette herrschenden Druck übersteigt. Zu diesem Zeitpunkt wird der in der Manschette herrschende Druck am Manometer abgelesen und als systolischer Druck festgehalten (SPÖRRI, 1987). Allerdings erlaubt diese Methode keine Bestimmung des diastolischen Blutdruckes (O' BRIEN, FITZGERALD, 1994).

Palpatorische Methode beim Pferd

Bei der palpatorischen Form der Blutdruckmessung wird beim Pferd manuell beim Ablassen des Manschettendruckes der wiederkehrende Puls erfühlt, wodurch man den arteriellen systolischen Puls bestimmen kann. Aufgrund der geringen Empfindlichkeit dieser Messmethode werden generell niedrigere Blutdruckwerte als bei anderen Untersuchungsformen ermittelt (TAYLOR, 1981).

Auskultatorische Methode

Die auskultatorische Technik bezeichnet man auch als Korotkoff - Methode. Abhängig von dem Manschettendruck ist die Blutströmung in der Arterie dauernd, zeitweise oder gar nicht unterbunden. Die verschiedenen Strömungen lassen sich anhand unterschiedlicher akustischer Erscheinungen charakterisieren. Wenn der Druck durch die Manschette den systolischen Druck übersteigt, findet in der komprimierten Arterie kein Blutfluss mehr statt, und somit ist auch kein Schallphänomen wahrnehmbar (SPÖRRI, 1987). Sobald der Manschettendruck unter den systolischen Druck abfällt, tritt in dem Moment, in welchem etwas Blut durch das Gefäß fließt, ein klopfendes Geräusch auf, das sogenannte Korotkoff - Geräusch (BROWN et al., 1996; CANTWELL, 1989; SHEVCHENKO und TSITLIK, 1996). Am Manometer wird beim ersten Auftreten des Geräusches der systolische Druck abgelesen. Durch weiteres Absenken des Druckes in der Manschette verstärken sich die Geräusche zunächst, bis der Manschettendruck unterhalb des diastolischen Drucks abfällt. Nun findet ein kontinuierlicher Blutfluss statt, und die Geräusche verschwinden (SPÖRRI, 1987). Über die korrekte

Bestimmung des diastolischen Wertes wird immer wieder diskutiert. Manche Autoren empfehlen den Zeitpunkt des Dunklerwerdens der Geräusche, andere favorisieren das Verschwinden der Geräusche als idealen Zeitpunkt (DEUTSCHE LIGA ZUR BEKÄMPFUNG DES HOHEN BLUTDRUCKES, 1997). Die Stelle, an der auskultiert wird, sollte sich in etwa auf Herzhöhe befinden. Zu Messfehlern kann es bei kachektischen oder adipösen Tieren kommen, und auch Arrhythmien und schnell aufeinanderfolgende Messungen stellen eine Fehlerquelle dar, wenn die Arterie sich zwischen den Messungen nicht wieder auf ihren vollständigen Durchmesser aufweiten kann (WAGNER, 1985).

Die auskultatorische Methode halten EGNER et al. (2007) in der Kleintiermedizin aufgrund der anatomischen Gegebenheiten für nicht anwendbar.

Auskultatorische Methode beim Pferd

Das Aufgreifen der Korotkoffgeräusche mit Hilfe eines Stethoskops wurde erstmals 1969 von Smith am Hinterbein von narkotisierten Pferden untersucht. Allerdings sind die Geräusche beim stehenden Pferd zu schwach und bei Werten unter 70 mmHg unzuverlässig (JOHNSON et al., 1976). Zur Verstärkung der Geräusche wird ein Mikrofon verwendet, das an der Innenseite des Cuffs angebracht ist. Die so ermittelten Werte korrelieren gut mit den direkten Ergebnissen, allerdings unterliegen sie der Subjektivität des Untersuchers und sind bei einer Hypotension unpräzise (TAYLOR, 1981). ELLIS (1975) nutzt in ihrer Studie ein Blutdruckmessgerät, das eine elektronische Modifizierung der auskultatorischen Methode darstellt, bestehend aus einem Sphygmomanometer - Cuff mit eingebautem Mikrofon und einer Transducer/Verstärker - Kombination. Bei zwei Pferden im klinischen Schock war die Frequenz der Korotkoff - Geräusche zu niedrig für das menschliche Ohr, so dass eine Auskultation nicht möglich war. Des Weiteren unterschätzt die indirekte Methode den arteriellen systolischen Druck in niedrigen Bereichen und überschätzt ihn in hohen Bereichen, was neben den Bewegungsartefakten eine Limitierung dieser Messmethode darstellt (ELLIS, 1975).

Ultraschall-Doppler-Methode

Ähnlich der Auskultationsmethode wird auch bei der Ultraschall - Doppler - Methode eine aufblasbare Manschette an einer der vier Extremitäten oder an der Schweifrübe angelegt. Anstelle des Stethoskops nutzt man eine Ultraschall - Doppler - Sonde. Bei der Doppler -

Technik wird der arterielle systolische Blutdruck über einen Ultraschall-Doppler - flow - Detektor ermittelt. Ein piezoelektrischer Senderkristall generiert Ultraschallwellen schräg zur Längsachse in das Blutgefäß, die, wenn sie auf ein sich bewegendes Objekt treffen (z.B. Erythrozyten), zu hörbaren Frequenzänderungen führen (BUSSE, 1995). Um eine gute Sondenankopplung zu erzielen, muss das Fell geschoren und ausreichend Ultraschallgel verwendet werden. Das Gefäß sollte möglichst wenig komprimiert werden und der Schallkopf so senkrecht wie möglich über der Arterie positioniert werden. Dieses System ist laut EGNER et al. (2007) mit Einschränkungen für die Routineuntersuchung geeignet. GAY et al. (1977) beschreiben das während der Deflation als Erstes auftauchende Geräusch als ein konstantes „swoosh“ und das zweite als tieferes und längeres „swoosh - doo“, das bei einzelnen Pferden sogar zwei Peaks aufweist („swoosh - doo - who“).

Aufgrund seiner Untersuchungen an Rindern berichtet GUILLEBEAU (1979), dass das Anlegen des Ultraschallkopfes und des Pulsfühlers Geduld benötigt. Außerdem scheint ihm diese Technik in Anbetracht der anatomischen Verhältnisse in der Schwanzregion bei Rindern ungeeignet. Als größten Nachteil dieser Methode beschreibt CARR (2007), dass der diastolische Druck sehr schwer beziehungsweise gar nicht abgrenzbar ist. Auch WERNER (1980) kritisiert neben zwei anderen Methoden in seinem Bericht das Ultraschall - Doppler - Prinzip. Als nachteilig bezeichnet er die hohen Kosten und die lauten Störgeräusche, die infolge von Muskelkontraktionen entstehen. Des Weiteren nennt er das Ruhigstehen der Tiere und die Durchführung der Untersuchung in ruhiger Umgebung als Grundvoraussetzung.

Ultraschall-Doppler-Methode beim Pferd

Schon 1977 stellten GAY et al. die Blutdruckmessung mit dem Ultraschall - Doppler auch beim Pferd vor. Sie warnten jedoch vor zu schneller Deflation, da leisere klopfende Geräusche überhört werden können beziehungsweise „verloren gehen“. Es wird deshalb eine Ablassrate von 5 mmHg/3 sek. empfohlen, um ein Unterschätzen des SAP zu vermeiden. In ihren Untersuchungen fanden sie heraus, dass die indirekt ermittelten systolischen Drücke sehr gut mit den direkten SAP - Werten korrelieren ($r = 0,978$), die indirekten DAP - Werte lagen allerdings deutlich über den „echten“ diastolischen Drücken.

Als zwei mögliche Limitierungen für diese Methode sehen GAY et al. (1977) den kostspieligen Transducer - Kopf und die Tatsache, dass ein Assistent benötigt wird, der den Schweif während der Blutdruckmessung in horizontaler Position hält.

Bei ihren Blutdruckmessungen mittels Ultraschall - Doppler - Methode stellten BAILEY et al. (1994) an narkotisierten Pferden in Rückenlage große Messfehler fest. Fünf Prozent der Doppler - Untersuchungen an der Arteria coccygealis medialis zeigten eine Fehlerrate von ± 20 mmHg im Vergleich zu den simultan ermittelten direkten Blutdruckwerten für den systolischen Druck. Dieser Fehler wird als inakzeptabel für die praktische Nutzung des Gerätes angesehen. Als Ursache für diese Ungenauigkeit wird eine ungenaue Erkennung des Blutflusses sowie eine unpassende Cuffgröße/- position und infolgedessen ein inadäquater Verschluss der Arterie vermutet. Im Gegensatz dazu hielt TAYLOR (1981) diese Form der Blutdruckmessung nicht nur aufgrund der guten Portabilität des Gerätes für praxistauglich. Die mit dieser Methode erzielten Ergebnisse durch Messungen an der Schweifrübe lieferten darüber hinaus bis zu Drücken von 40 mmHg genaue Werte. Des Weiteren bestand nicht die Gefahr, dass durch Schweifbewegungen Bewegungsartefakte auftraten.

Die Frage, ob die Kopfposition des Pferdes Einfluss auf den peripheren Blutdruck hat, beantworteten PARRY et al. (1980) in ihren Untersuchungen mittels Ultraschall - Doppler an der Arteria coccygealis medialis. Es wurden 18 Pferde bei jeweils fünf verschiedenen Kopfpositionen untersucht. Der normale SAP beim Pferd wird mit $117,2 (\pm 18,1)$ mmHg und der DAP wird mit $84,5 (\pm 14,5)$ mmHg (CUCV) angegeben (PARRY, 1980). Bei verschiedenen Kopfhöhen kommt es zu signifikanten Blutdruckveränderungen, was darauf schließen lässt, dass eine aktive Kontrolle der Blutdruckhomöostase, insbesondere durch die Barorezeptoren am Carotissinus und am Aortenbogen, stattfindet. Es wird daher empfohlen, die Kopfposition bei der Durchführung von Blutdruckmessungen zu standardisieren (PARRY, 1980).

Oszillometrische Methode

Die Oszillometrie erfolgt ebenfalls nach dem Riva - Rocci - Prinzip, das heißt es wird eine modifizierte aufblasbare Manschette verwendet, die an einer zylinderförmigen Extremität oder am Schwanz beziehungsweise Schweif (Arteria coccygealis medialis) angebracht wird. Arterienwandschwingungen treten bei wiedereinsetzendem Blutfluss auf, werden über das Weichteilgewebe transportiert und an der Körperoberfläche von der Manschette erfasst (EGNER et al., 2007). Ein enges Anliegen der Manschette an der Messlokalisation ist für ein korrektes Messergebnis wichtig (GEDDES et al., 1977; PARRY et al., 1982). Die jeweiligen Schwingungen sind charakteristisch für den systolischen, diastolischen und mittleren arteriellen Blutdruck und werden von einem eingebauten Mikroprozessor in entsprechende

Blutdruckwerte umgewandelt. Wenn der Druck innerhalb der Manschette in den Bereich des systolischen Blutdruckes absinkt, erzeugt die anprallende Pulswelle Druckschwankungen. Diese nehmen erst zu, ein Anzeichen für den systolischen Blutdruck, und erreichen ihr Maximum beim diastolischen Blutdruck. Die Gefäßweite variiert zwischen der völligen Öffnung während der Systole und dem kompletten Verschluss in der Diastole. Die Arterie bleibt auch während der Diastole geöffnet, wenn der Manschettendruck noch weiter abfällt, und die Pulsationen werden kleiner. Um diese pulsierenden Druckschwankungen der Arterie messbar zu machen, wird ein elastisches Manometer benutzt. Der Signalaufnehmer ist bei den neueren Geräten nicht mehr in der Manschette integriert, so dass das Anlegen deutlich einfacher ist. Hinzu kommt, dass der mittlere arterielle Druck als Maximum der Pulswelle gesehen wird und nicht mehr der diastolische arterielle Druck (DAP) (EGNER et al., 2007).

In physiologischen Blutdruckbereichen messen die oszillometrischen Geräte relativ zuverlässig, stellten ERHARDT und HENKE (2004) fest. Allerdings nimmt der Messfehler mit steigendem Blutdruck zu, da der für die Oszillometrie auswertbare Pulsdruck eine höhere Amplitude aufweisen muss als für den Doppler. Die Extremitäten beziehungsweise Schwanz oder Schweif dürfen während der Messung nicht belastet oder bewegt werden, da Muskelkontraktionen ebenfalls zu Oszillationen führen und dies Artefakte zur Folge hat (EGNER et al., 2007).

CARR (2007) beschrieb die Oszillometrie als verlässliche Möglichkeit der Blutdruckmessung beim Hund, jedoch nicht bei der Katze. WERNER et al. (1977) stellten während ihrer Versuche fest, dass sich die Beine eines stehenden Tieres als Messextremität nicht eignen, da durch die Balancebewegungen größere Impulse auf die Manschette übertragen werden als durch die arterielle Pulsation. Bei Messungen am Schwanz entstehen Artefakte, wenn dieser angedrückt wird, so dass er gegebenenfalls von einer Hilfsperson gehalten werden muss.

Oszillometrische Methode beim Pferd

Mit der Methode der oszillometrischen Blutdruckmessung wurden sowohl Untersuchungen in Narkose (FRITSCH und BOSLER, 1985; GIGUÈRE et al., 2005; LATSHAW et al. 1979) als auch an stehenden Pferden durchgeführt (PICCIONE et al., 2009; FRITSCH und HAUSMANN, 1988; LATSHAW et al. 1979). Die oszillometrische Messmethode bietet den Vorteil, dass sie zwischen systolischem, diastolischem und mittlerem arteriellen Druck unterscheiden kann. Die anderen indirekten Methoden liefern keinen MAP (MAGDESIAN,

2004).

PICCIONE et al. (2009) sowie FRITSCH und HAUSMANN (1988) untersuchten den systolischen und diastolischen Blutdruck bei stehenden Pferden mithilfe des oszillometrischen Apparates Argus TM - 7 (*Schiller, Baar, Switzerland*) beziehungsweise mit dem Dinamap Research Monitor 1255 (*Fa. Criticon*) und einer Schweifmanschette. Im Gegensatz zu den meisten anderen Untersuchern hatten sie dabei die Schweifrübe geschoren. Mithilfe ihrer Messergebnisse reflektierten sie den Einfluss des endogenen zirkadianen Rhythmus (PICCIONE et al., 2009). Die Messungen an der Schweifrübe wurden von FRITSCH und HAUSMANN (1988) mit einer direkten Blutdruckkontrolle an der Arteria carotis verglichen. Sie ergaben zuverlässige Messwerte im physiologischen Druckbereich (≤ 160 mmHg), allerdings ein Versagen bei Drücken über 180 mmHg. Medikamentös wurden bei vier Pferden Blutdruckschwankungen ausgelöst, die das Ergebnis lieferten, dass bei rasch ansteigendem Blutdruck die zeitliche Verzögerung des Gerätes für eine exakte Messung zu groß ist. Außerdem ist bei einem unregelmäßigen oder ungleichmäßigen Puls keinerlei oszillometrische Messung mehr möglich (FRITSCH und HAUSMANN, 1988).

Für die Blutdruckmessungen wurden von GIGUÈRE et al. (2005) passende Cuffs um die Schweifrübe und jeweils um eine Vorder- und eine Hintergliedmaße gelegt. Mit der Lithium-Dilutions-Methode wurde zudem noch das Herzauswurfvolumen bestimmt. Die Fohlen durchliefen während der Narkose sowohl eine normotone als auch eine hypo- und eine hypertone Phase. Die oszillometrische Methode zeigt im Vergleich mit der invasiven Messmethode keine signifikanten Unterschiede. Allerdings stimmten die Ergebnisse der oszillometrischen und der direkten Methode beim Fohlen deutlich genauer überein als beim adulten Pferd (GIGUÈRE et al., 2005). Von FRITSCH und BOSLER (1985) wurde die Methode der oszillometrischen Blutdruckmessung ebenfalls als gut einsetzbar bei stehenden und narkotisierten Pferden beschrieben. Des Weiteren fanden GIGUÈRE et al. (2005) heraus, dass das Herzauswurfvolumen bei anästhesierten Fohlen nicht mit den Blutdruckwerten korrelierte. Allerdings war in diesem Falle auch keine Korrelation zu erwarten, da der Blutdruck eine geregelte Größe darstellt, an den das Herzauswurfvolumen und der Gefäßwiderstand so angepasst werden, dass der „Sollwert“ des Blutdruckes erreicht wird.

Die Genauigkeit der indirekten oszillometrischen Blutdruckmessung untersuchten verschiedene Autoren bei narkotisierten Pferden: GIGUÈRE et al. (2005) verglichen die zwei automatischen oszillatorischen Monitore Dinamap und Cardell mit der direkten Blutdruckmessung in der rechten Arteria metatarsa dorsalis bei narkotisierten, neugeborenen

Fohlen. In anderen Untersuchungen an sedierten und narkotisierten Pferden wurde das Blutdruckmessgerät nach *Werner* verwendet (FRITSCH und BOSLER, 1985). Dieses nutzt das oszillometrische Prinzip in Kombination mit einer elektronischen Verstärkung und einer digitalen Anzeige zur Überwachung des Kreislaufes.

In ihren Untersuchungen an 22 stehenden und 56 narkotisierten adulten Pferden nutzten LATSHAW et al. (1979) ebenfalls den automatischen oszillometrischen Apparat Dinamap. Sie maßen lediglich den mittleren arteriellen Blutdruck und fanden heraus, dass bei einigen Pferden Drücke bis zu 30 mmHg noch vom Gerät dargestellt wurden und dass bezüglich der Manschettengröße bei einem Cuff/Schweif - Verhältnis von 0,18 - 0,47 ein Messfehler von ± 5 % bei den indirekten Werten auftritt. Dies entspricht einer Cuffweite von $1/5 - 1/2$ des Schweifumfanges.

High definition oscillometry (HDO)

Die neue nichtinvasive Technik der Blutdruckmessung, die High definition oscillometry (HDO), arbeitet ebenfalls nach dem Riva - Rocci - Prinzip, ist jedoch schneller, empfindlicher und genauer. Hierbei werden die Schwingungen der Arterienwand gemessen, und aufgrund der hohen Empfindlichkeit und der Anwendung eines spezifischen Algorithmus kann zwischen prä systolischen Stauungsamplituden und systolischen, diastolischen und mittleren arteriellen Druckwellen sowie Artefakten unterschieden werden (EGNER, 2006). Durch die Echtzeitprogrammierung des Ablassventils wird ein linearer Druckabfall im gesamten Druckbereich (5 - 300 mmHg) ermöglicht. Somit kann das bisherige Problem des begrenzten Linearitätsbereichs (80 - 160 mmHg) überwunden werden (SCHMELTING et al., 2007). Des Weiteren ermöglicht die verstärkende „Gain“ - Funktion eine Blutdruckmessung auch bei sehr schwachem Puls oder sehr kleinen Tieren. Die Ablassrate wird bei dieser Technik in Abhängigkeit von der Pulsrate optimiert und angepasst. Jedes einzelne Signal wird automatisch daraufhin überprüft, ob es sich um ein „echtes“, evtl. sehr schwaches Signal handelt oder um ein Artefakt. Wird das Signal als Artefakt erkannt, wird dieses herausgefiltert und beeinflusst die Messung nicht. Zum Abbruch der Messung führt erst eine zu hohe Anzahl von Artefakten. Somit entspricht der angezeigte Pulswert der Summe aller Herzkontraktionen mit definierter Herzauswurfleistung.

Die oben angeführten Einstellungsparameter können manuell oder automatisch eingestellt werden. Das Gerät analysiert bei der automatischen Einstellung immer die erste Messung, um

eine optimale Voreinstellung zu berechnen.

Die HDO - Geräte können eigenständig oder über ein USB - Kabel in Verbindung mit einem PC beziehungsweise Notebook betrieben werden, was empfohlen wird, da somit eine optische Unterscheidung von Druckamplitude und Artefakt ermöglicht wird. Hinzu kommt die visuelle Darstellung von weiteren Informationen wie Arrhythmien und Schwankungen in der Herzauswurfleistung (EGNER et al., 2007; MITCHELL et al., 2008; SCHMELTING et al., 2009).

Um verlässliche Blutdruckwerte zu erhalten, ist es wichtig, die Messungen systematisch durchzuführen und einem Standard-Protokoll zu folgen. Die Untersuchungen sollten möglichst immer von der gleichen geschulten Person durchgeführt werden und vor der klinischen Untersuchung nach angemessener Akklimatisierungszeit in einer ruhigen Umgebung stattfinden. Die Messposition sollte sich auf Herzhöhe +/- 10 cm befinden. Des Weiteren sollte die Manschette immer an der gleichen Stelle angelegt werden, und zwar so, dass noch ein kleiner Finger zwischen Haut und Manschette passt (ERHARDT et al., 2007). HENIK et al., (2005) empfehlen, folgende Daten zu jeder Messung zusätzlich aufzunehmen: Größe des verwendeten Cuffs, Technik, Untersucher und Besonderheiten (starker Lärm, Tier besonders aufgeregt). Dies erleichtert die Interpretation der Werte. Außerdem plädieren sie dafür, mindestens vier, besser noch sechs aufeinanderfolgende Messungen durchzuführen, den ersten Wert zu verwerfen und aus den verbleibenden fünf einen Mittelwert zu bilden.

Einen Einfluss auf die Genauigkeit der Messungen haben auch die Manschettengröße und insbesondere die Größe des aufblasbaren Cuffs. Allerdings sollte der Cuffgröße auch keine übertriebene Bedeutung als Fehlerquelle zukommen (PARRY et al., 1982; GEDDES et al., 1977). Als das optimale Verhältnis von der Cuffgröße zum Schweifumfang (gemessen an der proximalen Kante des Cuffs) für die Ermittlung des systolischen arteriellen Drucks (SAP) wird von PARRY et al. (1982) 0,339 angegeben. Für den diastolischen arteriellen Druck (DAP) der Wert 0,983. Es wird jedoch angemerkt, dass bei jeder Messmethode ein anderes Cuff/Schweifumfang - Verhältnis erforderlich sein kann, um die genauesten Werte zu liefern.

2.5 Vergleichende Blutdruckmessungen bei Pferden

Bereits MUIR et al. (1983) nutzten einen oszillometrischen Apparat mit anpassbarer Verstärkerfunktion bei stehenden und narkotisierten Pferden zur Blutdruckmessung. An der Arteria facialis und der Arteria metatarsalis dorsalis führten sie vergleichende direkte

Messungen durch. Die beste Korrelation zwischen invasiven und nichtinvasiven Messergebnissen ergab sich bei einer ruhigen Herzfrequenz und einer Einstellung mit hoher Sensitivität. Es zeigte sich, dass die indirekten Werte im physiologischen Bereich gut mit den direkten Werten übereinstimmten. Bei Bradykardie, Sinusarrhythmie, Hypotension oder AV - Blöcken zweiten Grades wurden jedoch keine Ergebnisse mehr geliefert. Vergleichende Messungen werden in Tabelle 1 dargestellt.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für genaue nichtinvasiv ermittelte Messergebnisse ist die passende Manschettengröße, wie GEDDES et al. (1977) bei ihren Untersuchungen an 12 anästhesierten Ponys herausfanden. Sie führten sowohl indirekte oszillometrische Blutdruckmessungen an der Arteria coccygealis medialis als auch direkte Blutdruckmessungen an der Arteria metatarsa durch. Ein zu schmaler Cuff führte dabei zu falsch hohen Werten, während ein zu weiter Cuff zu niedrige Drücke ergab. Bei einem Verhältnis von 4:1 von Schwanzumfang zu der Cuffweite wurden mittels oszillometrischem Prinzip Drücke gemessen, die gut mit den direkten Ergebnissen für den MAP übereinstimmten. Die Cuffweite sollte also ca. $\frac{1}{4}$ des Schweifumfanges betragen.

Tabelle 1: Mit verschiedenen Methoden ermittelte Blutdruckwerte bei Pferden.

Autor	Anzahl Pferde (n)	Mess - lokalisation	Methode	SAP (mmHg)	DAP (mmHg)
PARRY et al. (1980)	18	Arteria coccygealis medialis	Ultraschall- Doppler	117,2 +/- 18,1	84,5 +/- 14,5
JOHNSON et al. (1976)	456	Arteria coccygealis medialis	Ultraschall- Doppler	111,8 +/- 13,3	69,7 +/- 13,8
FRITSCH und HAUSMANN (1988)	26	Arteria coccygealis medialis	Oszillometrie	143,4 +/- 11,4	96,9 +/- 9,2
FRITSCH und BOSLER (1985)	78	Arteria coccygealis medialis	Oszillometrie	149, 8	90,2
FRITSCH und HAUSMANN (1988)	26	Arteria carotis	intraarteriell	150 +/- 15,8	96,9 +/- 9,2

(DAP = diastolic arterial pressure; SAP = systolic arterial pressure)

2.6 Vergleich verschiedener Blutdruckmessmethoden

Vor allem bei Hunden wurden vergleichend direkte und indirekte Blutdruckmessungen durchgeführt (BAUMGARTNER et al., 2009/2010; BODEY et al., 1994; MEURS et al., 1996, 2000; MITCHELL et al., 2010; SAWYER et al., 2004; STEPIEN et al., 2003). Am häufigsten fanden Vergleiche zwischen der invasiven Technik zur Blutdruckmessung und der oszillometrischen Methode statt (BODEY et al., 1994; MEURS et al., 1996; SAWYER et al., 2004; STEPIEN et al., 2003). Außerdem wurde auch das neu entwickelte High Definition Oscillometry Blutdruckmessgerät in Studien bezüglich der Messgenauigkeit im Vergleich mit der intraarteriellen Blutdruckmessung untersucht (MITCHELL et al., 2010; BAUMGARTNER et al., 2009/2010).

In ihrer Studie untersuchen MITCHELL et al. (2010) zwei indirekte Methoden zur Blutdruckmessung im Vergleich zu der telemetrischen Messung sowohl an Primaten (*Macaca fascicularis*) als auch an Hunden (*Beagle*). Für die direkten Messungen wurden bei einem kleinen operativen Eingriff ein EKG und ein Transmitter an die Bauchwand angenäht und ein Katheter in die Aorta abdominalis eingeführt. Für eine kürzere Versuchsdauer war diese Methode gut geeignet, allerdings mussten die Einheiten bei längerer Nutzung recalibriert werden, was jedoch kaum möglich war. Die indirekten Messungen wurden mit einem Cardell Veterinary Monitor 9401 Blood Pressure Machine und einem HDO - gerät „Memo Diagnostic“ an der Schwanzbasis durchgeführt. Medikamentell wurde eine Hypotension ausgelöst und vorher sowie währenddessen Messungen an den Tieren im Wachzustand durchgeführt. Im Unterschied zum HDO - Gerät erkannte der Cardell - Monitor die signifikanten Blutdruckveränderungen zwar beim Hund, nicht jedoch beim Affen. Die mit HDO - Technik bestimmten Werte zeigen darüber hinaus eine bessere Korrelation mit den direkten Werten als die Messwerte der konventionellen oszillometrischen Messungen. Allerdings unterschätzten beide nichtinvasiven Geräte den systolischen, mittleren und den diastolischen Druck, sowohl bei einer Hyper- als auch bei einer Normotension (SAWYER et al., 2004). Während einer Hypotension (< 80 mmHg) lagen die oszillometrisch bestimmten SAP - Werte dabei minimal über den direkten Messwerten (SAWYER et al., 2004). Bei Drücken unter 80 mmHg sank die Genauigkeit der oszillometrischen Messungen, während sie die größte Genauigkeit bei Drücken zwischen 80 und 100 mmHg zeigte (MEURS et al., 1996). STEPIEN et al. (2003) fanden bei vergleichenden Untersuchungen invasiver Blutdruckmessungen mit einem oszillometrischen Blutdruckmessgerät und einem Ultraschall - Doppler heraus, dass die zwei Möglichkeiten der indirekten Blutdruckdarstellung zur Detektion einer systolischen Hypertension (> 160 mmHg) beim Hund geeignet waren.

Allerdings korrelierten die Ergebnisse für den diastolischen Blutdruck durch oszillometrische und Ultraschall-Doppler-Messungen nicht gut mit den direkten Werten. Obwohl die systolischen und diastolischen Ergebnisse der direkten und der indirekten Methode signifikant miteinander korrelierten, wies der SAP ($r = 0,895$; $p < 0,001$) eine bessere Übereinstimmung auf als der DAP (BAUMGARTNER et al., 2009/2010). Des Weiteren differierten sowohl der systolische als auch der mittlere und diastolische Blutdruck abhängig von der Messlokalisation. Die Messungen am Metatarsus lieferten beim Hund die genauesten Ergebnisse (SAWYER et al., 2004). Die beste Korrelation der Ergebnisse der indirekten und direkten Messungen bestand in anderen Untersuchungen an der Messlokalisation Schwanz ($r = 0,76$) und an der Arteria metatarsa (proximal $r = 0,69$; distal $r = 0,66$). Die Richtigkeit der erhaltenen Werte war an der proximalen Hintergliedmaße am größten, während die Präzision am Schwanz am besten war (BODEY et al., 1994). Zwischen den verschiedenen Gewichtsklassen konnte bei den Hunden jedoch kein signifikanter Unterschied ausgemacht werden (MEURS et al., 1996).

Ein weiterer Vorteil der HDO - Technik gegenüber der direkten Messmethode ist die Möglichkeit auch den diastolischen Druck messen zu können, während dieser mit der invasiven Methode lediglich errechnet wird (BAUMGARTNER et al., 2009/2010). Dies stellte laut BAUMGARTNER et al. (2009/2010) einen limitierenden Faktor für die invasive Messtechnik dar. Die Methode der direkten Blutdruckmessung wurde jedoch trotz möglicher technischer Fehlerquellen von BODEY et al. (1994) als Goldstandard beurteilt.

2.7 Herzerkrankungen beim Pferd

Bei Pferden kommen im Bereich der kardialen Erkrankungen am häufigsten Herzklappeninsuffizienzen und Herzarrhythmien vor. Der Zusammenhang zwischen Herzerkrankungen und Blutdruckveränderungen ist jedoch bisher beim Pferd noch nicht untersucht worden.

2.7.1 Herzklappenerkrankungen

Man unterscheidet bei den Herzklappenerkrankungen zwischen angeborenen und erworbenen Erkrankungen sowie zwischen Insuffizienzen und Stenosen, wobei stenotische Veränderungen der Klappen beim Pferd sehr selten vorkommen. Meist liegt der Erkrankung eine chronisch -

entzündliche Veränderung der Herzklappen zu Grunde. Diese führt zu einer bindegewebigen Verdickung der Segel und bewirkt eine Retraktion, die eine Schlussunfähigkeit zur Folge hat. Durch die Insuffizienz entsteht ein retrograder Blutfluss, der zu einer erhöhten Volumenbelastung der Herzabschnitte führt, die vor der jeweiligen Klappe liegen (GEHLEN et al., 2010; FEY und VERTER, 2006).

Die Mitralklappeninsuffizienz stellt die häufigste Klappenerkrankung (35% aller mit Herzinsuffizienzen vorgestellten Pferde) beim Warmblüter dar (GEHLEN et al., 2010). Durch den mangelhaften Schluss der Mitralklappensegel kommt es während der Kammer systole zu einem pathologischen Rückfluss aus dem linken Ventrikel in das linke Atrium. Durch die Zunahme des Blutvolumens in dem linken Vorhof und im linken Ventrikel kann es zu einer Vorhofdilatation und Ventrikelhypertrophie kommen. Die Dilatation des Atriums wiederum kann eine mögliche Ursache für Vorhofflimmern darstellen (FEY und VERTER, 2006). Häufig wird von einer Belastungsintoleranz der betroffenen Pferde berichtet. Wenn es zum Rückstau des Blutes in die Lunge kommt, entwickeln sich ein Lungenödem sowie eine sekundäre Rechtsherzinsuffizienz, und man spricht von einer dekompensierten Mitralklappeninsuffizienz. Therapeutisch besteht die Möglichkeit, ACE-Hemmer oder Herzglykoside einzusetzen (GEHLEN et al., 2010).

Bei Vollblütern und Pferden über 10 Jahren wird häufig eine Aortenklappeninsuffizienz diagnostiziert, die oft ohne klinische Symptome und Leistungsbeeinträchtigung ist. Durch den Rückfluss während der Diastole kann es zu einer Dilatation oder Hypertrophie des linken Ventrikels kommen. Die Erkrankung schreitet nur langsam voran (FEY und VERTER, 2006).

Eine Insuffizienz der Trikuspidalklappe kommt bei Sportpferden häufiger vor, allerdings geht sie meist ohne pathologische Veränderungen der Klappensegel einher. Klinisch ist ein positiver Venenpuls auffällig (GEHLEN et al., 2010; FEY und VERTER, 2006). Aufgrund der Tatsache, dass die Wand der rechten Kammer im Vergleich zur Wand der linken Kammer deutlich dünner ist, führt der Blutrückfluss in den rechten Vorhof eher zu einer Kammerdilatation als zur Hypertrophie (FEY und VERTER, 2006).

Insuffizienzen der Pulmonalklappe kommen sehr selten vor, am ehesten im Zusammenhang mit einer pulmonalen Hypertension und einer Linksherzinsuffizienz (FEY und VERTER, 2006).

2.7.2 Arrhythmien

Beim Vorhofflimmern handelt es sich um eine Reizbildungsstörung des Vorhofmyokards, die im EKG als Flimmerwellen bei fehlenden P - Zacken, unregelmäßig auftretenden QRS - Komplexen und undulierender Nulllinie sichtbar wird. Es ist die beim Pferd am häufigsten vorkommende pathologische Arrhythmie mit einer geschätzten Inzidenz von 2,5 % (GEHLEN und STADLER, 2010). Die Ursache dieser Erkrankung ist häufig idiopathisch, insbesondere bei großen Pferden mit physiologischerweise großen Vorhöfen. Es kann aber auch die Folge einer Dilatation des linken Vorhofes aufgrund einer Klappeninsuffizienz (insbesondere Mitralklappeninsuffizienz) sein. Entzündliche, infektiös bedingte oder degenerative Herzerkrankungen können ebenfalls diese Form der Arrhythmie zur Folge haben. Temporär kann sie auch bei Elektrolytstörungen und Hypoxien auftreten. Therapeutisch kann eine Kardioversion mit dem Klasse 1A - Antiarrhythmikum Chinidinsulfat versucht werden. Der Erfolg liegt bei ca. 80 %, jedoch mit einer Rezidivrate von 60 % (FEY und VERTER, 2006). Das Chinidin wirkt direkt auf die Ionenströme, verlangsamt so die Herzfrequenz und bewirkt ein Umspringen in den Sinusrhythmus (UNGEMACH, 1994). Außerdem besitzt es anticholinerge Wirkung, die zu einer Verringerung des Vagustonus und einer Beschleunigung der atrioventrikulären Überleitung führt (PLUMB 1999; UNGEMACH, 1994).

Des Weiteren wird zwischen Vorhof - und Ventrikelextrasystolen unterschieden. Beide fallen vorzeitig in den physiologischen Herzrhythmus ein, wobei den häufiger vorkommenden Vorhofextrasystolen weniger Bedeutung beigemessen wird als den Kammerextrasystolen (GEHLEN et al., 2010). Ursächlich kann eine Herzdilatation, Herzmuskelerkrankung, Volumenüberlastung oder eine andere kardiale Veränderung zu Grunde liegen. Allerdings können ebenso Lungenerkrankungen, Koliken, Intoxikationen, Elektrolytverschiebungen und andere Auslöser dieser Arrhythmien sein (GEHLEN et al., 2010).

Vorhofextrasystolen stellen sich auskultatorisch als partielle Herzarrhythmie mit einem verkürzten diastolischen Intervall, jedoch meist ohne kompensatorische Pause dar. Verursacht werden sie durch eine pathologische Impulsbildung im Vorhofmyokard. Kommt es zu einem gehäuften Auftreten, kann ein Leistungsabfall die Folge sein. Solange keine zusätzlichen Herzbefunde vorliegen, kann eine günstige Prognose gestellt werden (GEHLEN et al., 2010).

Im Unterschied zu den Vorhofextrasystolen liegt den ventrikulären Extrasystolen eine pathologische Reizgebung im Ventrikelmyokard zu Grunde. Im Gegensatz zu den atrialen Extrasystolen folgt auf die in der Kammer entstandenen meist eine kompensatorische Pause, die man im EKG erkennen kann. Des Weiteren stellen sich die QRS - Komplexe bizarr

verformt dar. Das Auftreten von Ventrikelextrasystolen sollte immer als pathologisch gewertet werden (GEHLEN et al., 2010).

2.8 Zusammenhang zwischen Herz - und Kreislauferkrankungen und Blutdruck

2.8.1 Herzerkrankungen

Zu Beginn einer Herzinsuffizienz kommt es zur Katecholaminfreisetzung aus dem Nebennierenmark und zu einer Aktivierung des Renin-Angiotensin-Aldosteron-Systems. Dies führt sowohl beim Menschen als auch bei Tieren zunächst zu einem hypertonen Stadium, das dann in ein "normotones" (oder zumindest so erscheinendes) und später in ein hypotones Stadium übergeht (EGNER et al., 2007). Über die Messung der Sauerstoffsättigung im Blut und dem Dehnungsgrad der Gefäße erkennen Chemo- und Pressorezeptoren die verminderte Herzauswurfleistung und setzen eine "Kompensationskaskade" in Gang. Am Herz steigen die Schlagfrequenz, das Schlagvolumen und somit auch das Herzminutenvolumen an. Mit zunehmend versagendem Herz erschlafft das Myokard und das Herzminutenvolumen fällt ab. In der Peripherie kommt es durch die Aktivierung des Renin-Angiotensin-Systems zu einer Vasokonstriktion und einer Volumenretention, was zu einer erhöhten Vor- und Nachlast am Herzen führt und somit auch blutdrucksteigernd wirkt (HENKE et al., 2007).

2.8.2 Hypertonie

Zu einer Hypertonie kommt es entweder aufgrund einer Erhöhung des Herzminutenvolumens (durch Anstieg der Herzfrequenz und/oder des Schlagvolumens) oder des peripheren Widerstandes (z.B. infolge einer Vasokonstriktion). Eine primäre Hypertonie trägt beim Menschen nicht nur zur Schädigung des Herzens bei, sondern führt auch zu einer erhöhten Mortalität durch Gefäßerkrankungen (FROLICH und TARAZI, 1979). Bei Hunden und Katzen gibt es keine primäre Hypertonie, sondern lediglich erhöhten Blutdruck, dem eine Primärerkrankung zu Grunde liegt (sekundäre Hypertonie) (KRAFT et al., 2007). Unter körperlicher Belastung kann der arterielle Blutdruck bei Pferden im Extremfall bis auf das Dreifache ansteigen (KRZYWANEK, 2006). Es liegen jedoch keine Berichte über pathologische Hypertonien bei Pferden vor.

In der Humanmedizin handelt es sich bei der Hypertonie häufig um eine Primärerkrankung, die wegen der Anpassung der Pumpkraft des Herzens an den erhöhten Widerstand eine

Linksherzhypertrophie nach sich zieht. Dabei kommt es nicht zu einer quantitativen Zunahme der Myokardzellen, sondern zu einer Größenzunahme der einzelnen Zellen (Remodelling). Ursächlich hierfür kann eine Drucküberlastung infolge systemischer Hypertonie oder eine Volumenüberlastung auf Grund einer hochgradigen Aorteninsuffizienz sein (STEPIEN, 2007). Es gibt drei Stadien der Hypertrophie (ADAMS et al., 1981):

- 1) Bei beginnender Hypertrophie übersteigt die Arbeitslast das Leistungsvermögen des Herzens.
- 2) Während des kompensatorischen Stadiums ermöglicht die hervorgerufene Größenzunahme noch eine normale Funktion, allerdings können die Erschlaffung während der Diastole und die Funktion der Koronargefäße bereits subklinisch eingeschränkt sein.
- 3) Zur finalen Herzinsuffizienz und somit verminderten Leistungsfähigkeit kommt es durch das eingeschränkte Füllungs- und Kontraktionsvermögen.

Ein erster Stimulus für eine Hypertrophie der Myokardzellen ist stets eine vermehrte Dehnung des Myokards und/oder erhöhte Wandspannung, die von den Mechanorezeptoren erkannt wird und eine Kaskade in Gang setzt, die das Zellwachstum beeinflusst. Es kommt zu einer vermehrten mRNA-Transkription, einem verminderten Proteinabbau. Dieser Kompensationsmechanismus birgt die Problematik, dass das hypertrophe Myokard deutlich empfindlicher gegenüber ischämischer Schädigung ist. Außerdem kommt es durch die Synthese kollagener Fasern zu einem Elastizitätsverlust und damit zu einer progressiven Erweiterung des Atriums.

Die Myokardhypertrophie entwickelt sich also bei Hypertonie als Folge einer erhöhten Nachlast des linken Ventrikels durch neuronale oder humorale Aktivierung oder eine gleichzeitig vorliegende systemische Erkrankung (STEPIEN, 2007).

2.8.3 Hypotonie

Als Hypotonie bezeichnet man das pathologische Absinken des Blutdruckes. Klinische Anzeichen hierfür sind eine verlängerte kapilläre Rückfüllungszeit, kalte Akren, verminderte oder fehlende Urinproduktion, blasse Schleimhäute und ein schwacher beziehungsweise nicht mehr fühlbarer Puls (HENKE et al., 2007; GASTHUYS und DE MOOR, 2006). Als Ursache liegt meist eine Hypovolämie (z.B. infolge eines Schocks) oder eine Störung in der Mikro -

und Makrozirkulation zu Grunde (HENKE et al, 2007). Allerdings kann das Herz bei einer akuten Hypotonie noch eine mehr oder weniger normale elektrische Aktivität aufweisen. Bei Pferden liegt einer Hypotonie meist eine chirurgische Stimulation des neurovegetativen Nervensystems in der Bauchhöhle während der Narkose zu Grunde (GASTHUYS und DE MOOR, 2006).

2.8.4 Gefäßerkrankungen als Folge einer Hypertonie

Die Verkalkung von arteriellen Gefäßen wird bei Menschen als Folge einer Hypertonie diskutiert und nicht als deren Ursache. Beim Menschen sind lediglich etwa 5% der Hypertonien ursächlich auf eine Primärerkrankung (z.B. der Niere) zurückzuführen. Der ganz überwiegende Anteil der Hypertonien beim Menschen tritt „primär“ oder „idiopathisch“ auf, mit derzeit unbekannter Ursache. Nach mehrjährigem Fortbestand der Hypertonie beobachtet man zunehmend Umbauprozesse in den Gefäßwänden mit Ausbildung von arteriosklerotischen Plaques („Arterienverkalkung“). In Folge dessen, kann es zu tödlich verlaufenden Infarkten des Herzens oder des Gehirns kommen.

In der Humanmedizin wurden schon häufiger Untersuchungen zum Vorkommen von Kalziumablagerungen an Gefäßwänden durchgeführt. Anhand der computertomographischen Befunderhebung kann allerdings nicht zwischen Ablagerungen an der Tunica media und der Tunica intima unterschieden werden. Hierbei deuten Kalzifikationen der Intima eher auf ein kardiales Problem hin, während eine sogenannte Mönckeberg Sklerose (Kalziumablagerungen in der Tunica media) ihre Ursache in metabolischen, Elektrolyt- oder pH-Imbalancen findet. Beim Menschen liegt am häufigsten eine Verkalkung der Koronararterien vor (JENSKY et al., 2010), wohingegen beim Rennpferd vor allem die Arteria pulmonalis betroffen ist (ARROYO et al., 2008). Bei Pferden handelt es sich dabei meistens um eine arterielle Verkalkung in Form einer Mönckeberg Sklerosierung. Im Unterschied zum Menschen, wo primär ältere Individuen betroffen sind, handelt es sich in der Pferdepopulation eher um junge Tiere, die im Rennsport eingesetzt werden. Die beim Pferd kalzifizierten großen Äste der Pulmonalarterie scheinen aufgrund ihres großen Durchmessers und der Elastizität besonders anfällig zu sein. Es gibt gehäuft Hinweise, dass die vaskuläre Kalzifizierung auf einer Interaktion von Promotoren und Inhibitoren beruht. Bei den Untersuchungen an Herzen, Aorten und Pulmonalarterien von 1066 Pferden am Schlachthof fand CRANLEY (1983) häufig Läsionen distal der Bifurkation in beiden Gefäßästen und einige kalzifizierte Ablagerungen an den elastischen Fasern. Es wird eine signifikante Assoziation zwischen Läsionen an der Arteria pulmonalis und der Rasse

Vollblut aufgezeigt. Ätiologisch kommen ein oder mehrere Faktoren in Betracht. Der unter Belastung zunehmende Blutfluss stört möglicherweise das laminare Flussmuster an der Bifurkation und führt durch die Entstehung von Turbulenzen zu Arterienwandbeschädigungen. Bei Pferden wurden bisher keine Untersuchungen durchgeführt, die arterielle Verkalkungen und Blutdruck miteinander in Verbindung bringen, wohingegen beim Menschen die vaskuläre Kalzifizierung als Ursache für systolische Hypertension gesehen wird (JENSKY, 2010). In der Humanmedizin werden des Weiteren Unterschiede bezüglich des systolischen Blutdruckes, Alter, Puls, Rauchen und Hypertension zwischen Patienten mit und ohne Kalziumablagerungen an Gefäßen festgestellt.

2.9 Dopplersonographische Untersuchungen an peripheren Blutgefäßen

Neben der arteriellen Blutdruckmessung und der Bestimmung des Herzminutenvolumens dient die dopplersonographische Untersuchung an der Arteria digitalis palmaris lateralis der Beurteilung der hämodynamischen Gesamtsituation. Sie ermöglicht eine Quantifizierung des Blutflusses an der Gliedmaße und stellt somit einen peripheren Kreislaufparameter dar (EVANS, 1989; RAISIS et al., 2000).

Mithilfe des sonographischen Dopplers wird die Bewegung von Teilchen (Erythrozyten) durch unterschiedliche Reflektion der Ultraschall-Wellen sichtbar gemacht.

Geschwindigkeitsänderungen der sich bewegenden Teilchen führen zu Frequenzänderungen, dem sogenannten Dopplereffekt (KÖHLER, 1989). Dieser wird durch drei Faktoren bedingt (BROWN, 1975; HATLE und ANGELSEN, 1985):

1. der Winkel zwischen Sender und Empfänger
2. die Bewegungsrichtung
3. die Bewegungsgeschwindigkeit

Graphisch wird die Geschwindigkeit im Diagramm gegen die Zeit aufgetragen (Velocity Time Integral) und als Wellenform dargestellt (WEYMAN, 1994). Diese zeigt das Ergebnis diverser physiologischer Faktoren wie der Herzfunktion, des arteriellen Muskeltonus und des vaskulären Widerstandes in der Peripherie, die die Blutflussgeschwindigkeit beeinflussen (RAISIS et al., 2000). Es wird somit sowohl quantitativ als auch qualitativ Auskunft über den Blutfluss und die ihn beeinflussenden Faktoren gegeben.

2.9.1 Durchführung der Gefäßdoppleruntersuchung

In den bisher durchgeführten Versuchen zur peripheren Gefäßdoppleruntersuchung wurde ein 10 MHz Linearschallkopf verwendet, mit dem man mit möglichst geringem Druck das Gefäß so zirkulär wie möglich darstellte. Zur Messung der Blutflussgeschwindigkeit wurde der Cursor in das Zentrum des Gefäßes gelegt, wobei das Messtor das Gefäß über die gesamte Breite erfassen sollte, da die Blutflussgeschwindigkeit im Zentrum höher ist als im Marginalbereich (MENZIES - GOW und MARR, 2007). Zur Verhinderung von Messfehlern sollte der Winkel α zwischen den ausgesandten Dopplerwellen und dem Blutfluss unter 60 Grad liegen (TAYLOR und HOLLAND, 1990). Ansonsten kann eine automatische Winkelkorrektur genutzt werden (REEF et al., 1989). Bei Verwendung des pulsed wave (PW)-Dopplers versucht man mindestens fünf aufeinanderfolgende Kurven aufzuzeichnen. Außerdem sollten während der Systole drei kurze - Achse - Messungen durchgeführt werden, um den Gefäßdurchmesser manuell zu bestimmen (MENZIES - GOW und MARR, 2007). Da an viele Geräte bei Benutzung dieser Sonde kein EKG angeschlossen werden kann, wird die maximale Weite des Arterienlumens als das Ende der systolischen Herzphase angegeben und die minimale Weite des Arterienlumens als das Ende der diastolischen Herzphase. Von MENZIES - GOW und MARR wurden auch Messungen mit dieser Methode an der Arteria digitalis palmaris lateralis an stehenden nicht sedierten Pferden durchgeführt. Die meisten Pferde tolerierten die Messungen im Bereich des Fesselgelenkes sehr gut, und es wurden quantitative Messungen mit guter Reproduzierbarkeit und minimaler Variabilität geliefert. Die Technik ist sensitiv genug, um klinisch signifikante Veränderungen aufgrund physiologischer oder pathologischer Zustände zu erkennen und darzustellen. Die Variabilität hat drei verschiedene Ursachen:

1. gefäßintrinsische Faktoren
2. Abhängigkeit vom Ultraschall - Equipment
3. technische Einflussfaktoren

Alle Messungen wurden retrospektiv anhand gesammelter Daten durchgeführt (MENZIES - GOW und MARR, 2007).

2.9.2 Blutflussparameter

Zu den Blutflussparametern der Gefäßdoppler-Untersuchung gehören die mittlere Geschwindigkeit t_{mean} , die systolische (SPV) und die diastolische (DPV) Maximalgeschwindigkeit, die enddiastolische Flussgeschwindigkeit (EDV) sowie das Blutflussvolumen pro Minute (BFV/min). Außerdem werden der Gefäßdurchmesser und der Resistance - Index (RI) zur Beurteilung des peripheren Gefäßwiderstandes ermittelt. Um genaue Messwerte, vor allem von der mittleren Geschwindigkeit t_{mean} , zu erhalten, muss das Messtor das gesamte Gefäßlumen erfassen. Die Forderung, dass sich die Bandbreite der zu einem bestimmten Zeitpunkt auftretenden Blutflussgeschwindigkeiten im Gefäßlumen in einem möglichst repräsentativen Frequenzspektrum der Pulskurve widerspiegeln, wird mit dem Begriff „uniform insonification“ erfasst (EVANS, 1985; GILL, 1985; ZIERLER et al. 1992).

Der dimensionslose Resistance - Index (RI) wird zur Bestimmung der Blutfluss - Resistance verwendet. Der Resistance - Index dient der Beurteilung des Gefäßwiderstandes, zum Beispiel beim kaninen Glaukom (GELATT - NICHOLSON et al., 1999) oder bei der Überwachung einer antihypertensiven Therapie (KÄLLBERG et al., 2003). Es besteht dabei jedoch keine signifikante Beziehung zwischen dem systolischen Blutdruck, der Herzfrequenz und dem Resistance - Index (NOVELLAS et al., 2007). Die Bestimmung der Blutflussgeschwindigkeit mittels Doppler ist jedoch durch die Abhängigkeit vom Anschallwinkel beziehungsweise der Doppler-Winkelkorrektur anfällig für Fehler (POULSEN - NAUTRUP et al., 1998). Es wurden daher, um die quantitative Analyse der Dopplerkurve zu objektivieren, verschiedene dimensionslose Indices etabliert. Hierbei werden Blutflussgeschwindigkeiten ins Verhältnis gesetzt und dadurch Fehler der Winkelkorrektur ausgeschaltet.

2.9.3 Ultrasonographische Doppler-Untersuchungen an Blutgefäßen bei Pferden

Ultrasonographische Untersuchungen der Blutgefäße wurden bei Pferden außer an der Arteria digitalis palmaris lateralis (HOFFMANN et al., 2001; PIETRA et al., 2004; WONGAUMNUAYKUL et al., 2006) unter anderem an der Arteria carotis communis (CIPONE et al., 1997), an der Arteria carotis interna, externa und an der Arteria occipitalis (LAGEMANN, 2001), sowie an der Arteria testicularis (POZOR und MC'DONNELL, 2003) durchgeführt.

Gesunde Pferde wiesen bei der ultrasonographischen Doppler - Untersuchung der Arteria digitalis palmaris lateralis Wellenformen unterschiedlicher Morphologie auf. Dahingegen zeigten Pferde, die an einer Hufrehe oder einem Hufabszess erkrankt waren, an dem betroffenen Bein einen low - resistance - Blutfluss (WONGAUMNUAYKUL et al., 2006).

Im Gegensatz zu der Gliedmaße auf der das Körpergewicht lastete, kam es am aufgehobenen Bein zum deutlichen Anstieg der Blutflussgeschwindigkeit, wobei sich das Aussehen der Doppler - Wellenform nicht veränderte. Die Wellenform behielt ihre typische Kontur mit dem systolischen Peak und den mindestens zwei diastolischen Peaks, die von einem enddiastolischen Plateau gefolgt wurden bei (HOFFMANN et al., 2001). In anderen Untersuchungen hatte das auf der Gliedmaße lastende Gewicht lediglich Einfluss auf die diastolische Spitzengeschwindigkeit (DPV) des Blutes. Bezüglich der systolischen Spitzengeschwindigkeit fielen keine signifikanten Unterschiede auf, im Gegensatz zu einer vorhergehenden Studie, wohingegen die DPV bei aufgehobenem Bein (ohne Gewichtbelastung) abnahm (PIETRA et al., 2004).

2.9.4 Ultrasonographische Doppler-Untersuchungen an Blutgefäßen bei anderen Tierarten

Die dopplersonographische Blutflussmessung wurde vor allem bei Hunden durchgeführt (LEE et al., 2004; NOVELLAS et al., 2007). So zeigten Hunde an der Arteria carotis communis, Arteria abdominalis, Arteria iliaca externa und an der Arteria femoralis das Flussmuster eines Hochwiderstandsgebietes, während an der Arteria basilaris ein „low - resistance“ - Flussmuster vorlag (LEE et al., 2004). Des Weiteren wurden Gefäßuntersuchungen mit dem Doppler an sedierten Hunden an der Arteria interlobaris und arcuata der Niere, sowie der Arteria ciliaris posterior longus des Auges durchgeführt (NOVELLAS et al., 2007).

2.10 Herzminutenvolumen als zentraler Kreislaufparameter

Die Bestimmung des Herzminutenvolumens (HMV) stellt in der Humanmedizin eine eingeführte Messgröße dar. Der Parameter Herzminutenvolumen, als Ausdruck der Pumpfunktion des Herzens, besitzt eine zentrale Bedeutung in der Beurteilung der aktuellen Herz - Kreislauf - Situation (RUSHMER, 1963).

Unter dem Schlagvolumen des Herzens versteht man das Blutvolumen, welches von jedem der beiden Ventrikel bei einer Kontraktion ausgestoßen wird. Beim Pferd sind das in Ruhe etwa 1,9 ml/kg Körpermasse. Da beide Ventrikel im Kreislauf hintereinandergeschaltet sind, müssen beide Minutenvolumina annähernd gleich sein (KRZYWANEK, 2006).

Als Herzminutenvolumen bezeichnet man das Blutvolumen, welches in einer Minute aus den Ventrikeln in den Kreislauf gepumpt wird. Als Normwert für ausgewachsene Pferde in Ruhe geben verschiedene Autoren 32 - 40 l/min an (BERGSTEN, 1974; EBERLY et al., 1964; PAULL et al., 1987). Diese Werte wurden mit unterschiedlichen Verfahren ermittelt. Es gibt diverse invasive und nichtinvasive Methoden zur Bestimmung des Herzauswurfvolumens. So kann man das HMV nach dem Fick'schen Prinzip (ZUNTZ und HAGEMANN, 1889) berechnen oder anhand verschiedener Indikatoren mit der Dilutions - Methode (Thermodilution, Lithium - Dilution) bestimmen, wobei es sich bei der Thermodilutionsmethode um das in der Humanmedizin am häufigsten eingesetzte Verfahren handelt (EBERLY et al, 1964; KINKEL, 1993). Außerdem kann das Herzminutenvolumen durch die Messung von Parallelfächen im B - Mode, sowie im M - Mode berechnet werden (SCHILLER et al., 1979). Des Weiteren gibt es die Möglichkeit zur Nutzung der Bioimpedanz (KUBICEK et al., 1974) oder der Pulswellenkonturanalyse (GRAVES et al., 1968; WESSELING et al., 1973).

Das Schlagvolumen des Herzens kann dopplerechokardiographisch sowohl an der Pulmonalarterie als auch an der Aorta bestimmt werden (KINKEL, 1993). Mit dieser Messmethode ist eine sensitive, nichtinvasive Möglichkeit zur HMV - Bestimmung sowohl am stehenden als auch am sedierten Pferd gegeben. Durch die zweidimensionale Darstellungsmöglichkeit und die farbige Flussdarstellung ist die Genauigkeit dieser Untersuchung verbessert worden. Allerdings unterschätzen die an der Arteria pulmonalis ermittelten Messwerte das Herzminutenvolumen (CORLEY et al., 2003). STADLER et al. (1994) hingegen beschrieben die Pulmonalarterie in der langen Herzachse von rechts kranial angeschallt als am besten geeignete Messlokalisation und gaben an, dass die Dopplertechnik im Vergleich zur Thermodilution eine nur geringe Fehlerquote aufwies.

2.10.1 Echokardiographische Bestimmung des Herzminutenvolumens

Das Herzminutenvolumen kann echokardiographische mithilfe des pulsed wave Dopplers bestimmt werden. Bei der pulsed wave (PW) - Doppler-Technik ist im Unterschied zum continuous wave - Doppler (= CW) nur ein Transducer erforderlich, da die Impulse nicht mehr gleichzeitig gesendet und empfangen werden. Es wird erst dann ein neuer Impuls abgegeben, wenn der vorangegangene analysiert worden ist. Die gepulste Doppler - Technik (pulsed wave) ermöglicht eine Aussage über die Tiefe des Gewebes, aus dem die Dopplerverschiebung empfangen wird. Dies erlaubt eine konkrete räumliche Zuordnung hinsichtlich des beobachteten Flussprofils. Diese Technik eignet sich für die Bestimmung langsamer, das heißt physiologischer, Blutflüsse (GEHLEN et al., 2010). Der Bereich unterhalb des systolischen Flussprofils entspricht dem VTI (velocity time integral) und gibt das Schlagvolumen, also den Blutfluss an dieser Stelle pro Herzschlag an (CORLEY et al., 2003).

2.10.2 Fehlerquellen bei der Bestimmung des Herzminutenvolumens

Die Hauptfehlerquelle bei der Bestimmung des Herzminutenvolumens mittels Dopplertechnik liegt nach Meinung einiger Autoren in der Messung des Gefäßdurchmessers (BLISSITT et al., 1997; ERIKSEN et al., 1990; IHLEN et al., 1984;). Es wird von einem gleichmäßig runden Gefäßquerschnitt ausgegangen, der in der Natur jedoch nicht immer gegeben ist (IHLEN et al., 1984). Die höchste Korrelation zwischen dopplerechokardiographisch und thermodilutorisch ermitteltem Herzminutenvolumen wurde bei den Untersuchungen von BLISSITT et al. (1997) erreicht, wenn bei der Bestimmung des Durchmessers der Pulmonalarterie die Wanddicke beidseits miteinbezogen wurde.

Eine weitere Fehlerquelle stellt die gewählte Anschallrichtung dar. Sie hat entscheidenden Einfluss auf die Dopplerverschiebung und ist somit bedeutsam für die Auswertung Doppler - echokardiographischer Untersuchungen. Optimal ist eine Anschallrichtung parallel zum Blutfluss (0°), da dann kein Winkelfehler besteht. Dies ist jedoch nur selten möglich. Je größer die Winkelabweichung von 0° ist, desto größer ist die Beeinflussung der gemessenen Frequenzverschiebung. Es besteht die Möglichkeit der Winkelkorrektur (AC = angle correction), um Messfehler zu vermeiden (GABRIELSEN; 1988; HATLE und ANGELSEN; 1985).

III Material und Methoden

3.1 Probandengut

Es wurden insgesamt 60 Pferde im Alter von 4 bis 31 Jahren (13 ± 6) mit einem Körpergewicht von 330 bis 750 kg (530 ± 80) und einer Größe von 1,42 bis 1,9 m ($1,67 \pm 0,1$) in die Studie eingeschlossen. Insgesamt wurden 35 Wallache, 20 Stuten und 5 Hengste untersucht.

Die Pferde stammten aus dem Patientengut der Klinik für Pferde der tierärztlichen Fakultät der Ludwig - Maximilians - Universität München, dem Haupt - und Landgestüt Schwaiganger sowie der Universitätsreitschule München.

3.1.1 Herzgesunde Pferde

Die Kontrollgruppe bestand aus 30 herzgesunden Pferden (Tab. 2). Es wurden 13 Stuten, 15 Wallache und zwei Hengste untersucht mit einem mittleren Gewicht von 523 kg (± 66), einem durchschnittlichen Alter von 11 Jahren (± 4) und einer mittleren Größe von 1,66 m ($\pm 0,1$) (Tab. 2).

Tabelle 2: Daten der 30 untersuchten herzgesunden Pferde.

Pferd Nr.	Nutzung	Rasse	Alter (Jahre)	Geschlecht	Größe (m)	Gewicht (kg)
1	Freizeit	PRE	19	Hengst	1,56	470
2	Sport	Warmblut	8	Wallach	1,7	560
3	Freizeit	Warmblut	10	Stute	1,7	550
4	Schulpferd	Warmblut	9	Stute	1,63	510
5	Schulpferd	Warmblut	9	Stute	1,7	590
6	Schulpferd	Warmblut	8	Stute	1,7	560
7	Schulpferd	Warmblut	7	Wallach	1,7	540
8	Schulpferd	Warmblut	9	Wallach	1,81	665

9	Schulpferd	Warmblut	7	Wallach	1,68	620
10	Schulpferd	Warmblut	5	Wallach	1,73	565
11	Schulpferd	Warmblut	9	Stute	1,74	620
12	Schulpferd	Warmblut	8	Wallach	1,71	570
13	Schulpferd	Warmblut	10	Wallach	1,72	580
14	Freizeit	Warmblut	5	Wallach	1,75	550
15	Sport	Warmblut	19	Hengst	1,65	500
16	Weide	Traber	13	Stute	1,6	470
17	Weide	Traber	12	Stute	1,68	490
18	Weide	Traber	13	Stute	1,54	450
19	Schulpferd	Warmblut	16	Wallach	1,55	470
20	Schulpferd	Warmblut	15	Stute	1,66	550
21	Schulpferd	Warmblut	12	Wallach	1,68	530
22	Weide	Warmblut	21	Wallach	1,55	500
23	Freizeit	Warmblut	12	Wallach	1,73	600
24	Weide	Haflinger	16	Stute	1,45	380
25	Schulpferd	Warmblut	10	Stute	1,7	490
26	Schulpferd	Warmblut	15	Wallach	1,72	530
27	Schulpferd	Warmblut	10	Wallach	1,6	450
28	Schulpferd	Warmblut	9	Wallach	1,62	460
29	Schulpferd	Warmblut	15	Stute	1,66	420
30	Freizeit	Warmblut	11	Stute	1,65	450

(PRE = Pura Raza Española)

3.1.2 Herzkrankte Pferde

Die Gruppe der herzkranken Pferde bestand aus 30 Tieren, die größtenteils mit Verdacht auf eine Herzerkrankung oder zu einer Kontrolluntersuchung eines zuvor bereits diagnostizierten Herzbefundes in der Pferdeklinik der LMU München vorgestellt wurden. Es wurden sieben Stuten, 21 Wallache und zwei Hengste untersucht mit einem mittleren Gewicht von 533 kg (± 91), einem durchschnittlichen Alter von 14 Jahren (± 7) und einer mittleren Größe von 1,67 m ($\pm 0,1$) (Tab. 3).

Tabelle 3: Daten der 30 untersuchten herzkranken Pferde.

Pferd Nr.	Nutzung	Rasse	Alter (Jahre)	Geschlecht	Größe (m)	Gewicht (kg)	Herz- erkr.
31	Sport	WB	6	Stute	1,58	430	MI
32	Freizeit	WB	10	Wallach	1,75	550	MI
33	Freizeit	WB	16	Wallach	1,72	550	VF
34	Sport	WB	12	Wallach	1,69	520	MI
35	Sport	WB	6	Stute	1,75	610	MI
36	Wiese	WB	21	Wallach	1,5	330	MI
37	Sport	WB	15	Wallach	1,9	750	MI
38	Wiese	Hafl.	29	Hengst	1,45	340	MI
39	Sport	WB	14	Wallach	1,83	700	VF
40	Sport	WB	5	Stute	1,7	500	MI
41	Freizeit	WB	16	Wallach	1,6	500	MI
42	Freizeit	WB	16	Wallach	1,75	645	MI
43	Sport	QH	4	Hengst	1,42	450	VF
44	Wiese	App.	22	Wallach	1,53	470	AI
45	Sport	Polo.	15	Wallach	1,58	460	AI
46	Sport	WB	18	Wallach	1,77	560	VF
47	Schulpfd	WB	7	Wallach	1,72	565	AI

48	Freizeit	WB	18	Wallach	1,67	545	VF
49	Wiese	WB	31	Wallach	1,71	530	AI
50	Freizeit	WB	19	Wallach	1,75	540	AI
51	Freizeit	WB	8	Stute	1,69	510	AI
52	Freizeit	WB	9	Wallach	1,7	530	MI
53	Freizeit	WB	9	Stute	1,56	430	MI
54	Sport	WB	9	Wallach	1,8	570	MI
55	Sport	WB	15	Stute	1,72	560	VF
56	Freizeit	WB	17	Wallach	1,66	480	AI
57	Freizeit	WB	18	Wallach	1,78	580	AI
58	Wiese	WB	16	Stute	1,65	670	AI
59	Freizeit	Friese	16	Wallach	1,6	560	AI
60	Schulpfd	WB	14	Wallach	1,68	560	AI

(App. = Appaloosa, Hafl. = Haflinger, Polo. = Polopony, QH = Quarter Horse, Schulpfd = Schulpferd, WB = Warmblut; AI = Aortenklappeninsuffizienz, MI = Mitralklappeninsuffizienz, VF = Vorhofflimmern)

3.2 Methode

Bei allen Pferden (n = 60) wurde eine klinische Allgemeinuntersuchung, eine spezielle klinische Untersuchung des Herz - Kreislaufsystems sowie eine weiterführende kardiologische Untersuchung durchgeführt. Die echokardiographische Untersuchung wurde dabei mit der B - Mode -, M - Mode - sowie der Doppler - Technik durchgeführt. Bei der elektrokardiographischen Untersuchung wurde eine bipolare Brustwandableitung vorgenommen.

Aufgrund der Ergebnisse der klinischen und echo - beziehungsweise elektrokardiographischen Untersuchungen wurden die Pferde in die herzgesunde oder herzkranke Gruppe eingeteilt. Bei den Pferden mit einer Herzerkrankung erfolgte eine weitere Gruppierung nach Art der Erkrankung. Es wurde dabei zwischen Herzklappeninsuffizienzen (Einteilung nach Schweregraden) und Vorhofflimmern unterschieden.

3.2.1 Anamnese und Allgemeinuntersuchung

Bei allen Pferden wurde ein Vorbericht bezüglich der Haltung und gegebenenfalls des Krankheitsverlaufes erhoben. Die Allgemeinuntersuchung wurde nach dem dargestellten Protokoll (Tab. 4) durchgeführt.

Tabelle 4: Anamnese und Allgemeinuntersuchung.

Name:	Besitzer:	Datum:	Vorbericht:	
Nutzung:		Haltung:		
Signalement				
Rasse:	Geschlecht:	Größe:	Gewicht:	Alter:
Allgemeinuntersuchung				
Haltung/Verhalten:		Ernährungszustand/Pflegezustand:		
Temperatur:		Lnn. mandibulares:		
Schleimhäute:		Kapilläre-Füllungszeit (sek.):		
Episkleralgefäße:		Nasenausfluss:		
Atemfrequenz:		Puls (Frequenz/Qualität):		
Allgemeinbefinden (gestört, ungestört):				

3.2.2 Herz-Kreislauf-System

Zusätzlich wurde bei allen Pferden eine klinische Untersuchung des Herz - Kreislauf - Systems durchgeführt (Tab. 5). Bei der klinischen Herzuntersuchung wurde von der linken und rechten Thoraxseite über den Puncta maxima der Herzklappen und deren Umgebung auskultiert. Es wurden Frequenz, Intensität, Rhythmus und Abgesetztheit der Herztöne sowie mögliche Nebengeräusche untersucht. Die Herznebengeräusche wurden hinsichtlich ihrer Phasenzugehörigkeit, des Punctum maximums, des Klangcharakters und der Lautstärke bewertet.

Tabelle 5: Untersuchung des Herz-/Kreislaufsystems.

Herz-Kreislauf-System				
Venenpuls (negativ, positiv):		Ödeme:		
Herzauskultation:	Frequenz/min.:	Intensität:	Rhythmus:	Abgesetztheit:
Nebengeräusche - keine/vorhanden:		Punctum maximum: Aorten -, Pulmonal -, Mitral -, Trikuspidalklappe		
		Grad 1-6:		

3.3 Standard - echo - und elektrokardiographische Untersuchung

Die echokardiographische Standarduntersuchung beinhaltete eine Untersuchung in B - und M - Mode zur Vermessung der Herzdimensionen und der Myokardkontraktilität, sowie eine Untersuchung aller Herzklappen mit dem Farb - und dem CW - Doppler zur Aufdeckung von Insuffizienzströmen und Bestimmung pathologischer Blutflussgeschwindigkeiten.

Der Ultraschall wurde sowohl von der rechten als auch von der linken Thoraxseite aus durchgeführt (3. beziehungsweise 4. Interkostalraum) (STADLER et al., 1988; STADLER und ROBINE, 1996). Dazu wurden alle Pferde in diesem Bereich beidseits am Thorax rasiert, die rasierten Stellen mit Alkohol entfettet und dann Kontaktgel aufgetragen.

Zur Echokardiographie wurde parallel ein EKG (bipolare Brustwandableitung) aufgezeichnet.

Die standardechokardiographische und - elektrokardiographische Untersuchung diente dem Ausschluss einer Herzerkrankung, beziehungsweise der genaueren Darstellung und Einteilung einer Herzerkrankung.

Sowohl die standardechokardiographischen als auch die - elektrokardiographischen Untersuchungen wurden entweder mit dem transportablen Ultraschallgerät Vivid i (GE Medical Systems) oder dem stationären Gerät Vivid 7 (GE Medical Systems) durchgeführt (Abb. 1a, b). Dabei wurden stets fünf aufeinanderfolgende, artefaktfreie und rhythmische Herzzyklen für die spätere Auswertung aufgezeichnet. Die Daten wurden offline ausgewertet (EchoPac Software Only©, Firma GE Healthcare, Horton, Norway) und der Mittelwert sowie die Standardabweichung aus den fünf Messungen bestimmt.

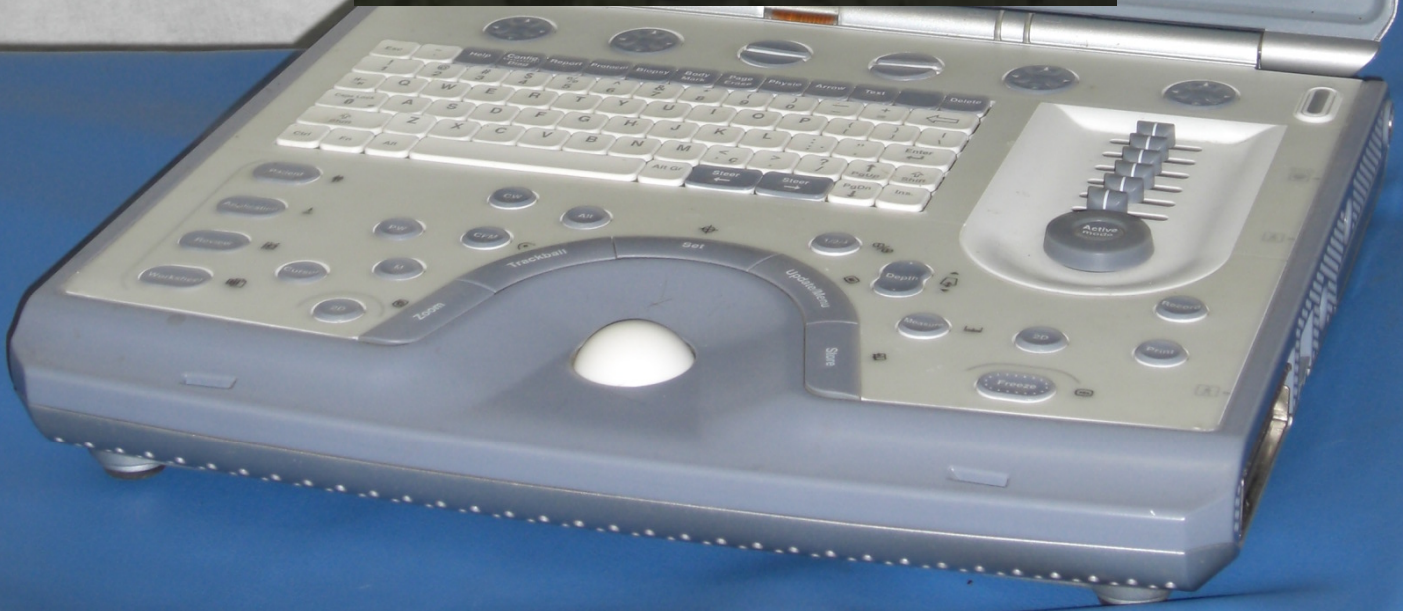


Abb. 1a, b: Das transportable Gerät Vivid i (links) und das stationäre Ultraschallgerät Vivid 7 (Fa. GE Healthcare).

3.3.1 B - Mode Untersuchungen

Die Untersuchungen im B - Mode wurden in verschiedenen Anschallpositionen und einer maximalen Eindringtiefe von 30 cm durchgeführt. Es wurden folgende B - Mode - Messungen zur enddiastolischen Dimensionsbestimmung durchgeführt (Abb. 2 - 6).

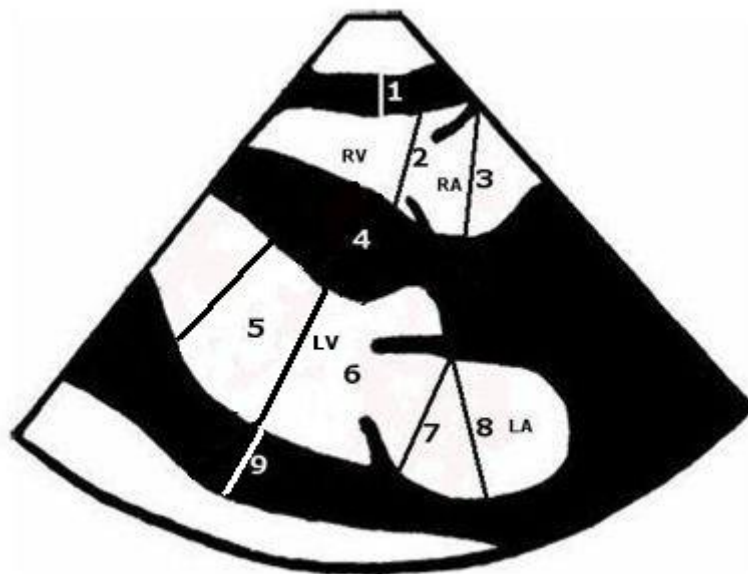


Abb. 2: Echokardiographische Anschall - und Messlokalisationen im B - Mode in der langen Herzachse von rechts kaudal dargestellt (RKDLA).

Abb.2 - 7: Modifizierte Bilder aus der Dissertation von SUNDERMANN, Hannover, 2006

(1: rechte freie Ventrikelwand, 2: rechter Ventrikel (RV), 3: rechtes Atrium (RA), 4: Interventrikularseptum, 5: linker Ventrikel (LV) apexnah, 6: linker Ventrikel unterhalb der Mitralklappe, 7: Durchmesser linkes Atrium auf Mitralklappenebene, 8: linkes Atrium (LA), 9: linke freie Ventrikelwand)

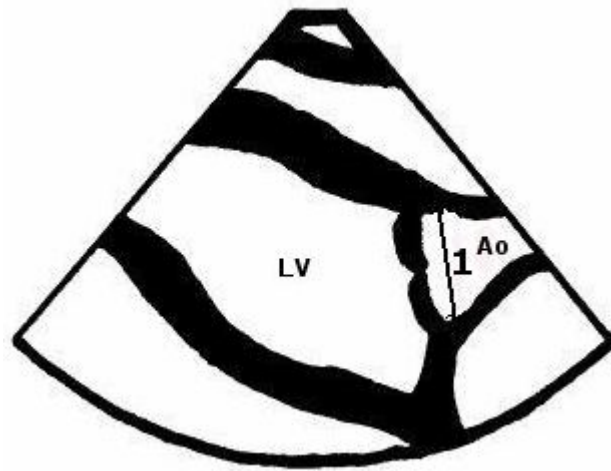


Abb. 3: Echokardiographische Anschlag - und Messlokalisationen im B - Mode in der langen Herzachse von rechts kaudal mit Darstellung der Aorta (RKDLA - AO).

(LV: linker Ventrikel, 1: Aorta (Ao))

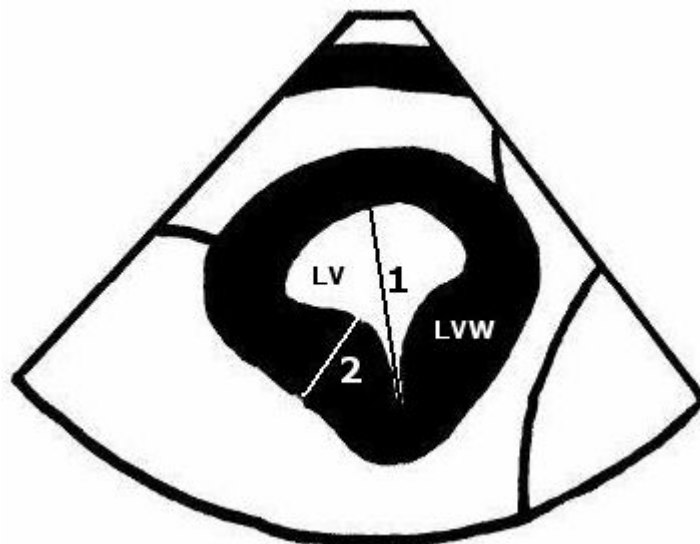


Abb. 4: Echokardiographische Anschlag - und Messlokalisationen im B - Mode in der kurzen Herzachse von rechts kaudal dargestellt (RKDKA).

(1: linker Ventrikel (LV), 2: linke freie Ventrikelwand (LVW))

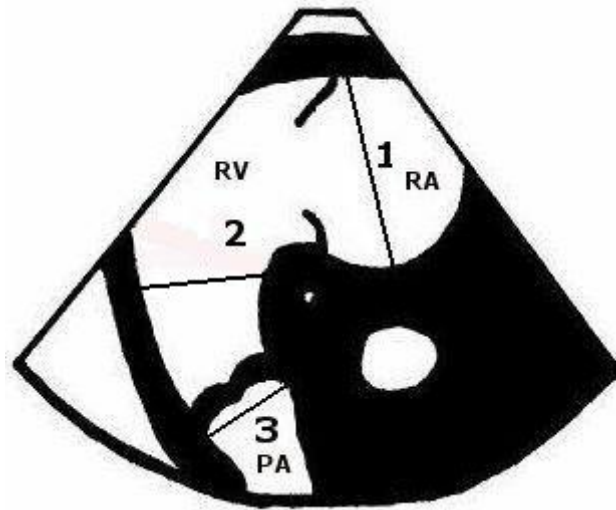


Abb. 5: Echokardiographische Anschall - und Messlokalisationen im B - Mode in der langen Herzachse von rechts kranial dargestellt (RKRLA).

(1: rechtes Atrium (RA), 2: rechter Ventrikel (RV), 3: Pulmonalarterie (PA) oberhalb der Pulmonalklappe)

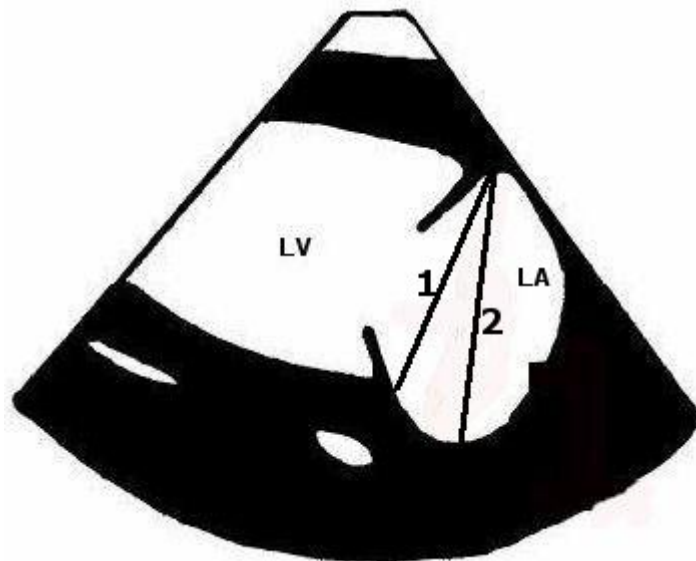


Abb. 6: Echokardiographische Anschall - und Messlokalisationen im B - Mode in der langen Herzachse von links kranial dargestellt (LKDLA).

(LA: linkes Atrium, LV: linker Ventrikel; 1: linkes Atrium auf Mitralklappenebene, 2: linkes Atrium)

3.3.2 M - Mode - Untersuchungen

Der M - Mode wurde im Querschnitt des linken Ventrikels unterhalb der Klappenebene zur Bestimmung der linksventrikulären Verkürzungsfraction durchgeführt (Fractional Shortening (FS %)) (Abb. 7).

Das Fractional Shortening wird nach folgender Formel berechnet:

$$FS (\%) = \frac{LVIDd - LVIDs}{LVIDd} \times 100$$

(LVIDd = left ventricle inner diameter in diastole; LVIDs = left ventricle inner diameter in systole)

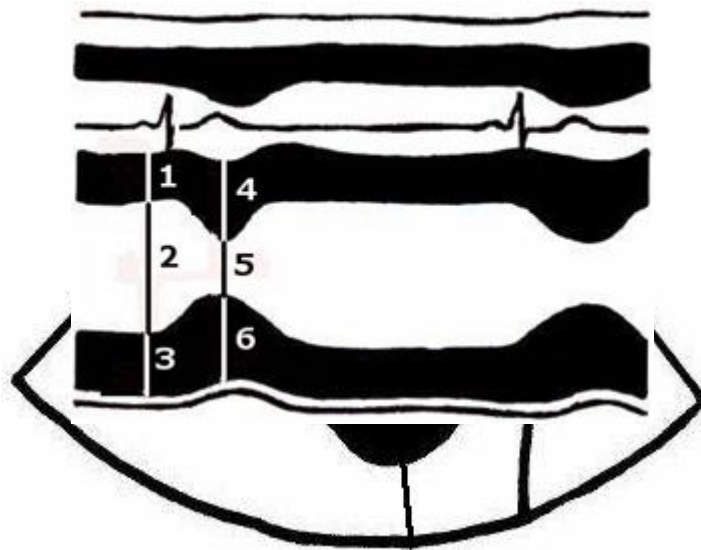


Abb. 7: Echokardiographische Messlokalisation im M - Mode.

(linke Abb.: 1: Cursor durch die RKDKA; rechte Abbildung: 1: Interventrikularseptum (IVS), enddiastolisch; 2: linker Ventrikel (LV), enddiastolisch; 3: linke freie Ventrikelwand (LVW), enddiastolisch; 4: Interventrikularseptum, endsystolisch; 5: linker Ventrikel, endsystolisch; 6: linke freie Ventrikelwand, endsystolisch)

3.3.3 Untersuchungen mit der Farbdoppler-Technik

Im B - Mode wurden die Herzklappen auf Verdickungen und mit der Farbdoppler - Technik auf Rückflüsse untersucht (Abb. 8). Die Farbdoppler - Technik ermöglicht es, Informationen über die Strömungsrichtung des Blutes, die Blutflussgeschwindigkeit und die Lokalisation von Turbulenzen zu erhalten. Blutflussbewegungen, die auf den Schallkopf zukommen stellen sich rot, laminare Bewegungen der Erythrozyten vom Schallkopf weg stellen sich blau dar. Turbulente Strömungen, wie sie bei Klappeninsuffizienzen durch Blutverwirbelungen entstehen, stellen sich gelb oder grün dar.

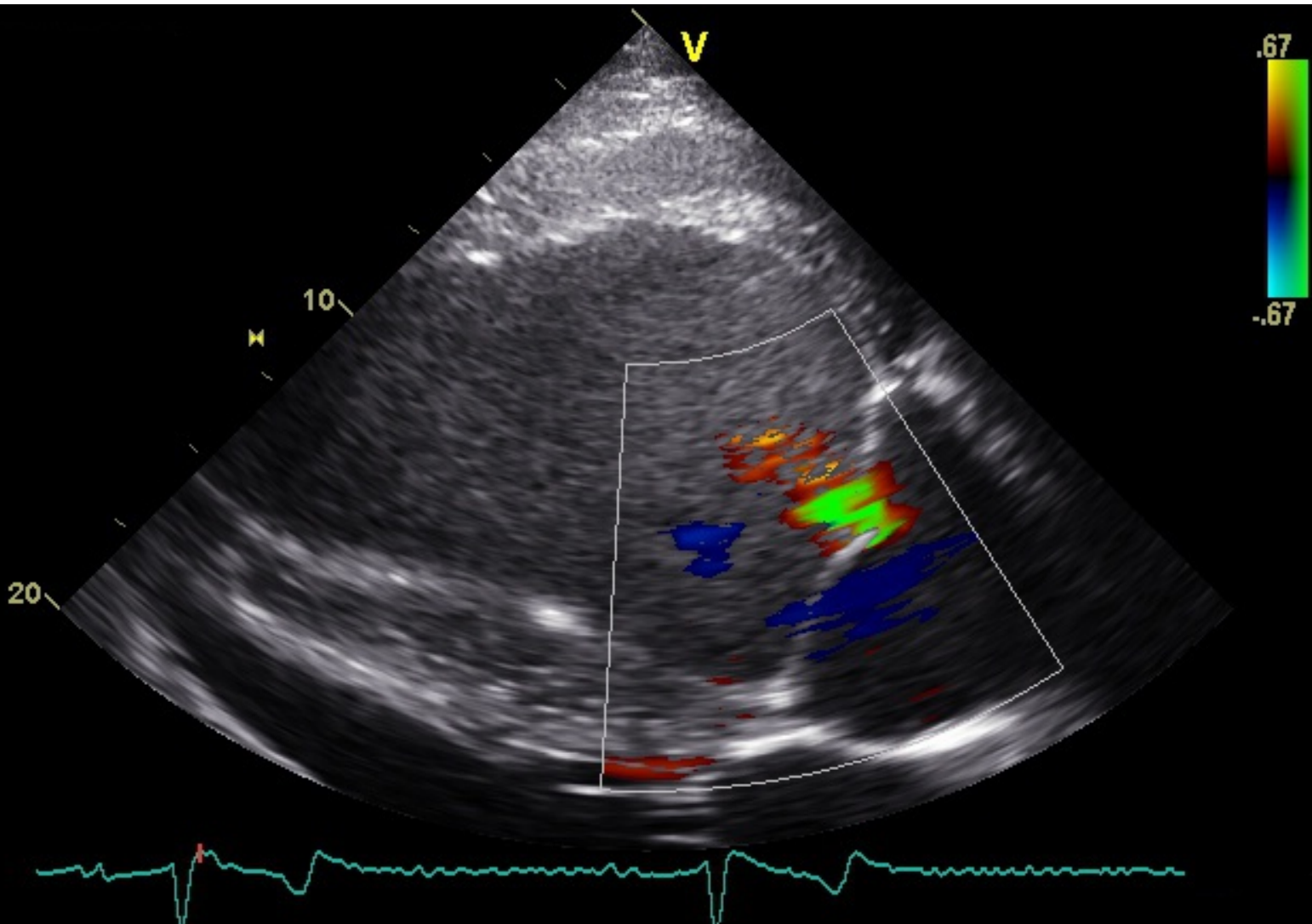


Abb. 8: Farbdoppleruntersuchung an der Aortenklappe.

3.3.4 Einteilung der Pferde in Gruppen

Die Pferde wurden je nach Ergebnis der echokardiographischen und elektrokardiographischen Untersuchung der herzgesunden oder herzkranken Gruppe zugeordnet und in der letztgenannten Gruppe nach Art des Klappenbefundes beziehungsweise des elektrokardiographischen Befundes (Mitralklappen -, Aortenklappeninsuffizienz, Vorhofflimmern) eingeteilt.

3.4 Herzminutenvolumenbestimmung an der Arteria pulmonalis

Als Parameter für die zentrale Durchblutung wurde das Herzminutenvolumen bei den Pferden gemessen. Das Herzminutenvolumen wurde dopplersonographisch an der Pulmonalarterie bestimmt. Dazu wurde das Herz von rechts kranial in der langen Achse (RKRLA) angeschallt und die Messpunkttiefe bei 18 - 22 cm festgelegt. Es wurde versucht, einen optimalen Anschallwinkel für die Doppleruntersuchung zu erreichen, also Blutflussrichtung und Dopplerstrahl möglichst parallel zueinander auszurichten. Das Messvolumen wurde auf Höhe des Schlusses der Pulmonalklappensegel positioniert. Mit Hilfe des PW - Dopplers wurde dann die Flussgeschwindigkeit bestimmt. Der Gefäßdurchmesser auf Höhe der Pulmonalklappe wurde im B - Mode - Bild über fünf Herzzyklen ermittelt (Abb. 9). Die Messungen erfolgten systolisch zwischen den geöffneten Klappen (Abb. 10, 11, 12). Von den Aufzeichnungen wurden für die Messung der verschiedenen Parameter die Sequenzen mit den deutlichsten Flussprofilen und der größten maximalen Geschwindigkeit ausgewählt. Fünf aufeinanderfolgende Herzzyklen wurden ausgewertet und der Mittelwert berechnet.

Nach der Umrechnung eines echokardiographisch darstellbaren Durchmessers in der Pulmonalarterie oder Aorta auf eine Kreisfläche und der anschließenden Multiplikation dieses Flächenwertes mit dem dopplerechokardiographisch abgeleiteten Geschwindigkeits - Zeit - Integral (VTI) war es möglich, eine semiquantitative Durchflussrate zu messen. Das VTI entsprach dem Integral der Dopplerkurve von Beginn bis Ende der Systole/Diastole (FEHSKE, 1988).

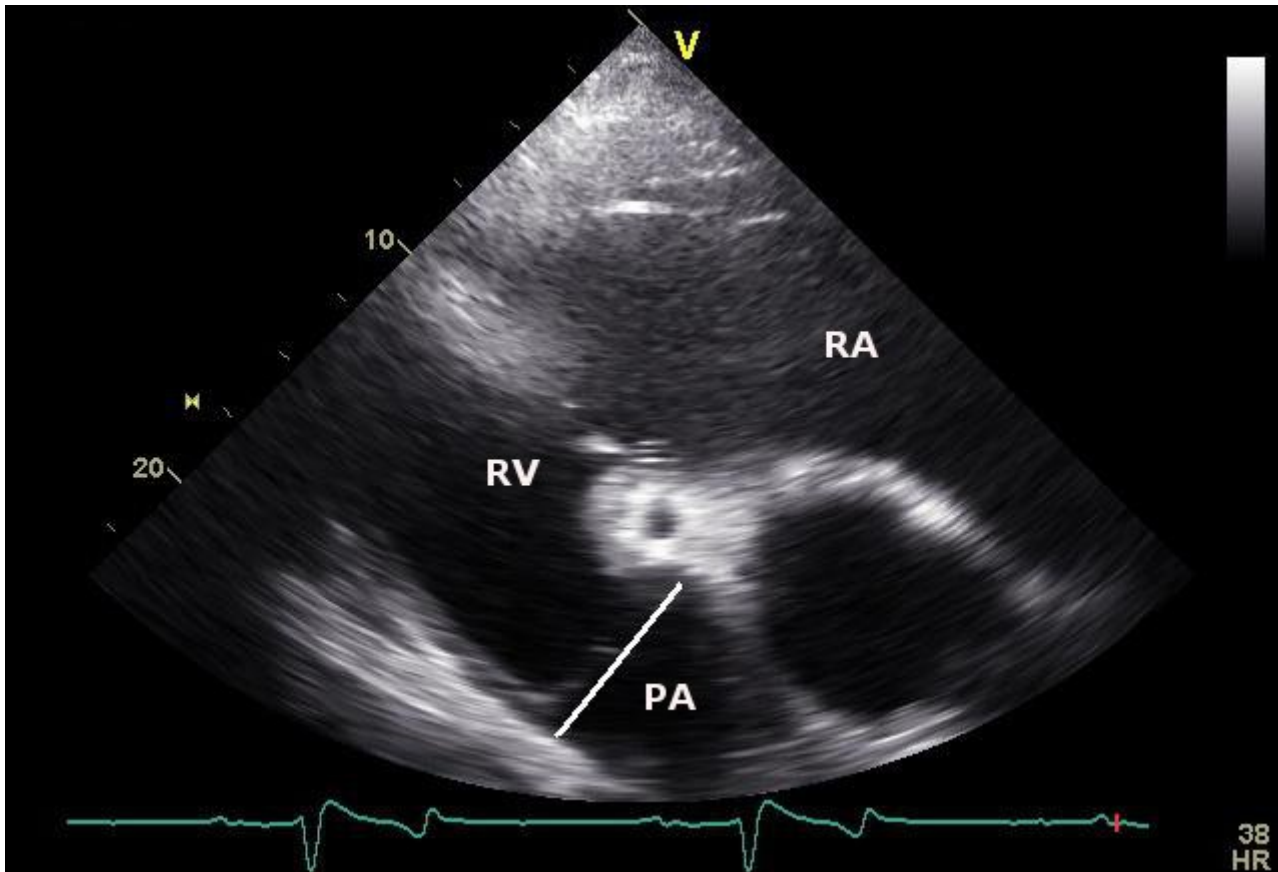


Abb. 9: Bestimmung des Durchmessers der Arteria pulmonalis in der rechten kranialen langen Achse.

Nach der folgenden Formel wurde das Herzminutenvolumen (HMV) berechnet:

$$\text{HMV} = (D/2)^2 \times \pi \times \text{VTI} \times \text{HF} \quad [\text{l}/\text{min}]$$

D = Gefäßdurchmesser

VTI = Velocity time integral

HF = Herzfrequenz

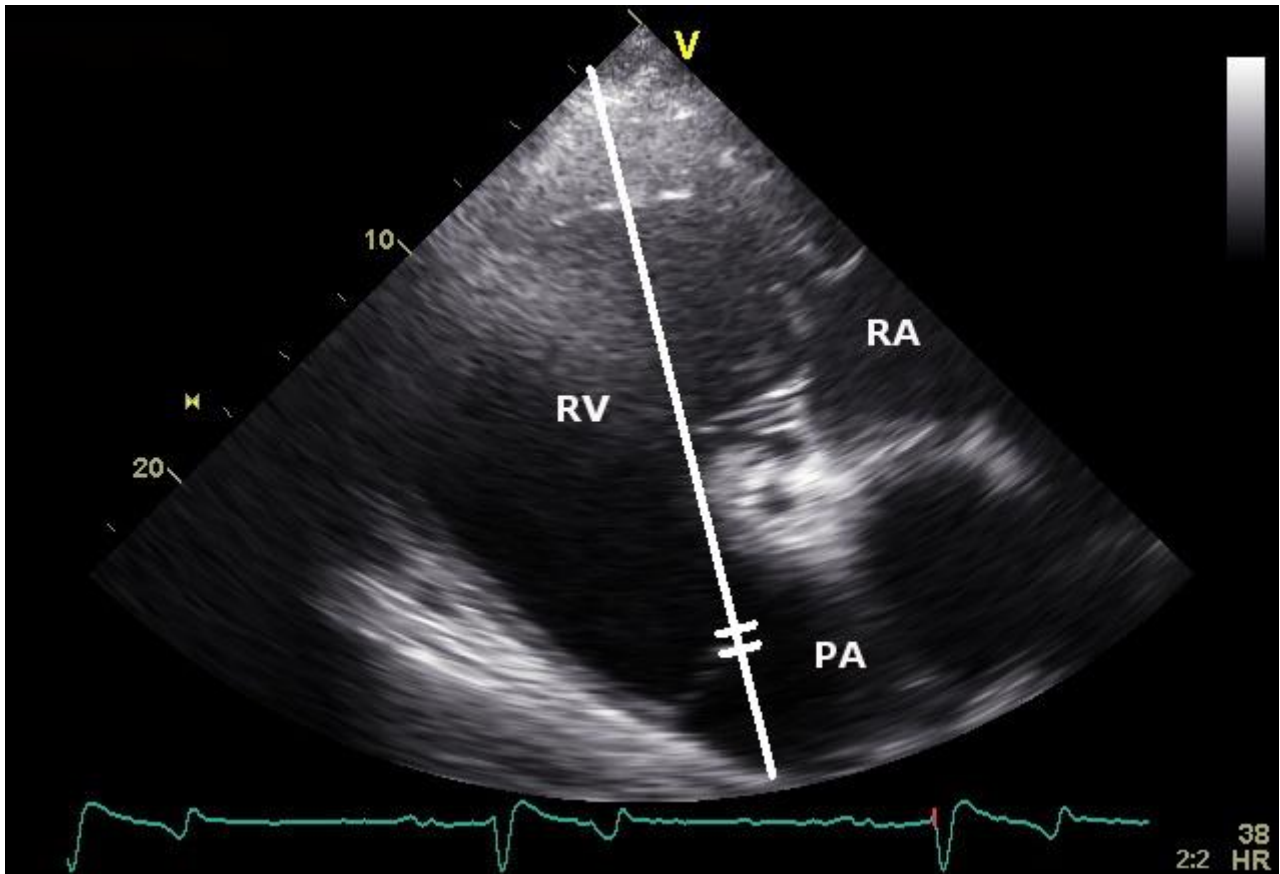


Abb. 10: B - Mode der rechten kranialen langen Achse mit Cursor.

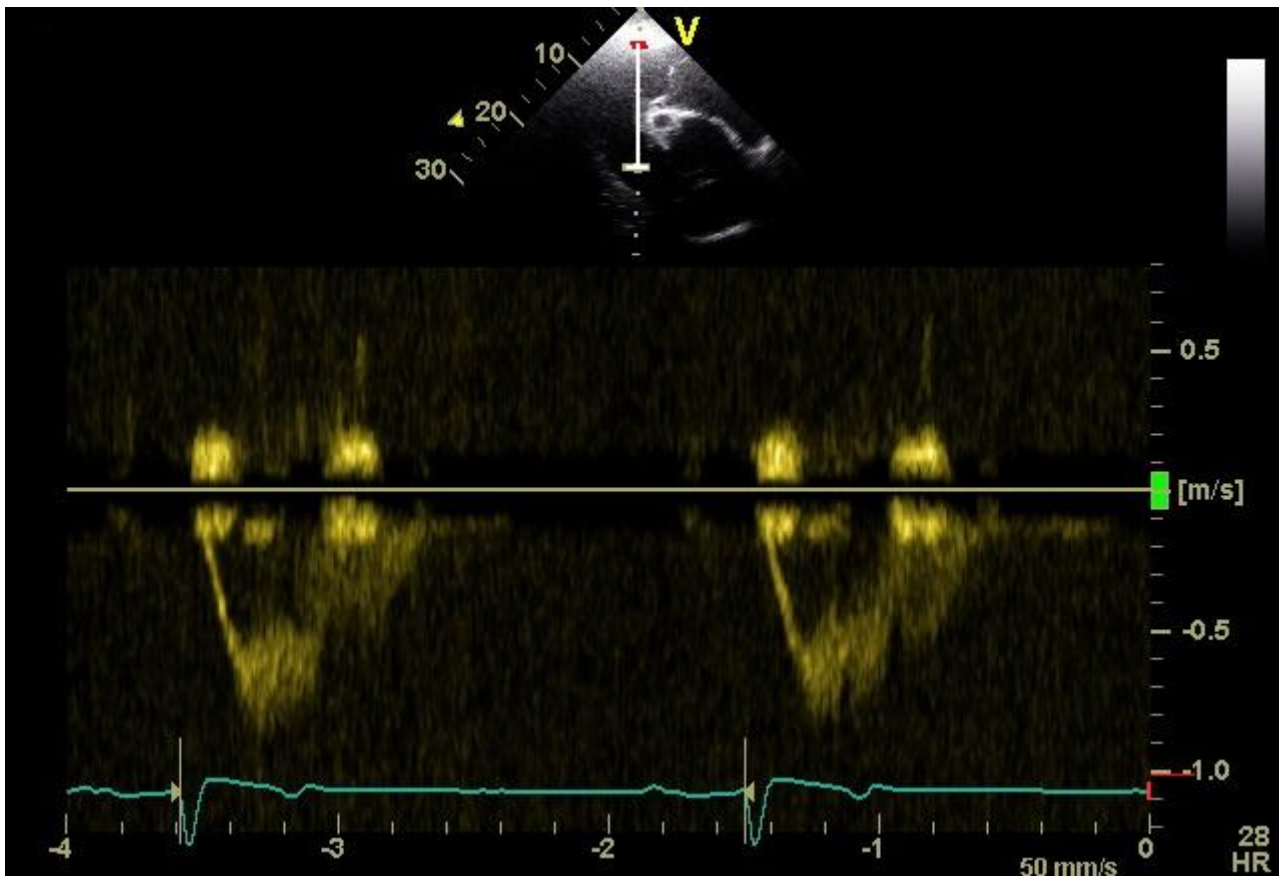


Abb. 11: Dopplerkurve zur Bestimmung des Velocity - Time - Integrals.

Auf der x - Achse wurde die Zeit mit Hilfe des EKGs dargestellt und auf der y - Achse die Geschwindigkeit in [m/s]. Der Cursor lag auf der Höhe der Pulmonalklappensegel.

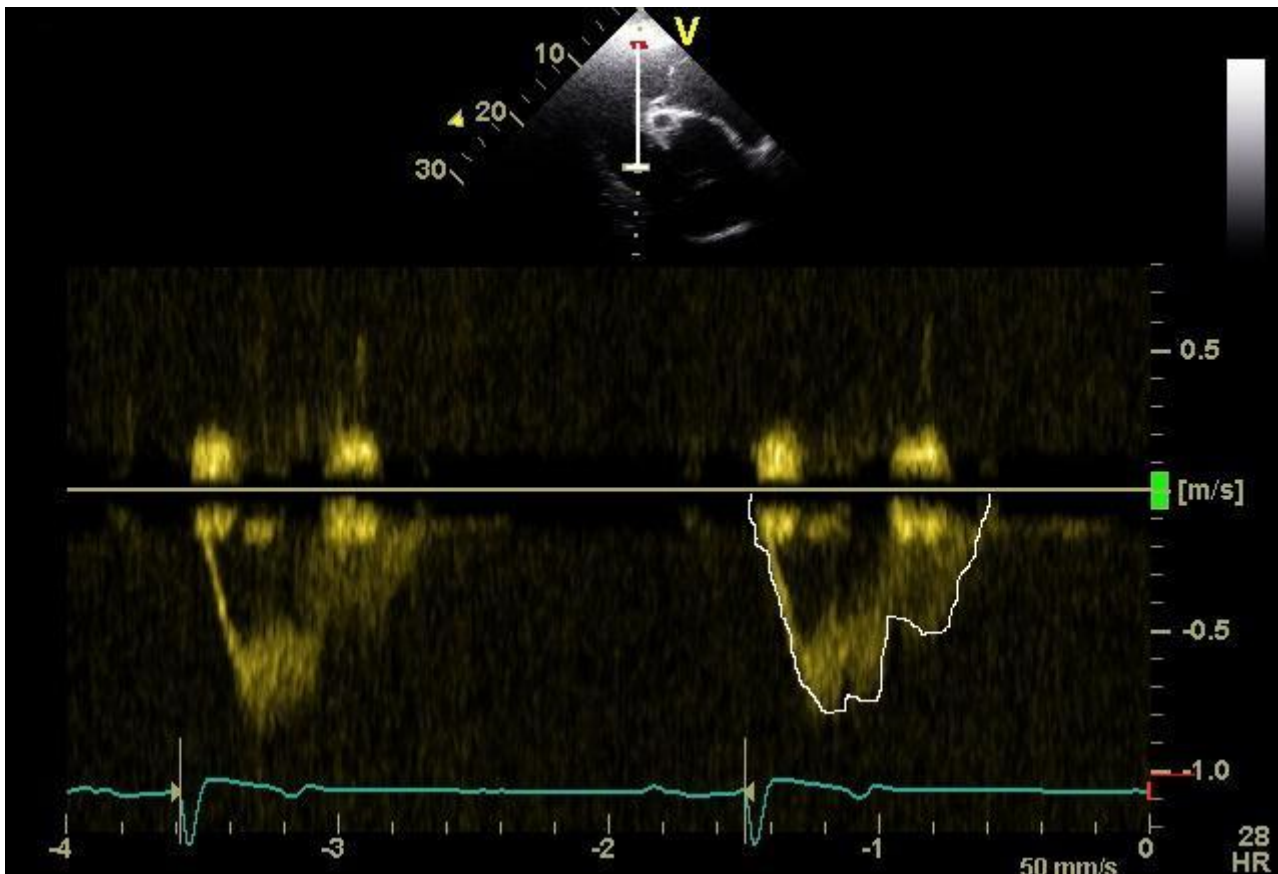


Abb. 12: Manuell gelegte Hüllkurve, um das Velocity - Time - Integral (VTI) zu bestimmen.

3.5 Dopplersonographische Untersuchung der Zehenarterie

Um Auskunft über die periphere Durchblutung zu erhalten, wurde eine dopplersonographische Untersuchung der Zehenarterie durchgeführt. Für die dopplersonographische Untersuchung an der Arteria digitalis palmaris lateralis wurden die Pferde am rechten Vorderbein lateral an der breitesten Stelle des Fesselkopfes im Bereich des Gefäßbündels, bestehend aus der Arterie, der Vene und dem Nerv, in einem ca. 2 x 2 cm großen Bereich rasiert. Wie bei der echokardiographischen Untersuchung wurde entweder das transportable Ultraschallgerät Vivid i (Gestüt Schwaiganger, Universitätsreitschule) oder das stationäre Gerät Vivid 7 (Pferdeklinik der LMU) in Verbindung mit einem Linearschallkopf verwendet (Abb. 13a, b).



a) b)

Abb. 13a und b: Gefäßdoppleruntersuchung an der Arteria digitalis palmaris lateralis am rechten Vorderbein.

Um die Blutflussgeschwindigkeit zu bestimmen, wurde zunächst mit dem Farbdoppler der Blutfluss visualisiert (Abb. 14). Im Längsschnitt unter Einbeziehung einer immer gleichen Winkelkorrektur von 40 Grad wurde anschließend der Cursor in das Gefäßzentrum gelegt und eine Geschwindigkeitsmessung mit dem PW - Doppler durchgeführt (Abb. 15, 16). Fünf aufeinanderfolgende Zyklen wurden aufgenommen und daraus der Mittelwert errechnet.

Der Gefäßdurchmesser wurde im B - Mode - Bild während der Systole bestimmt (Abb. 17). Die maximale Weite des Arterienlumens wurde dabei als systolische Herzphase und die minimale Weite des Gefäßlumens als Ende der diastolischen Herzphase bewertet.

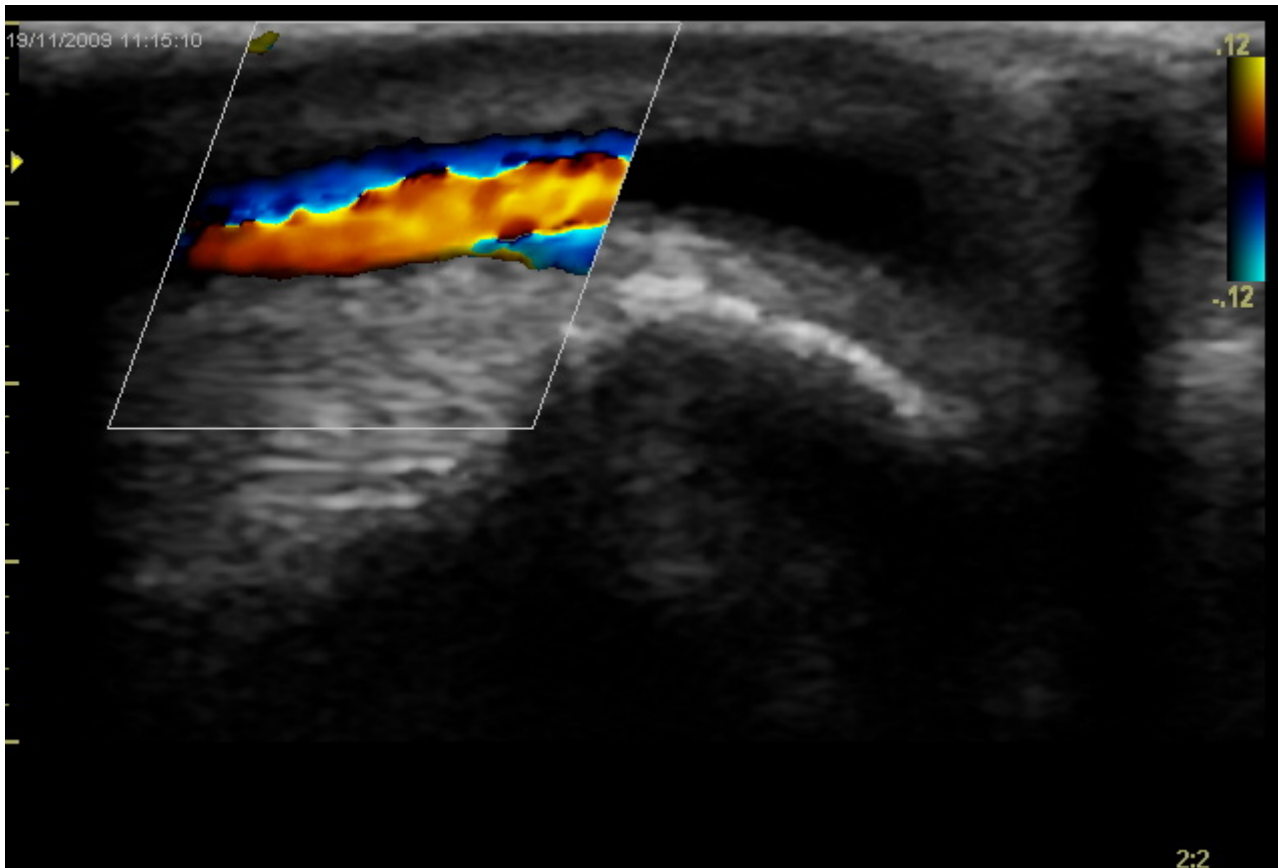


Abb. 14: Dopplersonographisch dargestellter Blutfluss in der Arteria digitalis palmaris lateralis.

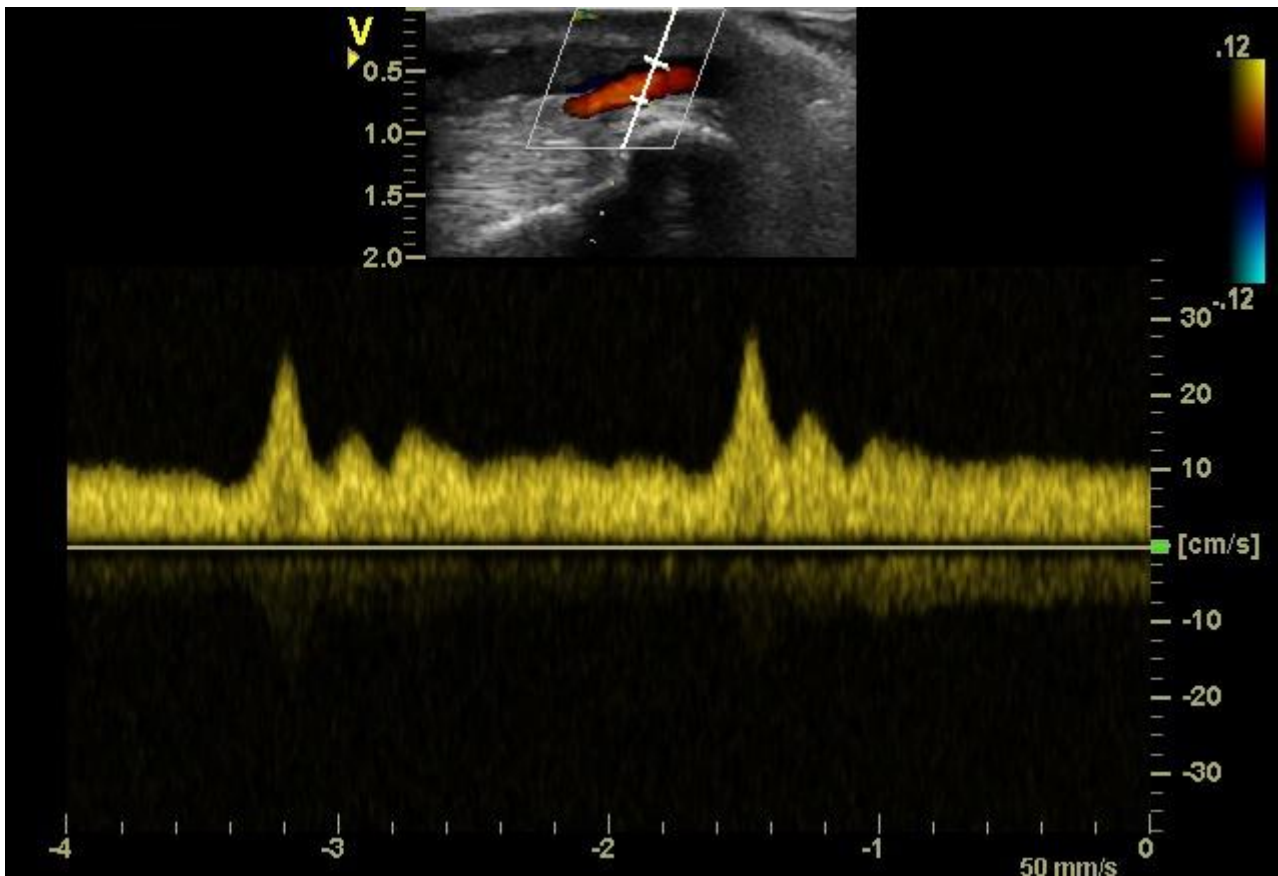


Abb. 15: Blutflusskurve eines herzgesunden Pferdes mit rhythmischem Herzschlag von der Arteria digitalis palmaris lateralis.



Abb. 16: Manuell gelegte Hüllkurve, um das Velocity - Time - Integral zu bestimmen.

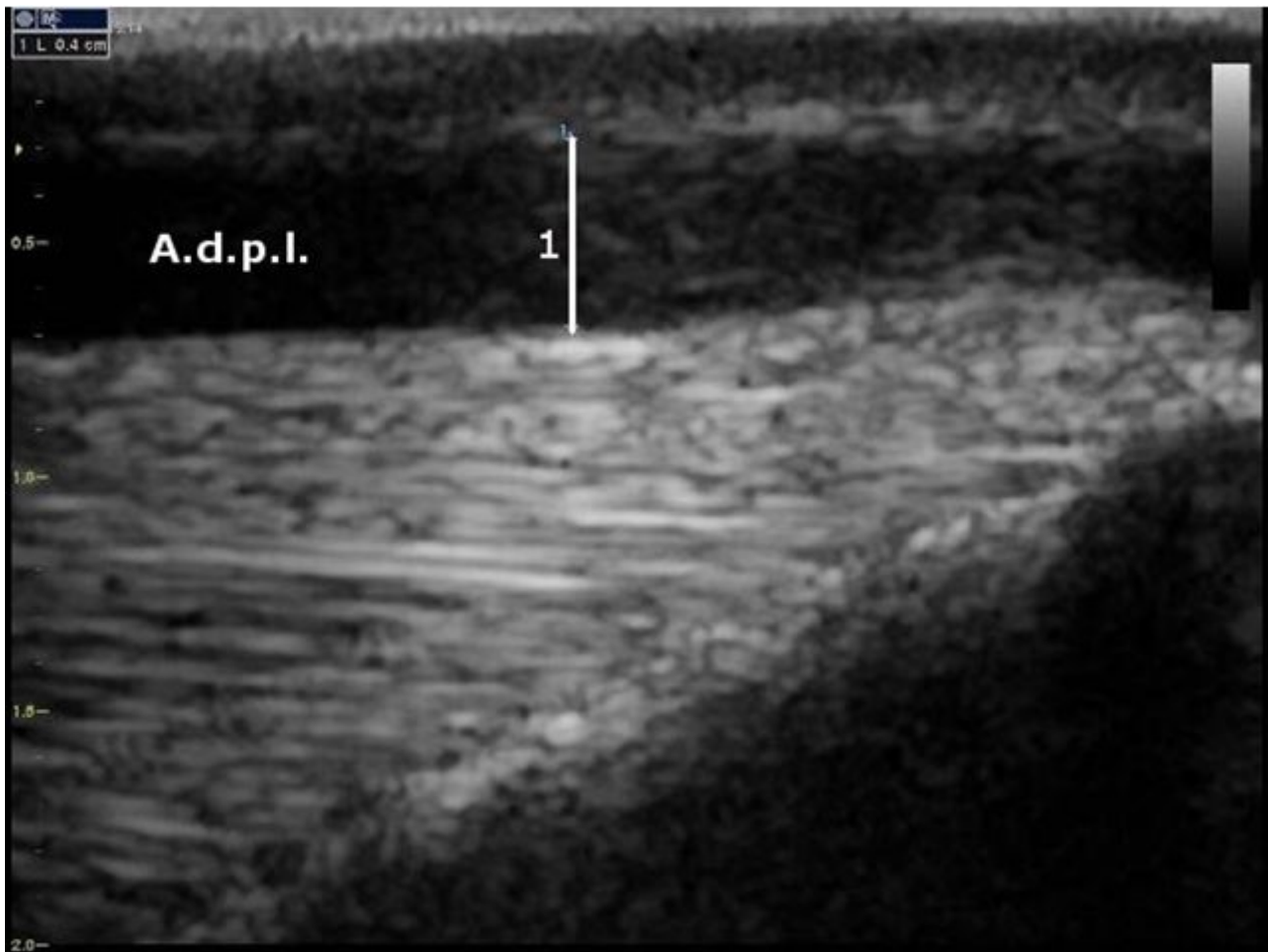


Abb. 17: Messung des Gefäßquerschnittes (1) in der Arteria digitalis palmaris lateralis (A. d. p. l.) im B - Mode - Bild.

Tabelle 6: Gemessene und berechnete Parameter an der Arteria digitalis palmaris lateralis.

Berechnungsparameter	Abkürzung	Bedeutung	Einheit
Systolic peak velocity	SPV	Systolische Maximalgeschwindigkeit	m/s
Diastolic peak velocity	DPV	Diastolische Maximalgeschwindigkeit	m/s
End - diastolic peak velocity	EDV	Enddiastolische Maximalgeschwindigkeit	m/s
Time averaged velocity	TAV	Mittlere Geschwindigkeit	m/s
Resistance Index	RI	Widerstandsindex	
Flow	BFV	Blutflussvolumen pro Minute	ml/min

Bei den Flussmessungen an der Arteria digitalis palmaris lateralis wurden verschiedene Blutflussparameter bestimmt (Tab. 6). Bei der systolic peak velocity (m/s) (SPV) handelte es sich um die systolische Spitzengeschwindigkeit des Blutflusses in der Arterie, wohingegen die diastolic peak velocity (m/s) (DPV) die diastolische Spitzengeschwindigkeit des Blutflusses in der Arterie beschreibt. Desweiteren wurde die end diastolic velocity (m/s) (EDV), das heißt die enddiastolische Fließgeschwindigkeit des Blutes gemessen (Abb. 18).

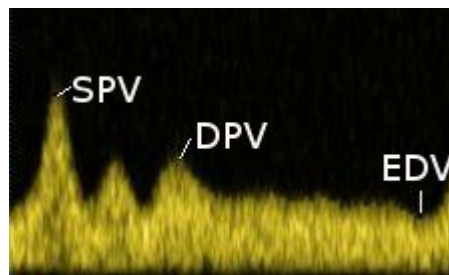


Abb. 18: Die gemessenen Parameter Systolic Peak Velocity (SPV), Diastolic Peak Velocity (DPV) und Enddiastolic Velocity (EDV).

Zusätzlich wurde die mittlere Geschwindigkeit des Blutflusses berechnet. Dabei stellte die Kurve der mittleren Geschwindigkeiten $V_{\text{mean}}(t)$ den augenblicklichen Mittelwert der Geschwindigkeiten $v(t)$, gewichtet mit deren Häufigkeit $a(v)$, dar:

Durch Mittelung von $V_{\text{mean}}(t)$ über einen oder mehrere Herzzyklen (RR - Intervall) erhielt man die über die Zeit gemittelten Geschwindigkeiten TAV_{mean} (TAV = time averaged velocity) (MORNEBURG, 1995).

In der neueren Literatur wurde der Begriff TAV_{mean} häufig vereinfacht und als $tamean$ (mittlere intensitätsgewichtete Geschwindigkeit) wiedergegeben.

Die Bestimmung von TAV war grundlegend für die Berechnung des Blutflussvolumens pro Minute (BFV) in der seitlichen Zehenarterie.

In den neueren Veröffentlichungen hatte sich die Bestimmung des Blutflussvolumens pro Minute unter Verwendung von TAV (Formel 2) analog der folgenden Formel (Formel 1) durchgesetzt (HAMADA, 1993; SCHÖNING et al., 1994 und 1996):

Formel 1: $BFV \text{ (ml/min)} = TAV \times 60 \times \pi \times (D/2)^2$

BFV = Blutflussvolumen pro Minute

TAV = mittlere Geschwindigkeit

D = Gefäßdurchmesser (mm)

Formel 2: $V_{\text{mean}}(t) = \sum a_i(v) v_i(t)$

Formel 3: $RI = (SPV - EDV) / SPV$

RI = Resistance - Index

SPV = systolic peak velocity

EDV = enddiastolic peak velocity

Außerdem wurde der 1974 von POURCELOT eingeführte dimensionslose Resistance - Index berechnet (Formel 3). Der Resistance - Index diente der Beurteilung von Gefäßen mit physiologischerweise niedrigem Gefäßwiderstand (MORNEBURG, 1995).

Um den Durchmesser (D) der Zehenarterie (cm) zu bestimmen, wurden drei Messungen des Gefäßes in der langen Achse während der Systole durchgeführt und daraus der Mittelwert errechnet.

An das mit der Linearsonde genutzte Gerät konnte kein EKG angeschlossen werden. Deswegen wurde die maximale Weite des Arterienlumens als das Ende der systolischen Herzphase angesehen.

3.6 Blutdruckmessung mit HDO - Technik

3.6.1 HDO - Blutdruckmessgerät

Die Blutdruckmessungen wurden mittels eines indirekt messenden und nach dem Prinzip der High definition oscillometry (HDO) arbeitenden Gerätes durchgeführt. Bei diesem Blutdruckmessgerät handelte es sich um den Prototypen eines speziell für die Tiermedizin entwickelten oszillometrisch messenden, voll automatisierten Gerätes (Memo Diagnostic Equine, Version 4.07.00, Firma S + B medVet GmbH, Babenhausen), das für die Studie zur Verfügung gestellt wurde (Abb. 19).



Abb. 19: Das High Definition Oscillometry - Blutdruckmessgerät der Firma S+B medVET mit Verbindungsschlauch und Schweifmanschette.

Das Gerät führte vollautomatische Einzelmessungen durch. Der Druck in der Manschette wurde dabei bis auf 240 mmHg aufgebaut. Darauf folgte der automatische Druckabfall, wobei die Ablassrate pulsadaptiert war. Bei allen untersuchten Pferden wurden der systolische (SAP), diastolische (DAP) und mittlere (MAP) arterielle Blutdruck sowie die aktuelle Pulsfrequenz bestimmt. Diese Werte wurden sowohl auf dem Display als auch auf dem Computermonitor angezeigt. Auf dem gleichzeitig angeschlossenen Laptop befand sich das MDS - Analyse Software - Programm zur Visualisierung der einzelnen Blutdruckmessungen.

Die Schweifmanschette bestand aus einem speziellen Kunststoff, und ihre Weite konnte über einen Klettverschluss geregelt werden. Mit dem Netzteil wurde das Blutdruckmessgerät an den Strom angeschlossen und über ein USB - Kabel mit dem Laptop verbunden (Abb. 20).

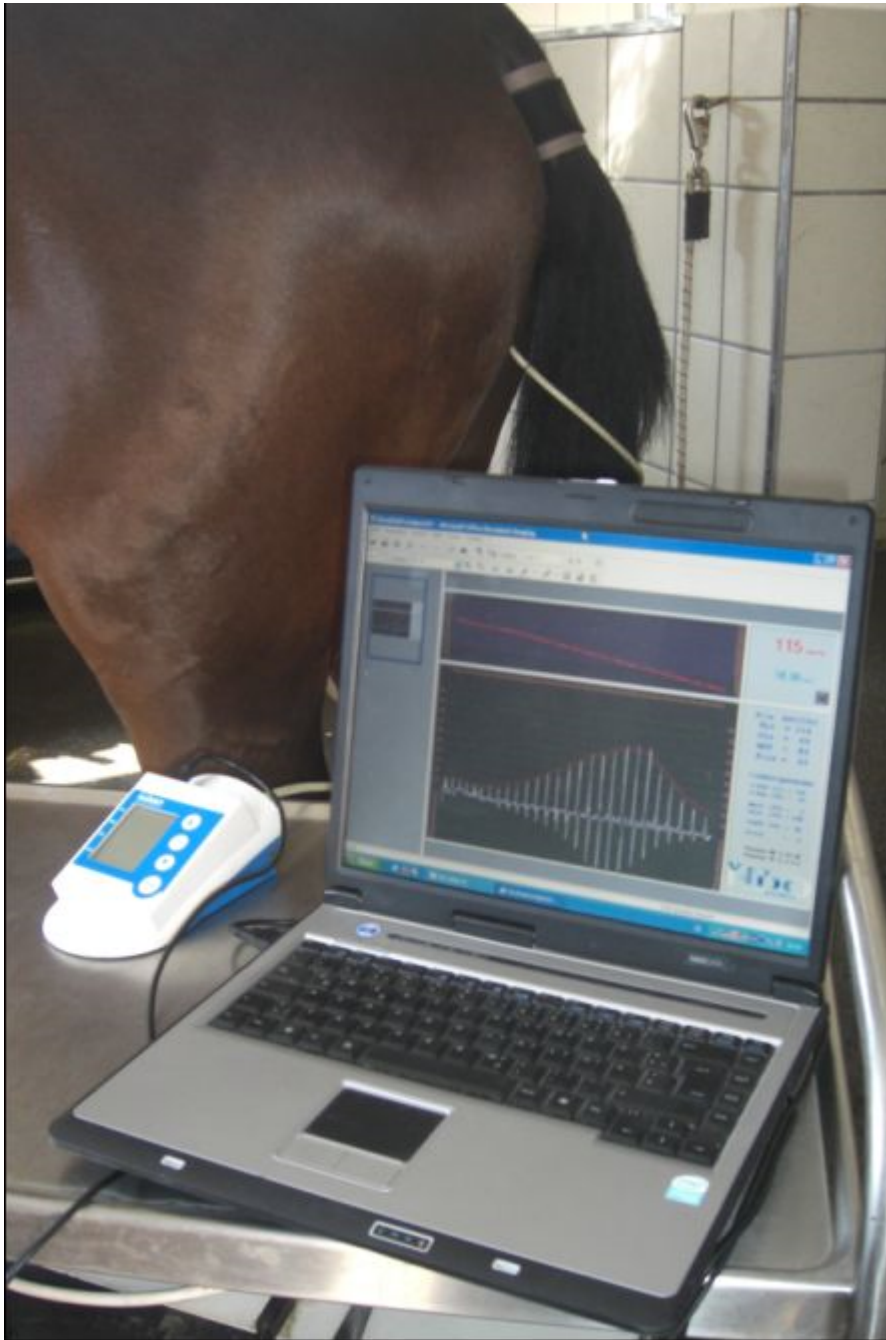


Abb. 20: Blutdruckmessung mittels HDO - Technik und visualisierter Blutdruckkurve auf dem Bildschirm.

Das HDO - Blutdruckmessgerät ermöglichte die Blutdruckmessung von 1 bis 300 mmHg bei einer Pulsfrequenz von 0 bis 400 Schlägen pro Minute. Die Ablassrate reichte von 3 mmHg pro Sekunde bis 18 mmHg pro Sekunde und der Verstärkungsparameter (Gain) lag bei 70 bis 640. Das Gerät bot zudem die Möglichkeit der Abspeicherung von bis zu 60 Messungen.

3.6.2 Durchführung der Blutdruckmessung bei Pferden

Bei allen 60 untersuchten Pferden wurde die Messung des Blutdruckes an der Schweifrübe (Arteria coccygealis medialis) vorgenommen. Bei 36 (18 herzkrankte Pferde, 18 gesunde Pferde) der 60 Pferde wurden sowohl morgens als auch nachmittags Messungen durchgeführt, um eventuelle tageszeitliche Schwankungen aufzudecken. Die erste Blutdruckmessung fand morgens zwischen 8 und 10 Uhr und eine zweite nachmittags zwischen 16 und 18 Uhr statt. Als sich herausstellte, dass beim Pferd kein signifikanter diurnaler Rhythmus vorlag, wurde nur noch eine Messung morgens durchgeführt.

Die Messungen fanden in der Box des jeweiligen Pferdes statt und es wurde auf eine möglichst ruhige Umgebung geachtet. Den Tieren wurde zunächst eine Gewöhnungsphase von ca. zwei Minuten, sowohl an die Umgebung als auch an das Gerät und die Manschette, eingeräumt.

Pro Pferd wurden sechs aufeinanderfolgende Blutdruckmessungen durchgeführt. Der erste Messwert wurde generell verworfen, da die erste Messung vor allem der Adaption des Gerätes an das Individuum diene und ebenso der Gewöhnung des Pferdes an das Gerät. Aus den fünf folgenden Messungen wurde der Mittelwert gebildet. Wenn sich auf dem Computerbildschirm Artefakte darstellten oder das Gerät eine Fehlermeldung anzeigte, wurde die Messung wiederholt. Wenn von einem Probanden ein oder mehrere Messergebnisse fehlten, wurde dieser komplett von der Auswertung ausgeschlossen, da in diesen Fällen kein Mittelwert aus fünf einzelnen Messungen gebildet werden konnte. Werte, die innerhalb einer Messreihe stark von den übrigen Werten abwichen, wurden nicht ausgeschlossen, da das Ausklammern dieser Messwerte das Ergebnis hätte schönen können. Die Grundeinstellung des Gerätes war zu Beginn jeder Messung dieselbe. Die Manschette wurde bis zu dem Wert von 240 mmHg aufgepumpt, das Messende war auf 25 mmHg eingestellt, die Ablassrate betrug 3 mmHg pro Sekunde. Abschliessend fand eine Korrektur auf Herzhöhe statt.

Der systolische, der diastolische und der mittlere arterielle Blutdruck sowie die Pulsfrequenz wurden automatisch auf dem Laptop gespeichert.

Im Nachhinein wurden alle gemessenen Blutdruckwerte auf Herzniveau korrigiert. Da die Messlokalisierung an der Schweifrübe beim stehenden Pferd ca. 35 cm über der Herzebene liegt und der Umrechnungsfaktor pro cm Höhendifferenz 0,769 beträgt (FRITSCH, HAUSMANN, 1988) wurden zu jedem Blutdruckwert 27 mmHg addiert.

Des Weiteren wurden Reaktionen des Pferdes sowie die Dauer und Besonderheiten während der Messungen festgehalten. Abbildung 21 und 22 stellen unterschiedliche Blutdruckmessungen dar.

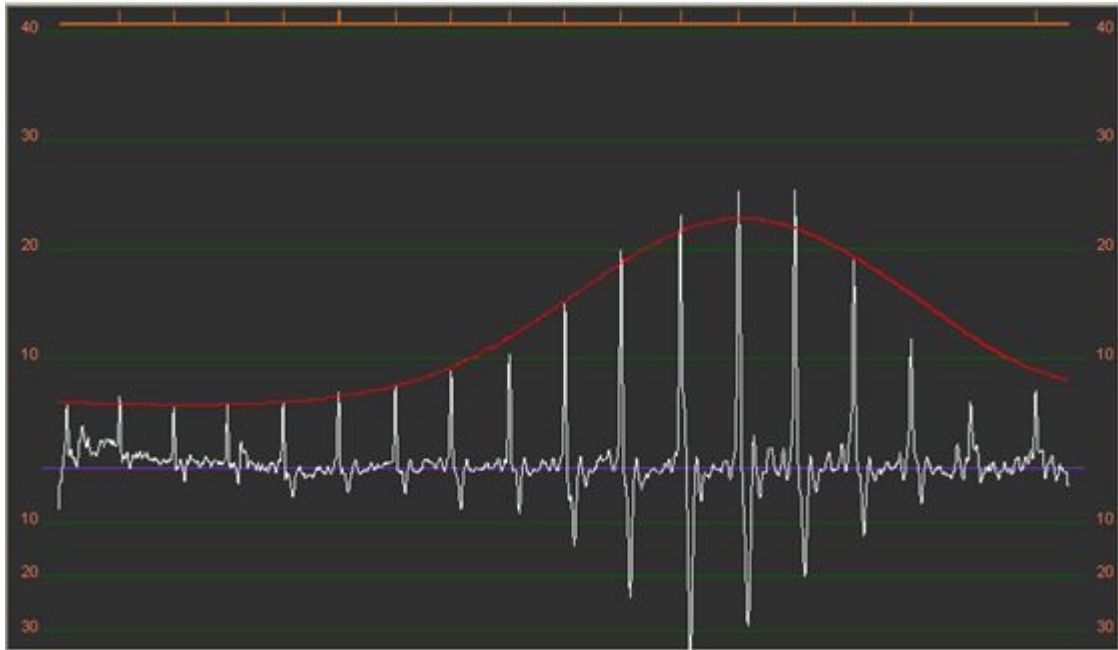


Abb. 21: Druckkurve mit typischem Amplitudenmuster einer Blutdruckmessung beim Pferd.

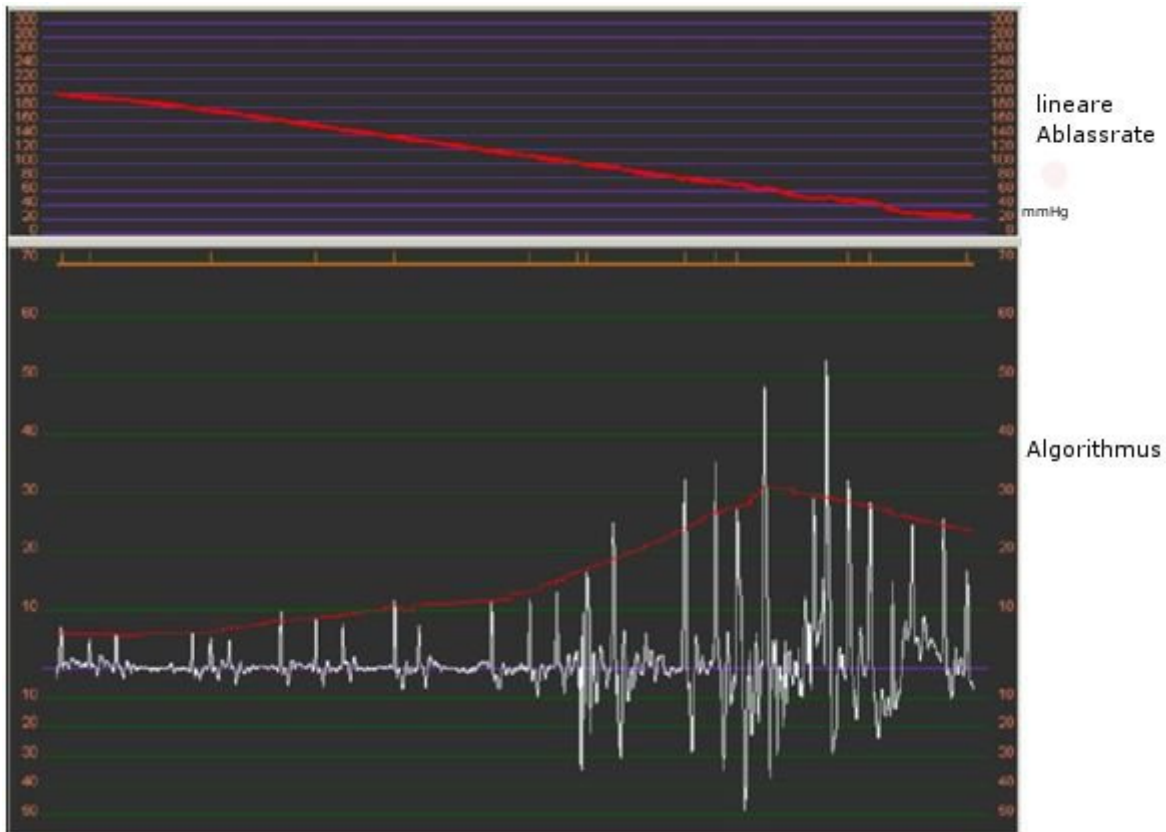


Abb. 22: Blutdruckkurve eines Pferdes mit Vorhofflimmern: sichtbar sind unregelmäßige Abstände und schwankende Herzauswurfleistungen (unterschiedliche Amplitudenhöhen).

(Pferd Nr. 43; HF 44/min; SAP 88 mmHg, MAP 61 mmHg, DAP 45 mmHg)

3.7 Statistische Auswertung

Die statistischen Berechnungen wurden mithilfe der Computersoftware SPSS 17.0 durchgeführt. Es erfolgte eine deskriptive Datenanalyse mit der Angabe von Mittelwert, Median, Standardabweichung, Spannweite und Interquartilsabstand.

Um Unterschiede zwischen der herzgesunden und der herzkranken Gruppe für die jeweils erhobenen quantitativen Parameter auf statistische Signifikanz zu prüfen, wurde der Mann - Whitney - U - Test durchgeführt.

Unterschiede zwischen den Gruppen wurden bei einem p - Wert kleiner 0,05 als statistisch signifikant erachtet.

Weitere Einflüsse, wie Alter, Gewicht, Größe oder Geschlecht auf den Blutdruck und die Blutflüsse, und die Beziehungen von Blutflussparametern untereinander, wurden in Form einer Korrelationsanalyse nach PEARSON überprüft. Die Signifikanzstufe lag ebenfalls bei $p = 0,05$.

Zusätzlich wurde bei ausgewählten Variablenkombinationen auch eine lineare Regression zur Bestimmung des Effektes berechnet.

IV Ergebnisse

4.1 Vorbericht und Allgemeinuntersuchung

Von den insgesamt 60 untersuchten Pferden wurde im Rahmen der Anamnese und Allgemeinuntersuchung bei zwei Pferden (Nummer 41 und 45) von einer alleinigen Leistungsinsuffizienz berichtet und bei drei Pferden (Nummer 38, 46 und 55) wurde ein erhöhter Ruhepuls festgestellt. Ein Pferd (Nummer 46) zeigte sowohl eine Leistungsinsuffizienz als auch ein erhöhter Ruhepuls.

4.2 Ergebnisse der speziellen Herzuntersuchung

4.2.1 Auskultation

Von den 60 untersuchten Tieren zeigten 30 Pferde gut abgesetzte, kräftige und regelmäßige Herztöne ohne Nebengeräusche oder Herzarrhythmien (herzgesunde Kontrollgruppe).

Von den 30 weiteren Pferden zeigten 13 Pferde linksseitig ein systolisches Herznebengeräusch mit Punctum maximum über der Mitralklappe, 11 Pferde zeigten linksseitig ein diastolisches Herzgeräusch mit Punctum maximum über der Aortenklappe und drei Pferde wiesen sowohl ein systolisches Herzgeräusch als auch eine totale Arrhythmie auf. Drei Pferde zeigten auskultatorisch ausschließlich eine Arrhythmie. Diese Pferde wurden in der herzkranken Gruppe zusammengefasst.

Im Mittel zeigten die herzgesunden Pferde eine Herzfrequenz von 41 Schlägen pro Minute. Die Herzfrequenz unterschied sich zwischen herzgesunden Pferden und Pferden mit einer alleinigen Klappeninsuffizienz nicht signifikant. Allerdings lag die Herzfrequenz bei den arrhythmischen Pferden mit Vorhofflimmern deutlich höher (51 Schläge pro Minute \pm 4).

4.2.2 Herz-Kreislaufsystem

Die Pferde der herzgesunden Gruppe wiesen keine Auffälligkeiten bei der klinischen Untersuchung des Herz - Kreislaufsystems auf. Dagegen wurden bei drei Pferden der herzkranken Gruppe Ödeme an der Unterbrust beziehungsweise am Unterbauch festgestellt.

4.3 Elektro - und echokardiographische Untersuchungen

30 Pferde wiesen keine Auffälligkeiten bei der echo - und elektrokardiographischen Untersuchung des Herzens auf. Bei 27 Pferden wurden echokardiographisch Veränderungen am Herzen und bei sechs Pferden ein unphysiologisches Elektrokardiogramm (Vorhofflimmern) festgestellt.

4.3.1 B - Mode - Echokardiographie

Die 30 Pferde der herzgesunden Gruppe zeigten keine Veränderungen im B - Mode. Die erhobenen linksventrikulären Durchmesser und Wanddicken bewegten sich bei sieben der 30 herzkranken Pferde nicht im Normbereich. Vier Pferde (33, 39, 46, 55) wiesen eine alleinige Dilatation des linken Vorhofes, zwei Pferde (38, 50) einen dilatierten linken Vorhof in Kombination mit einem vergrößerten linken Ventrikel auf, und bei einem Pferd (45) wurde eine alleinige Dilatation des linken Ventrikels festgestellt.

4.3.2 M - Mode - Echokardiographie

Die Pferde der herzgesunden Gruppe zeigten keine Veränderungen im M - Mode. Bei der Bestimmung der fraktionellen Verkürzungsfraction des linken Ventrikels zeigten sich bei drei der 30 herzkranken Pferde pathologische Veränderungen in Form eines erniedrigten Wertes des Fractional shortenings.

4.3.3 Dopplerechokardiographie

Dopplerechokardiographisch zeigte keines der herzgesunden Pferde Veränderungen an den Herzklappen. 27 der untersuchten herzkranken Pferde zeigten bei der Farbdoppler - Untersuchung eine Herzklappeninsuffizienz. Bei 13 Pferden lag eine Mitralklappeninsuffizienz, bei 11 Pferden eine Aortenklappeninsuffizienz und bei drei Pferden lag zusätzlich zum Vorhofflimmern noch eine Mitralklappeninsuffizienz vor.

Tabelle 7: Ergebnisse der echokardiographischen B - Mode -, M - Mode - und Farbdoppleruntersuchungen

Pferd	Ø LV (cm)	Ø LA (cm)	Ø Bulbus Aortae (cm)	Lokalisation + Geschw. d. Insuff. (m/s)	FS %	EKG – Befund
31	12,5	10,8	7,5	MI 6	55	obB
32	13	12,9	8	MI 3,8	58	obB
33	13,4	14,5	8,2	MI 6	55	VF
34	12,8	12,8	7,9	MI 6	61	obB
35	12,3	12,5	8	MI 5,6	33	obB
36	10,9	11,5	6,9	MI 4	55	obB
37	13,3	13,5	8	MI 6	65	obB
38	14	14,5	7,5	MI 5	27	HF ↑
39	13,1	15	7,8	MI 5	58	VF
40	12,6	12,1	6,9	MI 4,5	60	obB
41	11,8	11,5	6,9	MI 6,4	55	obB
42	13,1	13	8,1	MI 5,1	67	obB
43	10,9	12,3	7,7	-----	59	VF
44	11,5	12,7	8	AI 7	62	obB
45	13,9	12,5	7,4	AI 6	66	obB
46	13,2	14,8	7,8	MI 5,5	70	VF
47	12,2	10,8	7,8	AI 5,7	59	obB
48	13,1	12,8	6,9	-----	58	VF
49	12,5	12,7	7	AI 6	60	obB
50	13,8	14,4	8,2	AI 6	53	obB
51	11,3	12,1	7,3	AI 5	59	obB
52	11,7	12,5	8	MI 4,8	65	obB

53	10,8	11,3	7,6	MI 6	62	obB
54	13,5	13,2	8	MI 5,5	66	obB
55	13	13,9	7,9	MI/AI 4-5	45	VF
56	12,6	12,4	7,5	AI 5,5	70	obB
57	11,8	11,2	7,2	AI 4	61	obB
58	13	11,8	7,5	AI 7,5	54	obB
59	11	12,1	7	AI 3	69	obB
60	12,8	13	7,9	AI 4	63	obB

AI = Aortenklappeninsuffizienz, MI = Mitralklappeninsuffizienz, VF = Vorhofflimmern, HF↑ = Tachykardie

Die mittlere Größe des linken Ventrikels betrug bei den herzkranken Pferden 12,5 cm ($\pm 0,9$), die durchschnittliche Größe des linken Atriums betrug 12,7 cm ($\pm 1,1$) und der Aortendurchmesser lag im Mittel bei 7,6 cm ($\pm 0,4$). Die durchschnittliche Verkürzungsfraction (FS) des linken Ventrikels war 58 % (± 9).

4.3.4 Elektrokardiographie

Alle Pferde der herzgesunden Gruppe zeigten ein physiologisches Elektrokardiogramm. Sechs Pferde der herzkranken Gruppe zeigten Vorhofflimmern im EKG.

4.4 Einteilung der herzkranken Pferde

Aufgrund der Befunde der Allgemeinuntersuchung, sowie der Ergebnisse der echo - und elektrokardiographischen Untersuchung wurden die herzkranken Pferde in drei Gruppen unterteilt (Gruppe 1 = Mitralklappeninsuffizienz, Gruppe 2 = Aortenklappeninsuffizienz, Gruppe 3 = Vorhofflimmern).

Gruppe 1: Pferde mit einer Mitralklappeninsuffizienz

13 der untersuchten Pferde litten an einer Mitralklappeninsuffizienz. Bei der echokardiographischen Untersuchung wiesen 11 von 13 Pferden Mitralklappeninsuffizienzen auf, deren Geschwindigkeit über 4 m/s lag. Bei 8 von diesen 11 Tieren waren zusätzlich noch geringgradige Insuffizienzen der Trikuspidal - oder Aortenklappe nachweisbar. Zwei Pferde zeigten eine Insuffizienz an der Mitralklappe, deren Geschwindigkeit unter oder genau bei 4 m/s lag, lediglich bei einem Pferd bestand bei einer Insuffizienz von 5 m/s eine Dilatation des linken Vorhofes und des linken Ventrikels.

In der Gruppe der Pferde, die an einer Mitralklappeninsuffizienz litten, befanden sich vier Stuten, ein Hengst und acht Wallache mit einem mittleren Gewicht von 516 kg (± 117), einem durchschnittlichen Alter von 13 Jahren (± 7) und einer mittleren Größe von 1,67 m ($\pm 0,1$). Bei dem mittleren Gewicht und der mittleren Größe handelt es sich jeweils um den Mittelwert, da eine normale Zahlenverteilung vorlag, mit einer niedrigen Anzahl von „Ausreißern“.

Gruppe 2: Pferde mit einer Aortenklappeninsuffizienz

11 Pferde zeigten eine Aortenklappeninsuffizienz. Bei zwei Pferden wurde echokardiographisch eine Dilatation des linken Ventrikels festgestellt und bei einem Pferd eine Dilatation sowohl des linken Ventrikels als auch des linken Atriums (die genauen Messwerte gehen aus Tabelle 7 hervor). Die Gruppe, der an einer Aortenklappeninsuffizienz leidenden Pferde bestand aus neun Wallachen und zwei Stuten mit einem mittleren Gewicht von 539 kg (± 60), einem mittleren Alter von 17 Jahren (± 6) Jahren und einer durchschnittlichen Größe von 1,67 m ($\pm 0,08$).

Gruppe 3: Pferde mit Vorhofflimmern

Die Pferde in der dritten Gruppe zeigten im EKG Vorhofflimmern. Vier der sechs an Vorhofflimmern erkrankten Pferde wiesen in der echokardiographischen Untersuchung neben der Arrhythmie noch eine oder sogar zwei Klappeninsuffizienzen auf, die jeweils mit Dimensionsveränderungen einhergingen. Drei der sechs am Vorhofflimmern erkrankten Patienten wurden erfolgreich mit Chinidinsulfat therapiert (Nummer 33, 43, 48).

In der Gruppe der Pferde, die an Vorhofflimmern erkrankt waren, befanden sich vier Wallache, eine Stute und ein Hengst mit einem mittleren Gewicht von 561 kg (± 80), einem durchschnittlichen Alter von 14 Jahren (± 5) und einer mittleren Größe von 1,69 m ($\pm 0,14$).

4.5 Ergebnisse der Blutdruckmessung

4.5.1 Handhabung des High definition oscillometry - Gerätes

Der Aufbau des Gerätes sowie dessen Anschluss an den Laptop benötigten lediglich einen geringen Zeitaufwand und waren einfach durchzuführen. Das Abspeichern der einzelnen Werte erfolgte nach Eingabe des Patienten automatisch. Auch das Anlegen der Schweifmanschette war bei dem größten Teil der Pferde problemlos durchführbar.

4.5.2 Akzeptanz des Blutdruckmessgerätes durch Pferde

Das voll automatisierte Blutdruckmessgerät (MemoDiagnostic equine, Version 1,25., Firma S + B medVet GmbH, Babenhausen) wurde von allen Pferden gut akzeptiert. Lediglich zwei Pferde tolerierten das Anlegen der Schweifmanschette nicht und reagierten panisch mit Fluchtversuchen und Abwehrreaktionen. Diese Pferde wurden deshalb nicht in die Studie aufgenommen.

Nach vorheriger Kontaktaufnahme und vorsichtiger Berührung am Schweif ließen sich alle übrigen Pferde problemlos die Manschette anlegen. Auch das erstmalige Aufpumpen des Cuffs führte lediglich bei sieben von 60 Pferden (11,7 %) zu geringgradigen Irritationen wie Schweifschlagen oder leichter Unruhe. Diese Probanden gewöhnten sich jedoch schnell an den Untersuchungsablauf.

4.5.3 Dauer und Anzahl der Messungen

Von jedem der 60 untersuchten Pferde wurden sechs auswertbare Messungen benötigt, wovon die erste jedoch verworfen wurde, da sie der Adaption des Gerätes an das Individuum diene. Die fünf verbliebenen Messwerte wurden gemittelt und für die statistische Auswertung herangezogen. Da 36 der insgesamt 60 untersuchten Pferde sowohl morgens als auch nachmittags gemessen wurden fanden insgesamt 96 Messeinheiten statt. Um sechs auswertbare Messergebnisse zu erhalten, mussten im Durchschnitt 6,65 Messungen pro Pferd durchgeführt werden. Diese dauerten im Mittel 6 Minuten und 10 Sekunden. Die Zeit wurde von Beginn der ersten bis zum Ende der letzten Messung ermittelt. Bei den 36 der insgesamt 60 Pferde bei denen zusätzlich zu den morgendlichen Messungen auch nachmittags Blutdruckwerte ermittelt wurden, lag die Anzahl der benötigten Messungen nachmittags bei

6,63 und dauerte im Durchschnitt 6 Minuten und 7 Sekunden. Die 60 Messeinheiten, die morgens durchgeführt wurden, dauerten im Durchschnitt 6 Minuten und 15 Sekunden. Im Mittel mussten 6,72 Messungen gemacht werden. Insgesamt lag die minimale Anzahl an Messungen bei sechs durchgeführten Messungen pro Pferd. Maximal mussten 10 Messungen vorgenommen werden, um die sechs benötigten fehlerfreien Messungen zu erhalten. Die übrigen vier Messungen zeigten Fehlermeldungen an und konnten somit nicht verwendet werden. Die minimale Dauer der Messungen lag bei sechs Minuten und maximal haben die Messungen neun Minuten in Anspruch genommen. Ursächlich für Fehlermeldungen des Gerätes waren zu viele Messartefakte, die zum Beispiel durch Schweißschlagen oder starke Unruhe des Pferdes entstanden sind.

4.5.4 Blutdruck - Messwerte gesunder Pferde

Der Mittelwert für den systolischen arteriellen Druck (SAP) lag bei 145 mmHg, wobei das Minimum bei 121 mmHg und das Maximum bei 215 mmHg lag (+/- 21 mmHg). Der durchschnittliche mittlere arterielle Druck (MAP) befand sich bei 114 mmHg, der Minimalwert bei 87 mmHg und der Maximalwert bei 174 mmHg (+/- 19 mmHg). Der diastolische arterielle Druck (DAP) betrug im Mittel 97 mmHg. Das Minimum lag bei 66 mmHg und das Maximum bei 152 mmHg (+/- 19 mmHg).

Tabelle 8: Gemittelte Blutdruckwerte herzgesunder Pferde auf Herzniveau korrigiert.

Tier Nr.	SAP (mmHg)	MAP (mmHg)	DAP (mmHg)	Puls/min
1	123	98	84	45
2	121	93	77	40
3	153	124	107	39
4	134	103	85	39
5	155	123	104	36
6	150	117	98	33
7	130	104	88	36
8	134	96	75	36

IV Ergebnisse

9	138	109	93	44
10	150	113	93	55
11	123	90	72	34
12	140	110	94	43
13	130	97	78	40
14	159	133	117	48
15	215	174	152	47
16	169	142	126	65
17	181	141	119	31
18	153	121	103	40
19	140	114	100	30
20	126	100	85	26
21	177	146	129	40
22	143	106	86	39
23	129	107	94	31
24	127	87	66	42
25	133	105	89	35
26	126	106	95	37
27	139	104	84	39
28	140	114	99	38
29	138	112	96	34
30	162	129	110	33

(SAP = systolic arterial pressure, DAP = diastolic arterial pressure, MAP = mean arterial pressure)

4.5.5 Blutdruckwerte herzkranker Pferde

Bei 30 Tieren, die an unterschiedlichen Herzerkrankungen litten, wurden ebenfalls Blutdruckmessungen durchgeführt. Der mittlere SAP lag bei diesen Pferden bei 143 mmHg, wobei das Minimum bei 112 mmHg und das Maximum bei 187 mmHg lag (+/- 17 mmHg). Der Mittelwert für den MAP betrug 112 mmHg, der Minimalwert war 91 mmHg und der Maximalwert 142 mmHg (+/- 12 mmHg). Im Durchschnitt befand sich der DAP bei 95 mmHg, das Minimum bei 74 mmHg und das Maximum bei 128 mmHg (+/- 12 mmHg). Zwischen den herzkranken und den herzgesunden Pferden gab es bezüglich der Blutdruckwerte keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 9: Gemittelte Blutdruckwerte herzkranker Pferde auf Herzniveau korrigiert.

Tier Nr.	SAP (mmHg)	MAP (mmHg)	DAP (mmHg)	Puls/min
31	126	101	87	52
32	150	120	103	35
33	119	98	85	51
34	132	102	84	30
35	136	115	102	35
36	149	103	78	36
37	166	142	128	45
38	156	115	93	74
39	118	98	85	51
40	174	129	104	31
41	114	91	78	43
42	162	129	111	60
43	112	95	84	48
44	158	111	86	37
45	167	123	89	36
46	142	110	92	46
47	142	116	101	42

48	152	115	95	40
49	134	104	86	43
50	135	96	74	47
51	154	122	104	30
52	123	96	81	33
53	143	117	102	36
54	137	118	107	46
55	135	117	105	68
56	149	118	100	34
57	155	120	101	38
58	165	130	109	43
59	133	110	96	34
60	132	106	91	36

(SAP = systolic arterial pressure, DAP = diastolic arterial pressure, MAP = mean arterial pressure)

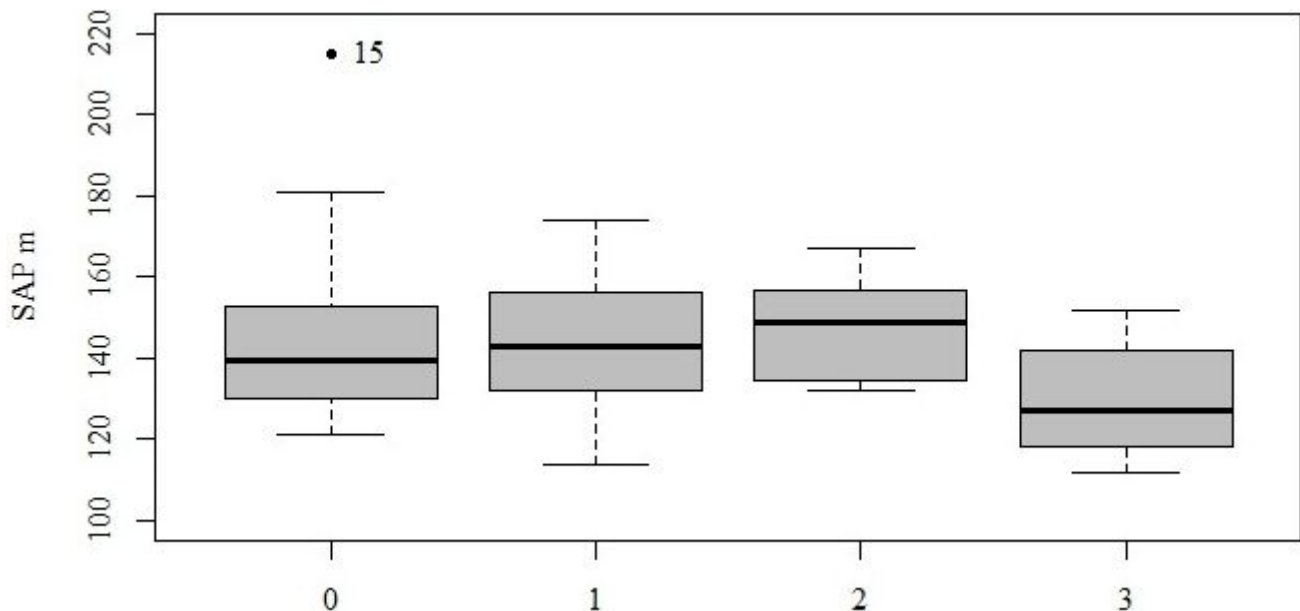


Abb. 23: Der systolische arterielle Blutdruck (SAP) (Medianwerte) bei 30 gesunden Pferden und bei 30 Pferden mit unterschiedlichen Herzerkrankungen.

(0 = gesund; 1 = Mitralklappeninsuffizienz; 2 = Aortenklappeninsuffizienz; 3 = Vorhofflimmern)

Den höchsten durchschnittlichen SAP (149 mmHg) hatten die Pferde, die an einer Aortenklappeninsuffizienz litten. Bei ihnen wurde ein mittlerer Druck von 114 mmHg und ein diastolischer Druck von 94 mmHg gemessen. Jedoch war der Unterschied sowohl zu den gesunden als auch zu den anderen herzkranken Pferden nicht signifikant und lediglich als Tendenz zu bezeichnen. Pferde, die an einer Mitralklappeninsuffizienz erkrankt waren, wiesen einen SAP von 143 mmHg, einen MAP von 115 mmHg und einen DAP von 98 mmHg auf. Der niedrigste systolische Druck wurde bei den an Vorhofflimmern erkrankten Pferden ermittelt. Er lag bei 130 mmHg. Auch der MAP (105 mmHg) und der DAP (91 mmHg) lagen unter den gemessenen Werten der anderen Pferde, die keine Arrhythmie aufwiesen. Allerdings war die Herzfrequenz bei den arrhythmischen Pferden deutlich höher (51/min), als bei den Tieren mit einer Mitralklappeninsuffizienz (43/min) oder einer Aortenklappeninsuffizienz (38/min). Bei sieben Pferden lag eine Dilatation des linken Herzens vor, allerdings wiesen nur zwei von ihnen (Pferd Nr. 45 und Nr. 38) einen deutlich erhöhten systolischen arteriellen Druck auf (Abb. 23).

4.5.6 Tageszeitliche Blutdruckschwankungen

4.5.6.1 Tagezeitliche Blutdruckschwankungen bei herzgesunden Pferden

Bei den 18 gesunden Pferden, bei denen zweimal am Tag Blutdruck gemessen wurde, zeigte sich, dass alle Werte abends geringgradig höher lagen als bei der morgendlichen Messung. So betrug der durchschnittliche SAP morgens 148 mmHg und abends 152 mmHg. Der MAP lag bei der frühen Messung bei 116 mmHg und bei der späteren bei 119 mmHg. Morgens befand sich der DAP bei 98 mmHg, während er abends bei 101 mmHg lag. Lediglich die Herzfrequenz war bei der abendlichen Messung minimal niedriger (40 Schläge/min) als morgens (42 Schläge/min) (Abb. 24, 25, 26).

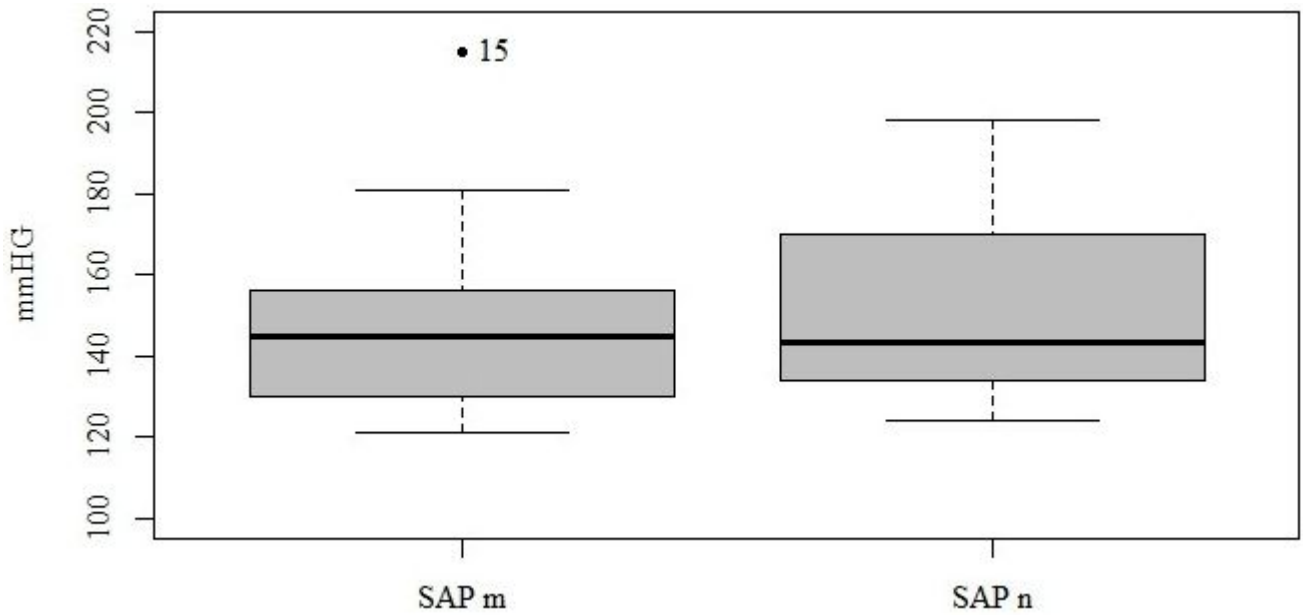


Abb. 24: Systolischer arterieller Blutdruck (SAP) (Medianwerte) am Morgen und am Abend bei herzgesunden Pferden.

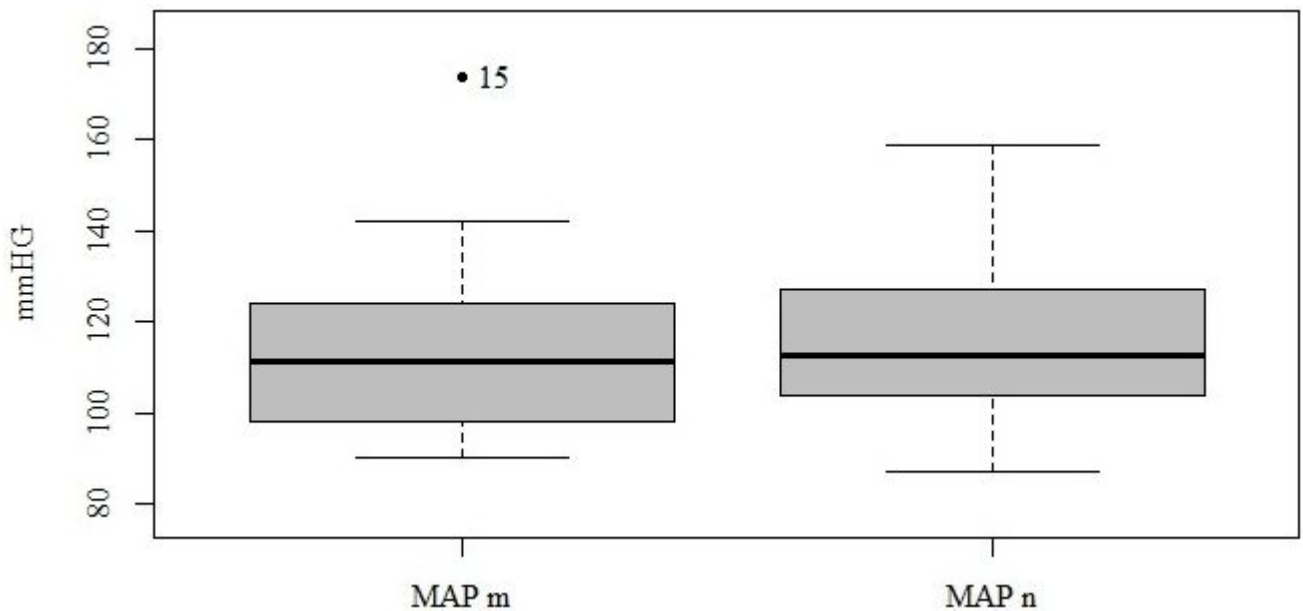


Abb. 25: Mittlerer arterieller Blutdruck (MAP) (Medianwerte) am Morgen und am Abend bei herzgesunden Pferden.

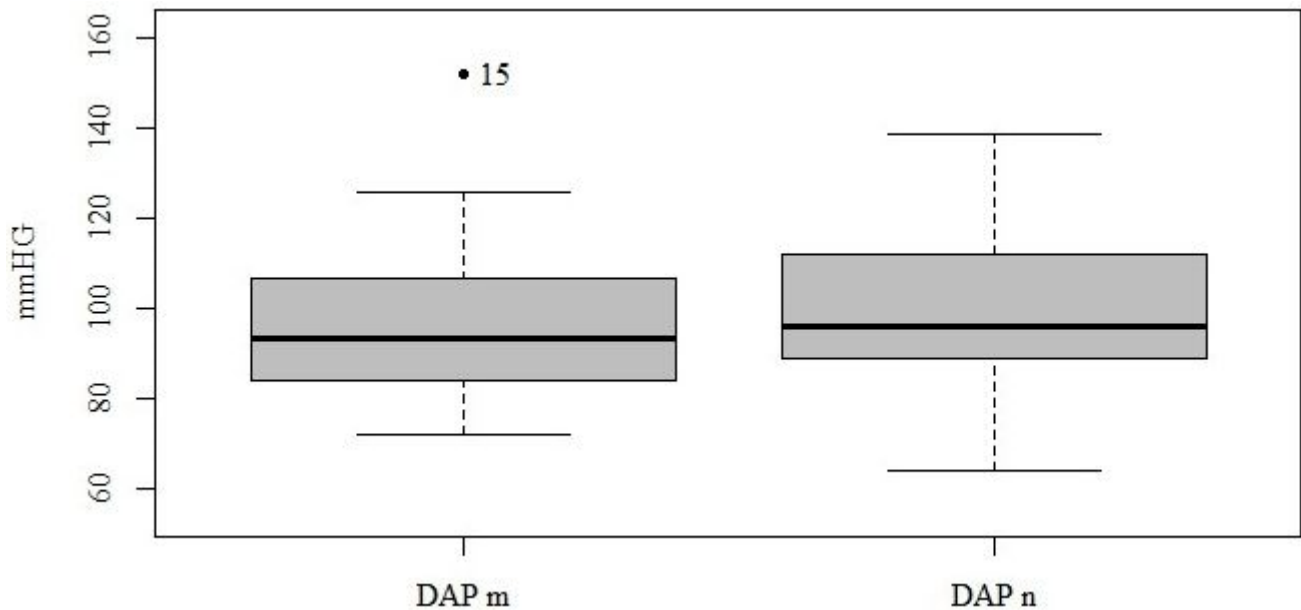


Abb. 26: Diastolischer arterieller Blutdruck (DAP) (Medianwerte) am Morgen und am Abend bei herzgesunden Pferden.

(Legende zu Abb. 24, 25, 26: SAP = systolischer arterieller Blutdruck, MAP = mittlerer arterieller Blutdruck, DAP = diastolischer arterieller Blutdruck, m = morgens, n = abends; 15 = Pferd Nr. 15)

4.5.6.2 Tageszeitliche Blutdruckschwankungen bei herzkranken Pferden

Zur Beurteilung der tageszeitlichen Blutdruckschwankung wurden sowohl alle herzkranken Pferde zusammen, als auch unterteilt nach Art der Herzerkrankung, ausgewertet. Es gab nur drei Pferde mit einer Aortenklappeninsuffizienz, die morgens und abends gemessen wurden. Die Anzahl an Tieren reichte jedoch nicht zur Erstellung von Boxplots aus.

Bei 18 Pferden wurde der Blutdruck morgens und nachmittags gemessen, da sie als stationäre Patienten für beide Messungen zur Verfügung standen. Bei den 12 übrigen Tieren handelte es sich um ambulante Patienten. Die 18 stationären herzkranken Tiere hatten morgens im Durchschnitt einen SAP von 144 mmHg und abends von 141 mmHg. Der MAP betrug bei der frühen Messung 112 mmHg und bei der späteren 111 mmHg. Morgens lag der DAP bei 94 mmHg und abends bei 94 mmHg. Der Puls war morgens und abends gleich hoch (45 Schläge/min) (Abb. 27, 28, 29).

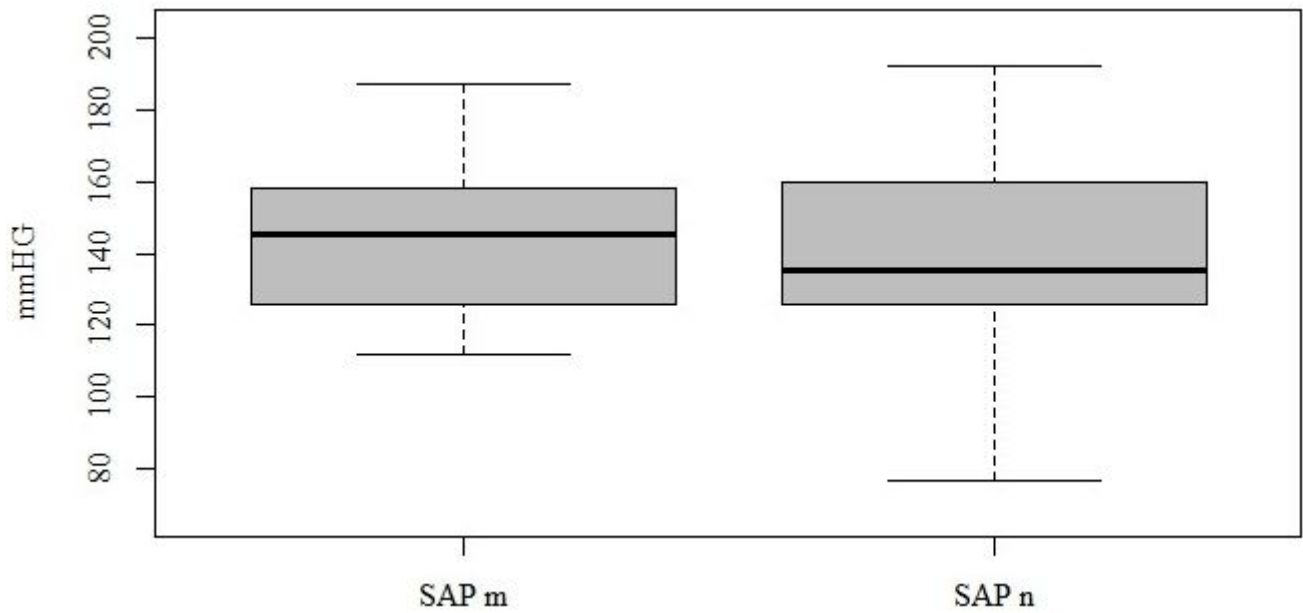


Abb. 27: Systolischer arterieller Blutdruck (SAP) (Medianwerte) morgens und abends bei herzkranken Pferden.

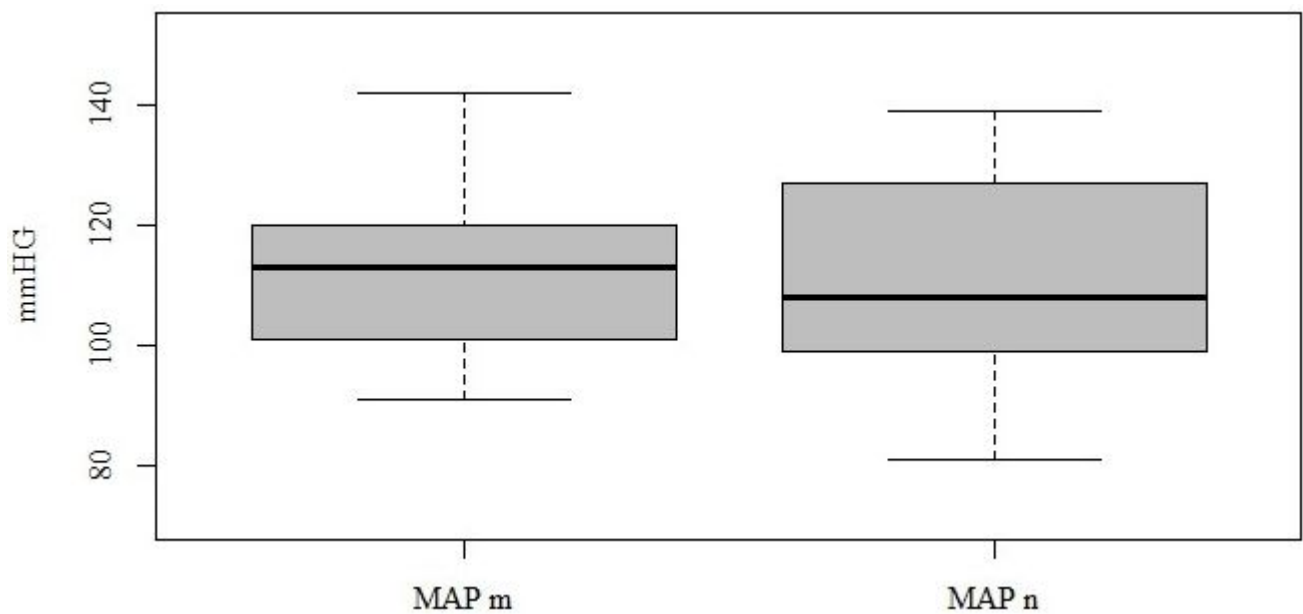


Abb. 28: Mittlerer arterieller Blutdruck (MAP) (Medianwerte) morgens und abends bei herzkranken Pferden.

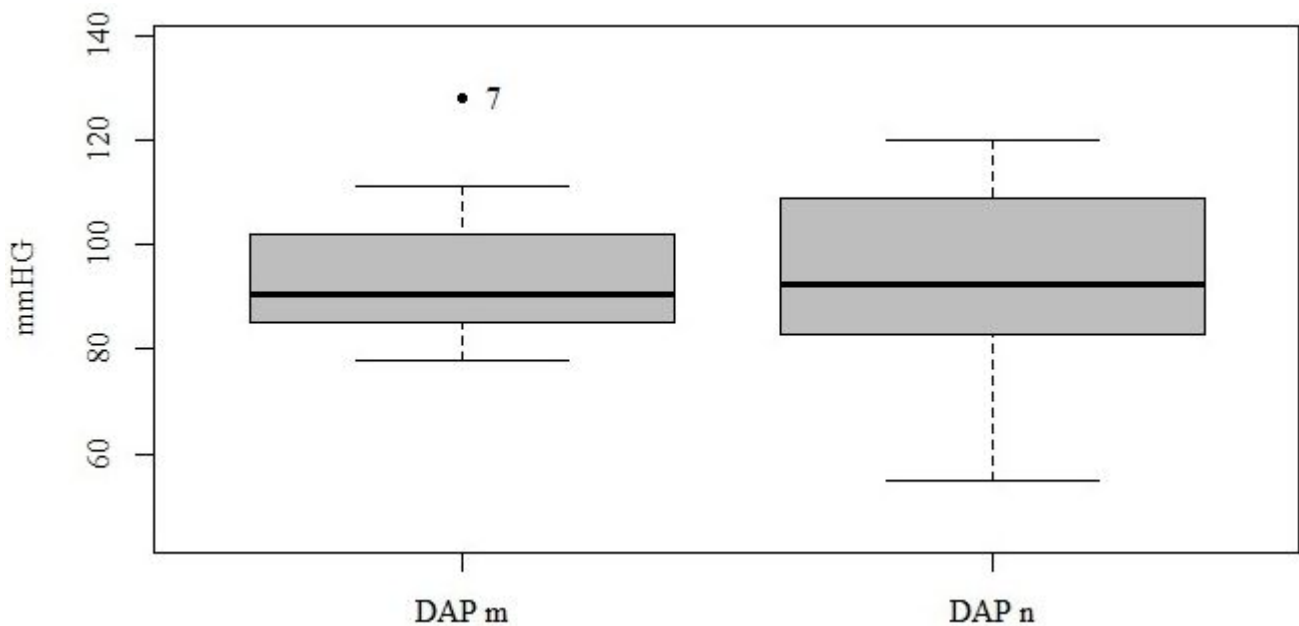


Abb. 29: Diastolischer arterieller Blutdruck (DAP) (Medianwerte) morgens und abends bei herzkranken Pferden.

(Legende zu Abb. 27, 28, 29: SAP = systolischer arterieller Blutdruck, MAP = mittlerer arterieller Blutdruck, DAP = diastolischer arterieller Blutdruck, m = morgens, n = abends, 7 = Pferd Nr. 7)

Pferde mit einer Mitralklappeninsuffizienz zeigten bei allen gemessenen Drücken morgens geringgradig höhere Werte als abends. So betrug der SAP morgens 146 mmHg und abends 140 mmHg. Der früh gemessene MAP lag bei 116 mmHg, während er abends bei 110 Hg lag. Morgens befand sich der DAP bei 99 mmHg und abends bei 94 mmHg. Die Herzfrequenz zeigte bei der ersten Messung ebenfalls eine nicht signifikante Erhöhung (45 Schläge/min) gegenüber der zweiten Messung (41 Schläge/min) (Abb. 30, 31, 32).

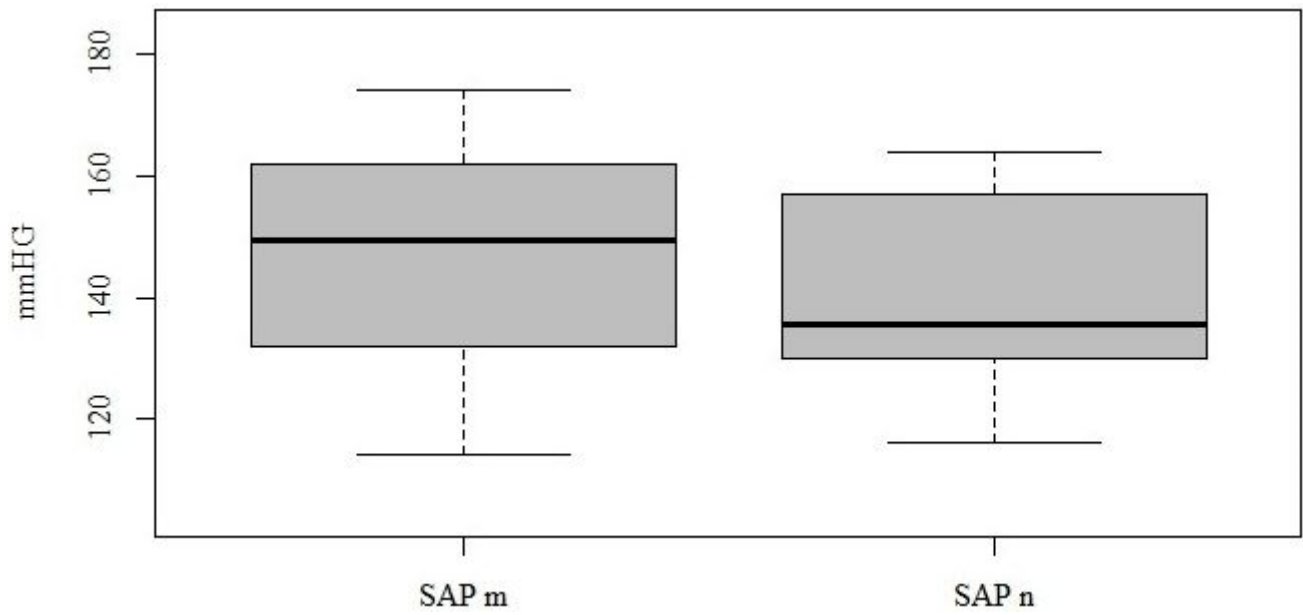


Abb. 30: Systolischer arterieller Blutdruck (SAP) (Medianwerte) morgens und abends bei Pferden mit Mitralklappeninsuffizienz.

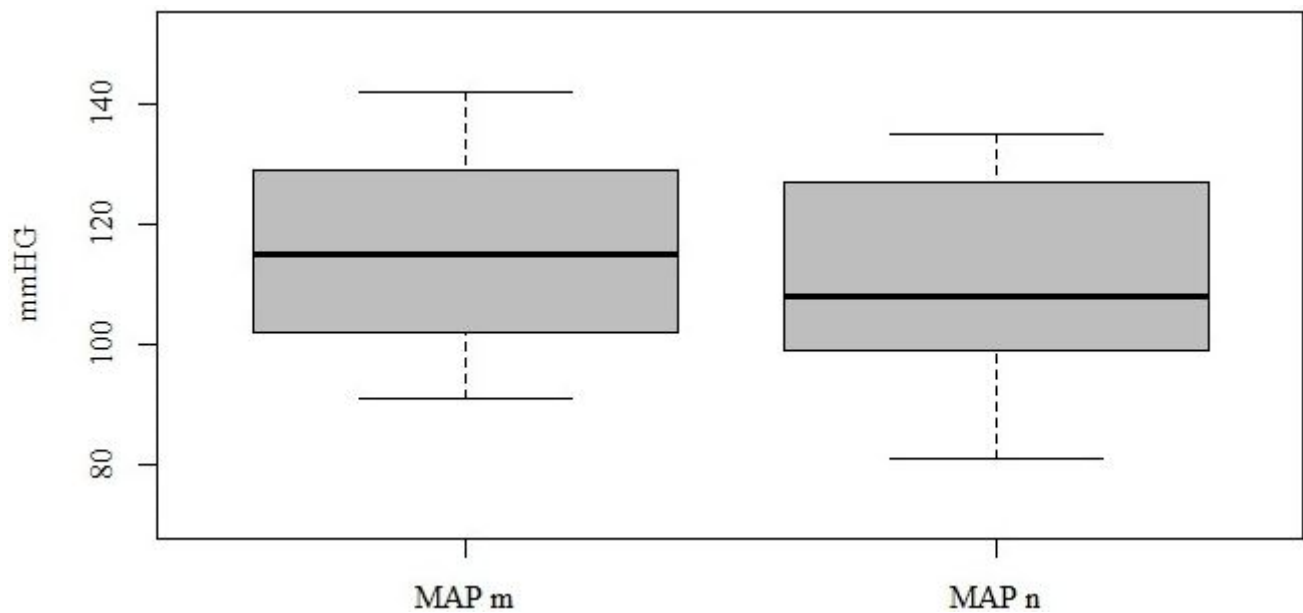


Abb. 31: Mittlerer arterieller Blutdruck (MAP) (Medianwerte) morgens und abends bei Pferden mit MVI.

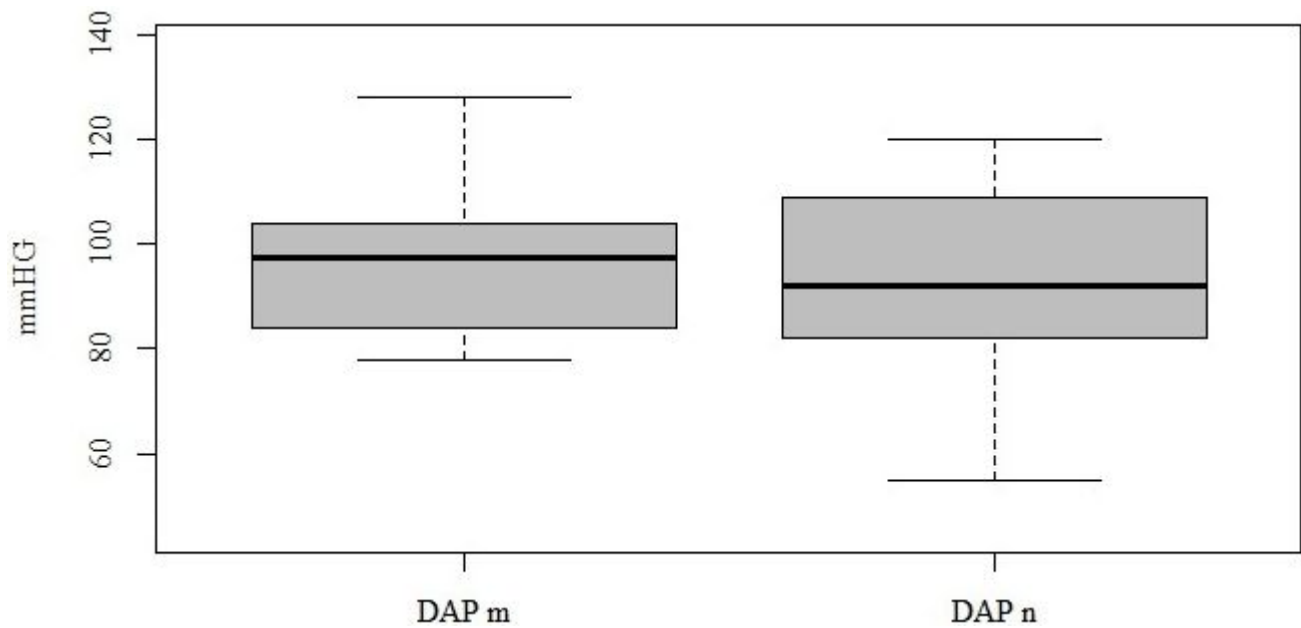


Abb. 32: Diastolischer arterieller Blutdruck (DAP) (Medianwerte) morgens und abends bei Pferden mit MVI.

(Legende zu Abb.30, 31, 32: SAP = systolischer arterieller Blutdruck, MAP = mittlerer arterieller Blutdruck, DAP = diastolischer arterieller Blutdruck, m = morgens, n = abends, MVI = Mitralklappeninsuffizienz)

Ein tendenziell gegensätzliches Bild zeigte sich bei den fünf an Vorhofflimmern erkrankten Pferden. Hier waren sowohl die Drücke als auch der Puls abends höher als morgens. Der SAP lag morgens bei 129 mmHg und abends bei 131 mmHg. Bei der ersten Messung betrug der MAP 102 mmHg und bei der zweiten 111 mmHg. Und auch der DAP war abends höher (99 mmHg) als bei der morgendlichen Messung (88 mmHg). Auch die Herzfrequenz war abends (56 Schläge/min) höher als morgens (47 Schläge/min) (Abb. 33, 34, 35). Diese Unterschiede waren jedoch statistisch nicht signifikant.

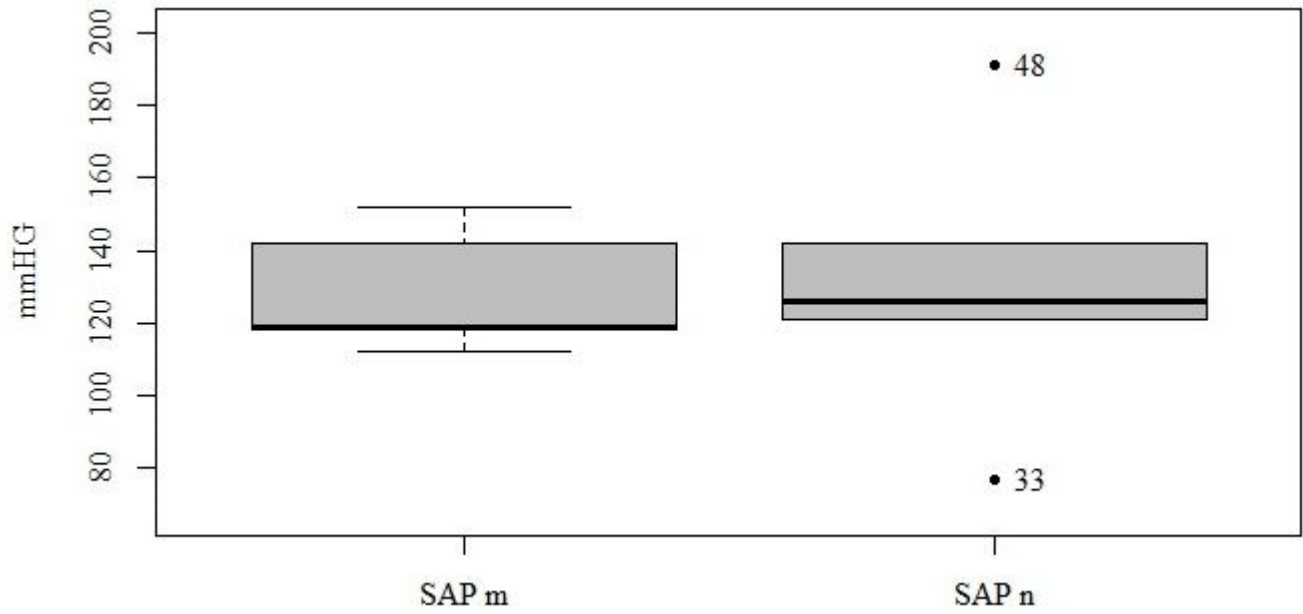


Abb. 33: Systolischer arterieller Blutdruck (SAP) (Medianwerte) morgens und abends bei Pferden mit Vorhofflimmern.

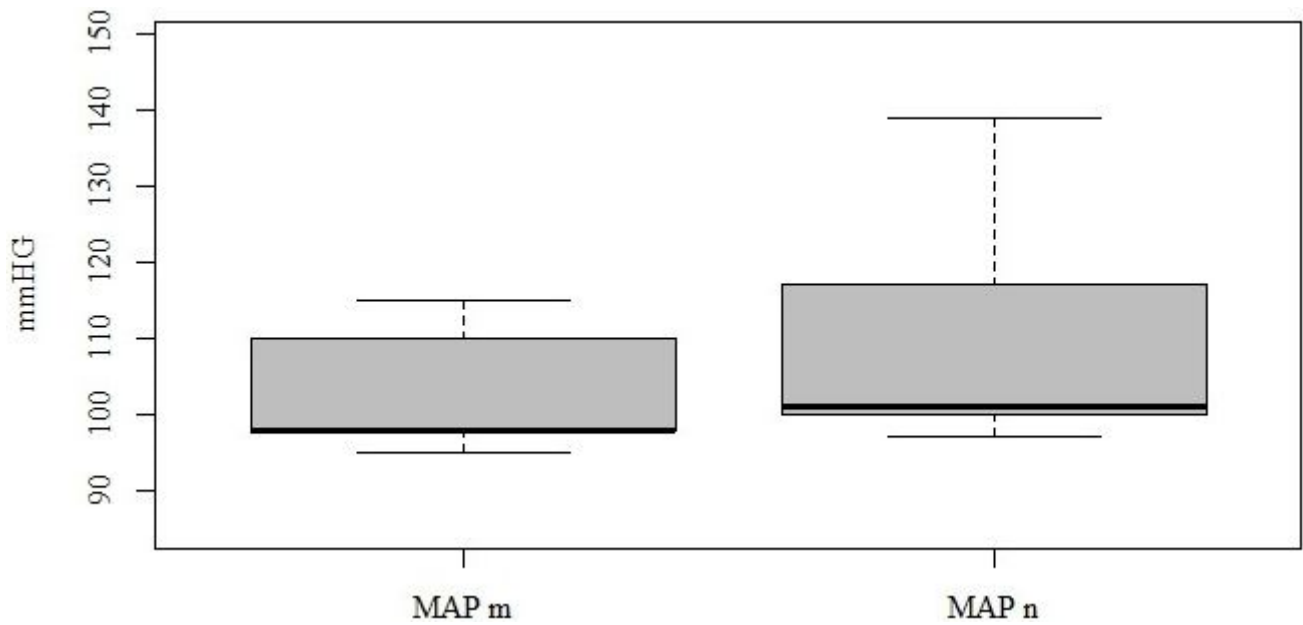


Abb. 34: Mittlerer arterieller Blutdruck (MAP) (Medianwerte) morgens und abends bei Pferden mit VF.

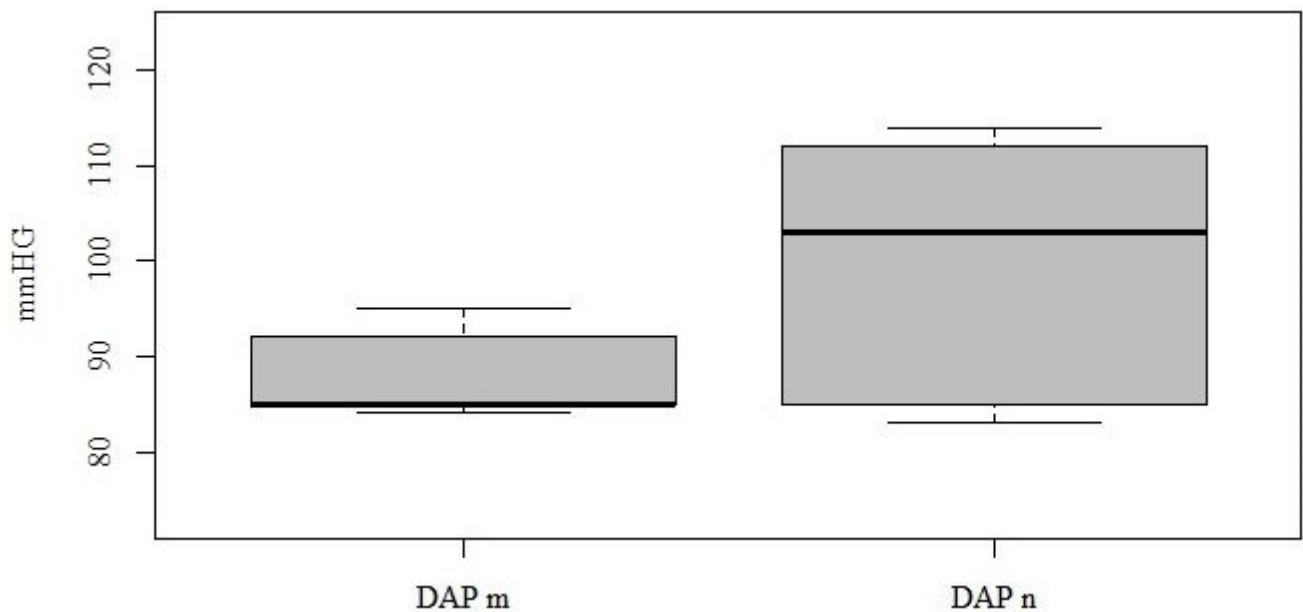


Abb. 35: Diastolischer arterieller Blutdruck (DAP) (Medianwerte) morgens und abends bei Pferden mit VF.

(Legende zu Abb. 33, 34, 35: SAP = systolischer arterieller Blutdruck, MAP = mittlerer arterieller Blutdruck, DAP = diastolischer arterieller Blutdruck, m = morgens, n = abends, VF = Vorhofflimmern, 33, 48 = Pferde Nr. 33 und 48)

4.6 Einfluss von Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht auf den arteriellen Blutdruck

Mit Hilfe der Korrelationsanalyse nach Pearson wurde der Einfluss von Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht auf den Blutdruck untersucht. Bei den 30 gesunden Pferden lag bei keinem der Parameter eine Korrelation mit den arteriellen Drücken vor. Auffällig war jedoch das Ergebnis bei dem Parameter Geschlecht. Im Durchschnitt waren der systolische, der mittlere und der diastolische Blutdruck bei den weiblichen Tieren ($n = 20$) höher als bei den Wallachen und Hengsten ($n = 40$). Der mittlere SAP betrug bei den Stuten 147 mmHg und bei den männlichen Pferden 142 mmHg. Auch der durchschnittliche MAP und DAP lagen bei den weiblichen (116 mmHg, 99 mmHg) höher als bei den männlichen Tieren (112 mmHg, 94 mmHg). Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant (Abb. 36 a, b).

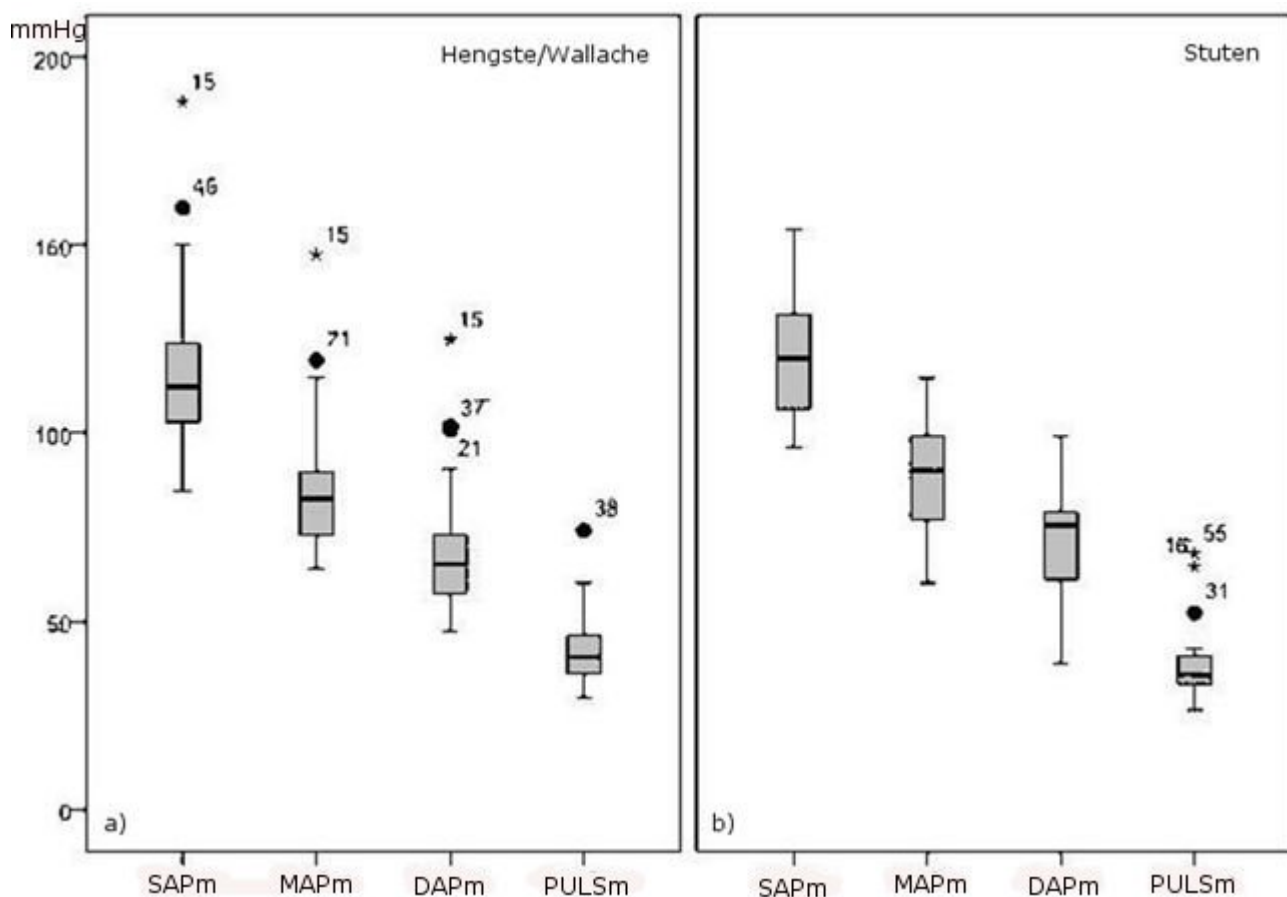


Abb. 36 a, b: Blutdruckwerte bei männlichen (Wallache, Hengste) (Medianwerte) und weiblichen Pferden.

(Legende zu Abb. 38a, b: SAP = systolischer arterieller Blutdruck, MAP = mittlerer arterieller Blutdruck, DAP = diastolischer arterieller Blutdruck, m = morgens)

Die 30 herzkranken Pferde wiesen eine positive Korrelation zwischen Alter und Herzfrequenz auf (Korrelationskoeffizient 0,374; Signifikanz: $p = 0,042$), sowie eine leichte Abhängigkeit des mittleren und diastolischen arteriellen Druckes von der Körpergröße. Bei älteren Pferden war die Herzfrequenz vergleichsweise geringfügig höher als bei jüngeren oder mittelalten Pferden und bei größeren Pferden lag ein geringgradig höherer mittlerer und diastolischer Blutdruck vor als bei leichteren Tieren. Allerdings war der p - Wert bei 0,095 und 0,014, so dass lediglich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Größe und dem DAP bestand ($p < 0,05$). Ähnlich verhielt es sich bei der Korrelation zwischen Körpergewicht (kg) und dem MAP (Korrelationskoeffizient 0,346) mit einem p - Wert von 0,061, sowie dem DAP (Korrelationskoeffizient 0,515) mit einem p - Wert von 0,004 (signifikant, wenn: $p < 0,05$). Die Abbildung 37 veranschaulicht den mit zunehmendem Körpergewicht ansteigenden diastolischen arteriellen Druck.

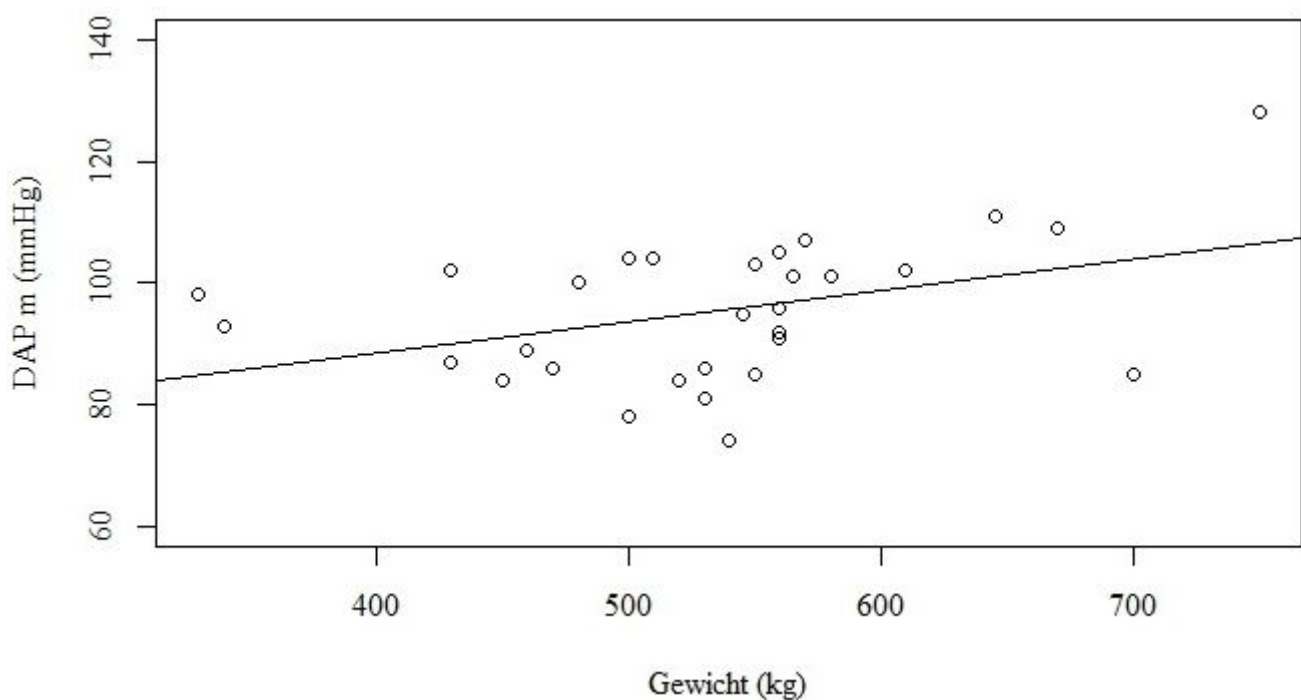


Abb. 37: Der diastolische arterielle Druck (DAP) (mmHg) in Abhängigkeit vom Körpergewicht (kg) bei herzkranken Pferden (Regressionsgerade).

4.7 Herzminutenvolumen der Pferde

4.7.1 Herzminutenvolumen bei herzgesunden Pferden

Die durchschnittliche Herzfrequenz bei gesunden Pferden lag bei 36 (\pm 5) Schlägen pro Minute. Der Durchmesser der Pulmonalarterie war im Mittel 5,9 (\pm 0,5) cm und das VTI betrug 30 (\pm 4). Das pro Minute aus dem rechten Ventrikel in die Arteria pulmonalis gepumpte Blutvolumen betrug durchschnittlich 29 (\pm 8) l/min.

4.7.2 Herzminutenvolumen bei herzkranken Pferden

Das mittlere Herzminutenvolumen bei den 30 herzkranken Pferden lag bei 30 (\pm 10) l/min. Die durchschnittliche Herzfrequenz war 43 (\pm 15) Schläge pro Minute, der Gefäßdurchmesser betrug 5,7 (\pm 0,6) cm und das VTI befand sich bei 28 (\pm 5).

Das durchschnittliche Herzminutenvolumen der 13 Pferde, die an einer Mitralklappeninsuffizienz litten, belief sich auf 27 (\pm 7) l/min (HF = 44 (\pm 20)/min; D = 5,6 (\pm 0,4) cm; VTI = 27 (\pm 4,8)).

Bei den 11 Pferden mit einer Aortenklappeninsuffizienz, wurde ein durchschnittliches Herzminutenvolumen von 34 (\pm 13) l/min festgestellt. Die mittlere Herzfrequenz dieser Tiere lag bei 39 (\pm 8) Schlägen/min, der gemittelte Gefäßdurchmesser bei 5,8 (\pm 0,6) cm und das VTI betrug 31 (\pm 4).

Sechs der 30 herzkranken Pferde zeigten eine Arrhythmie in Form von Vorhofflimmern. Im Durchschnitt lag das Herzminutenvolumen dieser Tiere bei 31 (\pm 6) l/min (HF = 45 (\pm 9) /min; D = 5,8 (\pm 0,5) cm; VTI = 27 (\pm 3)).

Das Herzminutenvolumen der an einer Aortenklappeninsuffizienz und Vorhofflimmern erkrankten Pferde war tendenziell höher, als das der Pferde, die an einer Mitralklappeninsuffizienz litten.

4.7.3 Einfluss von Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht auf das Herzminutenvolumen

Bei den untersuchten herzgesunden Pferden hatte keiner der Faktoren Alter, Größe, Gewicht oder Geschlecht Einfluss auf das dopplerechokardiographisch ermittelte Herzminutenvolumen. Dahingegen konnte bei den herzkranken Pferden ein Zusammenhang zwischen dem HMV und dem Alter der Tiere festgestellt werden. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson betrug 0,522 mit einem p - Wert von 0,003 Mit zunehmendem Alter wurde ein leichter Anstieg des Herzminutenvolumens erkennbar (Abbildung 38).

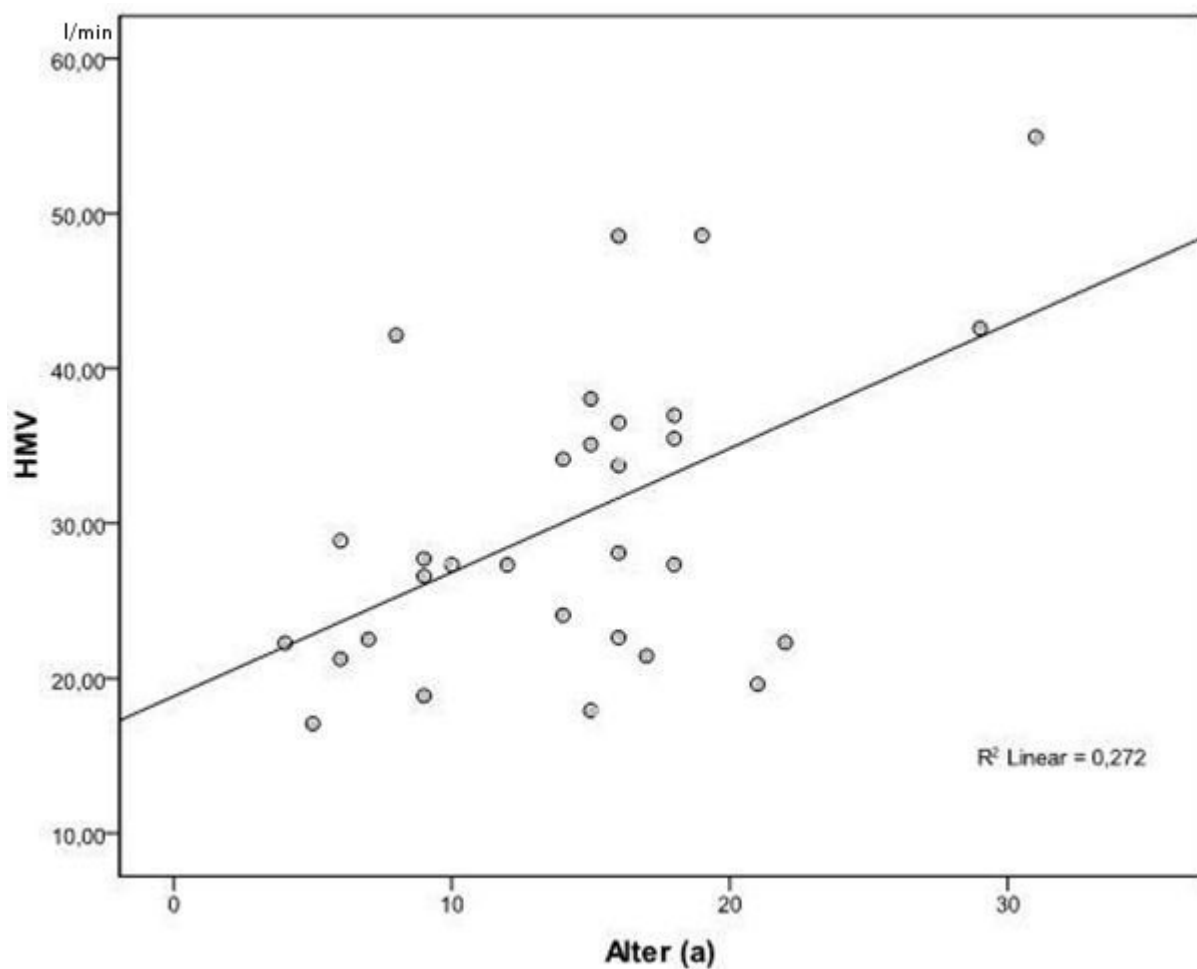


Abb. 38: Das Herzminutenvolumen (HMV) in Abhängigkeit vom Alter bei herzkranken Pferden (Regressionsgerade).

4.8 Peripheres Blutflussvolumen bei Pferden

4.8.1 Peripheres Blutflussvolumen bei herzgesunden Pferden

Das Blutflussvolumen wurde an der Arteria digitalis palmaris lateralis gemessen. Die Gefäßwand der Zehenarterie stellte sich im Ultraschall echoreich dar, während das Lumen echoarm oder echofrei erschien. Diese Untersuchung fand, ebenso wie der Herzultraschall, unabhängig von der Tageszeit statt. Ein vorsichtiges Aufsetzen des Schallkopfes war nötig, um eine Kompression der Arterie weitgehend zu vermeiden. Die durchschnittliche Größe der lateralen Zehenarterie betrug bei den 30 herzgesunden Pferden $0,39 (\pm 0,03)$ cm. Die mittlere systolische Spitzengeschwindigkeit (SPV) war $0,25 (\pm 0,082)$ m/s, während die enddiastolische Spitzengeschwindigkeit (EDV) $0,07 (\pm 0,04)$ m/s betrug. Die mittlere Flussgeschwindigkeit (TAV) des Blutes lag bei $0,11 (\pm 0,05)$ m/s und das durchschnittliche Blutflussvolumen pro Minute (BFV/min) an dieser Stelle lag bei $84,7 (\pm 38,9)$ ml/min. Der dimensionslose Resistance -Index (RI) belief sich auf $0,7 (\pm 0,1)$.

4.8.2 Peripheres Blutflussvolumen bei den herzkranken Pferden

Die Messungen mit dem Ultraschall-Doppler an der Zehenarterie der 30 herzkranken Pferde ergaben eine mittlere SPV von $0,27 (\pm 0,09)$ m/s und eine EDV von $0,08 (\pm 0,03)$ m/s. Die durchschnittliche Blutflussgeschwindigkeit betrug $0,12 (\pm 0,05)$ m/s und der RI $0,71 (\pm 0,09)$. Das gemittelte Blutflussvolumen an dieser Position lag bei den untersuchten Tieren bei $90 (\pm 26)$ ml/min.

Die 13 Pferde mit einer Mitralklappeninsuffizienz wiesen im Durchschnitt eine systolische Spitzengeschwindigkeit von $0,26 (\pm 0,08)$ m/s und eine enddiastolische Maximalgeschwindigkeit von $0,09 (\pm 0,05)$ m/s auf. Die TAV dieser Tiere lag bei $0,12 (\pm 0,06)$ m/s und der Resistance - Index bei $0,68 (\pm 0,09)$. In der Zeit von einer Minute passierten $90 (\pm 29)$ ml Blut die Zehenarterie an der untersuchten Stelle.

11 der untersuchten Pferde waren an einer Aortenklappeninsuffizienz erkrankt. Bei diesen Tieren betrug die SPV $0,28 (\pm 0,13)$ m/s, die EDV $0,06 (\pm 0,02)$ m/s und die mittlere Geschwindigkeit TAV $0,12 (\pm 0,04)$ m/s. Der Resistance - Index lag im Durchschnitt bei $0,75 (\pm 0,09)$ und das Blutflussvolumen bei $89 (\pm 28)$ ml/min.

Die durchschnittlich gemessene systolische Spitzengeschwindigkeit betrug bei den Tieren mit Vorhofflimmern $0,27 (\pm 0,07)$ m/s und die enddiastolische Maximalgeschwindigkeit $0,08$

($\pm 0,02$) m/s. Die mittlere Flussgeschwindigkeit des Blutes lag bei $0,12$ ($\pm 0,03$) m/s und der RI bei $0,71$ ($\pm 0,07$). Das Blutflussvolumen der sechs arrhythmischen Pferde an der Arteria digitalis palmaris lateralis lag im Durchschnitt bei 92 (± 23) ml/min (Abb. 39).

Bei dieser Untersuchung des peripheren Blutflusses fielen keinerlei Unterschiede innerhalb der herzkranken Gruppe auf. Allerdings waren sowohl das Blutflussvolumen als auch die systolische Spitzengeschwindigkeit bei den herzkranken Pferden höher als bei den gesunden Tieren.

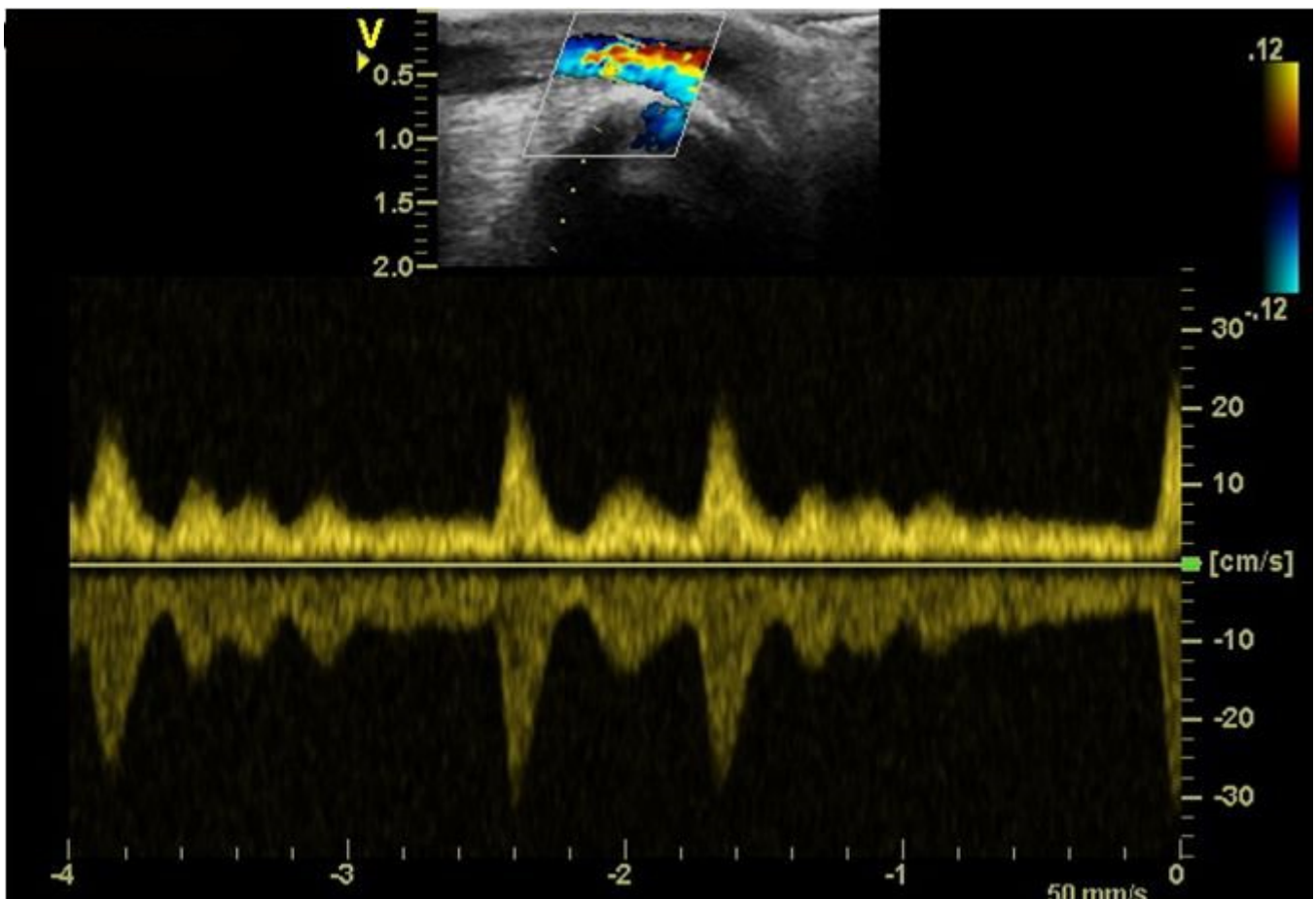


Abb. 39: Der arrhythmische Herzschlag eines Vorhofflimmerers spiegelt sich an der unregelmäßigen Blutflusskurve der lateralen Zehenarterie wieder.

4.8.3 Einfluss von Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht auf das Blutflussvolumen

Ein Zusammenhang zwischen den Faktoren Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht und dem Blutflussvolumen an der lateralen Zehenarterie konnte bei den 30 untersuchten herzgesunden Pferden nicht festgestellt werden. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei den kranken Tieren ein deutlicher Einfluss von Größe und Gewicht insbesondere auf die SPV, EDV und TAV aber auch auf das Blutflussvolumen pro Minute an dieser Stelle. Je größer und schwerer die Tiere waren, umso höher war die systolische, enddiastolische und mittlere Geschwindigkeit des Blutflusses. Außerdem nahm das Blutflussvolumen pro Minute mit zunehmendem Gewicht und Größe zu. Die Körpergröße (m) hatte einen signifikanten Einfluss sowohl auf die systolische (Korrelationskoeffizient nach Pearson 0,414; $p = 0,023$) als auch auf die enddiastolische Maximalgeschwindigkeit (Korrelationskoeffizient 0,478; $p = 0,008$). Auch das Körpergewicht (kg) beeinflusste die EDV (Korrelationskoeffizient 0,497; $p = 0,005$). Eine signifikante Korrelation ($p < 0,01$) wurde zusätzlich zwischen der mittleren Flussgeschwindigkeit TAV und der Körpergröße (Korrelationskoeffizient 0,543; $p = 0,002$) sowie dem Körpergewicht Korrelationskoeffizient 0,526; $p = 0,003$) des Pferdes festgestellt. Ein deutlicher Zusammenhang bestand ebenfalls zwischen dem Blutflussvolumen pro Minute und sowohl der Körpergröße (Korrelationskoeffizient 0,491; $p = 0,006$) als auch dem Körpergewicht (Korrelationskoeffizient 0,384; $p = 0,036$), wobei diese beiden Einflussfaktoren natürlich in Korrelation zueinander standen. Nach Erstellung eines Punkt - Streu - Diagrammes wurde die Regression für den Zusammenhang zwischen BFV/min und der Körpergröße (m) berechnet ($R - \text{Quadrat} = 0,241$). Aufgrund dieser Grafik ist erkennbar, dass mit zunehmender Körpergröße das Blutflussvolumen pro Minute in der Zehenarterie ansteigt (Abb. 40).

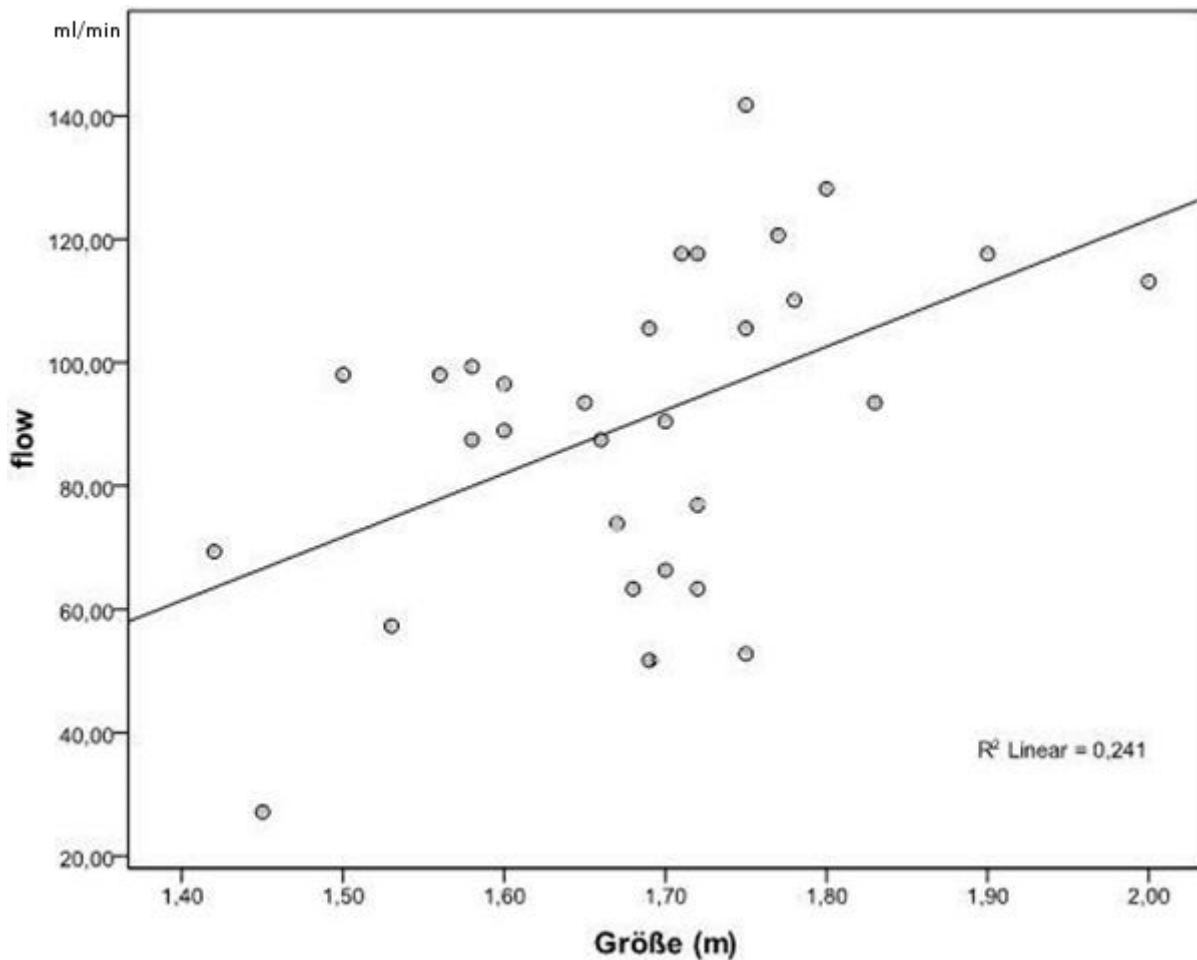


Abb. 40: Abhängigkeit des Blutflussvolumens (flow) pro Minute von der Körpergröße (m) (Regressionsgerade).

4.9 Korrelation zwischen arteriellem Blutdruck, Blutflussvolumen an der Zehenarterie und Herzminutenvolumen

Um die gesamte Kreislaufsituation der Pferde besser beurteilen zu können, wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der indirekten Blutdruckmessung an der Arteria caudalis mediana, der Flussmessung zentral an der Arteria pulmonalis und an der rechten Arteria digitalis palmaris lateralis besteht. Es wurde mithilfe der Korrelationsanalyse nach Pearson festgestellt, dass jedoch statistisch keinerlei Zusammenhang feststellbar war.

4.10 Blutdruckwerte bei drei Pferden vor und nach erfolgreicher Kardioversion

Bei an Vorhofflimmern erkrankten Pferden hat man die Möglichkeit der Therapie mit dem Klasse 1A - Antiarrhythmikum Chinidinsulfat. Alle drei untersuchten Pferde wurden vor der Kardioversion über zwei Wochen mit dem ACE - Hemmer Accupro und dem Klasse 1C - Antiarrhythmikum Propafenon vorbehandelt. Eines der Pferde litt ursächlich an einer hochgradigen Mitralklappeninsuffizienz mit bereits geringgradig dilatiertem Vorhof mit einem Durchmesser von 13,9 cm (physiologisch: < 13,5 cm). Das zweite Pferd hatte keinerlei echokardiographisch feststellbare pathologische Veränderungen am Herzen, war jedoch an einer mittelgradigen chronisch obstruktiven Bronchitis (COB) erkrankt. Nach allen Untersuchungen, die keinerlei Auffälligkeiten zeigten, schien der dritte Patient ebenfalls an idiopathischem Vorhofflimmern zu leiden. Die Blutdruckmessungen fanden bei diesen drei Pferden einen Tag vor der Kardioversion und zwei Tage danach statt (Abb. 41, 42). Da die Zahl der an Vorhofflimmern erkrankten Pferde gering war, wurde es vorgezogen, diese Fälle deskriptiv zu betrachten. Vor der Kardioversion lag der SAP der drei Pferde bei 119, 112 und 152 mmHg, der MAP bei 98, 95 und 115 mmHg und der DAP bei 85, 84 und 95 mmHg. Die Herzfrequenz betrug vor der Entflimmerung 51, 48 und 40 Schläge pro Minute und danach 54, 37 und 42 Schläge/min. Zwei Tage nach der erfolgreichen Kardioversion waren die Blutdruckwerte bei zwei Pferden angestiegen und bei einem abgefallen.



Abb. 41: HDO - Blutdruckkurve vor der Kardioversion mit Chinidinsulfat.

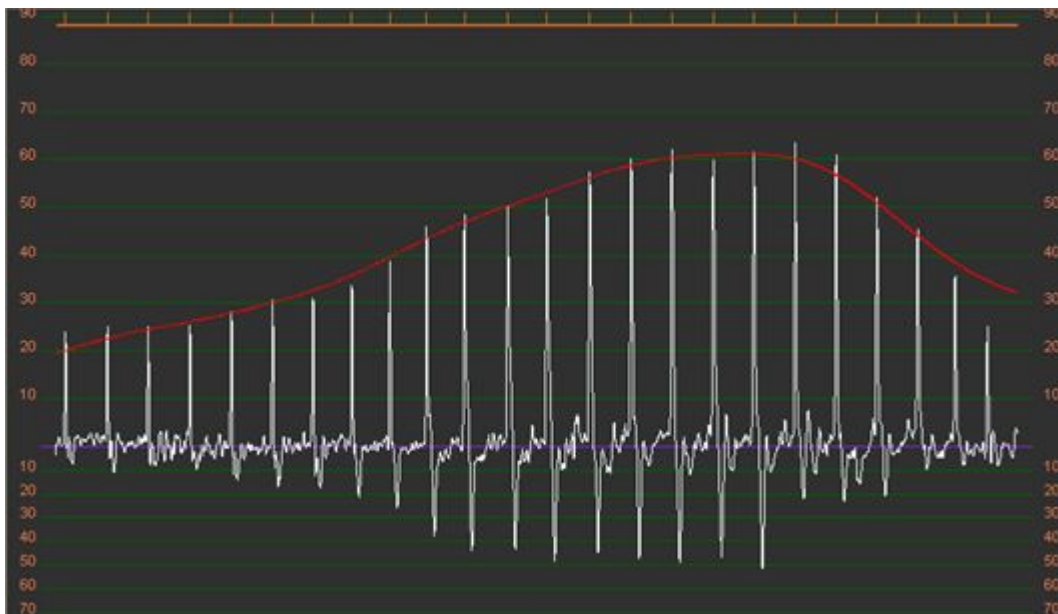


Abb. 42: HDO - Blutdruckkurve nach erfolgreicher Kardioversion mit Chinidinsulfat.

V Diskussion

Die indirekte Blutdruckmessung stellt bei Menschen und Kleintieren bereits eine etablierte Methode zur Bestimmung des Blutdruckes dar (EGNER et al., 2007). Allerdings hat sich diese Form der Blutdruckmessung beim Pferd bisher noch nicht durchgesetzt.

Die vorliegende Studie hatte zum Ziel, Normwerte für den arteriellen Blutdruck mit der High definition oscillometry bei gesunden Pferden zu erstellen, einen möglichen Einfluss der Tageszeit zu eruieren sowie potenzielle Unterschiede bei Pferden mit Herzerkrankungen aufzudecken. Darüberhinaus wurden das Herzminutenvolumen und der periphere Blutfluss bestimmt, um einen Eindruck über die zentrale und periphere Kreislaufsituation zu bekommen.

Dazu wurde bei allen hier untersuchten Pferden zunächst eine nichtinvasive Blutdruckmessung an der Schweifrübe durchgeführt. Bei der nichtinvasiven Blutdruckmessung ist eine zylindrisch geformte Messstelle zum Anlegen der Manschette am besten geeignet (BAILEY et al., 1994). Die Arterie, an der der Blutdruck gemessen wird, darf nicht zu klein sein, sollte dicht unter der Haut liegen und von Knochen unterlegt sein (GRAUWILER et al., 1958). Diese Beschreibung trifft neben einigen anderen Gefäßen auch auf die Arteria coccygealis zu. Der Schweif beim Pferd als Messlokalisierung für die Blutdruckmanschette wurde bereits von verschiedenen Autoren beschrieben (ELLIS, 1973; GIGUÈRE et al., 2005; GLEN, 1982) und daher auch in der vorliegenden Studie zum Anlegen der Blutdruck - Manschette verwendet. Die Gliedmaßen sind beim Pferd für die Blutdruckmessungen ungeeignet, da durch Balance - und Abwehrbewegungen des Pferdes zu viele Artefakte entstehen (WERNER et al., 1977). Der Schweif als Messlokalisierung konnte auch in unserer Studie für geeignet befunden werden, da eine gute Akzeptanz durch die Pferde bestand und Bewegungsartefakte und Abwehrbewegungen weitgehend vermieden werden konnten. Darüberhinaus haben aber auch zahlreiche andere Faktoren, insbesondere Umwelteinflüsse, eine Auswirkung auf den Blutdruck und können somit Normwerterstellungen erschweren (EGNER, 2006 b). Zur Erstellung von Normwerten wurden die Pferde in unserer Studie deshalb in ihren ihnen bekannten Boxen belassen, auf eine möglichst ruhige Umgebung und eine entspannte Kopfhaltung mittlerer Höhe geachtet, da diese Faktoren ebenfalls Einfluss auf die gemessenen Blutdruckwerte haben (PARRY et al., 1980). Alle Blutdruckmessungen wurden unter Berücksichtigung der Tageszeit durchgeführt, da auch das Vorhandensein einer diurnalen Rhythmik des Blutdrucks in der Literatur

beschrieben ist (PICCIONE et al., 2009).

Bei allen Messungen wurden die Blutdruckwerte der untersuchten Pferde in dieser Arbeit auf Herzhöhe korrigiert. In der Literatur ist beschrieben, dass die durchschnittliche Höhendifferenz von der Herzebene und der Schweifarterie beim adulten Pferd 35 cm beträgt und die Blutdruckdifferenz aufgrund des Umrechnungsfaktors 0,769 ca. 27 mmHg beträgt.

Um präzise Werte für den systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruck anzugeben, reicht eine einzelne Messung nicht aus, da physiologische Blutdruckschwankungen aufgrund von Manipulation, Lärm und anderen äußeren Einflüssen auftreten (EGNER, 2006). Deswegen werden von diversen Autoren mehrere Wiederholungsmessungen gefordert. So empfiehlt EGNER (2006) bei Schwankungen innerhalb von 20 mmHg drei Einzelmessungen und bei Schwankungen über 20 mmHg fünf Einzelmessungen durchzuführen und den Mittelwert daraus zu berechnen. Der teilweise hohe intraindividuelle Unterschied in unserer Studie bestätigt, dass viele Wiederholungsmessungen zum Erhalt eines genauen Wertes wichtig sind. In der vorliegenden Studie wurden deshalb sechs Einzelmessungen durchgeführt, da die erste Messung der Adaption des Gerätes an das individuelle Pferd galt und die Geschwindigkeit der Druckabfallsrate an das jeweilige Tier angepasst wurde. Außerdem diente die erste Messung der Gewöhnung des Tieres an die sich aufpumpende Schweifmanschette. Die folgenden fünf auswertbaren Messungen wurden zur Berechnung des Mittelwertes herangezogen. Im Durchschnitt schwankten die individuellen Blutdruckwerte der herzgesunden Pferde um ± 22 mmHg, während der Blutdruck beim herzkranken Individuum um ± 17 mmHg variierte. Für die Dissertation von KUCKENBERG (2008) wurden mit dem gleichen HDO - Blutdruckmessgerät, das auch in unserer Studie Verwendung fand, Blutdruckmessungen bei Kälbern durchgeführt. Fünf Einzelmessungen am Schwanz der Tiere dauerten beim Kalb im Durchschnitt 7,42 Minuten, während sechs Blutdruckmessungen bei Pferden unserer Studie im Mittel lediglich 6 Minuten und 10 Sekunden in Anspruch nahmen. Von den sechs Einzelmessungen war nahezu jedes Messergebnis auswertbar, während bei den Kälbern im Mittel bei fünf Einzelmessungen 3,5 Fehlermeldungen auftraten. Die genaue Ursache für die gehäuften Fehlermeldungen bei der Untersuchung an Kälbern könnte an verstärkten Abwehr - bzw. Schwanzbewegungen liegen.

Für die Erhebung von Normwerten sind darüber hinaus auch der Umfang und die Zusammensetzung einer Tiergruppe von wesentlicher Bedeutung. Um die Ergebnisse auf eine Population übertragen zu können, wird eine Mindestzahl von 200 Tieren empfohlen (RICHTERICH und COLOMBO, 1978; SACHS, 2009). Allerdings stehen derart hohe

Tierzahlen in der Pferdemedizin für wissenschaftliche Untersuchungen nur selten zur Verfügung. Im Vergleich zu anderen Studien über Blutdruckmessungen beim Pferd ((FRITSCH und BOSLER, 1985 (69 Pferde), GIGUÈRE et al., 2005 (10 Pferde), PARRY et al., 1980 (18 Pferde), GLEN, 1982 (20 Pferde)) weicht die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Probandenzahl mit 30 herzgesunden und 30 herzkranken Pferden nicht von üblichen Vorgehensweisen ab und liefert darüber hinaus erste statistisch auswertbare Ergebnisse, um die Anwendbarkeit dieser Technik beim Pferd zu beurteilen.

Normwerte sollten an gesunden Probanden erstellt werden. Die Gesundheit der hier untersuchten Pferde konnte diagnostisch mit großer Wahrscheinlichkeit ausreichend abgeklärt werden. Allerdings bleibt es immer schwierig, das „gesunde“ beziehungsweise „normale“ Pferd von dem mit einer klinisch inapparenten geringgradigen Erkrankung abzugrenzen. Auch das „normale“ Pferd ist kein vollständig gesundes Pferd, da Spuren vergangener Infektionen oder subklinischer Gewebeveränderungen gegebenenfalls bestehen bleiben. Somit gelte es, zwischen „normal nicht gesunden“ und kranken Pferden zu unterscheiden (GERBER et al., 1975). Wenn diese Unterscheidungsmöglichkeit berücksichtigt wird, weisen die in der vorliegenden Arbeit als gesund beurteilten Pferde keine mit den üblichen diagnostischen Mitteln erkennbaren Herzerkrankungen auf.

Im Vergleich zu vorhergehenden Untersuchungen zur Blutdruckmessung beim Pferd wurden in dieser Studie die Blutdruckwerte mittels High definition oscillometry gemessen. Die ermittelten Werte für den systolischen arteriellen Blutdruck lagen bei gesunden Pferden bei 145 mmHg, der mittlere arterielle Druck bei 114 mmHg und der diastolische arterielle Druck bei 97 mmHg. SIEDENTOPF (1984) gab in seiner Untersuchung 112 mmHg für den mittleren systolischen arteriellen Blutdruck, und 70 mmHg für den mittleren diastolischen Druck (nicht auf Herzhöhe korrigiert) bei Pferden an. Auch er hatte den Blutdruck mittels indirekter Messtechnik an der Arteria coccygealis medialis bestimmt. FRITSCH und HAUSMANN (1988) ermittelten dagegen mit einem indirekten Messsystem 143,4 mmHg als systolischen Blutdruck und 96,9 mmHg als diastolischen Blutdruck (Werte auf Herzhöhe korrigiert) bei Pferden in Ruhe. Diese Werte liegen deutlich über den Blutdruckwerten, die von SIEDENTOPF (1984) ermittelt wurden, allerdings stimmen sie gut mit den von uns gemessenen Werten überein. Man muss beachten, dass es sich hierbei um Blutdruckwerte handelt, die auf Herzhöhe korrigiert wurden und daher höher sind als die sogenannten coccygeal uncorrected values (CUCV) (GAY et al., 1977). Pro Zentimeter Höhendifferenz zwischen Schweifbasis und rechtem Ventrikel werden 0,7 mmHg zum gemessenen Blutdruck addiert (GAY et al., 1977, PARRY et al., 1984).

Im Unterschied zu den bisherigen Blutdruckmessmethoden, bietet die High definition oscillometry - Technik die Möglichkeit der zusätzlichen Visualisierung der Blutdruckkurve am Computerbildschirm, was das Erkennen und Beurteilen einer Arrhythmie und die Aufdeckung von Messartefakten vereinfacht. Das Blutdruckmessgerät und die dazugehörige Software sind benutzerfreundlich gestaltet, so dass der Umgang damit keine Probleme bereitet. Allerdings ist die Blutdruckmessung beim Pferd relativ personalaufwändig, da mindestens zwei, besser sogar drei Personen benötigt werden. Der Zeitaufwand liegt mit durchschnittlich 6 Minuten und 10 Sekunden in einem, auch für die Praxis, vertretbaren Bereich. Für sechs benötigte fehlerfreie Messungen pro Pferd müssen statistisch durchschnittlich 6,65 Messungen durchgeführt werden, was bedeutet, dass die Messungen mit Fehlermeldungen lediglich einen geringen Anteil ausmachen. Ursächlich für die geringe Anzahl von Fehlermeldungen war sicherlich die gute Toleranz der Schweifmanschette durch die Pferde.

Als eine mögliche Fehlerquelle bei der indirekten Blutdruckmessung wird von den Richtlinien der VETERINARY BLOOD PRESSURE SOCIETY (ERHARDT et al., 2007) ein zu enges Anlegen der Manschette beschrieben, weil hierdurch die Arterie teilweise verschlossen werden kann, wodurch die Messgenauigkeit beeinflusst wird. Allerdings muss sie auch eng genug anliegen, damit Arterienwandschwingungen vom Sensor detektiert werden können. Außerdem muss sich der Sensor genau in dem Bereich der Arterie befinden. Des Weiteren stellte auch die ungenügende Anzahl an Blutdruckmessungen eine Fehlerquelle dar, da jeder Herzschlag seinen eigenen Blutdruckwert generiert und so physiologische Schwankungen entstehen, die erst durch die Bildung eines Mittelwertes aus mehreren Einzelwerten ausgeglichen werden können (EGNER, 2007). Einzelne Fehlermeldungen basierten bei den Pferden unserer Studie auf Bewegungsartefakten durch unruhige Tiere, unruhige Umgebung und Schweifbewegungen/Schweifschlagen (zum Beispiel im Sommer aufgrund von Fliegen).

Der Vorteil der indirekten Blutdruckmessmethoden liegt in ihrer mittlerweile durchaus mit invasiven Techniken vergleichbaren Genauigkeit, ohne dass ein invasiver Eingriff im Sinne einer arteriellen Punktion durchgeführt werden muss (MUIR et al., 1983; GEDDES et al. 1977). Bei der direkten Blutdruckmessung kann es zu Komplikationen und Schmerzen für das Tier kommen. Sogenannte Kurzzeitkomplikationen haben RICCO et al. (2009) untersucht und aufgezeigt, dass Pferde nach der Implantation von Kathetern immer milde Hämatome entwickeln und zu einer Serombildung neigen. Desweiteren birgt die direkte Blutdruckmessung eine Infektions - und Thrombosegefahr (SCHATZMANN, IONITA, 2005). Durch die direkte Form der Blutdruckmessung wird zwar eine kontinuierliche Überwachung des Blutdruckes während Anästhesie und Aufwachphase ermöglicht, für Routinemessungen in

der Praxis bzw. am stehenden Pferd ist sie allerdings ungeeignet.

In Bezug auf die zirkadiane Rhythmik des Blutdruckes zeigte sich in der vorliegenden Studie anhand der 18 gesunden Pferde, bei denen sowohl morgens als auch abends der Blutdruck gemessen wurde, dass alle Werte bei der späteren Messung geringgradig über den morgendlichen Blutdruckwerten lagen. Eine ähnliche Tendenz zeigte sich auch bei den an Vorhofflimmern erkrankten Tieren unserer Studie. Insgesamt kann man jedoch nur von leichten Schwankungen sprechen, da die Differenzen keinesfalls signifikant waren. Allerdings berichteten auch PICCIONE et al. (2009), dass bei den Pferden in ihren Untersuchungen, unabhängig davon, ob und wann sie erarbeitet wurden, sowohl der systolische und diastolische Blutdruck, als auch Herzfrequenz und Körpertemperatur nachmittags höher waren als morgens. Sie beschrieben diese Vorgänge als Folge des endogenen zirkadianen Rhythmus des Pferdes. Im Unterschied dazu lagen die in unserer Studie gemessenen durchschnittlichen Werte für den SAP, DAP und MAP bei den herzkranken Pferden, die an einer Mitralklappeninsuffizienz litten (n = 9), morgens minimal über den Werten der abendlichen Messungen. Ob es sich dabei um willkürliche Schwankungen der Drücke handelt oder ob es bei Herzerkrankungen eventuell zu einer Aufhebung der zirkadianen Rhythmik des Blutdruckes kommt müsste an größeren Fallzahlen eruiert werden. Beim equinen Cushing Syndrom ist eine Aufhebung der zirkadianen Rhythmik der Cortisolausschüttung beim Pferd bereits nachgewiesen (DYBDAL et al., 1994).

Neben der Normwerterhebung bei gesunden Pferden wurde in der vorliegenden Studie der Blutdruck gesunder Pferde mit dem herzkranker Pferde verglichen. Hierbei zeigten Pferde mit einer Aortenklappeninsuffizienz die höchsten Werte für den systolischen arteriellen Druck an der Arteria coccygealis medialis. Diese Pferde lagen mit einem SAP von 149 mmHg geringgradig über dem durchschnittlichen systolischen Blutdruck der herzgesunden Tiere (145 mmHg). Die Differenz des systolischen arteriellen Druckes zwischen kranken und gesunden Pferden war statistisch nicht signifikant. Ob dieser Unterschied bei der Untersuchung größerer Fallzahlen deutlicher wird, müssen nachfolgende Untersuchungen zeigen. Bezüglich des mittleren und diastolischen arteriellen Druckes bestand keine relevante Differenz. In der Humanmedizin wurde bei Patienten, die an einer Niereninsuffizienz im Endstadium litten, ebenfalls ein erhöhter systolischer arterieller Druck festgestellt, der sogar mit leicht erniedrigtem diastolischen und mittleren Blutdruck einhergeht. Ursächlich hierfür scheint die aus Abnahme elastischer Fasern resultierende Aortensteifheit und die darauf folgende Zunahme des Aortendurchmessers zu sein (PANNIER et al., 2011). In unserer Studie lagen alle Aortendurchmesser im Referenzbereich.

Der systolische arterielle Blutdruck steigt entweder durch ein erhöhtes Herzminutenvolumen und/oder einen erhöhten peripheren Widerstand an. In der Humanmedizin wird häufig von Verkalkungen arterieller Gefäße berichtet, die durch abnehmende Elastizität der Arterienwände zu einem erhöhten peripheren Widerstand führen. Auf diese Weise kann es zu einem Teufelskreis kommen, bei dem die vaskuläre Kalzifizierung als Folgeerscheinung einer primären Hypertonie diese sekundär begünstigt.

Auch bei noch relativ jungen Rennpferden (3,8 - 4 Jahre) fanden ARROYO et al. (2008) Kalziumablagerungen in den Wänden großer arterieller Gefäße, am häufigsten an der Aufzweigung der Pulmonalarterie. Diese Verkalkungen führten zu einer verminderten elastischen Compliance und somit zu einer vermehrten Steifheit der Gefäße. Diese Versteifung der Arterien kann durchaus, wie in der Humanmedizin beschrieben, einen bereits bestehenden primären Hypertonus sekundär verstärken.. Bezüglich des Blutdruckes wurden in ARROYOS (2008) Studie jedoch keinerlei Untersuchungen durchgeführt. Auch bei älteren Pferden, die überwiegend an einer Aortenklappeninsuffizienz leiden, wurden bisher noch keine Untersuchungen dazu durchgeführt und in der vorliegenden Studie fehlt leider die Information bezüglich des Gefäßzustandes bzw. des Kalzifizierungsgrades der Gefäße. Dazu müssten patho - histologische Untersuchungen der Gefäßwände durchgeführt werden, was in unserer Studie nicht möglich war. Eine Erklärung für den erhöhten systolischen Blutdruck bei unseren Pferden mit einer Aortenklappeninsuffizienz ist möglicherweise, dass es als Folge der Insuffizienz zu einem Rückfluss von Blut aus der Aorta in den linken Ventrikel kommt, was dazu führt, dass das Blutvolumen in der linken Herzkammer zunimmt. Das bei der nächsten systolischen Kammerkontraktion ausgeworfene höhere Schlagvolumen führt dann gegebenenfalls zu einem erhöhten systolischen Blutdruck.

Die Blutdruckwerte der Pferde unserer Studie, die an Vorhofflimmern erkrankt waren, lagen deutlich unter denen der Gesunden und auch unter denen der anderen herzkranken Pferde. Der durchschnittliche systolische arterielle Druck betrug 130 mmHg, der MAP 115 mmHg und der DAP 91 mmHg. Diese Drücke befanden sich am unteren Rand des jeweiligen Referenzbereiches. Allerdings war die Pulsfrequenz bei den arrhythmischen Tieren mit 51 Schlägen pro Minute höher als bei allen anderen Pferden und lag außerhalb des Referenzbereiches. Charakteristisch für das Vorhofflimmern ist die fehlende Vorhofkontraktion, die den Effekt hat, gerade bei höheren Herzfrequenzen, am Ende der Diastole noch aktiv Blut in den Ventrikel zu pumpen. Bei höheren Frequenzen reicht die Zeitspanne nicht mehr aus, dass der Ventrikel sich passiv entlang des Druckgradienten ausreichend mit Blut füllt, so dass die atriale Kontraktion gerade unter Belastung an

Bedeutung zunimmt. Die Pferde mit Vorhofflimmern in dieser Studie hatten größtenteils erhöhte Herzfrequenzen, was bedeutet, dass sich die verminderte Zeit für die passive Ventrikelfüllung und die fehlende atriale Kontraktion in einem verminderten Schlagvolumen bemerkbar machten, was durch eine höhere Schlagfrequenz ausgeglichen werden sollte. Dadurch kann es bei physiologischem peripheren Widerstand zu einem Absinken des Blutdruckes gekommen sein.

Laut EGNER et al. (2007) kommt es beim Kleintier eher in den frühen Stadien einer Herzerkrankung zu einer Hypertonie, während beim Fortschreiten der Erkrankung eine Hypotonie auftritt. Im Falle unserer Studie handelte es sich größtenteils um Pferde mit gering- bis mittelgradigen Formen von Herzerkrankungen und es war kein dekompensierter Patient dabei. Weiterführend ist es sicherlich interessant, arterielle Blutdruckmessungen bei Pferden durchzuführen, die sich im Stadium der Dekompensation befinden. So wie es in der Kleintiermedizin beschrieben wurde, müssten die arteriellen Drücke dann deutlich absinken (HENKE et al., 2007). Vielleicht gäbe es auch die Möglichkeit, eine beginnende Dekompensation des Herzens dadurch frühzeitig aufzudecken und gegebenenfalls frühzeitig therapeutisch einzugreifen.

SKRODZKI (2000) zeigte die Notwendigkeit in der Kleintiermedizin auf, den Blutdruck eines Patienten regelmäßig zu kontrollieren, da sowohl bei chronischer als auch bei akuter Herzinsuffizienz die Variationsbreite der Blutdruckveränderungen erheblich schwanken kann. In der Kleintiermedizin wird die Blutdruckmessung sowohl als diagnostisches Mittel als auch zur Therapie- und Verlaufskontrolle zum Beispiel bei Nierenerkrankungen, bei Herzerkrankungen, bei Hypo- /Hyperthyreose und bei Morbus Cushing eingesetzt. Diese Erkrankungen und verschiedene Arzneimittel (vor allem ACE - Hemmer, Diuretika, Vasodilatoren und andere) beeinflussen den Blutdruck, so dass sich die Blutdruckmessung zur Therapieüberwachung anbietet. Im Bezug auf nierenkranke Pferde sind bisher in der Literatur keine Untersuchungen im Zusammenhang mit Blutdruckmessungen beschrieben worden. Jedoch würde sich auch in diesem Falle die Blutdruckmessung eventuell als Verlaufskontrolle anbieten. Bei Pferden sind bisher ebenfalls noch keine Untersuchungen gemacht worden, inwiefern die Erkrankungen einzelner Organe/Organsysteme oder systemischer Erkrankungen (z. B. Cushing) Einfluss auf den arteriellen Blutdruck haben. Dies kann eventuell die Anwendung des Blutdruckmessgerätes im Rahmen der Frühdiagnostik und für Verlaufskontrollen von Erkrankungen beim Pferd erweitern.

Beim Pferd spielt die Blutdrucküberwachung vor allem während der Narkose eine bedeutende Rolle. Um Folgen einer Hypotension in der Narkose zu verhindern, ist eine durchgehende, zuverlässige Überwachung des Blutdruckes beim Pferd unerlässlich (GEHLEN und IONITA, 2010). Mit seinem weiten Messbereich und aufgrund der Tatsache, dass während der Allgemeinanästhesie keine Schweißbewegungen stattfinden, scheint das High definition oscillometry - Gerät für die Blutdrucküberwachung während der Narkose gut geeignet zu sein, obwohl es in unserer Untersuchung nur am stehenden Pferd eingesetzt wurde.

Aufgrund der Untersuchungen in unserer Studie lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Blutdruckmessung beim Pferd bezüglich der Frühdiagnostik und auch der Verlaufskontrolle einzelner Herzerkrankungen eher ungeeignet ist, da es zu keiner signifikanten Veränderung der Drücke kommt, zumindest nicht, solange sich das Tier noch im Stadium der Kompensation befindet. Daher eignet sich die Blutdruckmessung beim Pferd, im Unterschied zur Kleintiermedizin, wahrscheinlich auch nicht zur Verlaufskontrolle der Therapie mit ACE - Hemmern, die bei Mitralklappeninsuffizienzen des Pferdes zum Einsatz kommen (GEHLEN et al., 2010).

Neben den Blutdruckwerten wurde in dieser Studie bei allen Pferden das Herzminutenvolumen bestimmt und eine periphere Gefäßdoppleruntersuchung durchgeführt. Hierbei sollte mit diesen Parametern der zentralen und peripheren Durchblutung bzw. Herzfunktion eine gegebenenfalls vorhandene Korrelation mit den Blutdruckwerten und/oder eventuelle Unterschiede zwischen herzkranken und herzgesunden Pferden aufgedeckt werden.

Bezüglich des Herzauswurfvolumens pro Minute lagen zwischen gesunden und herzkranken Pferden lediglich tendenzielle, statistisch nicht signifikante, Differenzen vor, wobei die an einer Aortenklappeninsuffizienz erkrankten Tiere in dieser Studie das größte Herzauswurfvolumen (34 L/min) aufwiesen. Allerdings scheint es sich hierbei um physiologische Schwankungen zu handeln, da laut diverser Autoren das durchschnittliche Herzminutenvolumen eines 400 - 500 kg schweren Pferdes zwischen 32 - 40 L/min liegt (MUIR et al., 1976; MUIR, 1992; SKARDA und MUIR, 1996). Die in der vorliegenden Studie untersuchten gesunden Pferde lagen mit einem HMV von 29 L/min (+/- 8) unterhalb des in der Literatur angegebenen Referenzbereiches, ebenso wie die an einer Mitralklappeninsuffizienz leidenden Pferde (27 l/min) und die an Vorhofflimmern erkrankten Tiere (31 l/min). Laut CORLEY et al. (2003) unterschätzen dopplerechokardiographische Messungen an der Arteria pulmonalis das Herzminutenvolumen im Vergleich zu Messungen, die an der Aorta durchgeführt wurden. Allerdings liegt der Vorteil der

Herzminutenvolumenbestimmung auf Höhe der Pulmonalklappe darin, dass dort ein guter Anschallwinkel erreicht wird und in derselben Einstellung Gefäßdurchmesser und Strömungsparameter bestimmt werden können (STADLER et al., 1994). Aufgrund dessen haben wir uns für die Messung an der Arteria pulmonalis in der rechten kranialen kurzen Achse entschieden (RKRLA) (STADLER et al., 1994). Allerdings können die Unterschiede zwischen den gemessenen Volumina verschiedener Autoren auch auf der Nutzung unterschiedlicher Messmethoden basieren. Im Vergleich zur Thermodilutionsmethode weist die Dopplertechnik eine geringere Fehlerquote auf (STADLER et al., 1994), was für die Genauigkeit der in dieser Studie gemessenen Werte spricht. Das mit der Thermodilutionsmethode ermittelte Herzminutenvolumen liegt immer geringgradig über dem echokardiographisch oder mit der Farbstoffverdünnungsmethode bestimmten HMV (MIZUNO et al., 1994). Im Unterschied zu den beiden anderen Methoden war mit der Dopplerechokardiographie eine nichtinvasive Technik zur Bestimmung des Herzminutenvolumens möglich, was die Nutzung des HMV als zentralen Kreislaufparameter erleichtert hat. Einen wichtigen Einflussfaktor auf die Messergebnisse stellt auch die Anschallrichtung beziehungsweise der Winkelfehler dar (GABRIELEN, 1988; HATLE und ANGELSEN, 1985).

In der dopplersonographischen Untersuchung der Arteria digitalis palmaris lateralis zur vorliegenden Studie wurde bei herzgesunden Pferden ein Blutflussvolumen von 85 (+/- 39) ml/min ermittelt. Das Blutflussvolumen der herzkranken Tiere lag mit Werten zwischen 89 ml/min (Pferde mit Aortenklappeninsuffizienz) und 92 ml/min (Pferde mit Vorhofflimmern) geringfügig höher. Bei ihren Messungen an der Zehenarterie erhielten MENZIES - GOW und MARR (2007) dagegen ein deutlich niedrigeres durchschnittliches Flussvolumen des Blutes von 0,08 ml/min. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von WONGAUMNUAYKUL et al. (2006), die als durchschnittliches Blutflussvolumen an dieser Lokalisation bei orthopädisch gesunden Pferden 40 ml/min angegeben haben. Unsere gemessenen Werte erscheinen im Vergleich zu diesen Studien sehr hoch. Blutflussvolumina von 90 ml/min traten bei den Untersuchungen von WONGAUMNUAYKUL et al. (2006) lediglich bei Pferden mit einem Hufabszess oder einer Hufrehe auf. Die in der vorliegenden Studie untersuchten Pferde litten jedoch weder an einem Hufabszess noch unter einem akuten Reheschub, so dass die Ursache der unterschiedlichen Messwerte methodisch bedingt sein muss. Alle anderen dopplersonographisch bestimmten Geschwindigkeiten, der Gefäßdurchmesser, sowie der Resistance - Index stimmten dagegen gut mit den Ergebnissen der anderen Autoren überein. In den Untersuchungen von HOFFMANN et al. (2001) und PIETRA et al. (2004) wurden

vergleichbare Blutflussgeschwindigkeiten (systolische Spitzengeschwindigkeit, enddiastolische Geschwindigkeit) an der Zehenarterie, an der belasteten Gliedmaße gemessen wie in unserer Studie, was wiederum auf eine korrekte Durchführung der eigenen Messungen schließen lässt.

Bei den gesunden Pferden wurde in der vorliegenden Studie keinerlei Korrelation bezüglich Alter, Geschlecht, Körpergröße und -gewicht auf den Blutdruck, das Herzminutenvolumen und die Blutflussgeschwindigkeit an der Zehenarterie festgestellt. Allerdings korrelierten sowohl die Körpergröße ($n = 0,014$) als auch das Körpergewicht ($n = 0,004$) der herzkranken Pferde deutlich mit dem diastolischen arteriellen Druck ($p < 0,05$; $p < 0,01$). Je schwerer beziehungsweise größer die herzkranken Tiere waren, desto höher war ihr gemessener diastolischer arterieller Blutdruck. Es war auffällig, dass weder Größe noch Gewicht Einfluss auf den mittleren und systolischen arteriellen Druck hatten. Möglicherweise fehlte während der Diastole in der Peripherie der Druck des Blutes, der in der Systole aufgebaut wurde, so dass die äußeren Kräfte stärker auf die Gefäße einwirken konnten und zu einem erhöhten peripheren Widerstand führten. Dieser wiederum bewirkte einen Anstieg des diastolischen Drucks gerade bei größeren, schwereren Tieren. Allerdings stellt sich die Frage warum diese Korrelation bei herzgesunden Pferden nicht besteht.

Auffällig war, dass alle Blutdruckwerte der weiblichen Tiere ca. 5 mmHg über den bei den männlichen Tieren gemessenen Werten lagen. Hierfür konnte bisher jedoch keine Erklärung gefunden werden.

Die Ergebnisse der drei verschiedenen Untersuchungen (Blutdruck, Herzminutenvolumen, peripherer Blutfluss) spiegeln auf unterschiedliche Art und Weise den aktuellen Kreislaufzustand des jeweiligen Pferdes wider. Allerdings wurde in unserer Studie zwischen den einzelnen Werten keine signifikante Korrelation festgestellt. So dass es nicht möglich ist, anhand eines Parameters auf die anderen zu schließen. SCHMITZ (2008) hingegen konnte bei seinen Blutflussmessungen an der Arteria carotis communis bei herzkranken und herzgesunden Pferden eine signifikante Erniedrigung der Blutflussvolumina bei herzkranken Pferden feststellen. Aufgrund dessen, beschreibt er dieses angiologische Diagnostikum als zusätzliche Möglichkeit zur Definierung des Schweregrades einer vorliegenden Herzerkrankung.

VI Zusammenfassung

Wibke Walders

“Nichtinvasive Blutdruckmessung mit High definition oscillometry - Technik bei Pferden mit Herzerkrankungen”

Bei dem arteriellen Blutdruck handelt es sich um das Produkt aus dem Herzminutenvolumen und dem totalen peripheren Widerstand ($HMV \times TPW$). Die zentrale Regulation des Blutdruckes findet in der Medulla oblongata statt, während Chemo - und Barorezeptoren in den peripheren Gefäßen Informationen dorthin übermitteln. Während die intraarterielle Blutdruckmessung noch immer als Goldstandard gilt, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine neue Technik der nichtinvasiven Blutdruckmessung erprobt.

In der vorliegenden Studie wurde sowohl der systolische, diastolische als auch der mittlere arterielle Blutdruck nichtinvasiv mittels High definition oscillometry - Technik an der Arteria coccygealis bestimmt. Als zentraler Kreislaufparameter wurde das Herzminutenvolumen dopplerechokardiographisch (PW - Doppler) an der Arteria pulmonalis untersucht. Einen peripheren Kreislaufparameter stellte das Blutflussvolumen an der Arteria digitalis palmaris dar, welches ebenfalls mit Hilfe des PW - Dopplers gemessen wurde. Des Weiteren wurde die maximale systolische und die enddiastolische Flussgeschwindigkeit des Blutes sowie der Resistance - Index bestimmt.

Zusätzlich wurde der Einfluss verschiedener häufig vorkommender Herzerkrankungen wie der Mitralklappeninsuffizienz, Aortenklappeninsuffizienz und Vorhofflimmern beim Pferd auf diese Parameter untersucht.

Ziel dieser Studie war es, neben der Erprobung des HDO - Gerätes, Vergleichswerte für den systolischen (SAP), diastolischen (DAP) und mittleren arteriellen Blutdruck (MAP) für gesunde Pferde und Pferde mit unterschiedlichen Herzerkrankungen zu erstellen, um gegebenenfalls eine Verlaufs- und Behandlungskontrolle zu ermöglichen.

Das Probandengut bestand aus 30 herzgesunden Pferden und 30 Pferden mit unterschiedlichen Herzerkrankungen (13 x Mitralklappeninsuffizienz, 11 x Aortenklappeninsuffizienz, 6 x Vorhofflimmern). Bei 18 herzkranken und 18 herzgesunden Pferden wurden die Blutdruckmessungen morgens und abends durchgeführt, um eine gegebenenfalls vorhandene zirkadiane Rhythmik nachzuweisen.

Die Blutdruckmessung wurde mittels Schweifmanschette, HDO - Gerät und angeschlossenem Laptop durchgeführt.

Zur dopplerechokardiographischen Bestimmung des Herzminutenvolumens wurde die Arteria pulmonalis in der rechten kranialen langen Achse (RKRLA) angeschallt. Im B - Mode wurde der Durchmesser der Pulmonalarterie gemessen und mit Hilfe des PW - Dopplers wurde das Velocity time integral (VTI) abgeleitet. Das Messvolumen befand sich hierfür auf Höhe des Schlusses der Pulmonalklappensegel.

Die Messung des Blutflussvolumens an der lateralen Zehenarterie wurde an der rechten Vordergliedmaße durchgeführt. Im B - Mode - Bild wurde der Gefäßdurchmesser bestimmt und die Geschwindigkeitsmessung des Blutflusses wurde mit dem PW - Doppler durchgeführt.

Die Blutdruckwerte gesunder Pferde lagen bei: SAP 145 (\pm 21) mmHg, DAP 97 (\pm 19) mmHg und MAP 114 (\pm 19) mmHg. Im Vergleich zu den Blutdruckwerten herzkranker Pferde ließen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen. Es zeigte sich jedoch, dass Pferde mit einer Aortenklappeninsuffizienz einen tendenziell höheren (SAP 149 mmHg, MAP 114 mmHg, DAP 94 mmHg) und Pferde mit Vorhofflimmern einen tendenziell niedrigeren systolischen arteriellen Blutdruck (SAP 130 mmHg, MAP 105 mmHg, DAP 91 mmHg) aufwiesen als die herzgesunden Tiere. Pferde, die an einer Mitralklappeninsuffizienz litten zeigten folgende Blutdruckwerte: SAP 143 mmHg, MAP 115 mmHg, DAP 98 mmHg.

Bezüglich der diurnalen Rhythmik des Blutdruckes wurde bei den gesunden Pferden ein geringgradiger Anstieg des systolischen arteriellen Blutdruckes bei der späten Messung festgestellt, während die herzkranken Pferde abends einen nicht signifikant niedrigeren Blutdruck als am Morgen aufwiesen.

Der Blutdruck, das Herzminutenvolumen und das Blutflussvolumen an der Zehenarterie stellten den aktuellen Kreislaufzustand des Pferdes dar, wiesen jedoch keine signifikanten Korrelationen auf.

Anhand dieser Studie konnte gezeigt werden, dass mit der High definition oscillometry - Technik eine adäquate indirekte Blutdruckmessung beim Pferd möglich ist und die Schweifrübe eine geeignete Lokalisation zum Anlegen der Manschette darstellt. Diese Technik zur Blutdruckmessung bietet den Vorteil der Visualisierung der Blutdruckkurve am Monitor, was das Erkennen und Beurteilen einer Arrhythmie vereinfacht. Die Anwendung eines spezifischen Algorithmus ermöglicht die Unterscheidung zwischen Druckwelle und Artefakt. Allerdings eignet sich die Blutdruckmessung nicht für Verlaufskontrollen einer Herzerkrankung oder Therapiekontrollen beim Pferd.

VII Summary

Wibke Walders

„Noninvasive blood pressure measurement by high-definition-oscillometry in horses with heart diseases“

The arterial blood pressure is defined as the product of cardiac output and arterial resistance (afterload). Central modulation of blood pressure occurs in the medulla oblongata, while the information is sent from receptor cells in the peripheral blood vessels. Until recently the direct measurement of blood pressure has been considered as the gold standard, while in this study a new indirect technique is used.

In this study we determined the systolic, diastolic and mean arterial pressure noninvasively in the coccygeal artery by the High - Definition - Oscillometry - Technique (HDO). As a parameter for central circulation we examined the cardiac output at the pulmonary artery via Doppler - echocardiography. As a peripheral parameter for circulation we measured the blood flow in the digital artery by Doppler sonography. In addition we defined the systolic peak velocity and the enddiastolic velocity of the digital blood flow as well as the resistance - index.

Furthermore the influence of different common heart diseases in horses (mitral valve insufficiency, aortic valve insufficiency, atrial fibrillation) on these parameters was examined.

The intent of this study was testing the HDO - machine, to define reference values of systolic (SAP), diastolic (DAP) and mean arterial pressure (MAP) in healthy horses and horses diagnosed with different cardiac diseases. This could be important to achieve information regarding the development of disease and to monitor therapy.

30 horses considered to be healthy, while in 30 further horses, different kinds of cardiac diseases were found (13 x mitral valve insufficiency, 11 x aortic valve insufficiency, 6 x atrial fibrillation). Regarding diurnal variations of blood pressure in horses, 18 healthy horses and 18 horses with heart disease were measured in the morning and in the evening.

Blood pressure measurements were performed via tail cuff and using HDO equipment connected to a laptop.

To determine cardiac output per minute the pulmonary artery was scanned in the right ventricular outflow tract. In B - mode imaging the diameter of the artery was measured. By pulsed - wave - Doppler we assigned the velocity time integral (VTI), therefore the cursor was

positioned on a level with pulmonary artery closure.

On the right front limb we performed blood flow measurement at the lateral digital artery. The vessel diameter was affected by B - mode - imaging and the velocity was measured by pulsed - wave Doppler.

In our study population the following average blood pressures were measured: SAP 145 (\pm 21) mmHg, DAP 97 (\pm 19) mmHg, MAP 114 (\pm 19) mmHg. No significant difference could be determined between healthy horses and horses with heart diseases. An insufficiency of the aortic valve tends to result in higher systolic arterial pressure (SAP 149 mmHg, MAP 114 mmHg, DAP 94 mmHg), whereas atrial fibrillation causes lower blood pressure (SAP 130 mmHg, MAP 105 mmHg, DAP 91 mmHg) compared to healthy horses. Horses suffering from mitral valve insufficiency showed following values: SAP 143 mmHg, MAP 115 mmHg, DAP 98 mmHg.

Regarding the diurnal rhythm of blood pressure, healthy horses showed a slight increase of the systolic arterial pressure in the evening, whereas horses suffering from heart disease showed a systolic arterial pressure that was non-significantly lower in the evening than in the morning.

Blood pressure, cardiac output and blood flow in the digital artery demonstrate the current state of circulation in the horse, but there is no significant correlation between these parameters.

This study showed that the new High - Definition - Oscillometry technique is a meaningful method of indirect blood pressure measurement in horses. The tail root was shown to be an adequate localization for the cuff. The advantage of this type of blood pressure measurement is the possibility to visualize the blood pressure curve on a monitor. This facilitates recognizing and evaluating an arrhythmia. The application of a specific algorithm permits differentiation between compression waves and artifacts.

Finally, we wish to stress that the measurement of blood pressure cannot be considered a suitable method for monitoring the development or therapy of cardiac disease.

VIII Literaturverzeichnis

Adams, R. W., R. F. Cucchiara, G. A. Gronet, J. M. Messick, J. D. Michenfelder (1981): Isoflurane and cerebrospinalfluid pressure in neurosurgical patients. *Anesthesiology*, 54: 97-99.

Anon (1998):

In: Pschyrembel klinisches Wörterbuch, 258.

Walter de Gruyter (Hrsg.), Berlin, New York

Arroyo, L. G., M. A. Hayes, J. Delay, C. Rao, B. Duncan, L. Viel (2008):

Arterial calcification in race horses.

Vet. Pathol., 45: 617-625.

Bailey, J. E., C. I. Dunlop, P. L. Chapman, W. C. Demme, S. L. Allen, R. B. Heath, K. T. Crump, C. S. Golden, A. E. Wagner (1994):

Indirect Doppler ultrasonic measurement of arterial blood pressure results in a large Measurement error in dorsally recumbent anaesthetised horses.

Equine vet. J., 26(1): 70-73.

Baumgartner (1), Ch., W. Erhardt (1), Ch. Faltermeier (1), J. Reinert (1), J. Henke (2), B. Egner, I. Haas (3) (2009, 2010):

(1) ZPF (Center of Preclinical Research), Technical University of Munich, Germany, (2) Center for Small Animals, Hoerstein, Germany, (3) FZMB Bad Langensalza, Germany

Evaluation of HDO (high definition oscillometry) – a new non-invasive blood pressure technique – in comparison to invasive measurement (HSE-hydro sachs electronics) in nesthetised dogs.

Bergsten, G. (1974):

Blood pressure, cardiac output, and blood-gas tension in the horse at rest and during exercise.

Acta. Vet. Scand. Suppl., 48: 1-88.

Blissitt, K. J., L. E. Young, R. S. Jones, P. J. J. Darke, J. Utting (1997):

Measurement of cardiac output in standing horses by Doppler echocardiography and thermodilution.

Equine vet. J., 29(1): 18-25.

Bodey, A. R., L. E. Young, D. H. Bartram, M. J. Diamond, A. R. Michell (1994):

A comparison of direct and indirect (oscillometric) measurements of arterial blood pressure in anaesthetised dogs, using tail and limb cuffs.

Research in Veterinary Science, 57: 265-269.

Boss, N., R. Jäckle (1994):

In: Hexal Taschenlexikon Medizin: 831.

Urban & Schwarzenberg

Brown, R. (1975):

Ultrasonography basic principles and clinical applications, 20 ff.

St. Louis: Warren H. Green Inc..

Brown, W. C., E. T. O'Brien, P. F. Semple (1996):

The sphygmomanometer of Riva-Rocci 1896-1996.

J. Hum. Hypertens., 10: 723-4

Brown, S. A., K. Langford, S. Tarver (1997):

Effects of certain vasoactive agents on the long-term pattern of blood pressure, heart rate, and motor activity in cats.

AJVR, 58(6): 647-652.

Busse, R. (1995):

Gefäßsystem und Kreislaufregulation.

In: Schmidt, R. F., G. Thews (Hrsg.):

Physiologie des Menschen: 26: 499-560.

Springer

Cantwell, J. D. (1989):

Nicolai S. Korotkoff (1874-1920).

Clin. Cardiol., 12: 233-235.

Carr, A. (2007):

The nuts and bolts of blood pressure measurement.

AVCA All-Care Animal Center Publication, October 2007: 22, 23.

Cipone, M., M. Pietra, G. Gandini, A. Boari, C. Guglielmini, M. Venturoli (1997):

Pulsed wave-Doppler ultrasonographic evaluation of the common carotid artery in the resting horse: Physiologic Data.

Veterinary Radiology & Ultrasound, 38(3): 200-206.

Corley, K. T. T., L. L. Donaldson, M. M. Durando, E. K. Birks (2003):

Cardiac output technologies with special references to the horse.

J. Vet. Intern. Med., 17: 262-272.

Cranley, J. J. (1983):

Focal medial calcification of the pulmonary artery: A survey of 1066 horses.

Equine vet. J., 15(3): 278-280.

Dardente, H., N. Cermakian (2007):

Molecular circadian rhythms in central and peripheral clocks in mammals.

Chronobiol. Int., 24: 195-213.

Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdruckes e. V. (1997):

Empfehlungen zur Blutdruckmessung, 4: 2-4.

Dybdal, N. O., K. M. Hargraeves, J. E. Madigan, D. H. Gribble, P. C. Kennedy, G. H. Stabenfeldt (1994):

Diagnostic testing for pituitary pars intermedia dysfunction in horses.

J. Am. Vet. Med. Assoc., 204 (4): 627-632

Eberly, V. E., J. R. Gillespie, W. S. Tyler (1964):
Cardiovascular parameters in thoroughbred horses.
Am. J. Vet. Res., 25: 1712-1715.

Eckert, R., D. Randall, G. Augustine (1993):
Zirkulation des Blutes.
In: Eckert (Hrsg.):
Tierphysiologie, 2. Auflage: 506-515, 531.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.

Egner, B. (2006):
Blutdruckmessung Teil 1: Technologie und Vermeidung von Messfehlern.
Kleintier konkret, 4: 1-6.

Egner, B. (2006):
Blutdruckmessung Teil 2: Interpretation der Messergebnisse und
Behandlungsstrategien. Kleintier konkret, 6: 18-25.

Egner, B. (2007):
Blutdruckmessung-Grundlagen und praktische Umsetzung.
in: B. Egner, A. Carr, S. Brown (Hrsg.):
Blutdruck auf den Punkt gebracht, 4. Auflage
VBS VetVerlag, 5, 6, 13.

Ellis, P. M., (1973):
Indirect measurement of arterial blood pressure in the horse.
M. V. Sc. Thesis, University of Melbourne.

Ellis, P. M., (1975):
The indirect measurement of arterial blood pressure in the horse.
Equine vet. J., 1(1): 22-26.

Engelhardt, von W. (2000):

Pulswelle und Blutdruck.

in: W. v. Engelhardt, G. Breves (Hrsg.):

Physiologie der Haustiere, 1. Auflage: 177 ff..

Verlag Enke, Stuttgart

Erhardt, W., J. Henke (2004):

5.2. Narkoseüberwachung.

In: Erhardt, W., J. Henke, J. Haberstroh

Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier sowie bei Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen: 1: 203.

Schattauer Verlag

Erhardt, W., J. Henke, A. Carr, B. Egner (2007):

1.2: Indikationen zur Blutdruckmessung.

1.3: Technik.

in: B. Egner, A. Carr, S. Brown (Hrsg.):

Blutdruck auf den Punkt gebracht, 4. Auflage: 37-42, 42-44, 56-60.

VBS VetVerlag

Eriksen, M., L. Walløe (1990):

Improved method for cardiac output determination in man using ultrasound Doppler technique.

Med. & Biol. Eng. & Comput. 28: 555-560.

Evans, D. H. (1989):

On the measurement of the mean velocity of blood flow over the cardiac cycle using Doppler ultrasound.

Ultrasound in Med. & Biol., 11: 735-741.

Fehske, W. (1988):

Praxis der konventionellen und der farbkodierten Doppler-Echokardiographie, 15 f., 76 f..

Bern, Stuttgart, Toronto: Verlag Hans Huber.

Fey, K., W. Verter (2006):

18.3 Herzklappenfehler

18.6 Herzfrequenz- und Herzrhythmusänderungen

in: O. Dietz, B. Huskamp (Hrsg.):

Handbuch Pferdepraxis, 3. Auflage: 255 ff., 264 f..

Verlag Enke, Stuttgart

Frey, H.-H. (2000):

9.3 Hämodynamik in den einzelnen Gefäßsystemen.

in: W. v. Engelhardt, G. Breves (Hrsg.):

Physiologie der Haustiere, 1. Auflage: 175-178.

Fritsch, R., K. Bosler (1985):

Überwachung des Kreislaufes beim Pferd in Sedation und Narkose mittels unblutiger Berl.
Blutdruckmessung.

Münch. Tierärztl. Wschr., 98: 166-173.

Fritsch, R., R. Hausmann (1988):

Zur indirekten Blutdruckmessung am Pferd mit dem Dinamap 1255 Research Monitor.

Tierärztl. Prax., 16: 373-376.

Frolich, E. D., R. C. Tarazi (1979):

Is arterial pressure the sole factor responsible for hypertensive cardiac hypertrophy?

Am. J. Cardiol., 44: 959-963.

Gabrielsen., F. G. (1988):

Klinische Doppler Echokardiographie, 273.

Schattauer Verlag, Stuttgart, New York.

Gasthuys, F. M. R., A. De Moor (2006):

7.4 Inhalationsanästhesie

7.5 Komplikationen während der Narkose.

in: O. Dietz, B. Huskamp (Hrsg.):

Handbuch Pferdepraxis, 3. Auflage: 101, 105.

Verlag Enke, Stuttgart

Gay, C. C., M. McCarthy, B. Eng, W. T. Reynolds, J. Carter (1977):

A method for indirect measurement of arterial blood pressure in the horse.

Australian Veterinary Journal, 53, April: 163-166.

Geddes, L. A., V. Chaffee, S. J. Whistler, J. D. Bourland, W. A. Tacker (1977):

Indirect mean blood pressure in the anesthetized pony.

Am. J. Vet. Res., 38(12): 2055-2057.

Gehlen, H., C. Poulsen-Nautrup, P. Stadler (2010):

4.2 Ultraschalluntersuchung des Herzens.

In: H. Gehlen (Hrsg.):

Pferdekardiologie: 47

Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co, Hannover

Gehlen, H., P. Stadler (2010):

6 Herzrhythmusstörungen.

In: H. Gehlen (Hrsg.):

Pferdekardiologie: 137-141.

Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co, Hannover

Gehlen, H., H. Ammer (2010):

7 Pharmakotherapie.

In: H. Gehlen (Hrsg.):

Pferdekardiologie: 164.

Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co, Hannover

Gehlen, H., J.-C. Ionita (2010):

11 Kardiovaskuläre Zwischenfälle in der Sedierung und Narkose.

In: H. Gehlen (Hrsg.):

Pferdekardiologie: 185-189.

Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co, Hannover

Gelatt-Nicholson, K. J., K. N. Gelatt, E. Mackay, D. E. Brooks, S. W. Newell (1999):
Comparative Doppler imaging of the ophthalmic vasculature in normal Beagles and Beagles with
inherited primary open angle glaucoma.
Vet. Ophthalmol., 2: 97-105.

Gerber, H., P. Tschudi, R. Straub (1975):
„Normal“ values for different breeds of horses.
In: First international Symposium on equine hematolog., 266-275.

Giguère S., H. A. Knowles Jr., A. Valverde, E. Bucki, L. Young (2005):
Accuracy of indirect measurement of blood pressure in neonatal foals.
J. Vet. Intern. Med., 19: 571-576.

Gill, R. W. (1985):
Measurement of blood flow by ultrasound: Accuracy and sources of error.
Ultrasound in Med. & Biol., 11(4): 625-641.

Glen, J. B. (1982):
Indirect blood pressure measurement in conscious horses.
Equine vet. J., 4: 204-208.

Grauwiler, J., H. Spörri, H. Wegmann (1958):
Zur graphischen Ermittlung des systolischen und diastolischen Blutdruckes bei Haustieren mittels
des Infratonmikrophons und Druckmarkengebers von Brecht und Boucke.
Schweiz. Arch. Tierheilk., 100(6): 299-318.

Graves, C. L., W. M. Stauffer, R. L. Klein, P. S. Underwood (1968):
Aortic pulse contour calculation of cardiac output.
Anesthesiology, 29: 580-584.

Guillebeau, A. (1979):
Kritischer Vergleich der palpatorischen, oszillatorischen und Ultraschall-Doppler-Methode zur
indirekten Messung des Blutdruckes bei Hund, Pferd und Rind.
Dissertation Vet. Med. Zürich.

Hamada, T., M. Takita, H. Kawano, A. Nohtomi, M. Okayama, (1993):

Difference in blood flow volume of the common carotid artery between vascular and nonvascular dementia detected by colour duplex sonography.

J. Neurol., 240: 191-194.

Hatle, L., B. Angelsen (1985):

Doppler ultrasound in cardiology, 87 ff.

Lea & Febiger, Philadelphia.

Henik, R. A., DVM, MS, M. K. Dolson, CVT, L. J. Wenholz, BS (2005):

How to obtain a blood pressure measurement.

Clin. Tech. Small. Anim. Pract., 20: 144-150.

Henke, J., W. Erhardt, A. Carr (2007):

Abschnitt 2, Kapitel 2: Ursachen und Folgen der Hypotonie.

in: B. Egner, A. Carr, S. Brown (Hrsg.):

Blutdruck auf den Punkt gebracht, 4. Auflage: 95, 96, 107, 108

VBS VetVerlag.

Hoffmann, K. L., A. K. W. Wood, K. A. Griffiths, D. L. Evans, R. W. Gill, A. C. Kirby (2001):

Doppler sonographic measurements of arterial blood flow and their repeatability in the equine foot during weight bearing and non-weight bearing.

Res. Vet. Sci., 70: 199-203.

Ihlen, H., J. P. Amlie, J. Dale, K. Forfang, S. Nitter-Hauge, J. E. Otterstad, S. Simonsen, E.

Myhre (1984):

Determination of cardiac output by Doppler echocardiography.

Br. Heart J., 51: 54-60.

Jensky, N. E., M. H. Criqui, M. C. Wright, C. L. Wassel, S. A. Brody, M. A. Allison (2010):

Blood pressure and vascular calcification.

Hypertension, 55: 990-997.

Johnson, J. H., H. E. Garner, D. P. Hutcheson (1976):

Ultrasonic measurement of arterial blood pressure in conditioned Thoroughbreds.

Equine vet. J., 8(2): 55-57.

Källberg, M. E., D. E. Brooks, A. M. Komaromy, T. Miyabayashi, P. T. Bradshaw (2003):

The effect of an L-type calcium blocker on the hemodynamics of orbital arteries in dogs.

Vet. Ophthalmol., 6: 141-146.

Kinkel, N. (1993):

Die Herzzeitvolumenbestimmung mit der Doppler-Ultraschalltechnik im Vergleich zu konventionellen Methoden beim Pferd.

Dissertation, Tierärztl. Hochschule, Hannover.

Köhler, E. (1989):

Klinische Echokardiographie. 2. Aufl., 11 ff..

Enke Verlag, Stuttgart.

Kraft, W., B. Egner, A. Carr (2007):

1 Ursachen und Folgen der Hypertonie.

in: B. Egner, A. Carr, S. Brown (Hrsg.):

Blutdruck auf den Punkt gebracht, 4. Auflage: 72

VBS VetVerlag.

Krzywanek, H. (2006):

5.3 Herz-Kreislauf-System

in: O. Dietz, B. Huskamp (Hrsg.):

Handbuch Pferdepraxis, 3. Auflage: 41, 42.

Verlag Enke, Stuttgart

Kubicek, W. G., J. Kottke, M. U. Ramos et al. (1974):

The Minnesota impedance cardiograph-Theory and applications.

Biomed. Eng., 9: 410-416.

Kuckenberg, R. N. (2008):

Validierung einer nichtinvasiven Methode für die Blutdruckmessung beim Kalb.

Dissertation LMU München: 39, 40.

Lagemann, Christoph (2001):

Sonographie der großen zervikalen Arterien bei Hengsten der Rassen Bayerisches Warmblut, Haflinger und Süddeutsches Kaltblutpferd.

Dissertation LMU München: 23.

Latshaw, H., J. F. Fessler, S. J. Whistler, L. A. Geddes (1979):

Indirect measurement of mean blood pressure in the normotensive and hypotensive horse.

Equine vet. J., 11(3): 191-194.

Lee, K., M. Choi, J. Yoon, J. Jung (2004):

Spectral waveform analysis of major arteries in conscious dogs by Doppler ultrasonography.

Veterinary Radiology & Ultrasound, 45(2): 166-171.

Magdesian, K. G. (2004):

Monitoring the critically ill equine patient.

Vet. Clin. North Am. Equine Pract., 20: 11-39.

Mancia, G. (1997):

Scipione Riva-Rocci.

Clin. Cardiol., 20: 503-504.

Menzies-Gow, N. J., C. M. Marr (2007):

Repeatability of Doppler ultrasonographic measurement of equine digital blood flow.

Veterinary Radiology & Ultrasound, 48(3): 281-285.

Meurs, K. M., M. W. Miller, M. R. Slater (1996):

Comparison of the indirect oscillometric and direct arterial methods for blood pressure measurements in anesthetized dogs.

J. Am. Anim. Hosp. Assoc., 32: 471-475.

Meurs, K. M., M. W. Miller, M. R. Slater (2000):

Arterial blood pressure measurement in a population of healthy geriatric dogs.

J. Am. Anim. Hosp. Assoc., 36: 497-500.

Mishina, M., T. Watanebe, S. Matsuoka, K. Shibata, K. Fujii, H. Maeda, Y. Wakao (1999):

Diurnal variations of blood pressure in dogs.

J. Vet. Med. Sci., 61(6): 643-647.

Mitchell, A., T. Cleven, B. Egner, D. Sarazan (2008):

High Definition Oscillometry (HDO): A novel method for non-invasive blood pressure measurement in cynomolgus monkeys.

Abstract SPS-Meeting Madison Wi.

Mitchell, A. Z., C. McMahon, T. W. Beck, R. Dustan Sarazan (2010):

Sensitivity of two noninvasive blood pressure measurement techniques compared to telemetry in cynomolgus monkeys and beagle dogs: 5-18

Journal of pharmacological and toxicological methods (accepted for publication).

Mizuno, Y., H. Aida, H. Hara, T. Fujinaga, M. Hagio (1994):

Comparison of methods of cardiac output measurement determined by dye dilution, pulsed Doppler echocardiography and thermodilution in horses.

J. Vet. Med. Sci., 56(1)1-5.

Morneburg, H. (1995):

Bildgebende Systeme für die medizinische Diagnostik. 3. Aufl., 34 ff.

Deutschland: Publics LTD.

Muir, W. W., R. T. Skarda, D. W. Milne (1976):

Estimation of cardiac output in the horse by thermodilution techniques.

Am. J. Vet. Res. 37: 697-700.

Muir, W. W., A. Wade, B. Grospitch (1983):

Automatic noninvasive sphygmomanometry in horses.

JAVMA, 182(11): 1230-1233.

Muir, W. W. (1992):

Cardiovascular effects of dopexamine HCl in conscious and halothane-anaesthetised horses.
Equine Vet. J., 11(Suppl.): 24-29.

Novellas, R., R. Ruiz de Gopegui, Y. Espada (2007):

Effects of sedation with Midazolam and Butorphanol on resistive and pulsatility indices in healthy dogs.

Veterinary Radiology & Ultrasound, 48(3): 276-280.

O'Brien, E., D. Fitzgerald (1994):

The history of blood pressure measurement.

J. Hum. Hypertens., 8: 73-84.

Pannier, B., A. P. Guérin, S. J. Marchais, M. E. Sofar, G. M. London (2011):

Central artery pulse pressure in end-stage renal disease: The roles of aortic diameter, aortic stiffness and wave reflection.

Blood Purif., 31: 107-112.

Parry, B. W., C.C.Gay, M. A. McCarthy (1980):

Influence of head height on arterial blood pressure in standing horses.

Am. J. Vet. Res., 41(10): 1626-1631.

Parry, B. W., M. A. McCarthy, G. A. Anderson, C. C. Gay (1982):

Correct occlusive bladder width for indirect blood pressure measurement in horses.

Am. J. Vet. Res., 43(1): 50-54.

Parry, B. W., G. A. Anderson (1984):

Importance of uniform cuff application for equine blood pressure measurement.

Equine vet. J., 16: 529-531.

Paull, K. S., W. E. Wingfield, J. J. Bertone, J. A. Boon (1987):

Echocardiographic changes with endurance training.

In: Equine Exercise Physiology.

2. Proc. 2nd Int. Conf. equine exercise physiology, San Diego, USA,

Eds: Gillespie, J. R., N. E. Robinson, ICEEP Publications, Davis, California, 34-40.

Piccione G., G. Caola, R. Refinetti (2005):

Daily rhythms of blood pressure, heart rate and body temperature in fed and fasted male dogs.
J. Vet. Med., A 52: 377-381.

Piccione, G., A. Assenza, F. Fazio, C. Giannetto, G. Caola, (2008):

Chronobiologic blood pressure assessment: Maturation of the daily rhythm in newborn foals.
Biol Res, 41: 51-57.

Piccione, G., C. Giannetto, A. Assenza, S. Casella, G. Caola (2009):

Influence of time on body temperature, heart rate, arterial pressure, and other biological variables in horses during incremental exercise.

Chronobiology International, 26(1): 47-60.

Pietra, M., C. Guglielmini, S. Nardi, G. Gandini, M. Cipone (2004):

Influence of weight bearing and hoof position on Doppler evaluation of lateral palmar digital arteries in healthy horses.

Am. J. Vet. Res., 65: 1211-1215.

Plumb, D. C. (1999):

Veterinary Drug Handbook: 853 ff

PharmaVet Publishing

White Bear Lake (USA).

Poulsen Nautrup, C., R. Tobias (1998):

Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze. 2. Aufl.

Hannover: Schlütersche Verlagsanstalt

Pourcelot, L. (1974):

Applications cliniques de l'examen Doppler transcutane.

Coloques de l'Inst. Natl. Sante. Rech. Med., 34: 213-240.

Pozor, M. A., S. M. McDonnell (2003):

Color Doppler ultrasound evaluation of testicular blood flow in stallions.

Theriogenology, 61: 799-810.

Raisis, A. L., L. E. Young, H. Meire, K. Walsh, P. M. Taylor, P. Lekeux (2000):
Repeatability of Doppler ultrasound measurements of hindlimb blood flow in halothane
anaesthetised horses.

Equine Vet. J., 32: 239-246.

Reef, V. B., K. Lazelari, J. De Boo, A. Van Der Belt, P. A. Spencer, K. J. Dik (1989):
Pulsed-wave Doppler evaluation of intracardiac blood flow in 30 clinically normal Standardbred
horses.

Am. J. Vet. Res., 50: 75-83.

Ricco, C. H., J. F. Quandt, R. F. Novo, M. Killos, L. Graham (2009):
Use of a wireless system to measure invasive arterial blood pressure in ponies-preliminary study.
Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 36: 1-8.

Richterich, R., J. P. Colombo (1978):

Herz-und Skelettmuskulatur

Klinische Chemie, 4. Aufl., 56 ff.

Verlag Karger, Basel

Roguin, A. (2006):

Scipione Riva-Rocci and the man behind the mercury sphygmomanometer.

Int. J. Clin. Pract., 60(1): 73-79.

Rushmer, R. F. (1963):

Some axioms, generally accepted notions and misconceptions regarding cardiovascular function.

Circulation, 27: 118-141.

Sachs, L., J. Hedderich (2009):

Angewandte Statistik: 572.

Verlag Springer, Berlin

Salvetti, A. (1996):

A centenary of clinical blood pressure measurement: a tribute to Scipione Riva-Rocci.

Blood Press., 5: 325-326.

Sawyer, D. C., M. Brown, E. Striler, R. Durham, M. Langham, R. Rech (1991):

Comparison of direct and indirect blood pressure measurement in anaesthetized dogs.

Lab. Ani. Sci., 41: 134-138.

Sawyer, D. C., Guikema, A. H., Siegel, E. M. (2004):

Evaluation of a new oscillometric blood pressure monitor in isoflurane-anesthetized dogs.

Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 31: 27-39.

Schatzmann, U., J. C. Ionita (2005):

Seminarunterlagen sichere Narkoseführung.

Pferdeheilkunde - Forum Berlin.

Schauvliege, S., G. van Loon, D. De Clercq, L. Devisscher, P. Deprez, F. Gasthuys (2009):

Cardiovascular responses to transvenous electrical cardioversion of atrial fibrillation in anaesthetized horses.

Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 36: 341-351.

Schiller, N. B., H. Acquatella (1979):

Left ventricular volume from paired biplane two-dimensional echocardiography.

Circulation, 60(3): 547-555.

Schmelting, B., B. Egner, S. Korte, G. Weinbauer (2007):

High Definition Oscillometry: A new method for non-invasive blood pressure measurements in conscious and sedated common marmosets.

J. Am. Ass. Lab. Animal Sci., 46: 144.

Schmelting, B., M. Niehoff, B. Egner, S. H. Korte, G. F. Weinbauer (2009):

A novel technique for non-invasive blood pressure monitoring in the cynomolgus monkey (*Macaca fascicularis*).

J. Med. Primatol., 10: 1-9.

Schmitz, R. R., A. Grabner (2008):

Dopplersonographische Untersuchungen an der Arteria carotis communis bei Kardiopathien des Pferdes.

Pferdeheilkunde 24: 652-665.

Schöning, M., J. Walter, P. Scheel (1994):

Estimation of cerebral blood flow through colour duplex sonography of the carotid and vertebral arteries in healthy adults.

Stroke, 25(1): 17-22.

Schöning M., B. Hartig (1996):

Age dependence of total cerebral blood flow volume from childhood to adulthood.

Journal of cerebral blood flow and metabolism, 16: 827-833.

Shevchenko, Y. L., J. E. Tsitlik (1996):

90th anniversary of the development by Nikolai S. Korotkoff auscultatory method measuring blood pressure.

Circulation, 94: 116-118.

Siedentopf, Christian (1984):

Blutdruckmessung beim Pferd mit einem automatisierten, indirekt messenden Gerät.

Vergleichende direkt-indirekte Messungen und Untersuchungen an narkotisierten und stehenden Pferden.

Dissertation FU Berlin

Skarda, R. T., Muir, W. W. (1996):

Analgesic, hemodynamic, and respiratory effects of caudal epidurally administered xylazine hydrochloride solution in mares.

Am. J. Vet. Res., 57: 193-200.

Skrodzki, M. (2000):

Bedeutung des Blutdrucks beim kardiologischen Patienten.

Proceedings IBPF Seminar - BPT Jahreskongress Leipzig

Spörri, H. (1987):

6. Blutkreislauf.

in: Scheunert, A., A. Trautmann (Hrsg.):

Lehrbuch der Veterinärphysiologie: 209-301; 276-282.

Paul Parey Verlag, Berlin

Stadler, P., U. D'Agostino, E. Deegen (1988):

Methodik der Schnittbildechokardiographie.

Pferdeheilkunde, 4: 161-174.

Stadler, P., N. Kinkel, E. Deegen (1994):

Ein Vergleich der Herzzeitvolumenbestimmung zwischen der Thermodilutionsmethode und der PW-Dopplerechokardiographie zur Beurteilung der systolischen Herzfunktion beim Pferd.

Dtsch. tierärztl. Wschr., 101: 312-315.

Stadler, P., F. Robine (1996):

Die Kardiometrie beim gesunden Warmblutpferd mit Hilfe der Schnittbildechokardiographie im B-Mode.

Pferdeheilkunde, 1: 35-43.

Stepien, R. L., G. S. Rapoport, R. A. Henik, L. Wenholz, C. B. Thomas (2003):

Comparative diagnostic test characteristics of oscillometric and doppler ultrasonographic methods in the detection of systolic hypertension in dogs.

J. Vet. Intern. Med., 17: 65-72.

Stepien, R. L. (2007):

3.1 Das Herz als Zielorgan.

in: B. Egner, A. Carr, S. Brown (Hrsg.):

Blutdruck auf den Punkt gebracht, 4. Auflage: 143-146

VBS VetVerlag

Sundermann, T. (2006):

Echokardiographische Beurteilung der Herzkinetik in Ruhe und nach aktiver Belastung bei herzkranken Warmblutpferden: 56 ff.

Dissertation Tierärztlich Hochschule, Hannover

Taylor, P. M. (1981):

Techniques and clinical application of arterial blood pressure measurement in the horse.

Equine vet. J., 13(4): 271-275.

Taylor, K. J. W., S. Holland (1990):

Doppler US. Part I. Basic principles, instrumentation, and pitfalls.

Radiology, 174: 297-307.

Ungemach, F. R. (1994):

Herzwirksame Pharmaka.

in: Löscher, W., F. R. Ungemach, R. Kroker

Grundlagen der Pharmakotherapie bei Haus- und Nutztieren: 122-140.

Parey, Berlin

Veterinary Blood Pressure Society

in: B. Egner, A. Carr, S. Brown (Hrsg.): 56 ff.

Blutdruck auf den Punkt gebracht, 4. Auflage

VBS VetVerlag.

Wagner, J. (1985):

3.5. Blutdruckmessung.

in: Praktische Kardiologie, 1: 19-22

De Gruyter

Werner, J., E. Schäffer, E. Trautvetter (1977 a):

Zur unblutigen Blutdruckmessung an Haustieren. I. Methodik, Gerät, blutige

Vergleichsmessungen, Manschettenbreiten und erste Messungen an Ratten und Rhesusaffen.

Zentralbl. Veterinärmed., A(24): 229-241.

Werner, J., E. Trautvetter, E. Schäffer (1977 b):

Zur unblutigen Blutdruckmessung an Haustieren. II. Normalwerte, veränderte Drücke und

Messpraxis.

Zentralbl. Veterinärmed., A(24): 269-276.

Werner, J. (1980):

Kritik dreier Methoden zur unblutigen Messung des Blutdruckes bei Tieren.

Kleintierpraxis, 25: 485-494.

Wesseling, K. H., B. de Wit, J. E. Beneken (1973):

Arterial haemodynamic parameters derived from noninvasively recorded pulsewaves, using parameter estimation.

Med. Biol. Eng., 11: 724-731.

Weyman, A. E. (1994):

Principles of Doppler flow measurement.

In: Principles and practice of echocardiography, 2nd ed.: 143-162.

Pennsylvania: Lea and Febiger

Wongaumnaykul, S., C. Siedler, H. Schobesberger, C. Stanek (2006):

Doppler sonographic evaluation of the digital blood flow in horses with laminitis or septic pododermatitis.

Veterinary Radiology & Ultrasound, 47(2): 199-205.

Yamashita K., S. Tsubakishita, S. Futaoka, I. Ueda, H. Hamaguchi, T. Seno, S. Katoh, Y.

Izumisawa, T. Kotani, W. W. Muir (2000):

Cardiovascular effects of Medetomidine, Detomidine and Xylazine in horses.

J. Vet. Med. Sci., 62(10): 1025-1032.

Zanchetti, A., G. Mancia (1996):

The centenary of clinical blood pressure measurement: a tribute to Scipione Riva-Rocci.

J. Hypertens., 14: 1-2.

Zierler, B. K., T. R. Kirkman, L. W. Kraiss, W. G. Reiss, J. R. Horn, L. A. Bauer, A. W. Clowes,

T. R. Kohler (1992):

Accuracy of duplex scanning for measurement of arterial volume flow.

J. Vasc. Surg., 16(4): 520-526.

Zuntz, N., O. Hagemann (1898):

Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes in Ruhe und in Arbeit.

Landwirtsch. Jahrb., 27: 1-483.

IX Anhang

9.1 Tabellen

Tab. 10: Basisdaten der herzgesunden Pferde.

Pferd Nr.	Nutzung	Rasse	Alter (Jahre)	Geschlecht	Größe (m)	Gewicht (kg)
1	Freizeit	PRE	19	Hengst	1,56	470
2	Sport	Warmblut	8	Wallach	1,7	560
3	Freizeit	Warmblut	10	Stute	1,7	550
4	Schulpferd	Warmblut	9	Stute	1,63	510
5	Schulpferd	Warmblut	9	Stute	1,7	590
6	Schulpferd	Warmblut	8	Stute	1,7	560
7	Schulpferd	Warmblut	7	Wallach	1,7	540
8	Schulpferd	Warmblut	9	Wallach	1,81	665
9	Schulpferd	Warmblut	7	Wallach	1,68	620
10	Schulpferd	Warmblut	5	Wallach	1,73	565
11	Schulpferd	Warmblut	9	Stute	1,74	620
12	Schulpferd	Warmblut	8	Wallach	1,71	570
13	Schulpferd	Warmblut	10	Wallach	1,72	580
14	Freizeit	Warmblut	5	Wallach	1,75	550
15	Sport	Warmblut	19	Hengst	1,65	500
16	Weide	Traber	13	Stute	1,6	470
17	Weide	Traber	12	Stute	1,68	490
18	Weide	Traber	13	Stute	1,54	450
19	Schulpferd	Warmblut	16	Wallach	1,55	470
20	Schulpferd	Warmblut	15	Stute	1,66	550

21	Schulpferd	Warmblut	12	Wallach	1,68	530
22	Weide	Warmblut	21	Wallach	1,55	500
23	Freizeit	Warmblut	12	Wallach	1,73	600
24	Weide	Haflinger	16	Stute	1,45	380
25	Schulpferd	Warmblut	10	Stute	1,7	490
26	Schulpferd	Warmblut	15	Wallach	1,72	530
27	Schulpferd	Warmblut	10	Wallach	1,6	450
28	Schulpferd	Warmblut	9	Wallach	1,62	460
29	Schulpferd	Warmblut	15	Stute	1,66	420
30	Freizeit	Warmblut	11	Stute	1,65	450

Tab. 11: Basisdaten der herzkranken Pferde.

Pferd Nr.	Nutzung	Rasse	Alter (Jahre)	Geschlecht	Größe (m)	Gewicht (kg)	Herzerk.
31	Sport	WB	6	Stute	1,58	430	MI
32	Freizeit	WB	10	Wallach	1,75	550	MI
33	Freizeit	WB	16	Wallach	1,72	550	VF
34	Sport	WB	12	Wallach	1,69	520	MI
35	Sport	WB	6	Stute	1,75	610	MI
36	Wiese	WB	21	Wallach	1,5	330	MI
37	Sport	WB	15	Wallach	1,9	750	MI
38	Wiese	Hafl.	29	Hengst	1,45	340	MI
39	Sport	WB	14	Wallach	1,83	700	VF
40	Sport	WB	5	Stute	1,7	500	MI
41	Freizeit	WB	16	Wallach	1,6	500	MI
42	Freizeit	WB	16	Wallach	1,75	645	MI

43	Sport	QH	4	Hengst	1,42	450	VF
44	Wiese	App.	22	Wallach	1,53	470	AI
45	Sport	Polo.	15	Wallach	1,58	460	AI
46	Sport	WB	18	Wallach	1,77	560	VF
47	Schulpfd	WB	7	Wallach	1,72	565	AI
48	Freizeit	WB	18	Wallach	1,67	545	VF
49	Wiese	WB	31	Wallach	1,71	530	AI
50	Freizeit	WB	19	Wallach	1,75	540	AI
51	Freizeit	WB	8	Stute	1,69	510	AI
52	Freizeit	WB	9	Wallach	1,7	530	MI
53	Freizeit	WB	9	Stute	1,56	430	MI
54	Sport	WB	9	Wallach	1,8	570	MI
55	Sport	WB	15	Stute	1,72	560	VF
56	Freizeit	WB	17	Wallach	1,66	480	AI
57	Freizeit	WB	18	Wallach	1,78	580	AI
58	Wiese	WB	16	Stute	1,65	670	AI
59	Freizeit	Friese	16	Wallach	1,6	560	AI
60	Schulpfd	WB	14	Wallach	1,68	560	AI

Tab. 12: Blutdruckwerte herzgesunder Pferde auf Herzniveau korrigiert.

Tier Nr.	SAP (mmHg)	MAP (mmHg)	DAP (mmHg)	Puls/min
1	123	98	84	45
2	121	93	77	40
3	153	124	107	39
4	134	103	85	39

5	155	123	104	36
6	150	117	98	33
7	130	104	88	36
8	134	96	75	36
9	138	109	93	44
10	150	113	93	55
11	123	90	72	34
12	140	110	94	43
13	130	97	78	40
14	159	133	117	48
15	215	174	152	47
16	169	142	126	65
17	181	141	119	31
18	153	121	103	40
19	140	114	100	30
20	126	100	85	26
21	177	146	129	40
22	143	106	86	39
23	129	107	94	31
24	127	87	66	42
25	133	105	89	35
26	126	106	95	37
27	139	104	84	39
28	140	114	99	38
29	138	112	96	34
30	162	129	110	33

Tab. 13: Blutdruckwerte herzkranker Pferde auf Herzniveau korrigiert

Tier Nr.	SAP (mmHg)	MAP (mmHg)	DAP (mmHg)	Puls/min
31	126	101	87	52
32	150	120	103	35
33	119	98	85	51
34	132	102	84	30
35	136	115	102	35
36	149	103	78	36
37	166	142	128	45
38	156	115	93	74
39	118	98	85	51
40	174	129	104	31
41	114	91	78	43
42	162	129	111	60
43	112	95	84	48
44	158	111	86	37
45	167	123	89	36
46	142	110	92	46
47	142	116	101	42
48	152	115	95	40
49	134	104	86	43
50	135	96	74	47
51	154	122	104	30
52	123	96	81	33
53	143	117	102	36
54	137	118	107	46

55	135	117	105	68
56	149	118	100	34
57	155	120	101	38
58	165	130	109	43
59	133	110	96	34
60	132	106	91	36

Tab. 14: Blutdruck morgens und abends bei gesunden Pferden.

gesund	SAP m	SAP n	MAP m	MAP n	DAP m	DAP n
1	123	134	98	103	84	85
2	121	175	93	146	77	128
3	154	177	124	141	107	121
4	134	141	103	112	85	96
5	156	142	123	113	104	96
6	150	143	117	109	98	89
7	130	124	104	101	88	87
8	134	131	96	104	75	89
9	138	143	109	111	93	94
10	150	144	113	111	93	92
11	123	155	90	122	72	103
12	140	131	110	100	94	82
13	130	154	97	127	78	112
14	159	160	133	127	117	108
15	215	195	174	159	152	139

16	169	170	142	141	126	125
17	181	127	141	87	119	64
18	153	198	121	124	103	108

Tab. 15: Blutdruck morgens und abends bei kranken Pferden.

krank	SAP m	SAP n	MAP m	MAP n	DAP m	DAP n
31	126	130	101	81	87	55
32	150	136	120	110	103	95
33	119	77	98	101	85	114
34	132	157	102	127	84	109
35	136	133	115	105	102	89
36	149	139	103	106	78	87
37	166	135	142	111	128	98
38	156	160	115	135	93	120
39	118	121	98	97	85	83
40	174	130	129	99	104	82
41	114	116	91	92	78	78
42	162	164	129	134	111	117
43	112	142	95	117	84	103
44	158	192	111	129	86	95
45	187	172	123	119	89	90
46	142	126	110	100	92	85
47	142	122	116	94	101	78
48	152	191	115	139	95	112

Tab.16: Herzminutenvolumen und dessen Parameter bei herzgesunden Pferden.

gesund	HF	D (cm)	VTI	HMV
1	45	5,6	32,32	35,82
2	38	6,68	36,84	50,24
3	42	6,02	29	34,67
4	26	6,28	20,06	16,16
5	34	5,98	29,44	28,11
6	30	5,82	32,92	26,27
7	28	5,54	29,32	19,79
8	35	6,78	29,08	36,75
9	32	6,16	29,58	28,21
10	34	5,62	28,42	23,97
11	33	6,2	30,86	30,75
12	45	5,62	30,18	32,5
13	30	5,64	25,46	19,08
14	42	6,2	24,02	30,45
15	38	5,42	33,26	30,7
16	35	5,5	33,76	28,07
17	32	5,64	27,48	21,97
18	43	5,46	32,58	32,8
19	39	5,52	30,22	28,21
20	36	6,42	27,12	30,82
21	32	5,92	31,92	28,12
22	38	5,6	27,82	26,04
23	45	5,68	26,66	30,4
24	43	5,14	21,7	19,36
25	30	5,6	30,3	22,39
26	36	6,92	28,44	38,51
27	28	5,5	30,8	20,49
28	36	5,62	26,22	23,42
29	36	5,16	31,5	23,71
30	36	6,7	38,56	48,94

Tab.17: Herzminutenvolumen und dessen Parameter bei herzkranken Pferden.

krank	HF	D	VTI	HMV
31	40	5,4	23,2	21,25
32	30	6	32,22	27,33
33	44	5,6	25,93	28,1
34	38	5,32	32,36	27,33
35	32	5,82	33,92	28,88
36	63	4,27	21,77	19,61
37	40	6,48	26,6	35,09
38	105	5,12	19,56	42,59
39	51	6,02	23,52	34,14

40	34	5,24	23,28	17,07
41	56	5,32	27,1	33,73
42	40	5,86	20,98	22,63
43	40	4,84	30,26	22,27
44	35	4,88	34,06	22,3
45	35	4,8	28,3	17,92
46	38	5,82	27,05	27,35
47	30	5,66	29,84	22,52
48	38	6,4	30,24	36,97
49	48	6,5	34,5	54,95
50	48	6,04	35,34	48,6
51	55	5,92	27,84	42,15
52	38	5,32	31,48	26,59
53	38	5,06	24,7	18,87
54	40	5,8	26,22	27,71
55	60	5,84	23,67	38,04
56	32	5,82	25,18	21,44
57	44	6	28,52	35,48
58	40	6,78	33,62	48,55
59	34	6	37,98	36,51
60	32	5,8	28,48	24,08

Tab.18: Blutflussvolumen und dessen Parameter bei herzgesunden Pferden.

gesund	D (cm)	SPV	EDV	Tamean	DPV	RI	flow
1	0,4	0,346	0,11	0,15	0,194	0,682	113,1
2	0,4	0,308	0,048	0,094	0,154	0,844	70,87
3	0,4	0,258	0,064	0,106	0,126	0,75	79,92
4	0,4	0,242	0,05	0,088	0,146	0,79	66,35
5	0,4	0,294	0,088	0,142	0,196	0,7	107,07
6	0,4	0,224	0,046	0,084	0,124	0,79	63,33
7	0,4	0,254	0,07	0,112	0,168	0,72	84,45
8	0,4	0,258	0,064	0,106	0,126	0,75	79,92
9	0,4	0,304	0,094	0,162	0,208	0,69	122,15
10	0,4	0,206	0,046	0,068	0,112	0,78	51,27
11	0,4	0,164	0,052	0,068	0,116	0,68	51,27
12	0,4	0,143	0,045	0,07	0,108	0,69	52,78
13	0,4	0,27	0,078	0,12	0,162	0,71	90,48
14	0,4	0,252	0,072	0,115	0,124	0,714	86,71
15	0,4	0,248	0,086	0,122	0,146	0,653	91,99
16	0,4	0,262	0,058	0,108	0,118	0,779	81,43
17	0,4	0,524	0,236	0,33	0,396	0,55	248,81
18	0,4	0,292	0,088	0,134	0,18	0,699	101,03
19	0,3	0,296	0,056	0,128	0,208	0,811	96,51
20	0,4	0,186	0,072	0,094	0,13	0,613	70,87
21	0,4	0,194	0,078	0,118	0,16	0,598	88,97
22	0,4	0,293	0,09	0,14	0,195	0,693	105,56
23	0,4	0,292	0,088	0,134	0,18	0,699	101,03
24	0,3	0,296	0,056	0,128	0,208	0,811	96,51

25	0,4	0,148	0,068	0,084	0,106	0,541	63,33
26	0,4	0,212	0,096	0,14	0,166	0,547	105,56
27	0,4	0,146	0,036	0,066	0,098	0,753	49,76
28	0,4	0,172	0,046	0,062	0,088	0,733	46,75
29	0,4	0,086	0,024	0,032	0,052	0,721	24,13
30	0,4	0,334	0,038	0,066	0,128	0,886	49,76

Tab.19: Blutflussvolumen und dessen Parameter bei herzkranken Pferden.

krank	D	SPV	EDV	Tamean	DPV	RI	flow
31	0,3	0,296	0,064	0,116	0,13	0,784	87,46
32	0,4	0,208	0,04	0,07	0,082	0,808	52,77
33	0,4	0,326	0,094	0,156	0,163	0,712	117,62
34	0,4	0,276	0,082	0,136	0,14	0,703	105,56
35	0,4	0,284	0,096	0,15	0,214	0,662	113,1
36	0,4	0,28	0,078	0,13	0,176	0,721	98,02
37	0,4	0,43	0,212	0,29	0,306	0,507	117,62
38	0,3	0,102	0,026	0,036	0,041	0,745	27,14
39	0,4	0,348	0,068	0,124	0,172	0,805	93,49
40	0,4	0,214	0,058	0,088	0,108	0,729	66,35
41	0,4	0,242	0,112	0,118	0,15	0,537	88,97
42	0,4	0,278	0,092	0,14	0,152	0,669	105,56
43	0,4	0,2	0,064	0,092	0,122	0,68	69,37
44	0,4	0,26	0,036	0,076	0,13	0,862	57,3
45	0,4	0,26	0,068	0,132	0,18	0,738	99,33
46	0,4	0,304	0,108	0,16	0,183	0,645	120,64
47	0,4	0,208	0,052	0,084	0,122	0,75	63,33
48	0,4	0,248	0,054	0,098	0,126	0,782	73,89
49	0,4	0,324	0,092	0,156	0,188	0,716	117,62
50	0,4	0,622	0,076	0,188	0,218	0,878	141,75
51	0,4	0,142	0,044	0,068	0,09	0,69	51,72
52	0,4	0,252	0,074	0,12	0,156	0,706	90,47
53	0,4	0,269	0,09	0,13	0,149	0,665	98,02
54	0,4	0,268	0,11	0,17	0,212	0,59	128,18
55	0,4	0,198	0,074	0,102	0,118	0,626	76,91
56	0,4	0,32	0,054	0,116	0,176	0,831	87,46
57	0,4	0,35	0,078	0,146	0,192	0,777	110,08
58	0,4	0,284	0,06	0,124	0,18	0,789	93,49
59	0,4	0,192	0,088	0,128	0,128	0,542	96,51
60	0,4	0,164	0,058	0,084	0,132	0,646	63,33

9.2 Publikationsverzeichnis

Walders W., Gehlen H. (2014):

Nichtinvasive Blutdruckmessung mit High-Definition-Oscillometry-Technik bei Pferden mit Herzerkrankungen.

Tierärztl Prax 42(G): 22-31

9.3 Danksagung

Folgenden Personen danke ich für ihre Unterstützung bei meinem Promotionsvorhaben:

Heidrun Gehlen

Rüdiger Brems, Barbara Waerther, Barbara Berberich, Susanne Neukirch, Deborah Nagel

Meinen Eltern und meinem Bruder Fabian Walders

Beate Egner

Caroline Oel, Franziska Aumer, Anna May

André Klima

9.4 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 05.03.2019

Wibke Walders



9 783863 879686

mbvberlin mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-86387-968-6