

KLINISCHE EVALUIERUNG DREIER OSZILLOMETRISCH MESSENDER BLUTDRUCKMONITORE BEIM NARKOTISIERTEN HUND

DOROTHEE BRÖKER

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

édition scientifique
WVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

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

1. Auflage 2007

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

1st Edition 2007

© 2007 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



VVB LAUFERSWEILER VERLAG
édition scientifique

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

www.doktorverlag.de

Aus der Klinik für Kleintiere (Innere Medizin und Chirurgie)
Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Giessen

Betreuer: PD Dr. Matthias Schneider

Klinische Evaluierung dreier oszillometrisch messender Blutdruckmonitore beim narkotisierten Hund

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Giessen

eingereicht von

Dorothee Bröker

Tierärztin aus Duisburg

Giessen 2007

Mit Genehmigung des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Giessen

Dekan: Prof. Dr. Dr. habil. Georg Baljer

Gutachter:

PD Dr. Matthias Schneider

PD Dr. Rainer Hospes

Tag der Disputation: 29.11.2007

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

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	1
1 EINLEITUNG	1
1.1 Aufgabenstellung	2
2 LITERATURÜBERSICHT	3
2.1 Definition	3
2.2 Referenzwerte sowie Grenzwerte für Hypertonie und Hypotonie	4
2.3 Physiologische Einflussflussfaktoren auf den Blutdruck	5
2.4 Bedeutung der Blutdruckmessung am wachen Patienten	6
2.5 Bedeutung der Blutdruckmessung in Narkose.....	7
2.6 Methoden der Blutdruckmessung	8
2.6.1 Invasive Blutdruckmessung	8
2.6.2 Nicht-invasive Blutdruckmessung	13
2.7 Einfluss der Manschette auf die nicht-invasive Messung	19
2.7.1 Manschettenbreite	19
2.7.2 Manschettenposition	19
2.8 Evaluierung von oszillometrischen Geräten.....	20
2.8.1 Vergleichende Studien beim Menschen.....	21
2.8.2 Vergleichende Untersuchungen beim Hund	22
3 MATERIAL UND METHODEN	25
3.1 Patienten	25
3.2 Anästhesie und Gefäßzugänge	27
3.2.1 Narkose	27
3.2.2 Gefäßzugänge	27
3.3 Invasive Blutdruckmessung	28
3.4 Nicht-invasive Blutdruckmessung.....	28

3.4.1	Geräte.....	28
3.4.2	Messort und Manschettenauswahl	29
3.5	Durchführung der vergleichenden Blutdruckmessung	31
3.6	Statistische Auswertung	31
4	ERGEBNISSE	33
4.1	Unterschied im Blutdruckbereich während der einzelnen Messreihen	33
4.2	Peripher invasive gegen zentral invasive Messung	34
4.2.1	Durchführbarkeit.....	34
4.2.2	Messwerte	34
4.2.3	Vergleich zwischen peripher invasiver und zentral invasiver Messung.....	35
4.2.4	Vergleich der Differenz aus peripher invasiver und zentral invasiver Messung mit dem Mittelwert beider Methoden.....	36
4.3	Memoprint-Messung gegen zentral invasive Messung	38
4.3.1	Durchführbarkeit.....	38
4.3.2	Messwerte	38
4.3.3	Vergleich zwischen Memoprint-Messung und zentral invasiver Messung.....	39
4.3.4	Vergleich der Differenz aus Memoprint-Messung und zentral invasiver Messung mit dem Mittelwert beider Methoden.....	41
4.4	Dinamap-Messung gegen zentral invasive Messung.....	43
4.4.1	Durchführbarkeit.....	43
4.4.2	Messwerte	43
4.4.3	Vergleich zwischen Dinamap-Messung und zentral invasiver Messung	43
4.4.4	Vergleich der Differenz aus Dinamap-Messung und zentral invasiver Messung mit dem Mittelwert beider Methoden.....	45
4.5	Surgivet-Messung gegen zentral invasive Messung	47
4.5.1	Durchführbarkeit.....	47
4.5.2	Messwerte	47
4.5.3	Vergleich zwischen Surgivet-Messung und zentral invasiver Messung	47
4.5.4	Vergleich der Differenz aus Surgivet-Messung und zentral invasiver Messung mit dem Mittelwert beider Methoden.....	49
5	DISKUSSION	52
5.1	Patientenauswahl	52

5.2	Auswahl der Messmethode und Messorte	53
5.2.1	Referenz-Methode: Invasiv zentrale Blutdruckmessung	53
5.2.2	Invasiv periphere Blutdruckmessung	54
5.2.3	Nicht-invasive Blutdruckmessung	54
5.3	Auswahl der Manschette	55
5.4	Durchführung der Messungen.....	56
5.5	Probleme bei den Messungen.....	57
5.5.1	Invasive Messung.....	57
5.5.2	Nicht-invasive Messung.....	57
5.6	Messwertbereich	58
5.7	Peripher invasive gegen zentral invasive Messung	58
5.8	Memoprint-Messung gegen zentral invasive Messung	59
5.9	Dinamap-Messung gegen zentral invasive Messung.....	64
5.10	Surgivet-Messung gegen zentral invasive Messung	69
	Schlussfolgerung	73
6	ZUSAMMENFASSUNG	76
7	SUMMARY.....	78
	LITERATURVERZEICHNIS	80
	DANKSAGUNG	92

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
AAMI	Association for the Advancement of Medical Instrumentation
DAD	diastolischer arterieller Blutdruck
DSH	Deutscher Schäferhund
E	experimentell
etc.	et cetera
HF	Herzfrequenz
K	klinisch
k.A.	keine Angaben
M	Männlich
MAD	mittlerer arterieller Blutdruck
MW	Mittelwert
n	Anzahl
NaCl	Natriumchlorid
Nr.	Nummer
n.s.	nicht signifikant
p	peripher
PDA	persistierender Ductus arteriosus
PON	Polski Owczarek Nizinny
PS	Pulmonalstenose
®	eingetragenes Warenzeichen
Rel.	relativ
r	Korrelationskoeffizient
r ²	Bestimmtheitsmaß
SAD	systolischer arterieller Blutdruck
SEM	Standard error of the mean
SD	Standardabweichung
2SD	zweifache Standardabweichung
TD-I	Trikuspidaldysplasie mit Insuffizienz
u.a.	unter anderem
VSD	Ventrikelseptumdefekt
W	weiblich
WHWT	West Highland White Terrier
WK	weiblich kastriert
Z	zentral
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Die Messung des arteriellen Blutdruckes gewinnt in der Kleintiermedizin in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung, da immer mehr pathologische Blutdruckveränderungen aufgedeckt werden. Eine Erhöhung des Blutdruckes (Hypertonie) tritt oft in Zusammenhang mit verschiedenen Organ- oder Systemerkrankungen auf und kann dann Organschäden (z.B. Niere, Herz, Auge) auslösen (2, 21, 30, 35, 83, 89, 121, 164). Eine Erniedrigung des Blutdruckes (Hypotonie) kommt beim wachen aber besonders beim narkotisierten Patienten vor und führt zu einer Verminderung der Organperfusion. Insbesondere die Niere reagiert sehr empfindlich auf eine Hypotonie. Ab einem mittleren Blutdruck von weniger als 60 mmHg nimmt die Glomeruläre Filtration deutlich ab.

Verschiedene Methoden werden zur Blutdruckmessung eingesetzt. Die invasive Methode mit einem intraarteriellen Katheter gilt als Standardmethode. Wegen ihres invasiven Charakters wird sie allerdings nicht in der Routine sondern vornehmlich beim schwer kranken oder bei kritischen Narkosepatienten verwendet. Die oszillometrische Blutdruckmessung nutzt die Schwingungen in einer Manschette zur Bestimmung des systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruckes. Dieses Verfahren zeigt beim Mensch im Vergleich zur invasiven Messung sehr gute Ergebnisse. Beim wachen Hund ist diese Methode aufgrund von Bewegungsartefakten und der hohen Herzfrequenz allerdings mit Problemen behaftet. Eine Weiterentwicklung der Messalgorithmen führte dazu, dass die Geräte in normalen und höheren Blutdruckbereichen relativ zuverlässig messen.

Beim Narkosemonitoring bzw. bei der Überwachung von Intensivpatienten sind zwar die Bewegungsartefakte weitestgehend zu vernachlässigen, allerdings ist die zuverlässige Erfassung von niedrigen Blutdruckwerten deutlich schwerer. Die zu einzelnen Geräten vorliegenden Vergleichsdaten wurden zum Teil unter experimentellen Bedingungen an mittelgroßen Hunden bzw. Hunden einer Rasse erhoben (29, 42, 47, 68, 70, 97, 112, 129). Die Ergebnisse sind daher nicht uneingeschränkt für den klinischen Einsatz brauchbar. Sowohl das Körpergewicht, als auch die Gliedmaßenform können die Messergebnisse beeinflussen (145). Auch darf die Evaluierung eines Gerätes nicht auf andere Geräte desselben oder gar eines anderen Herstellers übertragen werden, da oftmals spezielle Hard- und Software verwendet wird.

Aus diesem Grund muss für alle neuen Geräte eine Evaluierung gegen das Standardverfahren durchgeführt werden.

1.1 Aufgabenstellung

Ziel dieser prospektiven klinischen Studie war es, drei oszillometrische Geräte gegen die invasive Messung bei Hunden während einer in Narkose durchgeführten Katheterintervention zu prüfen.

2 Literaturübersicht

2.1 Definition

Im klinischen Sprachgebrauch versteht man unter dem Begriff Blutdruck den Druck in den Arterien des Körperkreislaufes. Im physikalischen und physiologischen Sinne ist der Blutdruck die Summe des hydrostatischen und hydrodynamischen Druckes in irgendeinem Gebiet des Blutgefäßsystems, die Hohlräume des Herzens inbegriffen (144).

Durch die Herzkontraktionen kommt es in den Arterien des großen und kleinen Kreislaufes zu periodischen Druckschwankungen. Der höchste Druck während der Austreibungsphase wird als systolischer arterieller Blutdruck (SAD), der niedrigste Druck in der Erschlaffungsphase als diastolischer arterieller Blutdruck (DAD) bezeichnet. Die Differenz zwischen systolischem und diastolischem Druck wird Blutdruckamplitude oder Pulsdruck genannt (20, 36, 84, 144, 170).

Unter dem mittleren arteriellen Druck (MAD) versteht man den Druck, der durchschnittlich während der Dauer eines gesamten Schlagintervalls herrscht. Er stellt die treibende Kraft der Blutströmung und damit der Organperfusion dar (170). So führt ein MAD unter 60 mmHg zu einer reduzierten Nierenperfusion (18, 130, 145). Exakt bestimmt wird der MAD durch eine Integration der Druckkurve über die Zeit. In den zentralen Arterien kann der MAD mit hoher Genauigkeit als arithmetisches Mittel aus systolischem und diastolischem Druck errechnet werden (144). In den peripheren Arterien wird der mittlere Blutdruck häufig mit folgender Formel beschrieben:

$$\text{MAD} = \text{DAD} + k * (\text{SAD} - \text{DAD}).$$

Als ausreichend genau wird die „Konstante“ k oftmals mit 1/3 angegeben (24, 80). Je nach Messlokalisation soll der Wert für k jedoch zwischen 0,25 und 0,5 schwanken (140). Experimentelle Daten beim Hund belegen, dass der Wert im Mittel bei $0,310 \pm 0,093$ liegt (162).

2.2 Referenzwerte sowie Grenzwerte für Hypertonie und Hypotonie

Über Referenz- und Grenzwerte des Blutdrucks existiert in der Literatur eine Vielzahl von Angaben. Da unterschiedliche Methoden angewandt werden, und Untersuchungen sowohl an wachen trainierten bzw. untrainierten Tieren, als auch an narkotisierten Tieren durchgeführt wurden, variieren diese Angaben zum Teil erheblich.

Die meisten Referenzbereiche (Mittelwert \pm Standardabweichung) sind für Tiere ohne Sedation angegeben.

COULTER et al. (29) nutzten den Dinamap Monitor und fanden folgende Referenzwerte: für den systolischen Druck 144 ± 27 mmHg, für den mittleren Druck 110 ± 21 mmHg und für den diastolischen Druck 91 ± 20 mmHg. Niedrigere Normwerte stellten PETERSEN et al. (112) am wachen Beagle mit dem Dinamap Monitor fest (SAD 125 ± 25 mmHg, MAD 94 ± 20 mmHg, DAD 74 ± 18 mmHg). Unterschiede zwischen ambulanten Patienten und Patienten zu Hause konnten KALLET et al. (72) festhalten. Die ambulanten Patienten hatten einen leicht höheren Blutdruck. BODEY et al. (9) ermittelten in einer epidemiologischen Studie mit Hilfe des Dinamap Monitors einen normalen durchschnittlichen Blutdruck von $131,3 / 96,9 / 73,8$ mmHg (SAD/MAD/DAD).

Die Referenzwerte für den Memoprint Monitor sind relativ breit angesetzt: ERHARDT et al. (40) legten systolische Werte von $110 - 160$ mmHg, diastolische Werte von $70 - 90$ mmHg und mittlere Werte von $80 - 110$ mmHg fest. Eine schwere Hypotonie liegt bei einem SAD von unter 70 mmHg vor. KALLET et al. (72) und SCHMIEG (132) ermittelten einen systolischen Referenzbereich von 105 bis 162 mmHg und einen diastolischen Bereich von 68 bis 119 mmHg. Ähnliche Referenzwerte erstellte FEISCHE (43) in ihrer Studie: der SAD variierte zwischen 104 und 162 mmHg und der DAD lag zwischen 67 und 130 mmHg. TENHÜNDFELD (155) definierte eine geringe Hypertension mit Werten über $160 / 100$ mmHg, und eine mittlere Hypertension mit Werten über $180 - 200$ mmHg / $125 - 135$ mmHg. Laut EGNER (38) liegt eine milde Hypertonie bei $> 150 / 95$ mmHg, eine mittelschwere Hypertonie bei $> 160 / 100$ mmHg und eine schwere Hypertonie bei $> 180 / 120$ mmHg vor.

Über Normbereiche für Hunde in Narkose existieren kaum Studien. Häufig wird die Narkose für experimentelle und vergleichende Studien genutzt, ohne dass Normwerte aufgestellt werden (12, 50, 72, 128, 129). In reiner Inhalationsnarkose

liegt eine milde systolische / diastolische Hypotonie bei Werten von 90 / 60 mmHg, eine moderate bei 80 / 50 mmHg und eine schwere bei 60 / 40 mmHg vor (38).

2.3 Physiologische Einflussfaktoren auf den Blutdruck

Neben den verschiedenen unten aufgeführten pathologischen Blutdruckveränderungen gilt es einige physiologische Einflussfaktoren auf den Blutdruck wie Alter, Rasse, Geschlecht und Gewicht des Patienten zu beachten.

Der Blutdruck steigt mit dem Alter an, allerdings ist der Unterschied zwischen geriatrischen Hunden und anderen ausgewachsenen Hunden nicht signifikant (9, 16, 29, 43, 100).

Über den Einfluss des Geschlechts auf den Blutdruck gibt es widersprüchliche Angaben. So sind beim männlichen Hunden zum Teil höhere Werte (16, 101, 112), zum Teil gleiche Werte (16, 62, 149) als bei weiblichen Hunden beschrieben.

Weiterhin konnten rassebedingte Unterschiede in der Höhe des Blutdruckes belegt werden. Beim Deerhound zeigt sich ein deutlich höherer Druck als andere Rassen. Terrier und Dackel scheinen einen höheren SAD als Retriever und Möpse zu haben (43). Der Wolfshund weist dagegen einen relativ niedrigen Blutdruck auf (16). Kein Unterschied konnte bei dem Vergleich von Renn- und Showhunden gezeigt werden (9). Allerdings wurde unabhängig von der Rasse bei Jagd- und Zuchthunden ein höherer SAD als bei Sporthunden gefunden (43).

Auch das Körpergewicht der Patienten spielt je nach Studie eine Rolle, denn schwere Hunde (> 18 kg) zeigen bei niedrigen Herzfrequenzen einen höheren Blutdruck (29). Andere Arbeiten konnten keine Unterschiede finden (16, 149).

Abzugrenzen von einem tatsächlichen Einfluss des Gewichtes bzw. der Größe der Tiere ist die Abnahme der Messgenauigkeit bei sehr kleinen Hunden bzw. Katzen (30, 145).

2.4 Bedeutung der Blutdruckmessung am wachen Patienten

Beim wachen Patienten dient die Blutdruckmessung der Erkennung von Hyper- und Hypotonien.

Im Gegensatz zum Menschen liegen beim Tier nur einzelne Berichte über die primäre, essentielle Hypertonie vor (90, 156).

Über die Inzidenz der sekundären Hypertonie bei Kleintieren sowie über das Ausmaß der Folgen gibt es zahlreiche Berichte. Da der systemische Blutdruck proportional sowohl zum Cardiac output (beeinflusst von Schlagvolumen und Herzfrequenz), als auch zum totalen peripheren Widerstand ist, kommen folgende Erkrankungen als häufige Auslöser einer Hypertonie in Frage (2, 21, 35, 38, 83, 89, 121, 164):

- Hyperkinetisches Herzsyndrom (Anämie, Polyzytämie, Hyperviskosität, Arteriovenöse Fisteln)
- Nierenerkrankungen (Glomerulopathien, interstitielle oder Pyelonephritis, Polyzystische Erkrankungen)
- Intracranielle Erkrankungen (Tumor, Trauma)
- Kardiale Erkrankungen (Herzinsuffizienz im frühen Stadium, Hypertrophe Kardiomyopathie)
- Endokrinopathie (Hyperthyreose, Hyperadrenocortizismus, Hyperaldosteronismus, Diabetes mellitus, Phäochromozytom, Hyperöstrogenismus)

Zur Erfassung der Hypertonie ist eine zuverlässige Blutdruckmessung erforderlich, da entweder andere Organschäden daraus entstehen oder die Grunderkrankung verschlimmert werden kann (21, 30, 35, 38, 89, 164).

Eine Hypotonie beim wachen Patienten ist durch schlechten Cardiac output, Volumenmangel, oder starke arterielle Vasodilatation ausgelöst (86, 89, 164).

Ursache für eine Verminderung des Cardiac output sind oftmals primäre oder sekundäre Herzrhythmusstörungen wie Sick Sinus Syndrom, Vagus bedingte Bradykardien oder schwere Tachyarrhythmien. Flüssigkeitsverluste durch äußere Blutungen oder Blutungen in Körperhöhlen, vermehrte Diurese, Erbrechen oder Durchfall sowie fehlende Wasseraufnahme bedingen durch eine verminderte Vorlast ebenfalls ein vermindertes Herzminutenvolumen. Ist die Herzfüllung mechanisch

durch Perikarderguss, durch hypertrophe Kardiomyopathie, oder auch schweren Pneumothorax behindert, sind ebenfalls hypotone Zustände die Folge. Ähnliche Verhältnisse liegen bei einem verminderten venösen Rückfluss infolge einer Magendilatation oder -drehung sowie infolge komprimierender Tumoren vor. Medikamente mit vasodilatatorischen Eigenschaften, Spinal- und Epidural-Anästhesie sowie Endotoxine können zur Aufhebung des Gefäßtonus und somit zum Blutdruckabfall führen. Eine abnorme Entleerung des Ventrikels, wie sie bei Mitralinsuffizienz, Aortenstenose, und dilatative Kardiomyopathie vorkommt, vermindert den Cardiac output und führt somit zur Hypotonie (89).

Oftmals kann die Hypotonie bei der klinischen Untersuchung (kühle Extremitäten, blasse Schleimhäute, verlängerte kapilläre Rückfüllzeit, Sinustachykardie, Schläfrigkeit, verminderte oder fehlende Urinproduktion) vermutet werden. Bei schwerer Hypotonie treten Herzrhythmusstörungen sowie blutiger Durchfall (Schockdarm) auf.

Eine exakte Messung des Blutdruckes ist zur Erkennung von leichten Fällen, zur Einschätzung der Schwere und zur Beurteilung des Verlaufes sinnvoll (21, 31, 130, 145).

2.5 Bedeutung der Blutdruckmessung in Narkose

Die arterielle Hypertonie spielt beim narkotisierten Hund eine untergeordnete Rolle. Daraus resultiert, dass viele Autoren keine Angaben zu Grenzwerten einer Hypertonie in Narkose angeben (12, 50, 72, 128, 129). Erwähnt sei aber an dieser Stelle, dass einzelne Berichte über deutliche Hypertonien als Nebenwirkung verschiedener Anästhetika vorliegen. So kann Ketamin zu einer Hypertonie führen. Außerdem machen α -adrenerge Agonisten wie Xylazin und Medetomidin vor allem zu Beginn der Gabe eine Hypertonie (41).

Die Mehrzahl der Blutdruckprobleme in Narkose betrifft die Hypotonie. So berichtet CARR (21), dass 10 % der Narkosezwischenfälle durch eine Hypotonie ausgelöst sind. Des Weiteren wird als häufigste Ursache der akuten Niereninsuffizienz, neben nephrotoxischen Medikamenten, die Hypotonie in der Narkose genannt (60, 111).

Mögliche Ursachen für die Hypotonie bei narkotisierten Patienten sind vielfältig. Einerseits führen vor der Narkose bereits bestehende Grunderkrankungen wie zum

Beispiel Herzinsuffizienz, Volumenverlust durch Blutungen oder Durchfall, Endotoxinfreisetzung etc. zur Blutdruckerniedrigung. Andererseits haben viele Anästhetika Wirkungen auf das Herz bzw. das Gefäßsystem und lösen so eine Hypotonie aus (41). Weitere Faktoren sind: eine niedrige Körpertemperatur, eine CO₂-Anreicherung durch inadäquate Atmung und ein reduzierter Cardiac output bei Patienten in Rückenlage (60, 111).

Allgemein gilt es einen minimalen SAD von über 60 mmHg zu halten, um eine adäquate Organperfusion zu ermöglichen. Ein DAD von über 40 mmHg muss für eine ausreichende Koronardurchblutung vorhanden sein. Ab einem mittleren Blutdruck von unter 60 mmHg nimmt die Glomeruläre Filtrationsrate deutlich ab (31).

Da die Mehrzahl der oben angeführten klinischen Parameter zur Erfassung der Hypotonie beim narkotisierten Patient weniger aussagekräftig ist, muss hier eine Blutdruckmessung Aufschluss bringen.

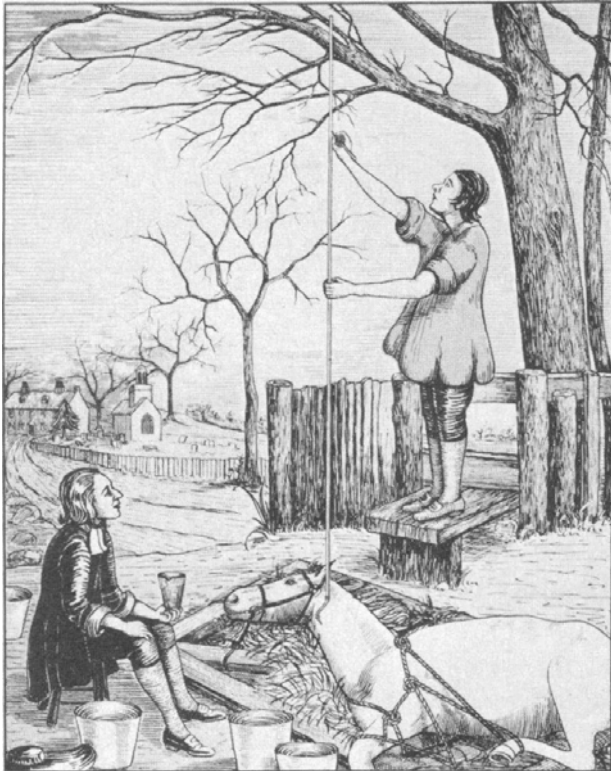
2.6 Methoden der Blutdruckmessung

2.6.1 Invasive Blutdruckmessung

2.6.1.1 Prinzip der Messung

Die erste invasive Blutdruckmessung wurde 1733 an einem Pferd durchgeführt (Abbildung 1). Dazu wurde ein Messingröhrchen, verbunden mit einer Glasröhre, in eine Arterie eingeführt und der Druck an der Höhe der Blutsäule abgelesen (13).

Abbildung 1: Erste Blutdruckmessung nach einem Experiment von Hale (13)



Später kamen verschiedene Kathetersysteme und Druckaufnehmer (Transducer) zum Einsatz, die chirurgisch oder per Punktion in einer peripheren oder zentralen Arterie platziert wurden.

Als Messort wurden beim Hund verschiedene Arterien genutzt: A. femoralis (2, 7, 73, 76, 80, 91, 93, 94, 137, 165), A. metatarsa dorsalis (12, 70, 80, 99), A. radialis (162), Ramus auricularis intermedius der A. auricularis caudalis (87) und die A. lingualis (47). Für experimentelle Blutdruckmessungen wurde auch die A. carotis communis genutzt, nachdem sie operativ unter die Haut verlegt wurde (106, 171).

Generell wird zwischen flüssigkeitsgefüllten Kathetern mit externem Transducer und so genannten Tip-Kathetern mit Transducer direkt in der Katheterspitze unterschieden. Letztere liefern die besten Ergebnisse. Ihr klinischer Einsatz ist aber durch hohe Kosten, großen Katheterdurchmesser (nur in zentralen Arterien platzierbar) und ihre Zerstörbarkeit limitiert (80). Daher werden insbesondere in peripheren Gefäßen flüssigkeitsgefüllte Katheter verwendet.

2.6.1.2 Messartefakte

Obwohl die invasive Messung mittels flüssigkeitsgefüllten Kathetern als „Gold Standard“ gilt, ist auch sie mit einigen Fehlern behaftet, die im Folgenden beschrieben werden.

2.6.1.2.1 Faktoren des Messsystems (Katheter, Verbindungsstück, Transducer)

Resonanz sind erzwungene Schwingungen. Sie existiert in allen pulsatilen flüssigkeitsgefüllten Kathetern und führt zu einer Zunahme des systolischen Wertes und nur geringer Beeinflussung des mittleren und diastolischen Wertes. Lange und dünne Katheter sowie eine hohe Steifigkeit des Verbindungsstückes zum Transducer erhöhen den Resonanzeffekt. Das Druckmesssystem sollte eine „flache Frequenzwiedergabe“ haben, das heißt frei von Resonanzeffekten sein.

Eine zweite hydraulische Eigenschaft ist die **Dämpfung**, die Oszillationen durch Reibung minimiert. Flüssigkeitsgefüllte Katheter sind meistens unterdämpft. Luftblasen erhöhen die Dämpfung. Die Folge einer Dämpfung ist eine Erniedrigung des systolischen und eine Erhöhung des diastolischen Messwertes (80, 173).

Obwohl die invasive Messung also von den Eigenschaften des Verbindungsschlauchsystems abhängig ist, gibt es nur wenige beschreibende oder vergleichende Studien über Resonanz und Dämpfungscharakteristik (32).

2.6.1.2.2 Faktoren des Gefäßes

Zu einer **Impedanz-Änderung** kommt es vor allem in den präkapillären Arteriolen, so dass die Pulswelle zum Teil retrograd reflektiert wird und dadurch zur Erhöhung der Druckschwankung führt. Der systolische Druck ist davon mehr betroffen als der mittlere und diastolische Druck. Je höher der periphere Widerstand umso höher ist der Effekt der Impedanz.

Eine Kompression oder Verschluss des Gefäßes durch einen Thrombus, ein Hämatom, Reflexspasmen oder eine externe Kompression durch Manschetten führen zur einer künstlichen Impedanz-Änderung (74, 80, 104, 116, 122). Auch durch

zu große Katheter im Verhältnis zum Gefäßdurchmesser entsteht durch vermehrte Okklusion des Gefäßes eine Überhöhung der Druckamplitude (74).

Einen weiteren Einflussfaktor stellt die **Lage des Katheters** im Gefäß in Relation zur Strömungsrichtung dar. So wird der Druck unterschätzt, wenn endoffene flüssigkeitsgefüllte Katheter in Richtung des Blutflusses liegen und überschätzt, wenn sie entgegen des Blutflusses liegen (80, 173).

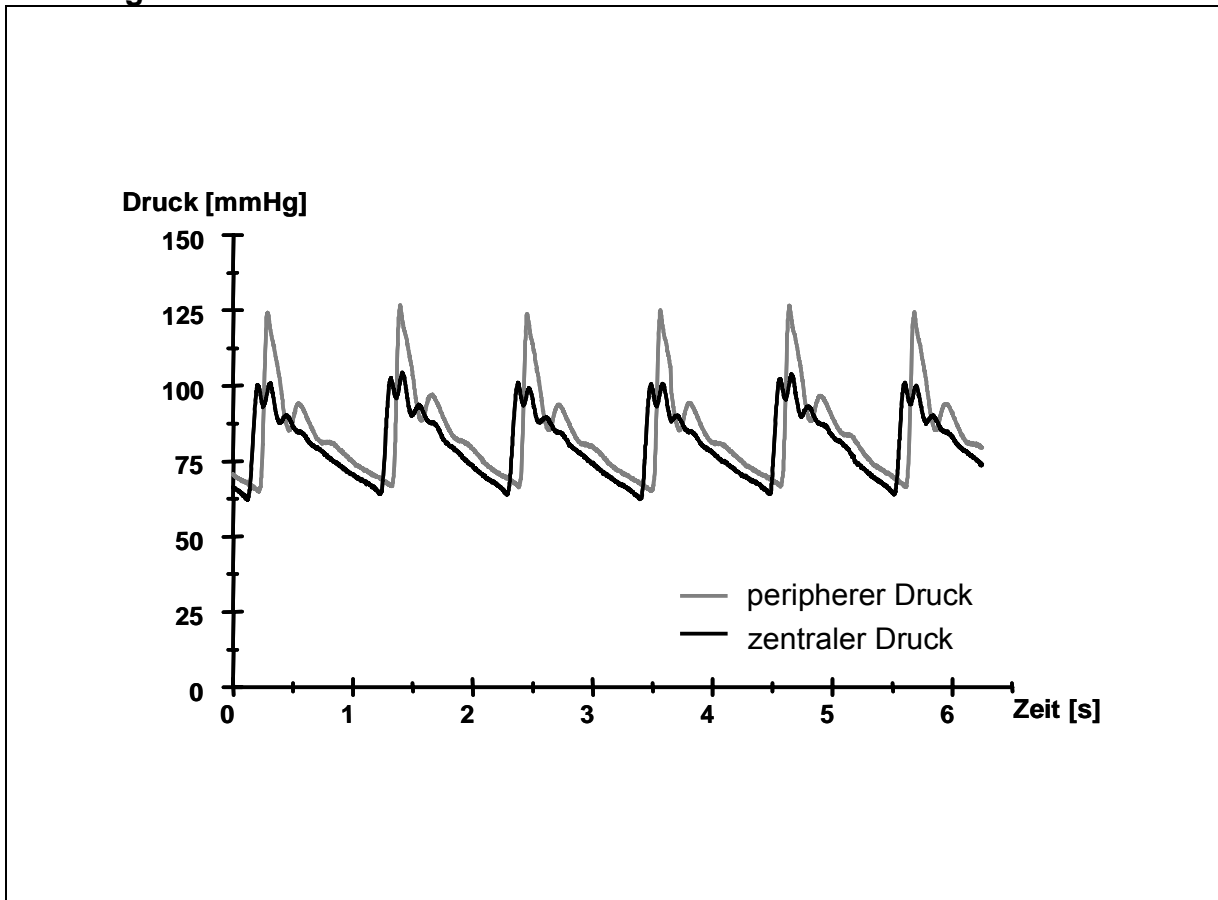
2.6.1.2.3 Unterschied zwischen zentraler und peripherer Messung

Neben den Artefakten gibt es aber auch physiologische Änderungen der Druckkurven an verschiedenen Stellen des Gefäßbaumes.

Am Ende der Systole kommt es zu einem kurz andauernden Rückstrom in Richtung auf die sich schließende Aortenklappe. Diese rückläufige Strömung ist die Ursache für die in den zentralen Druckpulsen scharf markierte **Inzisur**. Aufgrund der starken Dämpfung der höher frequenten Wellenanteile ist die Inzisur in herzfernen Arterien kaum mehr erkennbar. Ein anderes typisches Merkmal ist die **Dikrotie**, die dadurch zustande kommt, dass die in der Peripherie reflektierte Pulswelle das Arteriensystem herzwärts durchläuft, an der geschlossenen Aortenklappe reflektiert wird, dann abermals peripherwärts läuft und dort im diastolischen Abschnitt des Pulses den zweiten Gipfel hervorruft. Dieser Effekt zeigt sich vor allem in den peripheren Messungen.

Im Arteriensystem steigt der Wellenwiderstand in Richtung der peripheren Arterien an, so dass an vielen Orten Wellenreflexionen entstehen. Hierbei kommt es zur Superposition der peripher und der herzwärts laufenden Wellen. Da sich bei Wellen entgegen gesetzter Laufrichtung die Wellendrucke addieren, entsteht wie in Abbildung 2 dargestellt eine systolische Blutdruckamplitudenüberhöhung (20, 116).

Abbildung 2: Vergleich der invasiven Druckkurven von peripherer und zentraler Messung bei einem Hund



Beim Menschen sind einige Studien über den Vergleich zwischen den verschiedenen Arterien durchgeführt worden (17). Zum Teil konnten keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Arterien gefunden werden (5, 44, 110), zum Teil waren die Drücke in der Femoralarterie höher als in der Brachialarterie (27, 32, 143). Außerdem kann beim Menschen die Messung in der Arteria dorsalis pedis zu fehlerhaften hohen systolischen Blutdruckwerten führen (109).

Auch beim Hund wurden Vergleichsmessungen durchgeführt (169) und die periphere Amplitudenerhöhung gezeigt (62, 97, 136).

2.6.1.3 Komplikationen

Als Komplikationen der invasiven Blutdruckmessung werden in humanmedizinischen Untersuchungen vor allem Thrombosen, Infektionen, Embolien und Blutungen angegeben (103, 157).

Blutungen sind auch in der Tiermedizin beschrieben, so dass bei der Punktion Arterien bevorzugt werden, die gut der Kompression zugänglich sind (dorsale Metatarsalarterie statt Femoralarterie) (64).

2.6.2 Nicht-invasive Blutdruckmessung

2.6.2.1 Palpationsmethode mit dem Finger

Die Palpationsmethode ist eine der ältesten Formen der nicht-invasiven Blutdruckmessung. Die Manschette wird um eine zylindrische Extremität gelegt und zunächst auf suprasystolische Druckwerte aufgepumpt bis das Pulssignal verschwindet. Dann wird der Druck langsam abgelassen. Der Manschettendruck, bei dem manuell wieder ein Pulssignal zu fühlen ist, entspricht dem systolischen arteriellen Blutdruck (66, 136).

Während O'BRIEN et al. (106) den Mediziner Riva-Rocci 1896 als Erfinder dieser Methode angeben, und sie seither als Riva-Rocci Methode in der Literatur geführt wird, liegen schon frühere Beschreibungen dieser Methode durch VON BASCH (165) vor.

Beim Menschen ist die Aussagekraft dieser Methode insbesondere bei hypotonen Zuständen begrenzt (154).

2.6.2.2 Blutdruckmessung nach dem Riva-Rocci Prinzip

Inzwischen existieren zahlreiche Methoden, die mit einer Manschette und der distalen Flussdetektion und damit nach dem Riva-Rocci Prinzip arbeiten.

2.6.2.2.1 Rheographie als Pulsfühler

Die Rheographie nutzt die Messung der elektrischen Leitfähigkeit eines Gewebes, welche durch den wiederkehrenden Blutfluss ansteigt (71, 118). Die Anwendung beim Hund ist nicht beschrieben.

2.6.2.2.2 Infraton Druckmarkengeber

BRECHT et al. (15) erfanden ein neuartiges Kondensatormikrofon, mit dem zentrale und periphere Arterienpulse besser registriert werden können. Insbesondere bei kleinen Tieren (Ratte) ist eine Pulsregistrierung möglich.

Durch Weiterentwicklung entstand ein Mikrofon das leichter und handlicher war und bei Pferd, Rind und Hund eingesetzt wurde (39, 55, 102, 115).

2.6.2.2.3 Xylol-Puls-Indikator

Das System besteht aus zwei Manschetten, einem Blasebalg und einem Xylol gefüllten Glasröhrchen. Beide Manschetten werden aufgepumpt, dann die distale abgeklemmt und die proximale weiter aufgepumpt, bis sich das Xylol nicht mehr bewegt. Wenn das Xylol nach Ablassen des Druckes die erste scharfe Bewegung macht spricht man von der Systole. Diese Methode wurde vor allem bei Hund und Pferd angewandt (53, 54, 154, 172), dann aber bald wieder verworfen.

2.6.2.2.4 Dehnungsstreifen

BAYER et al. (4) beschrieben eine Methode am Pferd, bei der als Pulsfühler ein Plexiglasplättchen dient, welches beidseits mit Dehnungsmessstreifen beklebt ist.

2.6.2.2.5 Auskultation

Diese Methode wurde 1905 von dem russischen Chirurgen Korotkoff entwickelt und wird in der Humanmedizin weiterhin routinemäßig eingesetzt. Es werden die so genannten Korotkoff Töne distal der okkludierenden Manschette nachgewiesen. Man unterscheidet fünf verschiedene Phasen, wobei Phase I als SAD definiert ist. Die Definition der Diastole wird kontrovers diskutiert. Die American Heart Association empfiehlt als DAD bei Kindern die Phase IV und bei Erwachsenen die Phase V anzunehmen (78).

Bei Neugeborenen ist es schwierig und, insbesondere bei Hypotonie, zum Teil unmöglich die Korotkoff Töne zu hören (32).

Auch beim Hund wurde diese Methode zeitweise angewandt (1, 30, 33, 35, 45, 65, 119, 124, 141, 168, 171). Allerdings wird auch hier von den Problemen berichtet. So liegen Fehlerquellen bei der Interpretation der Korotkoff Geräusche in erster Linie in der Subjektivität des Untersuchenden. Hier spielen Konzentration, Reaktionszeit und Hörschärfe eine Rolle (136).

2.6.2.2.6 Hautfarbenänderung

VON RECKLINGHAUSEN (163) anämisierte einen Finger mit Hilfe eines Gummiringes. Eine proximal angebrachte Manschette wurde auf suprasystolische Werte aufgepumpt und dann abgelassen. Das erste Erröten des Fingers stellt den systolischen Wert dar. Eine weiterführende Entwicklung dieser Methode stellt die Photoplethysmographie dar:

2.6.2.2.7 Photoplethysmographie (Licht-Reflexions-Rheographie)

Die Abschwächung des infraroten Spektrums ist proportional zum arteriellen Volumen. Eine Mikroprozessor-gesteuerte Manschette hält das arterielle Blutvolumen auf einem konstanten Wert, so dass der Manschettendruck mit den arteriellen Schwankungen übereinstimmt. Der momentane arterielle Druck wird indirekt vom Manschettendruck abgeleitet (59). Die Geräte sind für die

Humanmedizin konzipiert, wurden aber auch bei Tieren getestet: bei Ratten (19) und Miniatur-Schweinen (26) sowie bei Hunden und Katzen (22, 69, 92, 153).

Elektronische Pletysmographie macht sich eine Impedanz-Änderung zu Nutze und wurde bei Schaf und Ziege eingesetzt (120).

Auch ein Kombinationsgerät, welches sowohl oszillometrisch als auch mittels Pletysmographie arbeitet wurde entwickelt (98), ist aber nicht kommerziell erhältlich.

2.6.2.2.8 Blutdruckmessung mittels Doppler-Technik

Das Doppler-Prinzip beinhaltet die Erkennung von Schallwellenänderung bei Reflexion an bewegten Medien. Es wurde 1842 von Christian Doppler erstmalig beschrieben.

Bei der Blutdruckmessung mittels Doppler-Technik wird ein Transducer distal der Manschette über einer Arterie platziert. Beim Ablassen des Manschettendruckes wird das Wiederkehren des Blutflusses akustisch angezeigt (Doppler-Flussmesser). Eine ähnliche Methode, die Doppler-Kinetoarteriographie, erfasst nicht den Blutfluss sondern die Bewegung der Arterienwand; üblicherweise ist hierzu der Transducer in der Druckmanschette integriert (6).

Der Punkt, an dem bei Ablassen der Manschette das rauschende Signal zuerst gehört wird, entspricht dem SAD. Der Punkt an dem das kurze pulsative Rauschen in ein mehr kontinuierliches, längeres Rauschen übergeht, entspricht dem DAD.

Ob beim Tier nur der systolische Druck oder auch der DAD oder sogar der MAD mit dieser Technik zuverlässig bestimmt werden können, ist in der Literatur umstritten (22, 30, 31, 95, 151).

Der Doppler-Flussmesser und der Doppler-Kinetoarteriograph wurden für Menschen (77, 146) als sensitive und akkurate Methode auch bei schwerer Hypotonie angesehen und anschließend für verschiedene Tierarten validiert (23, 46, 48, 81, 83, 88, 164).

Bezüglich der Erkennung einer Hypotonie scheint die Methode beim Hund sensitiv zu sein. Auch unruhige Hunde können erfolgreich gemessen werden (96, 132).

Mögliche Fehlerquellen der Doppler-Ultraschallmessung beim Tier ergeben sich durch nicht angepasste Manschettengrößen, durch inadäquates Anlegen von Manschette und Transducer, sowie vor allem durch Arterienwandspasmen und periphere Vasokonstriktion, verursacht durch Hypothermie oder Katecholaminwirkung (96).

Ein weiterer Nachteil der Methode ist die Notwendigkeit des Scherens der Haare an der Erfassungsstelle, um so ein gutes Dopplersignal durch den Transducer zu erhalten. Außerdem ist eine automatische Messung, die zur Narkoseüberwachung vorteilhaft wäre, nicht möglich (134).

Bei wachen Hunden und insbesondere bei Katzen ist die Anwendung des Dopplers allerdings auch in neueren Studien eine bevorzugte Technik (142, 148, 149, 152, 160).

2.6.2.2.9 Oszillometrie

Etienne Jules Marey legte 1876 eine flüssigkeitsgefüllte Kammer um eine Arterie und füllte diese bis zum Verschluss der Arterie. Er fand heraus, dass die Pulsationen der Arterie in die Flüssigkeit transferiert werden und sich beim Ablassen der Flüssigkeit der Kammer in der Höhe verändern. Zunächst wurde angenommen, dass die zuerst auftretenden Oszillationen dem SAD und die maximalen Oszillationen dem DAD entsprechen. Später stellte sich heraus, dass letztere eher den MAD anzeigen, der DAD dagegen abgelesen werden kann, wenn sich die Oszillationen nicht mehr ändern. Durch diese Eigenschaften ist die Oszillometrie die einzige nicht-invasive Methode mit der man den MAD direkt messen kann.

Beim Hund wurde die Methode schon vor 1920 eingesetzt, bevor sie in der Humanmedizin einen Aufschwung erlebte (80).

Eine Vielzahl von oszillometrisch arbeitenden Geräten wurde später an verschiedenen Tierarten getestet. Dabei zeigte sich, dass humanmedizinische Geräte nicht ohne Weiteres für Hunde eingesetzt werden können und daher zunächst evaluiert werden müssen (70, 148). Alternativ dazu wurden einige tiermedizin-spezifische Geräte entwickelt und an die besonderen anatomischen und physiologischen Gegebenheiten angepasst (86, 131, 167).

Der Dinamap Monitor wurde 1979 als neues automatisches Blutdruckmessgerät beim Menschen von Ramsey beschrieben. Er nutzt einen speziellen Algorhythmus zu Bewertung der Oszillationen (117).

Verschiedenen Modelle des Dinamap-Human-Monitors wurden dann bei Hunden eingesetzt und schließlich wurde auch ein Veterinär-Monitor entwickelt. Bei wachen und narkotisierten Hunden konnte eine einfache und schnelle Blutdruckmessung mit brauchbaren Ergebnissen dokumentiert werden (9, 11, 12, 29, 58, 63, 99, 127, 136). Bei Katzen und kleinen Hunden stößt die Anwendung des Gerätes an eine Grenze (30).

Auf Grund schwankender Einzelwerte sollten immer mehrere Messungen durchgeführt werden (99) und auftretende Ausreißer bestimmt und eliminiert werden (64). Außerdem kann es notwendig sein, eigene Normwerte für die nicht-invasive Messung beim Tier zu schaffen (73). So erstellten BRIGHT et al. (16) mit dem Dinamap Monitor Rassenreferenzwerte für den Irischen Wolfshund.

Über andere veterinärmedizinische oszillometrisch arbeitende Geräte (SDI Vet / BP 6000 oder Cardell Veterinär Blood Pressure Monitor, Model 9301V) gibt es nur vereinzelt Studien (58, 129, 133, 134), allerdings zeigen alle relativ gute Ergebnisse. Der in den letzten Jahren häufig eingesetzte Blutdruckmonitor Memoprint soll durch seine verbesserte Technologie Artefakte bis zu 30 % zulassen, ohne die Messgenauigkeit zu vermindern, und soll daher auch bei kleinen Tieren gut einsetzbar sein (37).

Die vollautomatische Messung mittels dieser Geräte bietet die Möglichkeit zur regelmäßigen Messung in Narkose (66). Allgemeine Probleme der Oszillometrie bestehen in einer fehlenden kontinuierlichen Überwachung des Blutflusses. Außerdem zeigen die Geräte bei kalten, zitternden und sich bewegenden Tieren Probleme (31). Des Weiteren wird die unzureichende Größe der Tiere immer wieder als Ausschlusskriterium genannt (59). Zuverlässige Werte sind bei Herzrhythmusstörungen nicht zu erwarten (114).

2.7 Einfluss der Manschette auf die nicht-invasive Messung

2.7.1 Manschettenbreite

Die Manschettenbreite spielt bei der nicht-invasiven Blutdruckmessung eine wichtige Rolle.

Im Allgemeinen gilt, dass wenn die Manschette zu schmal ist, die Blutdruckwerte zu hoch sind, und dass bei zu breiten Manschetten die Werte zu niedrig gemessen werden. Der Fehler ist allerdings bei zu schmalen Manschetten größer als bei zu breiten.

Beim Menschen sollte die Manschettenblase die Gliedmaße komplett umschließen und die Breite sollte das etwa das 1,5-fache des Umfanges oder das 1,2-fache des Durchmessers der Extremität betragen (32). Die American heart association (78) empfiehlt eine optimaler Breite von 40 % des Armumfanges.

Beim Hund sind zur Bestimmung der optimalen Manschettenbreite viele Untersuchungen durchgeführt worden. Während in frühen Studien noch relativ unflexibel feste Manschettengrößen zum Einsatz kamen (55, 82, 95), konnte man später, ähnlich wie beim Menschen, mit Manschetten mit einer Breite von 40 - 60 % des Gliedmaßenumfanges die besten Ergebnisse belegen (50, 66, 128).

Aufgrund des schmalen Gliedmaßenumfanges von Hunden müssen entweder Kinder- oder sogar Neonaten-Manschetten verwendet werden (31).

Anstatt des Gliedmaßenumfanges wurde versucht die Manschetten allein nach dem Körpergewicht der Tiere auszuwählen. Dies war aber mit schlechteren Ergebnissen verknüpft (158).

2.7.2 Manschettenposition

Verschieden Positionierungen für die Manschetten sind beschrieben: Schwanzansatz, Tibia, Metatarsus und Radius.

Im Vergleich der verschiedenen Messstellen am narkotisierten oder wachen Hund zeigte die Messung am Schwanz und am Radius die beste Übereinstimmung zur

invasiven Methode (11, 12, 133). Vorteile des Messvorganges am Schwanz beim wachen Tier sind die gute Toleranz mit der Möglichkeit des entspannten Stehens des Tieres (161). Im Gegensatz zu den obigen Studien fanden SAWYER et al. (129) die Metatarsalposition als die Beste beim narkotisierten Hund.

BRANSON et al. (14) verglichen Vorder- und Hinterbein bei der Katze und stellten dabei, ebenso wie bei der Gegenüberstellung rasiert und nicht rasiert, keinen signifikanten Unterschied fest.

Beim Menschen konnten zum Teil leichte Unterschiede zwischen dem Blutdruck von linkem und rechten Arm gezeigt werden (123). Beim Tier sind hier keine Untersuchungen bekannt.

Die Messwerte hängen außerdem von der Lage der Gliedmaße in Bezug auf die Herzhöhe ab. Deshalb sollte bei der Blutdruckmessung beim Menschen die Messstelle möglichst auf Höhe der Aortenklappe liegen (34).

Insbesondere beim Pferd empfehlen einige Untersucher gleiche Bedingungen (4, 67). Aber auch beim Hund besteht die Notwendigkeit der korrekten Positionierung der Manschette auf Herzhöhe (49). PODELL (114) schlägt vor, dass bei Nichteinhaltung bestimmte Werte addiert oder subtrahiert werden sollten.

2.8 Evaluierung von oszillometrischen Geräten

Die invasive Methode galt und gilt auch heute noch sowohl in der Human- als auch in der Tiermedizin als „Gold Standard“, obwohl auch bei dieser Methode einige Fehlerquellen auftraten (74, 80, 116, 173). Nach Entwicklung erster oszillometrischer Geräte wurden diese anhand der „wahren Werte“ der invasiven Messung evaluiert. Der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der beiden Messmethoden wird dabei meistens mittels Regressionsanalyse geprüft und als Korrelationskoeffizient (r) angegeben, die Übereinstimmung beider Methoden wird in der Regel in Bland-Altman-Diagrammen dargestellt.

2.8.1 Vergleichende Studien beim Menschen

Die erste vergleichende Studie beim Menschen ist von Ragan und Bordley (1941). Danach folgten zahlreiche weitere Studien bei Mensch und Tier, die die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Methoden herausstellten und nach Erklärungen suchten (159). DARNALL (32) hält es für überheblich, sich zu bemühen, eine „richtige“ oder die „beste“ Messung zu ermitteln, da die verschiedenen Methoden unterschiedliche Hilfsmittel verwenden und es somit nicht verwunderlich ist, dass die Werte nicht immer übereinstimmen.

Einige Studien suggerieren beim Menschen im Rahmen von Messungen am einzelnen Patienten eine konstante Richtung des Messfehlers, so dass eine Änderung des Blutdrucks trotz Über- oder Unterschätzung erkannt werden kann. GRAVLEE et al. (56) zeigen aber anhand ihrer Studie, dass bei einigen Patienten die Messfehler unvorhersehbar in Richtung und Höhe sind.

Bei den meisten humanmedizinischen vergleichenden Studien zwischen invasiver Messung und Oszillometrie konnte eine Unterschätzung der Systole sowie eine Überschätzung der Diastole gefunden werden (33, 107, 108, 113).

Probleme mit der oszillometrischen Messung zeigen sich beim neugeborenen Menschen insbesondere mit niedrigem Geburtsgewicht (25). Zufriedenstellende Übereinstimmungen konnten bei normalen Blutdrücken gefunden werden (28). Unter einem MAD von 35 mmHg gilt der Dinamap Monitor beim Neonaten nicht mehr als zuverlässig (25).

2.8.2 Vergleichende Untersuchungen beim Hund

Beim Tier sind erste Vergleiche zwischen invasiver und oszillometrischer Messung ab 1920 beschrieben (85). Die meisten Vergleichstudien beim Hund wurden mit verschiedenen Human- oder tiermedizinischen Dinamap-Varianten durchgeführt. Nur selten liegen Daten zu anderen Humangeräten oder tiermedizinisch spezifischen Geräten vor.

2.8.2.1 Dinamap-Studien

Beim Hund wurde eine Vielzahl von vergleichenden Studien mit den verschiedenen Modellen des humanmedizinisch führenden Dinamap Monitors durchgeführt.

Schon 1980 beurteilten GEDDES et al. (50) den Dinamap Monitor als gut brauchbar. Insbesondere war eine gute Übereinstimmung beim MAD bei niedrigen Drücken (bis 23 mmHg) zu finden.

HAMLIN et al. (63) testeten den Dinamap-Research-Monitor 1255 gegen die invasive Messung bei Hunden mit einem Gewicht zwischen 7 und 52 kg in Narkose und fanden die Ergebnisse akkurat und reproduzierbar. Der Korrelationskoeffizient lag bei 0,908 (SAD und DAD) bzw. 0,929 (MAD).

KALLET et al. (73) stellten bei wachen Hunden mit Hilfe des Dinamap Monitors 8100 einen signifikant niedrigeren systolischen Druck im Vergleich zur invasiven Messung in der Femoralarterie fest. Eine gute Übereinstimmung fanden sie bei Herzfrequenz und DAD. Sie zogen daraus die Konsequenz, dass man für die nicht-invasive Messung eigene Normwerte erstellen müsste.

Im Gegensatz dazu zeigten MEURS et al. (99), dass der SAD mit dem Dinamap Monitor 8300 häufig überschätzt wurde (der Korrelationskoeffizient lag bei 0,8), während der MAD (r bei 0,87) sowohl über- als auch unterschätzt wurde. Allerdings konnte eine Hypotonie ($MAD < 60$ mmHg) mit einer Sensitivität von 100 % und einer Spezifität 91 % erkannt werden. Bei der Beurteilung von Einzelmessungen beim narkotisierten Hund zeigte sich eine große Variabilität

BODEY et al. (11) fanden eine deutliche Unterschätzung des SAD (Bias bei 45,8) gegenüber der invasiven Messung mittels Telemetrie in der A. femoralis, sowie meist eine Überschätzung des DAD (Bias -7,2) gemessen mit dem Dinamap 1846 SX.

Eine beträchtliche Abweichung, sowohl nach oben, als auch nach unten, konnten auch PETERSEN et al. (112) bei Einzelwerten finden. Ansonsten stellten sie ebenfalls eine lineare Beziehung zwischen invasiver Messung in der Bauchorta und dem Dinamap-Research-Monitor 1255 beim sedierten Beagle fest.

Ebenfalls die Bauchorta als invasiven Messpunkt nutzten SAWYER et al. (128). Probleme mit dem Dinamap vital signs monitor traten vor allem bei kleinen Hunden auf. Die Autoren fanden sowohl beim SAD als auch beim DAD eine leichte Unterschätzung des invasiv gemessenen Druckes. In der Hypotonie wurde der SAD leicht zu hoch gemessen.

Während SCHRAGEL (136) vor allem bei der Messung des DAD zufrieden stellende Ergebnisse mit dem Dinamap 1846 zeigte (Korrelationskoeffizient 0,984), fand SCHNEIDER (133) die besten Übereinstimmungen beim MAD mittels Dinamap-Veterinär-Monitor. Der Korrelationskoeffizient lag hier bei 0,872 und die mittlere Differenz bei -3,57 mmHg mit einer Standardabweichung von 9,91 mmHg.

Vergleichbare Ergebnisse konnten GROSENBAUGH et al. (58, 61) und HABERMAN et al. (58, 61) finden: die geringsten mittleren Differenzen lagen beim DAD und MAD vor (unter bzw. knapp über 10 mmHg).

Auch ein Prototyp aus der Kombination von Dinamap 847 XT und einem photoplethysmographisch arbeitendem Gerät (PW-Kombiplus) gab bei Hund und Katze den SAD im oberen Bereich gedämpft wieder. Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung beim MAD (98).

2.8.2.2 Humangeräte

Probleme gibt es mit kostengünstigen humanmedizinischen oszillometrisch arbeitenden Blutdruckmessgeräten (Blood pressure monitor Modell DS-115 (Carolina Biological Supply Co.) bzw. Modell 1091 (The Luminoscope Co Inc)), die an Hunden getestet, eine sehr schlechte Korrelation zur invasiven Messung zeigten (r zwischen 0,65 und 0,87) (70).

STEPIEN et al. (148, 149) setzten sowohl in einer klinischen als auch in einer experimentellen Studie ein humanmedizinisches Gerät (Eagle 4000 GE) bei

unsedierten Hunden mit dem Resultat ein, dass die nicht-invasive Messung nicht akkurat die invasive Messung widerspiegelt.

2.8.2.3 Veterinärgeräte

Neben den guten Ergebnissen bei vergleichenden Messungen mit dem Dinamap Monitor zeigten SCHNEIDER (58, 133, 134) und GROSENBAUGH et al. (58, 133, 134) auch, dass der SDI Vet / BP 6000 zuverlässige Werte insbesondere beim DAD und MAD misst. So liegen die mittleren Differenzen zwischen -8,50 und 10,0 mmHg sowie die Standardabweichungen zwischen 7,7 und 11,79 mmHg.

Ein neueres Veterinär-Gerät (Cardell Veterinary blood pressure monitor, Model 9301V) brachte beim Hund in Narkose gute Ergebnisse. Es ist zum Narkosemonitoring und Erkennen einer Hypotonie gut geeignet, obwohl der SAD in hypotonen Phasen im Vergleich zur invasiven Messung in der Arteria anterior tibialis leicht überschätzt wird. Ansonsten kam es zu einer Unterschätzung der übrigen Drücke (129). Ähnliches fanden auch MCMURPHY et al. (97), wobei die Übereinstimmung mit der A. lingualis besser als mit der A. dorsalis pedis war.

Der Memoprint Monitor wird laut der neueren Literatur häufig zur Blutdruckmessung eingesetzt. Vergleichende Studien zur invasiven Messung sind aber eher rar.

ERHARDT et al. (42) führten Messungen an sechs Beaglen durch. Sie kamen zu dem Schluss, dass das Gerät zum Monitoring in der Kleintierpraxis geeignet ist, obwohl die Messgenauigkeit „in ganz bestimmten Narkosesituationen“ eingeschränkt ist. Als gut beurteilte HENKE et al. (68) den Monitor. Bei sieben gesunden Beaglen konnten Korrelationskoeffizienten von 0,86 (SAD) und 0,85 (DAD) und relativ geringe mittlere Abweichungen (SAD 3 mmHg, DAD 1 mmHg) mit allerdings großer Streuung (>10 mmHg) ermittelt werden.

Vergleichsuntersuchungen zur Dopplermessung zeigten insbesondere bei von der Norm abweichenden Werten (SAD < 120 mmHg oder > 160 mmHg), dass der Blutdruck über- bzw. unterschätzt wird (132). Außerdem fiel bei der Messung mit dem Memoprint Monitor ein hoher DAD auf (43).

3 Material und Methoden

3.1 Patienten

Im Zeitraum von April 2001 bis August 2002 wurden alle Hunde mit einer geplanten therapeutischen Herzkatheterintervention an einem Persistierender Ductus arteriosus (PDA) oder einer Pulmonalstenose (PS) in die Studie aufgenommen. Nicht aufgenommen wurden Hunde mit einem Körpergewicht von weniger als 3,0 kg oder anhaltenden Herzrhythmusstörungen. Patienten, bei denen das Legen eines arteriellen Zugangs erfolglos war, wurden ausgeschlossen.

Die Tabelle 1 zeigt eine Übersicht zu den Patientendaten der insgesamt 47 ausgewerteten Patienten. 31 Hunde hatten einen PDA und 16 eine PS. Von letzteren hatten zwei zusätzlich einen Ventrikelseptumdefekt und drei eine Trikuspidalklappendysplasie mit Insuffizienz der Klappe.

Die Hunde gehörten 26 verschiedener Rassen an, sieben Hunde waren Mischlingshunde. Die am häufigsten vertretenen Rassen waren: Jack Russel Terrier (n = 4), Polski Owczarek Nizinny (n = 4) und Deutscher Schäferhund (n = 4). Alle übrigen Rassen waren maximal zweimal vertreten. 16 Tiere waren männlich, 27 waren weiblich und vier waren weiblich kastriert. Die Tiere wiesen ein Alter zwischen 2 und 83 Monaten mit einem Median von 8 Monaten auf. Das Körpergewicht betrug 4,2 bis 42,0 kg mit einem Median von 13,2 kg.

Alle Untersuchungen erfolgten an der Klinik für Kleintiere (Innere Medizin und Chirurgie) der Justus-Liebig-Universität Giessen.

Tabelle 1: Patientendaten von 47 Hunden mit einer vergleichenden Blutdruckmessung

Pat.-Nr.	Rasse	Geschlecht	Alter ¹	Gewicht ²	Erkrankung
1	Jack Russel Terrier	W	10	7,0	PDA
2	Labrador Retriever	W	56	24,6	PDA
3	PON	W	8	17,0	PDA
4	Brandlbracke	W	5	8,7	PDA
5	Schapendoes	W	5	5,5	PDA
6	English Cocker Spaniel	W	13	13,2	PDA
7	Weißer Schweizer	W	19	36,0	PDA
8	Gebirgsschweißhund	W	64	20,6	PDA
9	Rottweiler	W	5	22,0	PS
10	Berner Sennenhund	W	23	30,0	PDA
11	Altdeutscher Hütehund	W	75	17,0	PDA
12	Cairn-Terrier	W	23	9,0	PS
13	Jack Russel Terrier	M	49	11,0	PDA
14	Bullmastiff	M	3	9,0	PS, TD-I
15	DSH	M	2	8,5	PS, VSD
16	Berger Picard	WK	83	25,0	PDA
17	Mischling	W	8	8,0	PDA
18	Mischling	M	32	36,0	PDA
19	Briard	WK	56	23,5	PDA
20	DSH	M	16	28,0	PDA
21	PON	M	42	16,5	PDA
22	DSH	W	7	25,0	PDA
23	DSH	M	6	30,0	PS
24	Berger de Pyrenees	M	3	5,0	PDA
25	Mischling	W	6	12,0	PDA
26	Sheltie	M	8	4,2	PDA
27	Deutsch Kurzhaar	W	4	11,0	PS
28	Irish Setter	M	12	23,0	PDA
29	Mischling	W	2	6,8	PDA
30	American Staffordshire Terrier	WK	46	23,0	PDA
31	Mischling	W	22	11,6	PDA
32	WHWT	M	20	9,6	PDA
33	Neufundländer	M	6	42,0	PS, TD-I
34	Golden Retriever	W	8	19,0	PS
35	Rhodesian Ridgeback	W	3	10,0	PS
36	Entlebucher Sennenhund	M	20	23,5	PS
37	Jack Russel Terrier	M	8	5,3	PS, VSD
38	Rhodesian Ridgeback	W	4	17,0	PS
39	WHWT	W	46	6,4	PS
40	PON	WK	8	11,2	PDA
41	PON	W	16	18,5	PDA
42	Jack Russel Terrier	M	15	9,0	PS
43	Dobermann	W	4	20,5	PDA
44	Mischling	W	5	9,2	PDA
45	English Cocker Spaniel	W	4	7,0	PS
46	Neufundländer	W	13	41,5	PDA
47	Mischling	M	4	4,5	PS, TD-I

¹ Alter in Monaten

² Körpergewicht in kg

PDA = Persistierender Ductus arteriosus, PS = Pulmonalstenose, VSD = Ventrikelseptumdefekt, TD-I = Trikuspidalklappendysplasie mit Insuffizienz, W = weiblich, WK = weiblich kastriert, M = männlich, DSH = Schäferhund, WHWT = West Highland White Terrier, PON = Polski Owczarek Nizinny

3.2 Anästhesie und Gefäßzugänge

3.2.1 Narkose

Nach zwölfstündiger Nüchternphase wurde die Anästhesie durch intravenöse Applikation einer Kombination aus Levomethadonhydrochlorid mit Fenpipramidhydrochlorid^a (0,5 mg/ kg KM) und Diazepam^b (0,5 mg/ kg KM) eingeleitet und nach Intubation durch Inhalation von Isofluran^c (1,7 - 2,0 %) aufrechterhalten. Die Hunde waren in rechter Seitenlage auf dem Tisch einer uniplanen Durchleuchtungsanlage positioniert. Die rechte Axillar- und linke Metatarsalregion wurden aseptisch vorbereitet.

3.2.2 Gefäßzugänge

Für die periphere Messung wurde die linke A. metatarsa dorsalis II per Seldingertechnik (138) mit einem 6 cm langen Katheter^d mit einem Durchmesser von 2,5 French katheterisiert. Die Katheterspitze und somit die Messstelle lag je nach Größe des Hundes in der A. dorsalis pedis oder in der A. tibialis cranialis.

Für die zentrale Blutdruckmessung wurde die rechte A. brachialis punktiert und durch eine Schleuse ein 50 cm langer, 4 French starker Pigtail-Katheter^e in die Aorta descendens vorgeschoben. Die Lage der Katheterspitze in der Aorta descendens wurde mittels Durchleuchtung kontrolliert.

^a Polamivet, Intervet, Unterschleissheim, Deutschland

^b Valium, Hoffmann-La Roche AG, Grenzach-Wyhlen, Deutschland

^c Forene, Abbot GmbH, Wiesbaden, Deutschland

^d Care flow 2,5 F Becton Dickesen

^e HN4.0-35-50-M-4S-PED Royal Flush®plus Nylonkatheter, COOK Deutschland GmbH, Mönchengladbach, Deutschland

3.3 Invasive Blutdruckmessung

Die Katheter wurden über ein Druckschlauchsystem^f mit dem Druckaufnehmer^g verbunden. Die Registrierung der Blutdruckwerte erfolgte auf einem 3-Kanal-Monitor^h, dessen Eichung alle drei Monate durchgeführt wurde. Der Monitor zeigte den Mittelwert der letzten acht Herzzyklen für den systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruck (Kurvenintegral-Methode) sowie der Herzfrequenz an. Die Aufzeichnung der Druckkurven erfolgte mittels Analog-Digitalwandler auf einem Personal Computer.

Vor der Blutdruckmessung wurden die Druckmesssets luftblasenfrei mit einer heparinisierten 0,9 %igen NaCl-Lösung (10 I.E. Heparinⁱ / ml) gefüllt und das System auf Herzhöhe kalibriert. Während der gesamten Messungen erfolgte eine kontinuierliche Spülung der Katheter mit dieser Lösung (ca. 2,0 - 4,0 ml/h) über das Druckmesssystem.

Vor jeder Vergleichsmessung wurden die Druckkurven auf Dämpfung oder Schleuderzacken geprüft.

3.4 Nicht-invasive Blutdruckmessung

3.4.1 Geräte

Die nicht-invasive Blutdruckmessung erfolgte bei jedem Patienten mit den folgenden drei oszillometrischen Geräten: Memoprint Monitor^j, Dinamap Plus Vital Signs Monitor^k und Surgivet V6004 Monitor^l. Alle Geräte ermitteln die Herzfrequenz, den systolischen und den diastolischen Blutdruck. Die beiden letzteren Geräte messen zusätzlich auch den mittleren Blutdruck. Für den Memoprint Monitor wurde der mittlere Blutdruck nach folgender Formel berechnet: $MAD = DAD + 1/3 (SAD - DAD)$.

^f Nova II, Medex Medical, Ratingen, Deutschland

^g Novatrans II/MX860, Medex Medical, Ratingen, Deutschland

^h Minimon 7132 B, Kontron Instruments, Neufahrn, Deutschland

ⁱ Liquemin@N25000, Roche, Basel, Schweiz

^j S+B medVET GmbH, Babenhausen, Deutschland

^k Johnson and Johnson Critikon, Norderstedt, Deutschland

^l SurgiVet, Inc., Waukesha, USA

3.4.2 Messort und Manschettenauswahl

Mittels Maßband wurde der Gliedmaßenumfang des Unterarmes knapp oberhalb des Carpus ermittelt.

Für die Messung mit dem Dinamap Plus- und dem Surgivet V6004 Monitor wurden Neonatalsmanschetten^m in den Größen 2 bis 5 oder Kindermanschettenⁿ in der Größe „Standard“ verwendet. Die Größe der Blutdruckmanschette ergab sich aus dem Umfang der Messstellen, wobei die Manschettenbreite 40 - 60 % des Messstellenumfangs betrug.

Die Messung mit dem Memoprint Monitor wurde mit den gerätespezifischen Manschetten^o durchgeführt. Die Auswahl der Manschettengröße erfolgte gemäß den Vorgaben des Herstellers nach dem Körpergewicht des Patienten. Zur Auswahl standen: „Hund Groß“ (> 15 kg) und „Hund Klein“ (< 15 kg). Vom Hersteller wird außerdem noch eine Manschette „Katze“ angeboten.

Alle Manschetten wurden mit ihrer Markierung medial am linken Unterarm unmittelbar oberhalb des Carpus ohne vorheriges Kürzen der Haare angelegt.

In Tabelle 2 sind das Körpergewicht, der Gliedmaßenumfang, die ausgewählten Manschetten und die relative Manschettenbreite (% des Gliedmaßenumfangs) aufgeführt. Die Maßangaben der Memoprint-Manschetten beziehen sich auf die tatsächliche Manschettenblasenbreite. Diese weicht bis zu 8 mm von der Manschettenbreite ab.

^m Disposa-Cuff Neonatalsmanschetten bzw. neu: Critikon Soft Neonatal-Blutdruckmanschetten Johnson and Johnson, Critikon, Norderstedt, Deutschland

ⁿ Dura-Cuff-Präzisionsmanschette Johnson and Johnson, Critikon, Norderstedt, Deutschland

^o Memoprintmanschetten, S+B medVET GmbH, Babenhausen, Deutschland

Tabelle 2: Übersicht zu den verwendeten Manschetten

Patienten- Nr.	Gewicht (kg)	Beinumfang (cm)	Dinamap/Surgivet		Memoprint	
			Manschette	Rel. Man- schetten- breite (%)	Manschette	Rel. Man- schetten- breite (%)
1	7,0	8,5	3	47	Hund Klein	59
2	24,6	14,0	Standard	57	Hund Groß	51
3	17,0	12,6	5	43	Hund Groß	57
4	8,7	10,0	3	40	Hund Klein	50
5	5,5	10,0	3	40	Hund Klein	50
6	13,2	10,0	3	40	Hund Klein	50
7	36,0	14,0	Standard	57	Hund Groß	51
8	20,6	11,0	4	44	Hund Groß	65
9	22,0	12,0	4	40	Hund Groß	60
10	30,0	14,1	Standard	57	Hund Groß	51
11	17,0	10,1	4	48	Hund Groß	71
12	9,0	7,6	3	53	Hund Klein	66
13	11,0	10,0	3	40	Hund Klein	50
14	9,0	10,5	4	46	Hund Klein	48
15	8,5	11,0	4	44	Hund Klein	45
16	25,0	13,0	5	42	Hund Groß	55
17	8,0	8,0	3	50	Hund Klein	63
18	36,0	14,5	Standard	55	Hund Groß	50
19	23,5	11,0	4	44	Hund Groß	65
20	28,0	12,6	5	43	Hund Groß	57
21	16,5	8,5	3	47	Hund Groß	85
22	25,0	14,1	Standard	57	Hund Groß	51
23	30,0	8,0	3	50	Hund Klein	63
24	5,0	7,0	2	43	Hund Klein	71
25	12,0	9,0	3	44	Hund Klein	56
26	4,2	7,0	2	43	Hund Klein	71
27	11,0	10,0	3	40	Hund Klein	50
28	23,0	13,0	5	42	Hund Groß	55
29	6,8	11,5	4	42	Hund Klein	43
30	23,0	11,0	4	44	Hund Groß	65
31	11,6	10,0	3	40	Hund Klein	50
32	9,6	10,0	3	40	Hund Klein	50
33	42,0	14,5	Standard	55	Hund Groß	50
34	19,0	12,0	4	40	Hund Groß	60
35	10,0	10,5	4	46	Hund Klein	48
36	23,5	11,0	4	44	Hund Groß	65
37	5,3	8,0	3	50	Katze*	50
38	17,0	12,0	4	40	Hund Groß	60
39	6,4	8,5	3	47	Hund Klein	59
40	11,2	9,5	3	42	Hund Klein	53
41	18,5	10,0	3	40	Hund Groß	72
42	9,0	9,0	3	44	Hund Klein	56
43	20,5	12,0	4	40	Hund Groß	60
44	9,2	8,0	3	50	Hund Klein	63
45	7,0	8,5	3	47	Hund Klein	59
46	41,5	14,4	Standard	56	Hund Groß	50
47	4,5	8,0	3	50	Katze*	50

* Mit der laut Hersteller zu verwendenden Hunde-Manschette konnten keine Messwerte erhoben werden. Die relative Manschettenbreite hätte 63% betragen.

3.5 Durchführung der vergleichenden Blutdruckmessung

Die vergleichende Blutdruckmessung erfolgte zu drei Zeitpunkten. Messzeitpunkt 1 lag unmittelbar nach Narkoseeinleitung und Legen der Katheter, Messzeitpunkt 2 etwa 15 Minuten nach der Katheter-Intervention (Coil-Embolisation bzw. Ballon-Dilatation) und Messzeitpunkt 3 zu Ende des Kathetereingriffes. Zu jedem Messzeitpunkt wurde zunächst geprüft, ob ein stabiler Herzrhythmus und konstante invasive Blutdruckwerte vorliegen und dann die Messung mit allen drei Geräten in randomisierter Folge gestartet.

Bei jedem Gerät und zu jedem Zeitpunkt wurde die Manschette am selben Messort platziert und eine Messung gestartet. Diese erste Messung wurde verworfen und danach wurden fünf weitere Messungen durchgeführt. Simultan zu dem auf dem nicht-invasiven Gerät angezeigten aktuellen Manschettendruck wurden die Werte der invasiven Blutdruckmessung (SAD, DAD, MAD, HF) vom Monitor abgelesen und dokumentiert. Zu Ende einer jeden Messung wurden die Werte der nicht-invasiven Messung notiert. Zum Methodenvergleich wurde der Medianwert aus den jeweiligen fünf Einzelmessungen herangezogen.

3.6 Statistische Auswertung

Mit Hilfe eines Personal Computers wurden die Messdaten in einer Tabelle^p gespeichert. Die statistische Auswertung und graphische Darstellung wurde mit zwei Softwareprogrammen^{pq} durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mit der Unterstützung der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung (Leiter Dr. K. Failing) des Institutes für Veterinär-Physiologie (Prof. Dr. R. Gerstberger) des Fachbereiches Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Zunächst wurden die jeweiligen Daten mittels Kolmogoroff-Smirnow-Test auf Normalverteilung geprüft.

^p Microsoft Excel®, Microsoft, Redmond, USA

^q GraphPad Prism Version 4.0, San Diego, USA

Zur Bestimmung der Signifikanz des Blutdruckunterschiedes zwischen den einzelnen Zeitpunkten wurde eine einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt.

Die Blutdruckdaten wurden als Mittelwert und Standardabweichung (MW \pm SD) angegeben.

Mittels des zweiseitigen gepaarten Student t-Tests erfolgte die Signifikanzprüfung der durchschnittlichen Abweichung zwischen zentral invasivem und peripher invasivem bzw. nicht-invasivem Blutdruck. Die graphische Darstellung der Differenzen erfolgte in Bland-Altman Diagrammen (8). Die Enge des Zusammenhangs zwischen zwei Blutdruckmessungen wurde mittels Pearson-Korrelation geprüft und als lineare Regression dargestellt.

Mit einer Regressionsanalyse in Verbindung mit dem zugehörigen t-Test (t-Test II) wurde geprüft, ob mit Ansteigen des arithmetischen Mittelwertes zweier Messungen die Differenz der beiden Methoden sich signifikant verändert oder nicht. Ein p-Wert $< 0,05$ galt für alle Berechnungen als signifikant.

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse getrennt für die einzelnen Vergleichsdaten aufgeführt. Zunächst erfolgt der Vergleich zwischen peripher invasiver und zentral invasiver Messung, danach der Vergleich der Messungen der drei nicht-invasiven Geräte mit der zentral invasiven Messung.

Die Blutdruckwerte sind stets in der Einheit „mmHg“ und die Herzfrequenz in „Schlägen pro Minute“ angegeben.

4.1 Unterschied im Blutdruckbereich während der einzelnen Messreihen

Die zentralen Blutdruckwerte wiesen eine Normalverteilung auf. Mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) konnte ein Unterschied in den Messwertbereichen zu den drei verschiedenen Zeitpunkten beim MAD und DAD gezeigt werden.

In der Tabelle 3 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse aufgelistet.

Tabelle 3: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse

Angeschlossenes Gerät		Anstieg des MW der zentralen Messung über die Zeit	Normalverteilung	p
Memoprint	SAD	97,8 auf 106,0	ja	0,1429
	DAD	51,5 auf 65,2		<0,05
	MAD	68,7 auf 80,6		<0,05
Dinamap	SAD	97,5 auf 106,3	ja	0,1042
	DAD	51,1 auf 65,7		<0,05
	MAD	68,1 auf 81,1		<0,05
Surgivet	SAD	97,7 auf 105,8	ja	0,1998
	DAD	50,9 auf 64,9		<0,05
	MAD	68,2 auf 80,2		<0,05

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), MW = Mittelwert (mmHg)

4.2 Peripher invasive gegen zentral invasive Messung

4.2.1 Durchführbarkeit

Bei allen 47 Patienten konnten komplette Messreihen zu allen drei Messzeitpunkten erhoben werden. Zum Vergleich kamen daher insgesamt je 141 Datensätze für den SAD, MAD und DAD. Ein Vergleich der Herzfrequenzdaten war nicht möglich, da die periphere und zentrale Messung auf demselben Blutdruckmonitor durchgeführt wurde und dieser nur eine Herzfrequenz aufzeichnete.

4.2.2 Messwerte

In der Tabelle 4 sind die Blutdruckbereiche, die Mediane, die arithmetischen Mittelwerte und die Standardabweichungen aller Messwerte der peripher invasiven und der zentral invasiven Messung aufgeführt.

Tabelle 4: Statistische Kenngrößen der peripher invasiven und zentral invasiven Blutdruckmessung

Parameter	Bereich	Median	MW	SD	Normalverteilung
Peripher invasive Messung					
SAD	73-198	124	125,9	30,4	nein
DAD	23-99	56	58,5	17,2	ja
MAD	36-114	73	74,4	17,8	nein
Zentral invasive Messung					
SAD	64-152	102	101,6	20,3	ja
DAD	23-106	57	60,5	18,7	nein
MAD	38-119	73	75,8	18,1	ja
HF	42-166	80	82,0	20,2	ja

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung, n = 141

4.2.3 Vergleich zwischen peripher invasiver und zentral invasiver Messung

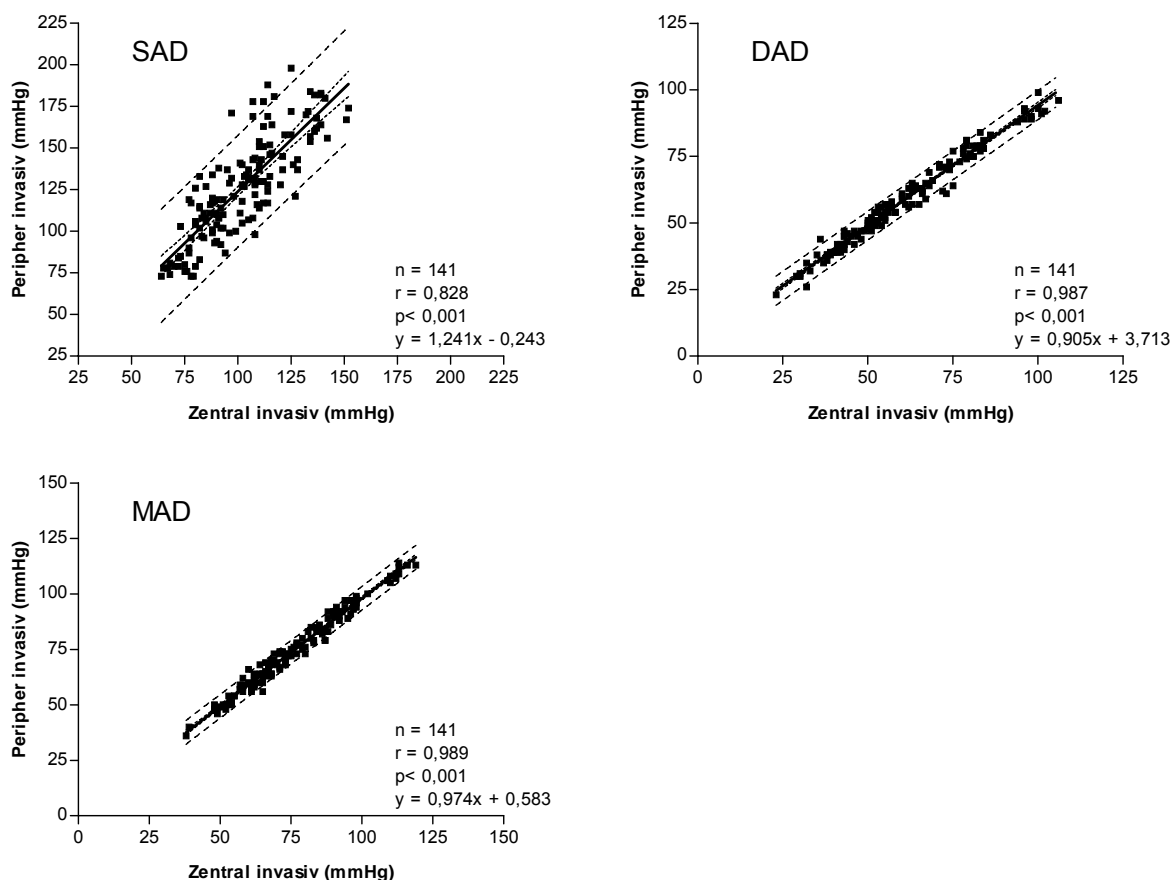
Die Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse und die mittlere Differenz zwischen peripher invasiver und zentral invasiver Blutdruckmessung. Die zugehörigen Regressionsdiagramme sind in Abbildung 3 wiedergegeben.

Tabelle 5: Statistische Daten aus dem Vergleich der peripher invasiven und zentral invasiven Blutdruckmessung

Parameter (zentral - peripher)	Korrelation		MW ± SD	Differenz	
	r	p		p	Normalverteilung
SAD	0,828	< 0,001	-24,3 ± 17,7	< 0,001	ja
DAD	0,987	< 0,001	2,0 ± 3,3	< 0,001	nein
MAD	0,989	< 0,001	1,4 ± 2,7	< 0,001	nein

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), r = Korrelationskoeffizient, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Abbildung 3: Regressionsdiagramme zum Zusammenhang zwischen peripher invasiver und zentral invasiver Blutdruckmessung



Die solide Linie kennzeichnet die lineare Regressionsgerade, die beiden inneren gepunkteten Linien das 95% Konfidenzintervall für die Regressionsgerade und die beiden äußeren gestrichelten Linien das 95% Prediktionsintervall der Beobachtung.

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg)

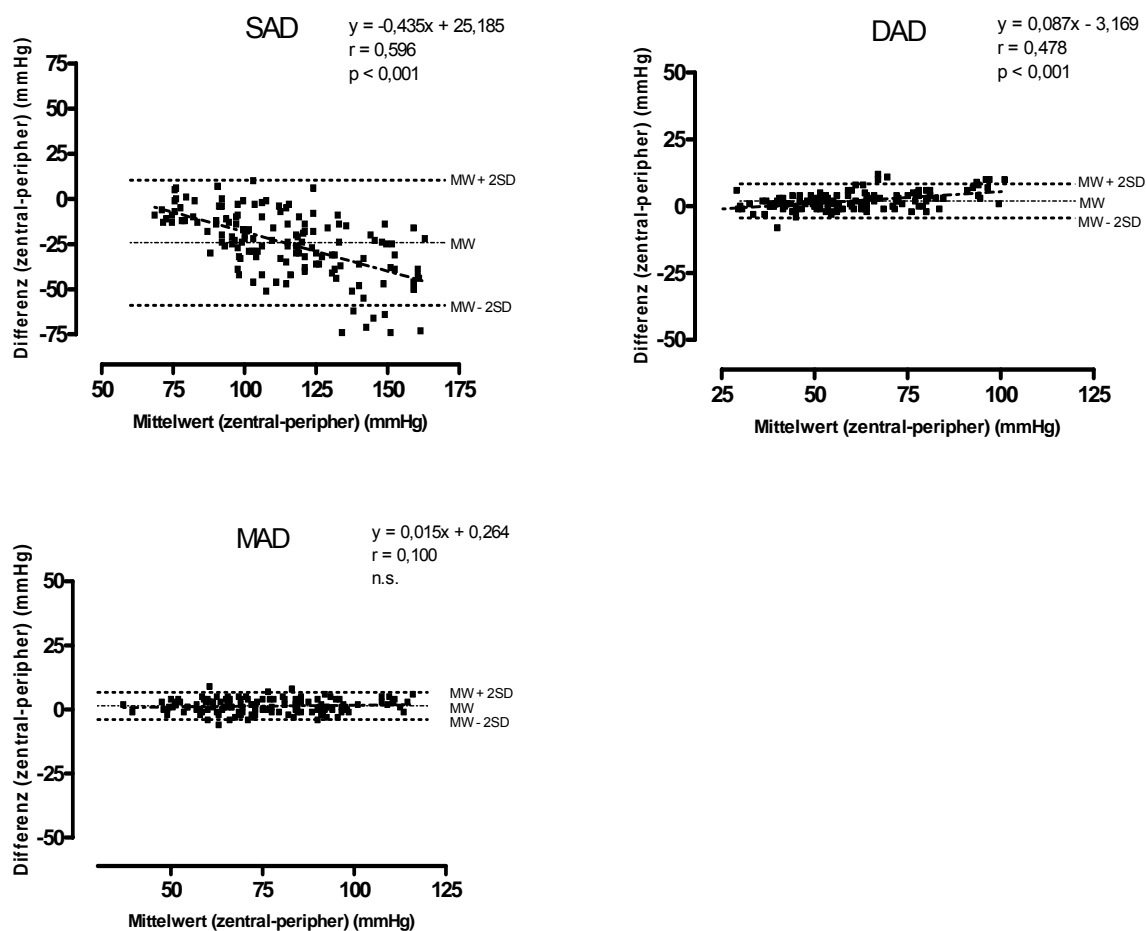
Für alle drei Vergleichsmessungen (SAD/MAD/DAD) bestand eine hochsignifikante Korrelation ($p < 0,001$). Der Korrelationskoeffizient lag beim SAD unter 0,9 und beim DAD und MAD sehr nahe an 1,0.

Die Differenz zwischen den beiden Messungen war zwar bei allen drei Werten (SAD, DAD, MAD) statistisch hoch signifikant ($p < 0,001$), allerdings nur bei systolischen Werten von Bedeutung ($-24,3 \pm 17,7$ versus $2,0 \pm 3,3$ bzw. $1,4 \pm 2,7$ mmHg).

4.2.4 Vergleich der Differenz aus peripher invasiver und zentral invasiver Messung mit dem Mittelwert beider Methoden

Die Abbildung 4 zeigt die Bland-Altman Diagramme zum Vergleich der peripher invasiven und zentral invasiven Blutdruckmessung.

Abbildung 4: Bland-Altman Diagramme zum Vergleich zwischen peripher invasiver und zentral invasiver Blutdruckmessung



SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), MW = Mittelwert; 2SD = 2-fache Standardabweichung

4.2.4.1 SAD

Bei den Messwerten des SAD bestand eine hochsignifikante Korrelation ($p < 0,001$, $r = 0,596$) mit negativer Steigung der Regressionsgeraden ($y = - 0,435x + 25,2$). Dies bedeutet, dass bei Ansteigen des Blutdruckmittelwertes beider Methoden, die Werte für den peripher invasiv gemessenen Blutdruck zunehmend höher ausfallen, als die des zentral gemessenen Blutdrucks.

4.2.4.2 DAD

Bei den Messwerten des DAD zeigte sich eine hochsignifikante Korrelation ($p < 0,001$, $r = 0,478$) mit leicht positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,087x - 0,369$). Dies bedeutet, dass bei Zunahme des Mittelwertes beider Methoden die peripher invasive Messung zunehmend niedrigerer Werte ermittelte als die zentral invasive Messung.

4.2.4.3 MAD

Beim MAD zeigte sich eine nicht signifikante Korrelation (n.s., $r = 0,100$) mit sehr schwach positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,015x + 0,264$). Somit ist bei höheren Blutdruckwerten damit zu rechnen, dass die peripher invasive Messung etwas niedrigere Werte ergibt als die zentral invasive Messung.

4.3 Memoprint-Messung gegen zentral invasive Messung

4.3.1 Durchführbarkeit

Die Durchführung der Messung mit dem Memoprint Monitor erwies sich mitunter als schwierig. Da die Lage der Manschette zum Teil mehrmals korrigiert werden musste um Ergebnisse zu erhalten. Insbesondere bei kleinen, hypotonen Patienten traten Probleme auf. Bei den meisten Patienten ließen sich nach Manschettenkorrektur vollständige Messreihen aufzeichnen. Bei zwei Patienten war dies jedoch nicht möglich. So konnte bei einem 5,3 kg schweren Jack Russel Terrier (Patient Nr.37) und bei einem 4,5 kg schweren Mischling (Patient Nr.47) bei niedrigem Blutdruck kein Signal mit der laut Hersteller indizierten Manschette „kleiner Hund“ erlangt werden. Das Gerät zeigte beim ersten Patienten bei niedrigem Blutdruck (invasiv zentral: 75/54/62 mmHg) die Fehlermeldung „Manschettenfehler“ an. Mit der kleineren Manschette „Katze“ waren ebenfalls keine vollständigen Messreihen aufzunehmen. Hier lautete die Fehlermeldung „Nicht bewegen“, obwohl der Patient in Narkose ruhig auf dem Tisch lag. Bei Patient Nr.47 mit einem ebenfalls sehr niedrigen Blutdruck versagte die Messung mit dem Memoprint Monitor auch mit der Katzenmanschette zum Zeitpunkt 2 (invasiv zentral: 82/46/60 mmHg) komplett und zum Zeitpunkt 3 (invasiv zentral: 89/51/67 mmHg) teilweise (nur zwei statt fünf Einzelmessungen).

Lag der zentral invasiv gemessene systolische Blutdruck über 90 mmHg, so war mit dem Memoprint Monitor in der Regel eine problemlose Aufnahme der Daten möglich.

4.3.2 Messwerte

In der Tabelle 6 sind die Blutdruckbereiche, die Mediane, die arithmetischen Mittelwerte und die Standardabweichung aller Messwerte der zentral invasiven Messung und der oszillometrischen Messung mit dem Memoprint Monitor aufgeführt.

Tabelle 6: Statistische Kenngrößen der Memoprint-Messung und der zentral invasiven Blutdruckmessung

Parameter	Bereich	Median	MW	SD	Normal-Verteilung
Memoprint-Messung					
SAD	68-196	108	115,3	26,8	nein
DAD	47-129	66	72,0	14,0	nein
MAD	55-147	81	86,5	17,1	nein
HF	43-133	80	80,9	19,1	ja
Zentral invasive Messung					
SAD	64-152	102	101,8	20,3	nein
DAD	23-106	57,5	60,6	18,8	ja
MAD	38-119	73	75,9	18,1	nein
HF	42-166	80	82,0	20,2	ja

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = 140

4.3.3 Vergleich zwischen Memoprint-Messung und zentral invasiver Messung

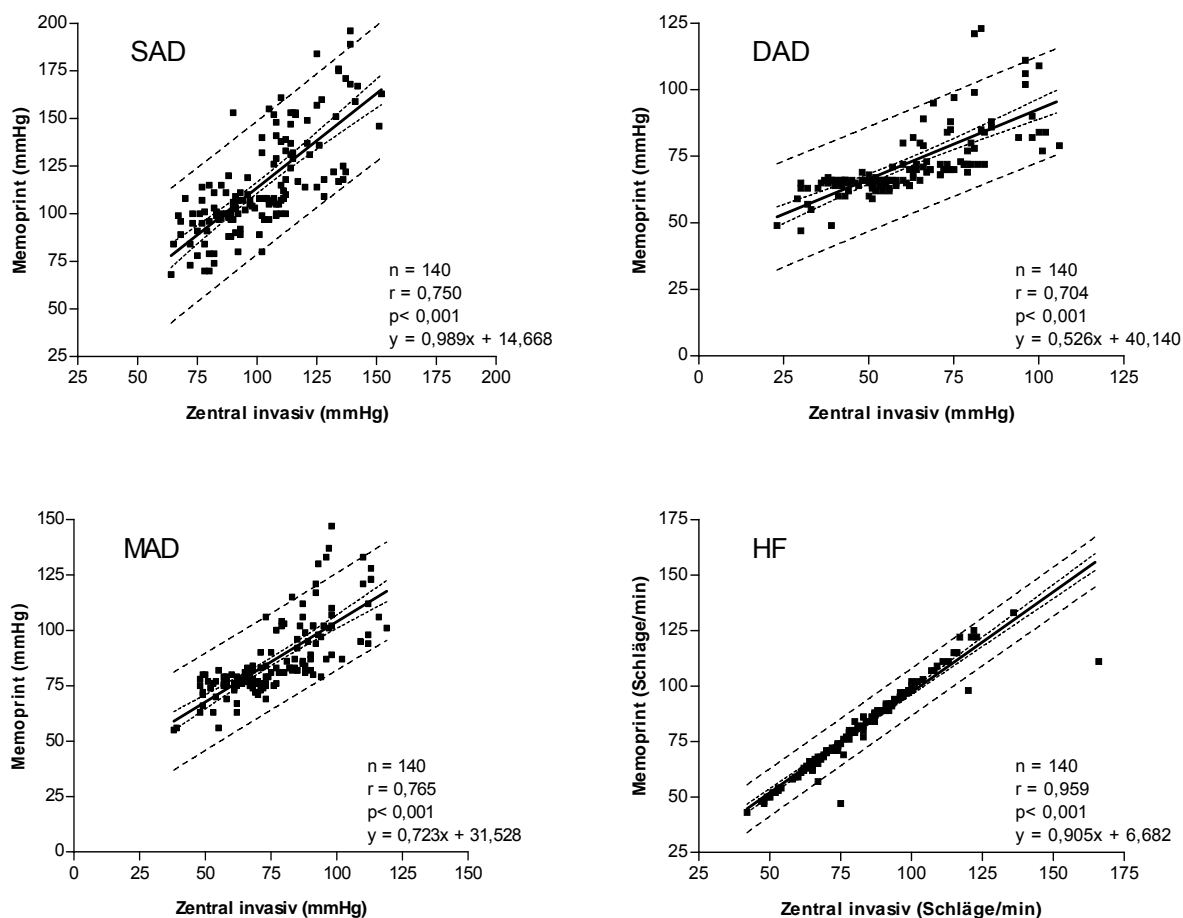
Die Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse und die mittlere Differenz zwischen Memoprint-Messung und zentral invasiver Messung. Die zugehörigen Regressionsdiagramme sind in Abbildung 5 wiedergegeben.

Tabelle 7: Statistische Daten aus dem Vergleich der Memoprint-Messung und der zentral invasiven Messung

Parameter (Zentral invasiv-Memoprint)	Korrelation			Differenz	
	r	p	MW ± SD	p	Normalverteilung
SAD	0,750	< 0,001	-13,6 ± 17,7	< 0,001	ja
DAD	0,704	< 0,001	-11,4 ± 13,4	< 0,001	ja
MAD	0,765	< 0,001	-10,5 ± 12,1	< 0,001	ja
HF	0,959	< 0,001	1,1 ± 5,7	< 0,05	nein

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), r = Korrelationskoeffizient, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Abbildung 5: Regressionsdiagramme zum Zusammenhang zwischen Memoprint-Messung und zentral invasiver Blutdruckmessung



Die solide Linie kennzeichnet die lineare Regressionsgerade, die beiden inneren gepunkteten Linien das 95% Konfidenzintervall für die Regressionsgerade und die beiden äußeren gestrichelten Linien das 95% Prediktionsintervall der Beobachtung.

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min)

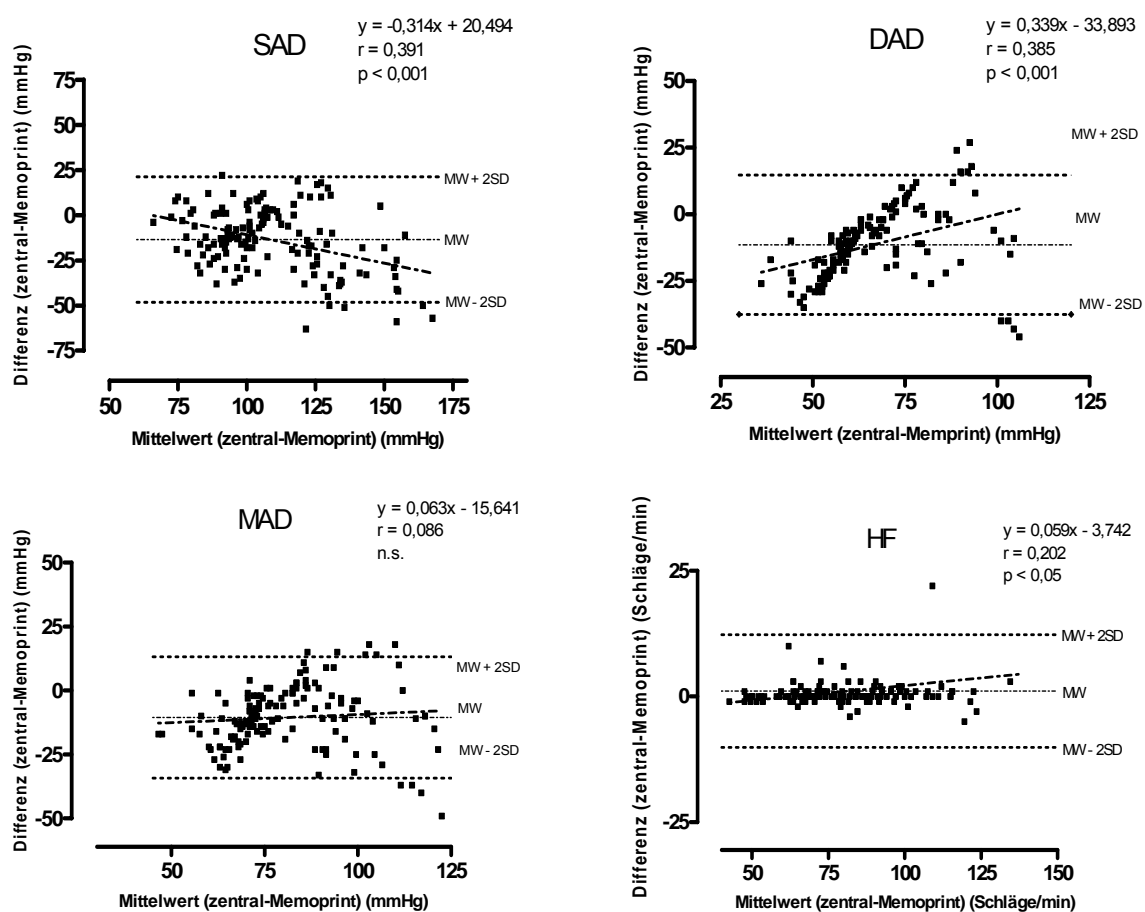
Für die nicht-invasive Blutdruckmessung (SAD/DAD/MAD) mit dem Memoprint Monitor ergab sich eine signifikante Korrelation zu den jeweiligen invasiven Werten. Allerdings lag der Korrelationskoeffizient immer unter 0,8 und es zeigte sich bei allen drei Werten eine hochsignifikante Differenz zu den invasiven Daten mit einem Mittelwert und einer Standardabweichung von jeweils über 10 mmHg.

Die Messung der Herzfrequenz mit dem Memoprint Monitor zeigte im Vergleich zur invasiven Messung eine signifikante Korrelation ($p < 0,001$, $r = 0,959$). Die Differenz beider Methoden war schwach signifikant ($p = 0,05$) und wies einen niedrigen Mittelwert und Standardabweichung auf.

4.3.4 Vergleich der Differenz aus Memoprint-Messung und zentral invasiver Messung mit dem Mittelwert beider Methoden

Die Abbildung 6 zeigt die Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der Memoprint-Messung und der zentral invasiven Messung.

Abbildung 6: Bland-Altman Diagramme zum Vergleich der Memoprint-Blutdruckmessung und der zentral invasiven Messung



SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), MW = Mittelwert; 2SD = 2-fache Standardabweichung

4.3.4.1 SAD

Bei den Messwerten des SAD bestand eine hochsignifikante Korrelation ($p < 0,001$, $r = 0,391$) mit negativer Steigung der Regressionsgeraden ($y = - 0,314x + 20,5$). Dies bedeutet, dass bei Ansteigen des Blutdruckmittelwertes beider Methoden, die

Messung des Blutdrucks mittels Memoprint Monitor zunehmend höhere Werte ergibt, als die zentral invasive Messung.

4.3.4.2 DAD

Bei den Messwerten des DAD zeigte sich eine hochsignifikante Korrelation ($p < 0,001$, $r = 0,385$) mit positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,239x - 33,839$). Dies bedeutet, dass bei Abnahme des Mittelwertes beider Methoden die Memoprint-Messung zunehmend höhere Werte ermittelte als die zentral invasive Messung.

4.3.4.3 MAD

Beim MAD zeigte sich eine nicht signifikante Korrelation (n.s., $r = 0,086$) mit sehr schwach positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,063x - 15,641$). Somit ist bei niedrigeren Blutdruckwerten damit zu rechnen, dass die mittels Memoprint Monitor errechneten Werte des MAD etwas höher sind als die der zentral invasiven Messung.

4.3.4.4 HF

Die Herzfrequenz zeigt eine schwach signifikante Korrelation ($p < 0,05$, $r = 0,202$) bei schwach positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,059x - 3,742$). Das bedeutet, dass bei steigenden Werten ein schwächeres Ansteigen als beim invasiv gemessenen Vergleichswert zu verzeichnen ist.

4.4 Dynamap-Messung gegen zentral invasive Messung

4.4.1 Durchführbarkeit

Der Messvorgang verlief mit dem Dynamap Monitor problemlos. Bei allen 47 Patienten konnten zu allen drei Messzeitpunkten die Messreihen komplett aufgezeichnet werden.

4.4.2 Messwerte

In der Tabelle 8 sind die Blutdruckbereiche, die Mediane, die arithmetischen Mittelwerte und die Standardabweichung aller Messwerte der zentral invasiven Messung und der oszillometrischen Messung mit dem Dynamap Monitor aufgeführt.

Tabelle 8: Statistischen Kenngrößen der Dynamap-Blutdruckmessung und der zentral invasiven Messung

Parameter	Bereich	Median	MW	SD	Normal-Verteilung
Dynamap-Messung					
SAD	60-154	99	102,1	19,0	ja
DAD	24-94	49	53,2	15,9	nein
MAD	34-124	70	72,5	17,9	ja
HF	42-166	78	81,1	20,9	ja
Zentral invasive Messung					
SAD	65-155	102	101,5	20,3	ja
DAD	24-104	56	60,3	19,2	nein
MAD	39-121	72	75,6	18,4	nein
HF	42-166	80	82,2	20,7	ja

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung, n = 141

4.4.3 Vergleich zwischen Dynamap-Messung und zentral invasiver Messung

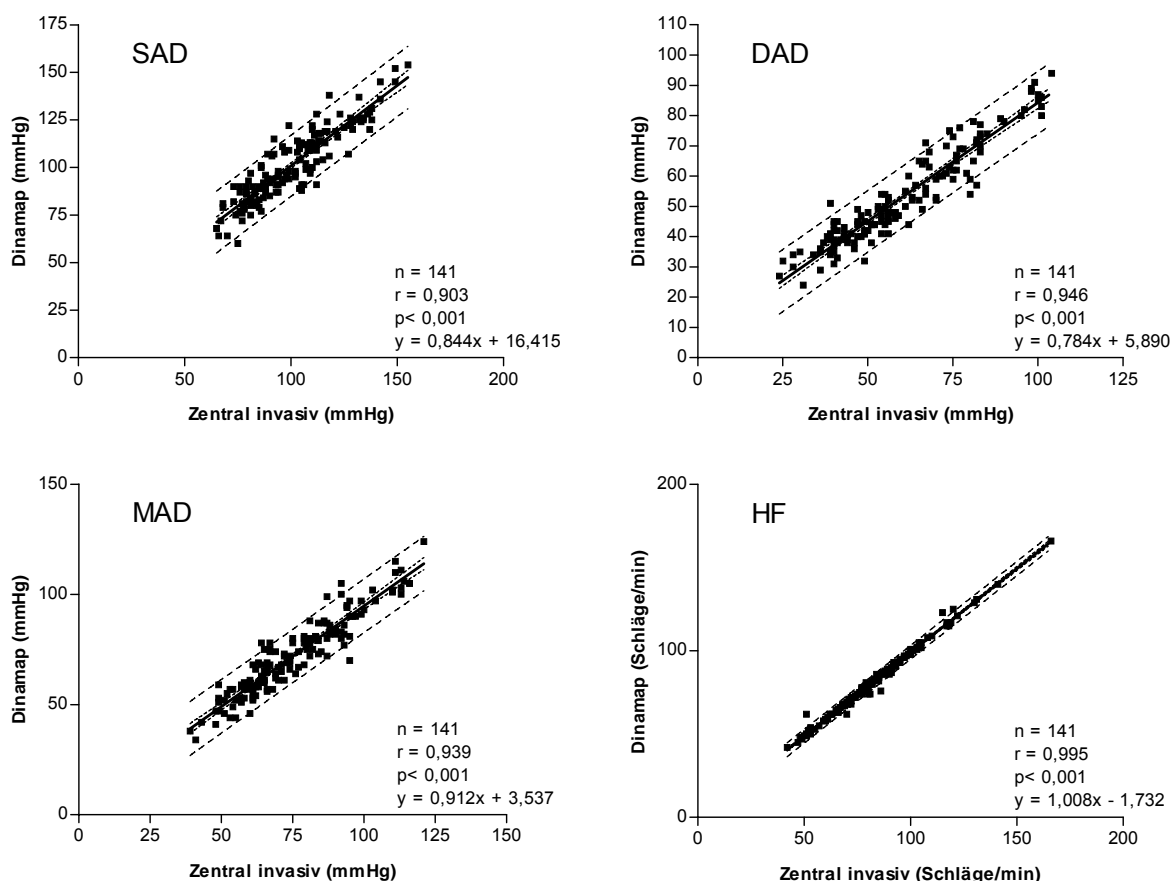
Die Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse und die mittlere Differenz zwischen Dynamap-Messung und zentral invasiver Messung. Die zugehörigen Regressionsdiagramme sind in Abbildung 7 wiedergegeben.

Tabelle 9: Statistische Daten aus dem Vergleich der Dinamap-Messung und der zentral invasiven Messung

Parameter (Zentral invasiv - Dinamap)	Korrelation		Differenz		
	r	p	MW ± SD	p	Normalverteilung
SAD	0,903	< 0,001	-0,6 ± 8,7	n.s.	ja
DAD	0,946	< 0,001	7,2 ± 6,6	< 0,001	nein
MAD	0,939	< 0,001	3,1 ± 6,3	< 0,001	ja
HF	0,995	< 0,001	1,1 ± 2,1	< 0,001	nein

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), r = Korrelationskoeffizient, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n.s. = nicht signifikant

Abbildung 7: Regressionsdiagramme zum Zusammenhang zwischen Dinamap-Messung und zentral invasiver Blutdruckmessung



Die solide Linie kennzeichnet die lineare Regressionsgerade, die beiden inneren gepunkteten Linien das 95% Konfidenzintervall für die Regressionsgerade und die beiden äußeren gestrichelten Linien das 95% Prediktionsintervall der Beobachtung.

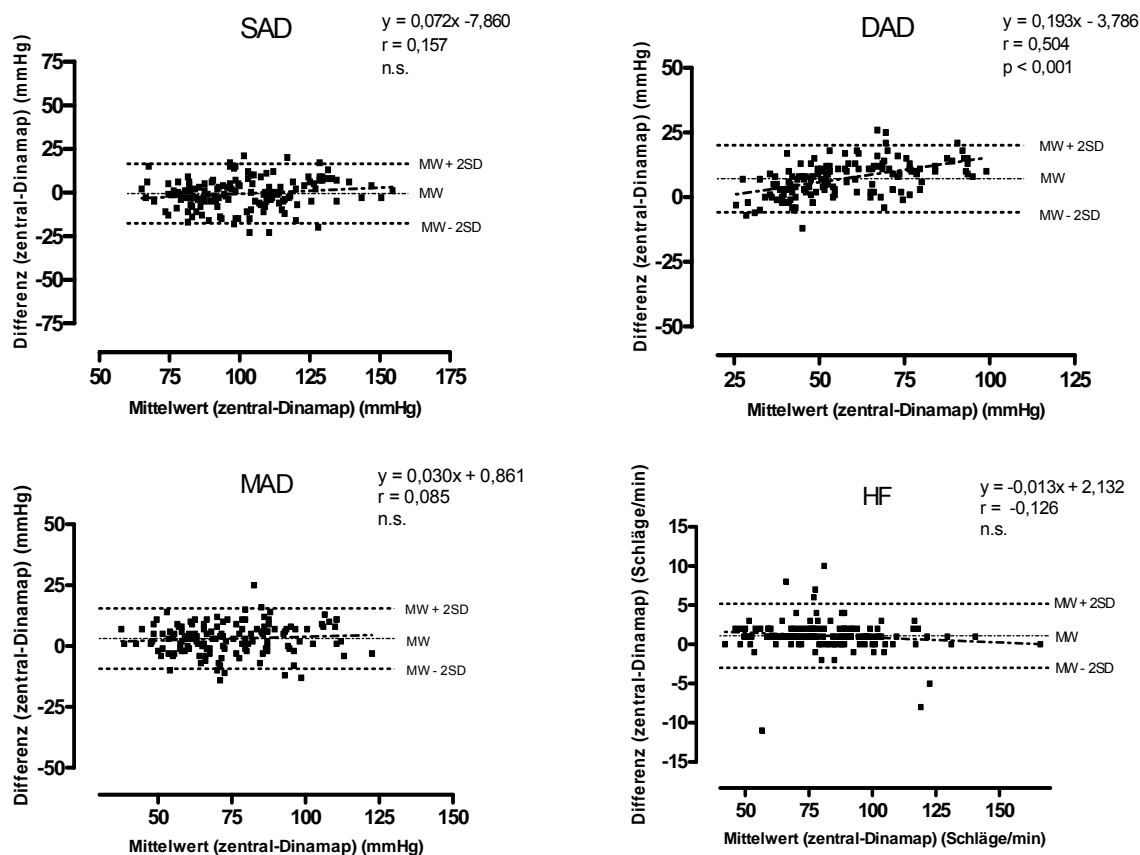
SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min)

Bei allen Messungen mit dem Dinamap Monitor zeigte sich eine hochsignifikante Korrelation zu den zentral invasiv gemessenen Werten. Die Korrelationskoeffizienten lagen stets über 0,9. Beim SAD fand sich ein nicht signifikanter Unterschied ($-0,6 \text{ mmHg} \pm 8,7 \text{ mmHg}$). Die Messungen von DAD, MAD und HF unterschieden sich beim Dinamap Monitor hochsignifikant ($7,2 \text{ mmHg} \pm 6,6 \text{ mmHg}$, $3,1 \text{ mmHg} \pm 6,3 \text{ mmHg}$, $1,1 \text{ mmHg} \pm 2,1 \text{ mmHg}$).

4.4.4 Vergleich der Differenz aus Dinamap-Messung und zentral invasiver Messung mit dem Mittelwert beider Methoden

Die Abbildung 8 zeigt die Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der Dinamap-Messung und der zentral invasiven Messung.

Abbildung 8: Bland-Altman Diagramme zum Vergleich der Dinamap-Blutdruckmessung und der zentral invasiven Messung



SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), MW = Mittelwert; 2SD = 2-fache Standardabweichung

4.4.4.1 SAD

Beim SAD bestand eine nicht signifikante Korrelation (n.s., $r = 0,157$) mit leicht positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,072x - 7,860$). Dies bedeutet, dass bei Ansteigen des Blutdruckmittelwertes der mittels Dinamap Monitor gemessene Blutdruck leicht niedrigere Werte ergibt als der zentral gemessene Blutdruck.

4.4.4.2 DAD

Bei den Messwerten des DAD zeigte sich eine signifikante Korrelation ($p < 0,001$, $r = 0,504$) mit positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,193x + 3,786$). Dies bedeutet, dass bei Zunahme des Mittelwertes beider Methoden die Dinamap-Messung zunehmend leicht niedrigere Werte ermittelte als die zentral invasive Messung.

4.4.4.3 MAD

Beim MAD zeigte sich eine nicht signifikante Korrelation (n.s., $r = 0,085$) mit schwach positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,030x + 0,861$). Somit ist bei höheren Blutdruckwerten damit zu rechnen, dass die mittels Dinamap Monitor gemessenen Werte des MAD etwas niedrigere Werte ergeben als die zentral invasive Messung.

4.4.4.4 HF

Die Herzfrequenz zeigt eine nicht signifikante Korrelation (n.s., $r = -0,126$) bei schwach negativer Steigung der Regressionsgeraden ($y = -0,013x + 2,132$). Das heißt, dass bei ansteigenden Werten ein leicht stärkeres Anwachsen als beim invasiv gemessenen Vergleichswert zu verzeichnen ist.

4.5 Surgivet-Messung gegen zentral invasive Messung

4.5.1 Durchführbarkeit

Beim Surgivet Monitor verlief das Messen problemlos. Es konnte bei allen 47 Patienten zu allen drei Messzeitpunkten die Messreihen komplett aufgezeichnet werden.

4.5.2 Messwerte

In der Tabelle 10 sind die Blutdruckbereiche, die Mediane, die arithmetischen Mittelwerte und die Standardabweichung aller Messwerte der zentral invasiven Messung und der oszillometrischen Messung mit dem Surgivet Monitor aufgeführt.

Tabelle 10: Statistische Kenngrößen der Surgivet-Messung und der zentral invasiven Messung

Parameter	Bereich	Median	MW	SD	Normal- verteilung
Surgivet-Messung					
SAD	65-149	98	100,0	18,5	ja
DAD	17-101	49	54,2	18,9	nein
MAD	39-117	69	73,0	17,6	nein
HF	41-163	78	81,2	21,4	ja
Zentral invasive Messung					
SAD	66-152	102	101,6	20,6	ja
DAD	23-103	57	60,1	19,1	ja
MAD	38-117	72	75,5	18,4	nein
HF	42-165	79	81,9	21,0	ja

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = 141

4.5.3 Vergleich zwischen Surgivet-Messung und zentral invasiver Messung

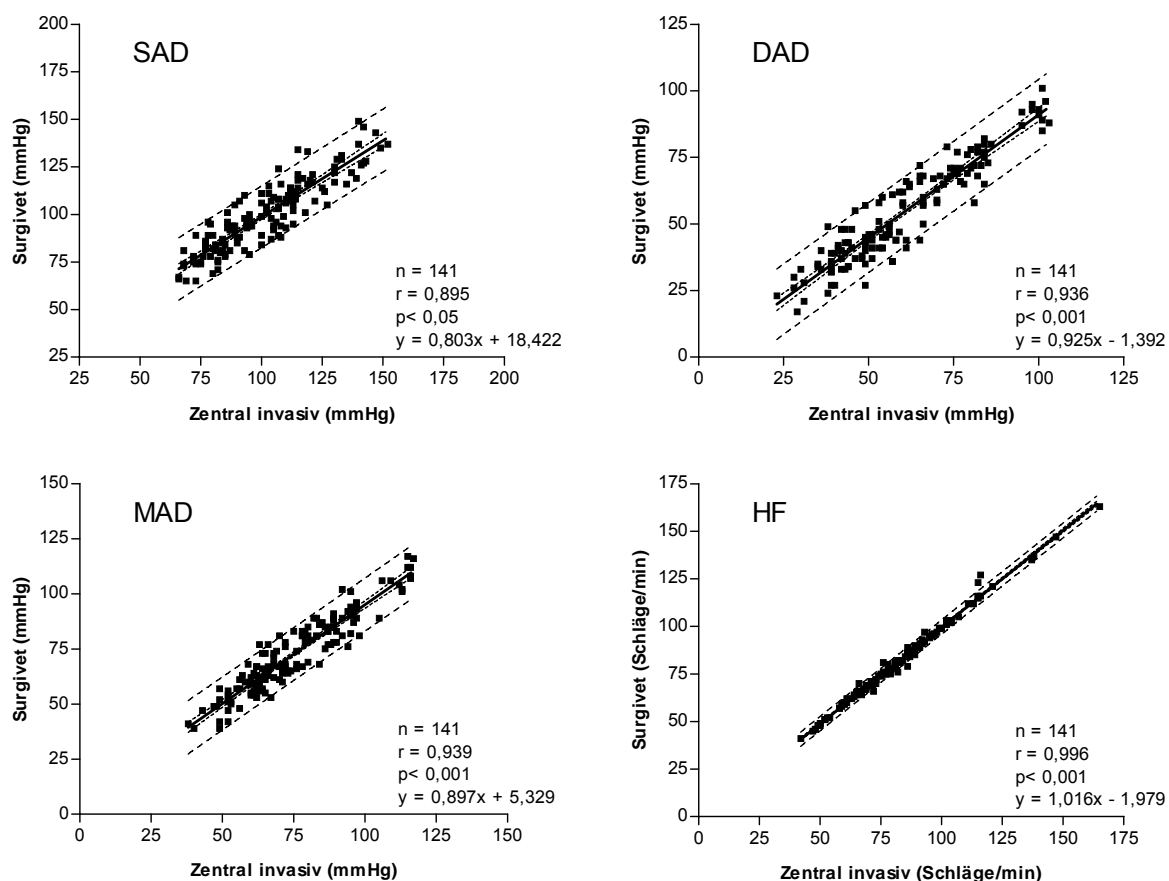
Die Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse und die mittlere Differenz zwischen der zentral invasiven Messung und der Messung mit dem Surgivet Monitor. Die zugehörigen Regressionsdiagramme sind in Abbildung 9 wiedergegeben.

Tabelle 11: Statistische Daten aus dem Vergleich der Surgivet-Messung und der zentral invasiven Messung

Parameter (Zentral invasiv-Surgivet)	Korrelation		MW ± SD	Differenz	
	r	p		p	Normalverteilung
SAD	0,895	< 0,001	1,6 ± 9,2	< 0,05	nein
DAD	0,936	< 0,001	5,9 ± 6,8	< 0,001	ja
MAD	0,939	< 0,001	2,4 ± 6,3	< 0,001	ja
HF	0,996	< 0,001	0,7 ± 1,9	< 0,001	nein

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), r = Korrelationskoeffizient, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Abbildung 9: Regressionsdiagramme zum Zusammenhang zwischen Sugivet-Messung und zentral invasiver Blutdruckmessung



Die solide Linie kennzeichnet die lineare Regressionsgerade, die beiden inneren gepunkteten Linien das 95% Konfidenzintervall für die Regressionsgerade und die beiden äußeren gestrichelten Linien das 95% Prediktionsintervall der Beobachtung.

SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min)

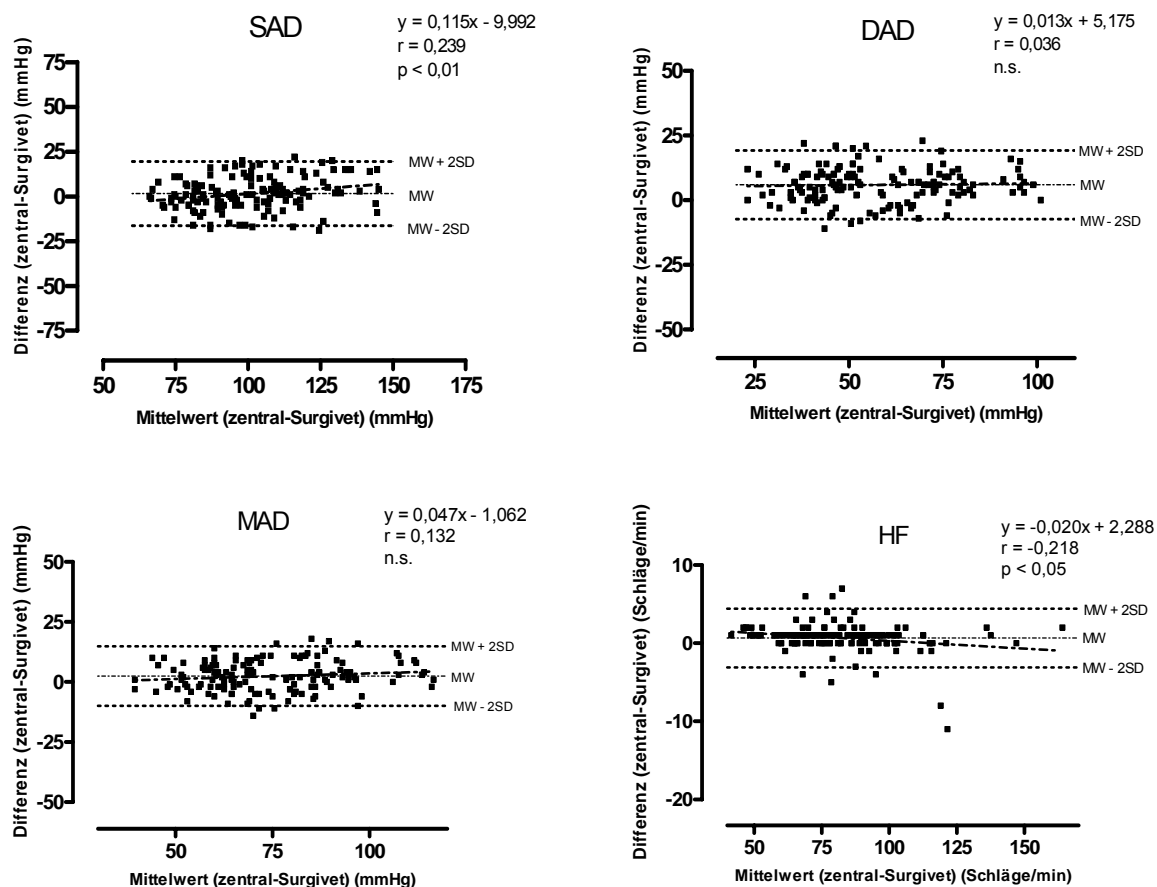
Die Korrelation des nicht-invasiven Blutdrucks (SAD/DAD/MAD) mit dem invasiven Blutdruck war immer hochsignifikant, wobei der Korrelationskoeffizient beim SAD knapp unter 0,9 und beim DAD bzw. MAD darüber lag. Es zeigte sich eine schwach- (SAD) bzw. hoch-signifikante (DAD/MAD) Differenz zur invasiv zentralen Messung mit einer geringen (< 10 mmHg) mittleren Differenz und Standardabweichung.

Bei der Messung der Herzfrequenz war eine hochsignifikante Korrelation ($r = 0,996$) und eine hochsignifikante Differenz nachweisbar, letztere wies aber eine sehr geringen Mittelwert und Standardabweichung auf.

4.5.4 Vergleich der Differenz aus Surgivet-Messung und zentral invasiver Messung mit dem Mittelwert beider Methoden

Die Abbildung 10 zeigt die Bland-Altman Diagramme zum Vergleich der Surgivet-Messung und der zentral invasiven Messung.

Abbildung 10: Bland-Altman Diagramme zum Vergleich der Surgivet-Messung und der zentral invasiven Messung



SAD = systolischer Druck (mmHg), DAD = diastolischer Druck (mmHg), MAD = mittlerer Druck (mmHg), HF = Herzfrequenz (Schläge/min), MW = Mittelwert; 2SD = 2-fache Standardabweichung

4.5.4.1 SAD

Bei den Messwerten des SAD bestand eine signifikante Korrelation ($p < 0,01$, $r = 0,239$) mit leicht positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,115x - 9,992$). Dies bedeutet, dass bei Ansteigen des Mittelwertes beider Methoden der mittels Surgivet Monitor gemessene Blutdruck leicht niedrigere Werte anzeigt als der zentral gemessene Blutdruck.

4.5.4.2 DAD

Bei den Messwerten des DAD zeigte sich eine nicht signifikante Korrelation (n.s., $r = 0,036$) mit ganz leicht positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,013x + 5,175$). Dies bedeutet, dass bei Zunahme des Mittelwertes beider Methoden die

Surgivet-Messung zunehmend leicht niedrigere Werte ermittelte als die zentral invasive Messung.

4.5.4.3 MAD

Beim MAD zeigte sich eine nicht signifikante Korrelation (n.s., $r = 0,132$) mit schwach positiver Steigung der Regressionsgeraden ($y = 0,047x - 1,062$). Somit ist bei höheren Blutdruckwerten damit zu rechnen, dass die mittels Surgivet Monitor gemessenen Werte des MAD etwas niedrigere Werte ergeben als die zentral invasive Messung.

4.5.4.4 HF

Die Herzfrequenz zeigt eine schwach signifikante Korrelation ($p < 0,05$, $r = -0,218$) bei schwach negativer Steigung der Regressionsgeraden ($y = -0,020x + 2,288$). Das heißt, dass bei ansteigenden Werten ein leicht stärkeres Anwachsen als beim invasiv gemessenen Vergleichswert zu verzeichnen ist.

5 Diskussion

Die nicht-invasive Blutdruckmessung gewinnt in der Kleintiermedizin zunehmend an Bedeutung. Die Zuverlässigkeit der oszillometrischen Messgeräte hat sich dank der technischen Entwicklung der Mikroprozessoren im Vergleich zu früher erheblich verbessert. Trotzdem ist es wichtig, dass neue Geräte anhand der invasiven Messung evaluiert werden.

Vor allem bei niedrigem Blutdruck zeigen die oszillometrisch messenden Geräte häufig Schwächen (42, 99, 128, 132, 136). Da aber insbesondere das Erkennen einer Hypotonie beim Narkosemonitoring sowie bei der Überwachung von Intensivpatienten eine große Rolle spielt, wurden in dieser Arbeit drei verschiedene oszillometrische Geräte mit der invasiven Messung verglichen und ihre Brauchbarkeit beurteilt. In den folgenden Kapiteln werden zunächst wesentliche Punkte aus Material und Methodik (Patientenauswahl, Messstellen, Manschettengröße sowie die Durchführung der Untersuchung) diskutiert. Danach wird auf die Ergebnisse dieser Studie im Vergleich zu publizierten Daten eingegangen.

5.1 Patientenauswahl

Viele Untersuchungen von mikroprozessorgesteuerten oszillometrisch messenden Blutdruckmessgeräten wurden an relativ kleinen homogenen Gruppen (Rasse, Alter, Größe, Gewicht) durchgeführt (42, 68, 112, 129).

Mit 47 Probanden hat man in dieser vorliegenden Studie eine relativ große Menge an Individuen, die hinsichtlich der oben genannten Kriterien eine weite Streuung aufwiesen. Aus der Humanmedizin ist bekannt, dass bei der oszillometrischen Messung beim neugeborenen Menschen, insbesondere mit niedrigem Geburtsgewicht, Probleme auftreten (25). Gleiche Ergebnisse zeigten sich bei Katzen und kleinen Hunden (30, 105, 145). Deshalb ist es wichtig, verschiedene Größen und Gewichtsklassen bei der Evaluierung zu berücksichtigen.

Der hohe Anteil von Hunden aus den Rassen PON und Deutscher Schäferhund ergab sich aus der Häufung der Erkrankung PDA in diesen Rassen (79, 135). Das häufigere Auftreten des Jack-Russel-Terriers ist vermutlich durch das häufige

Vorkommen im Allgemeinen und die Rassedisposition für Terrier bei der Pulmonalstenose bedingt.

Ähnliches gilt für die Geschlechtsverteilung, die aufgrund des in der vorliegenden Studie häufiger vorkommenden PDA zugunsten des weiblichen Geschlechts ausfiel.

In der Literatur können unterschiedliche Referenzwerte für die jeweiligen Rassen gefunden werden (9, 16). Über eine unterschiedliche Genauigkeit der Blutdruckerfassung bzw. über die Problematik bei bestimmten Rassen überhaupt Werte zu bekommen, berichten SCHMIEG (132) und FEISCHE (43). Bei beiden Autoren zeigten sich mit dem Memoprint Monitor beim Messen Probleme aufgrund einer kurzen und konischen Gliedmaßenform („Dackelbeine“).

Durch die Auswahl der kongenitalen Herzerkrankungen (PDA und PS) wurden Patienten ausgesucht, die aufgrund der Erkrankung und des Eingriffes einem erhöhten Narkoserisiko ausgesetzt sind. Bei ihnen ist unbedingt eine Blutdruckmessung erforderlich, aber nicht ohne Probleme. Dass die Messung bei Patienten mit kongenitalen Herzerkrankungen besonders schwierig ist, wird in der Humanmedizin beschrieben (57). Die Autoren erklärten die zum Teil mäßige Übereinstimmung zwischen invasiver und nicht-invasiver Messung bei Babys und Kindern mit der negativen Auswirkung der schlechten Herzfunktion auf die Blutdruckmessung.

Die Änderung des Blutdruckes zu den bestimmten Messzeitpunkten erfolgte durch die Anästhesie und den Herzkathetereingriff und nicht medikamentös wie in den experimentellen Studien. Dies entspricht somit den realen klinischen Bedingungen.

5.2 Auswahl der Messmethode und Messorte

5.2.1 Referenz-Methode: Invasiv zentrale Blutdruckmessung

In der vorliegenden Arbeit wurde als Referenz die invasiv zentrale Messung in der Aorta descendens gewählt, da sowohl beim Menschen (109) als auch beim Hund (62, 97, 136) belegt ist, dass die Messung in einer peripheren Arterie (z.B. A. dorsalis pedis) zu fehlerhaften Messungen führt. Die Ursache hierfür liegt im Anstieg des

Wellenwiderstandes in Richtung der peripheren Arterien mit nachfolgenden Wellenreflexionen. Dadurch kommt es zur Superposition der peripher und der herzwärts laufenden Wellen und somit zur systolischen Blutdruck-Amplitudenerhöhung (20, 116, 169).

In einer früheren tiermedizinischen Arbeit (136) wurde bereits festgehalten, dass der nicht-invasiv oszillometrisch gemessene Druck (mittels Dinamap Monitor) eher dem zentralen als dem peripheren invasiven Druck entspricht.

5.2.2 Invasiv periphere Blutdruckmessung

Zusätzlich zur invasiv zentralen Messung wurde eine invasiv periphere Messung durchgeführt, da diese aufgrund ihrer Vorteile (leichte Katheterisierung, geringes Blutungsrisiko (64)) unter klinischen Bedingungen in der Kleintiermedizin weit verbreitet ist und in den meisten Studien als Referenzmethode genutzt wird. Ziel war es in der vorliegenden Studie, die Genauigkeit dieses Verfahrens im Vergleich zur zentral invasiven Technik zu überprüfen.

5.2.3 Nicht-invasive Blutdruckmessung

5.2.3.1 Messgeräte

Für die oszillometrische Methode wurden drei verschiedene Geräte ausgewählt. Der Memoprint- und der Surgivet Monitor sind zwei aktuelle veterinärspezifische Geräte. Der Memoprint Monitor wurde bisher nur in relativ kleinen experimentellen Studien an Hunden der Rasse Beagle invasiv überprüft. Daten aus klinischen Vergleichsstudien beim narkotisierten Patienten liegen nicht vor. Zum Surgivet Monitor gibt es noch gar keine Daten. Der humanmedizinische Dinamap Monitor wurde absichtlich mit in die Studie aufgenommen, da verschiedene nicht mehr erhältliche Vorgänger-Modelle bereits als gut evaluiert wurden (9, 11, 12, 29, 58, 63, 99, 127, 136).

5.2.3.2 Messort

Die nicht-invasive Blutdruckmessung beim Hund ist an der Vorder- oder Hintergliedmaße und auch an der Schwanzwurzel möglich. Welche dieser Lokalisation letztendlich die beste Übereinstimmung mit der Referenzmethode erbringt, war in verschiedenen Studien sehr unterschiedlich (11, 12, 14, 97, 129, 133). Grundsätzlich ist bei Verlaufsuntersuchungen wichtig, dass die bei einem Tier einmal ausgewählte Messstelle beibehalten wird. Noch besser ist es, sich an eine (selbst) standardisierte Messlokalisierung zu halten (127).

Für diese Studie wurde durchgehend die linke Vordergliedmaße oberhalb des Carpalgelenkes gewählt, da diese einerseits für die Messung mit dem Memoprint Monitor vorgesehen ist, andererseits die anderen Messorte während des Kathetereingriffs schlecht erreichbar sind. Die Gliedmaße und somit die Manschette wurde wie empfohlen (49, 114) auf Herzhöhe platziert.

5.3 Auswahl der Manschette

In der Humanmedizin (American heart association (78)) wie in der Tiermedizin (50, 51, 66, 128) gilt eine optimale Manschettenbreite von 40 bis 60% des Gliedmaßenumfanges.

Bei den meisten Untersuchungen wird nicht zwischen Manschettenblase und Manschette differenziert, weil sich diese nur geringfügig unterscheiden. Dies ist sicherlich bei der Verwendung der Critikon[®]-Manschette der Fall, da die Manschette keine gesonderte Manschettenblase enthält und der Unterschied ca. 2 mm ausmacht. Bei der Memoprint-Manschette erscheint eine Unterscheidung sinnvoll, da die Manschette aus zwei Anteilen besteht, deren Unterschied bis zu 8 mm ausmacht (siehe Kapitel 3.4.2).

Für den Dinamap- und den Surgivet Monitor wurde durch fünf verschiedene Breiten der Critikon[®]-Manschetten sichergestellt, dass stets die obigen Vorgaben erfüllt waren. Beim Memoprint Monitor wurden die mitgelieferten Manschetten benutzt und, wie vom Hersteller vorgeschrieben, nach Gewicht des Hundes ausgewählt. Diese Auswahl nach Gewicht wird selten auch bei anderen Autoren beschrieben (31, 158). In der vorliegenden Studie (siehe Kapitel 3.4.2., Tabelle 2) lag bei 13 von 47 Patienten (28 %) die Manschettenblasenbreite über 60 % des Gliedmaßenumfanges

und somit über dem empfohlenen Grenzwert. Insofern erscheint es sinnvoll gegebenenfalls auch für den Memoprint Monitor die Manschetten entsprechend des Gliedmaßenumfanges auszuwählen, wie es in einzelnen Studien schon durchgeführt wurde (43, 132).

Diese Forderung wird unterstützt durch den aufgetretenen Ausfall bei der Memoprint-Messung bei Patient Nr. 37 und Nr. 47 („Manschettenfehler“). Die Auswahl einer kleineren Manschette (50 % des Gliedmaßenumfanges) anstatt der ursprünglichen Manschette (63 % des Gliedmaßenumfanges) konnte das Problem zumindest teilweise beheben. Ob und inwieweit die zum Teil zu großen Manschetten Messfehler verursachten wird unten noch diskutiert werden.

5.4 Durchführung der Messungen

Um beim einzelnen Patienten unterschiedliche Blutdrücke zu erreichen, wurden drei definierte Zeitpunkte während des Kathetereingriffes ausgewählt (vgl. auch Kapitel 5.6).

Um Fehler zu minimieren betonen viele Untersucher die Notwendigkeit mehrere Messungen zu mitteln (9, 47, 52, 70, 136, 166). Als Gründe werden beim wachen Patienten vor allem die ungewohnte Umgebung und Manipulation und der so genannte „Weisskitteleffekt“ sowie aufregungsbedingte Ausreißer genannt. Aber auch in Narkose werden deutlich bessere Ergebnisse erzielt, wenn fünf Messungen gemittelt werden, als wenn Einzelmessungen durchgeführt werden (99). Die optimale Anzahl der Messungen liegt zwischen drei bis fünf (21, 52, 112).

Bei der vorliegenden Studie wurde der Median aus fünf Messwerten ermittelt. Der Median kam deshalb zum Einsatz, da er in Bezug auf Ausreißer weniger empfindlich ist, als der arithmetische Mittelwert (125).

Die erste Messung wurde stets als Probemessung angesehen und verworfen. Über das Verwerfen von Messwerten sind in der Literatur ebenfalls verschiedene Angaben gemacht. Es wird häufig empfohlen, offensichtlich fehlerhafte Messwerte einer Messreihe nicht in die Auswertung einzubeziehen (10, 126, 147). Allerdings werden dadurch bei der Beurteilung der Zuverlässigkeit eines Gerätes die Ergebnisse geschönt (132). In der vorliegenden Studie wurde die erste Messung unabhängig von

ihrer Übereinstimmung oder Abweichung von den anderen Werten verworfen. Sie diene lediglich der Überprüfung des korrekten Anlegens der Manschette.

5.5 Probleme bei den Messungen

5.5.1 Invasive Messung

Wie in der Literatur beschrieben (21, 47, 145) traten vor allem im Vorfeld beim Legen des arteriellen Zuganges Probleme auf. So war die Größe der Arteria dorsalis pedis bei einigen kleinen Hunden nicht ausreichend, um einen arteriellen Katheter einzubringen. Außerdem zeigten sich Schwierigkeiten durch die Form der Beine (Dackel) oder Hämatombildung beim Legen des Katheters. Diese Patienten konnten nicht in die Studie aufgenommen werden. Andere Komplikationen (Blutungen, Thrombosen), wie sie vor allem beim Menschen beschrieben (103, 157) sind, konnten bei keinem der Tiere beobachtet werden.

Fehler der invasiven Messung können durch die Verwendung möglichst kurzer, steifer Schläuche und durch wenige Abschalthähne und Verteiler im System minimiert werden (32, 75). Diese Regeln wurden eingehalten. Durch die kontinuierliche Spülung des Katheters, wie sie auch in anderen Studien durchgeführt wurde (133), traten während der Messungen keine Probleme auf.

5.5.2 Nicht-invasive Messung

Beim Dinamap- und Surgivet Monitor verlief das Anlegen und Messen bei allen Hundegrößen und Blutdruckbereichen problemlos.

Die Memoprint-Manschetten mussten zum Teil mehrmals korrigiert werden. Wie bei anderen Autoren beschrieben (30, 59), traten in dieser Studie insbesondere bei Patienten mit einem systolischen Druck unter 90 mmHg und unter 5,5 kg Körpergewicht Probleme auf. Bei einem Patienten konnte gar kein Signal mehr empfangen werden. Dieses Phänomen wurde auch in einer anderen Arbeit beschrieben: so traten bei Schmiege bei 18 % der Patienten Messschwierigkeiten mit dem Memoprint Monitor auf, diese waren besonders häufig bei kleinen Hunden und

Hunden mit niedrigem Blutdruck (132). In der Arbeit von FEISCHE (43) kam es bei 20,2 % zum Abbruch der Messung durch den Memoprint Monitor. Auch hier waren eine überdurchschnittlich viele kleine Patienten sowie Hunde mit spezieller Gliedmaßenform betroffen.

Somit ist insbesondere bei kleinen Patienten mit Hypotonie der Einsatz des Memoprint Monitors eingeschränkt, während die anderen zwei Geräte bei Extremwerten zuverlässiger erscheinen.

5.6 Messwertbereich

Es wurden drei definierte Zeitpunkte während des Kathetereingriffes ausgewählt, um verschieden hohe Messwertbereiche zu bekommen. Erwartet wurde ein Blutdruckanstieg (insbesondere beim DAD und MAD) nach Katheterintervention (zum Zeitpunkt 2) durch die veränderte Hämodynamik und durch eine geringere Narkosetiefe am Ende des Eingriffs (Zeitpunkt 3). Mittels ANOVA bestätigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten beim DAD und MAD ($p < 0,05$), auch wenn dieser nicht so drastisch ausfiel wie bei der medikamentellen Beeinflussung des Blutdruckes (3, 42, 68). Die zentral invasive Messung ergab eine breite Streuung der Messwerte des SAD (64 - 155 mmHg), des DAD (23 - 106 mmHg) und des MAD (38 - 121 mmHg) im normo- bis hypotonen Bereich. Diese decken sich annähernd mit anderen klinischen und experimentellen Vergleichstudien in Narkose (68, 136). Die Streuung der Messwerte begünstigte die Ergebnisse der Korrelationsanalyse (8). Allerdings kann aufgrund der Messwertbereiche keine Angabe zur Messgenauigkeit der Geräte bei einer Hypertonie gemacht werden.

5.7 Peripher invasive gegen zentral invasive Messung

Für den DAD und MAD konnte eine gute Korrelation bei statistisch signifikanter aber klinisch nicht relevanter Differenz festgestellt werden. Für den SAD bestand dagegen nur eine mäßig gute Korrelation mit deutlicher und bei höheren Werten zunehmender Überschätzung durch die invasiv periphere Messung. Diese Ergebnisse decken sich mit zahlreichen experimentellen Arbeiten und lassen sich durch die Superposition

reflektierender Pulswellen auf ankommende Pulswellen erklären (17, 32, 97, 139, 143).

Sehr interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Beobachtung von VAN BERGEN (159):

Er wollte am selben Arm den invasiven und nicht-invasiven Druck messen. Nach Anlegen der Manschette distal des direkten Zugangs stieg durch Kompression der Arterie und somit durch Erhöhung des peripheren Widerstandes der systolische invasive Druck immer um 20 bis 30 mmHg an. Der auskultatorisch ermittelte Druck änderte sich nicht. So konnte folgende Schlussfolgerung gezogen werden:

Der nicht-invasiv gemessene systolische Druck ist vielmehr ein Index für den zentralen aortalen Druck als für den peripheren, während eine Erhöhung des peripheren Widerstandes vor allem mit invasiven Methoden registriert werden kann. Von daher ist es richtig, die nicht-invasive Messung mit der zentralen invasiven Messung zu vergleichen, wie es in dieser Studie gemacht wurde.

5.8 Memoprint-Messung gegen zentral invasive Messung

Bei der Messung mit dem Memoprint Monitor zeigte sich für alle drei Blutdruckwerte eine mäßige Korrelation ($r < 0,8$) mit hoher mittlerer Überschätzung (> 10 mmHg) und großer Standardabweichung der Differenz zur Referenzmethode (> 10 mmHg).

Die „Association for the Advancement of Medical Instrumentation“ (AAMI) gibt einen maximalen mittleren Fehler von 5 mmHg mit einer Standardabweichung von 8 mmHg als Richtlinie für den Vergleich von invasiver und nicht-invasiver Blutdruckmessung beim Menschen an (150). Somit kann der Memoprint Monitor diese Bedingung nicht erfüllen.

Die Überschätzung zeigt sich beim SAD besonders bei hohen Werten, während sie beim DAD dagegen bei niedrigen Werten stärker ausfällt. Dieser gegenläufige Effekt führt vermutlich dazu, dass bei dem aus beiden Werten errechneten MAD eine relativ konstante Überschätzung auftritt. Die Überschätzung des SAD und DAD ist insgesamt ungewöhnlich, da einerseits das Gerät die einzelne Pulswelle korrekt erkennt (geringe Abweichung der Herzfrequenz-Messung) und andererseits die relativ groß ausgewählten Manschetten (s. Kapitel 5.3) eher eine Unterschätzung des Blutdruckes erwarten ließen (32, 66, 78).

Die Tabelle 12 zeigt eine Übersicht zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie und früheren Vergleichstudien mit dem Memoprint Monitor.

Tabelle 12: Statistische Daten zum Vergleich des Memoprint Monitors mit anderen Verfahren

Quelle	Art der Studie/ Zustand der Tiere	Art und Anzahl der Probanden/ Gewicht/ Messort	Anzahl der Vergleiche	Referenzmethode	Blutdruck- Bereich	Korrelation		Abweichung (Referenz – Testgerät)	
						r	p	MW	SD
Erhardt et al. (1998)	E-N	6 adulte Beagle/ k.A./ Radius	79 (Einzelmessungen)	p (A.saphena Ramus cranialis)					
				SAD	90-235	0,644	k.A.	k.A.	k.A.
				DAD	60-160	0,707	k.A.	k.A.	k.A.
				MAD	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Henke et al. (2000)	E-N	7 Beagle/ 15,0-20,0kg/ Metatarsus	332 (Einzelmessungen)	p (A.dorsalis pedis)					
				SAD	60-170 ¹	0,860	k.A.	3	11,9
				DAD	55-170 ¹	0,850	k.A.	1	13,9
				MAD	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Vorliegende Studie	K-N	47 Hunde/ 4,2-42,0kg/ Radius	141 (Median aus 5 Werten)	z (Aorta descendens)					
				SAD	64-152	0,750	< 0,001	-13,6	17,7
				DAD	23-106	0,704	< 0,001	-11,4	13,4
				MAD	38-119	0,765	< 0,001	-10,5	12,1

E = experimentell, K = klinisch, N = Narkose, p = peripher, z = zentral, k.A. = keine Angaben
¹ aus Grafik abgelesen

Die Werte für die Korrelationskoeffizienten der vorliegenden Studie (SAD 0,750, DAD 0,704) decken sich mit den Befunden aus der ersten experimentellen Untersuchung an sechs gesunden Beaglen (SAD 0,644, DAD 0,707) (42). Außerdem ist auch in dieser Arbeit ein nicht lineares Verhalten der Messwertdifferenz in Abhängigkeit von dem absoluten Messwert beschrieben. So wurden hohe diastolische Blutdruckwerte zunehmend unterschätzt. Das entspricht den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Die zwischen beiden Arbeiten differierenden Ergebnisse der systolischen Messung erklären sich aus den verwendeten unterschiedlichen Referenzmethoden (zentral bzw. peripher).

Die zweite experimentelle Studie aus derselben Arbeitsgruppe ermittelte an sieben gesunden Beaglen deutlich bessere Korrelationskoeffizienten (SAD 0,86 und DAD 0,85) und geringe mittlere Abweichungen (SAD 3 mmHg; DAD 1 mmHg) mit allerdings großer Streuung (> 10 mmHg) (68).

Mögliche Ursachen für die besseren Werte in der letztgenannten Studie im Vergleich zur vorliegenden Studie sind die geringe Varianz des Körpergewichtes, das Fehlen kleiner Patienten, die homogene Gliedmaßenform einer Rasse (30, 105, 132, 145) und die Untersuchung herzgesunder Probanden (57). Der Unterschied innerhalb der beiden Experimentalarbeiten mit etwa gleichen Bedingungen lässt sich durch deutlich höhere Messwiederholung am selben Tier erklären (ca. 13 gegen ca. 47). Dadurch wird das Ergebnis geschönt. In der vorliegenden Arbeit waren viele verschiedene Patienten vertreten. Es wurden am selben Tier aber nur drei Messwiederholungen durchgeführt.

Ein weiterer wesentlicher Faktor für die unterschiedlichen Ergebnisse ist der Blutdruckbereich in dem die Vergleichsmessungen durchgeführt wurden.

In der ersten Experimentalarbeit lagen die Werte des SAD und DAD dominierend im normotonen (100-180 mmHg bzw. 60-100 mmHg) mit einigen Werten im hypertonen Bereich (> 180 mmHg bzw. > 100 mmHg). Die zweite Experimentalarbeit hat zwar für den SAD einen hypotonen bis normotonen Blutdruck gewählt, allerdings für den diastolischen Druck wiederum normo- bis hypertone Werte (68). Im Gegensatz dazu lag in der vorliegenden klinischen Arbeit der Wertebereich für die SAD und DAD im hypo- bis normotonen Bereich.

Die Bedeutung des Blutdruckbereiches lässt sich bereits in der ersten Studie (42) belegen. Bei normalem SAD (100-180 mmHg) war die prozentuale Abweichung des Memoprint-Messwertes von der invasiven Messung im Durchschnitt sehr gering, im hypertonen Bereich (≥ 180 mmHg) dagegen lag sie im Mittel bei $27\% \pm 12\%$ und damit sehr hoch.

Somit zeigt der Memoprint Monitor in Blutdruck-Grenzbereichen und zwar sowohl bei hypotonen als auch bei hypertonen Werten Schwächen, so dass ERHARDT (42) die Messgenauigkeit des Memoprint Monitors „in ganz bestimmten Narkosesituationen“ als eingeschränkt beurteilt. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie.

Da es relativ wenige Vergleichsstudien zum Memoprint Monitor mit der invasiven Messung gibt, sind hier noch zwei Vergleichsstudien mit der Dopplertechnik genannt. FEISCHE (43) verglich die SAD-Werte von 294 wachen Hunden unterschiedlicher Rassen. Der Korrelationskoeffizient lag bei 0,723, die mittlere Differenz bei 7,1 mmHg mit hoher Standardabweichung (14,51 mmHg). SCHMIEG (132) setzte das Gerät in inhomogenen Gruppen, bei kranken, wachen Hunden ein und ermittelte beim SAD im Vergleich zu HENKE et al. (68) niedrigere Korrelationskoeffizienten ($r = 0,76$), höhere mittlere Differenzen (6,55 mmHg) und noch höhere Standardabweichungen (20,58 mmHg). Das entspricht eher den mäßigen Ergebnissen der vorliegenden Studie.

5.9 Dinamap-Messung gegen zentral invasive Messung

In der vorliegenden Studie mit dem Dinamap Monitor lagen die Korrelationskoeffizienten für alle drei Blutdruckwerte über 0,9. Die mittlere Differenz war mit Werten zwischen -0,6 und 7,2 mmHg gering und die Standardabweichung lag stets bei < 10 mmHg.

Bei SAD und MAD war die Differenz beider Messmethoden nicht signifikant abhängig von dem absolut gemessenen Wert. Beim DAD fällt eine sehr geringe Differenz im tiefen Blutdruckbereich mit stetig steigender Unterschätzung bei höheren Werten durch den Dinamap Monitor auf. Insgesamt verfehlt der Dinamap Monitor die Grenzwerte der AAMI mit einem mittleren Fehler von 5 mmHg und einer Standardabweichung von 8 mmHg nur bei einzelnen Werten (MW beim DAD 7,2 mmHg, SD beim SAD 8,7 mmHg) und dabei auch nur knapp.

Die Tabelle 13 zeigt eine Übersicht zu der vorliegenden Studie und früheren experimentellen und klinischen Vergleichstudien mit den verschiedenen Dinamap Monitoren.

Tabelle 13: Statistische Daten zum Vergleich des Dinamap Monitors mit anderen Verfahren

Quelle/ Modell	Art der Studie/ Zustand der Tiere	Art und Anzahl der Probanden/ Gewicht/ Messort	Anzahl der Vergleiche	Referenzmethode	Blutdruck-Bereich	Korrelation		Abweichung (Referenz – Testgerät)							
						r	p	MW	SD						
Hamlin et al. (1982) Dinamap research monitor 1255	E-N	9 Hunde/ 7,0-52,0kg/ Metatarsus	147 (Mittelwerte aus jeweils 3-10 Werten)	p (A.femoralis)											
										SAD	40-210	0,908	<0,01	k.A.	k.A.
										DAD	20-120	0,908	<0,01	k.A.	k.A.
Pettersen et al. (1988) Dinamap 1255	E-Sedation	3 Mischlinge/ 9,0-22,0kg/ Schwanz	21 (Einzelmessungen)	z (Aorta abdominalis)											
										SAD	85-118 ¹	0,89-0,95 ²	k.A.	k.A.	k.A.
										DAD	62-82 ¹	0,85-0,89 ²	k.A.	k.A.	k.A.
Schrägel, (1989) Dinamap1846	E-N	9 Beagle/ 8,0-18,0kg/ Radius + Metatarsus	Unterschiedliche Anzahl (Einzelmessungen)	z (A.carotis, A.femoralis) + p (A.mediana, A.brachialis)											
										SAD	p: 78-169 z: 97-143	p: 0,900 z: 0,950	k.A.	k.A.	k.A.
										DAD	38-132	0,984	k.A.	k.A.	k.A.
Bodey et al. (1994) Dinamap 1846SX	K-N	24 Hunde/ k.A./ Schwanz	468* (Einzelmessungen) bzw. 17‡ (Mittelwert aus 10 Werten)	p (A.dorsalis pedis)											
										MAD	56-193	0,940	k.A.	k.A.	k.A.
										SAD	k.A.	0,76*	<0,001	23,0‡	15,7‡
				DAD	k.A.	k.A.	0,71*	k.A.	8,2‡	9,1‡					
				MAD	k.A.	k.A.	0,78*	k.A.	3,6‡	9,9‡					

Fortsetzung Tabelle 13: Statistische Daten zum Vergleich des Dinamap Monitors mit anderen Verfahren

Quelle/ Modell	Art der Studie/ Zustand der Tiere	Art und Anzahl der Probanden/ Gewicht/ Messort	Anzahl der Vergleiche	Referenzmethode	Blutdruck-Bereich	Korrelation		Abweichung (Referenz – Testgerät)								
						r	p	MW	SD							
Bodey et al. (1996) Dinamap 1846SX	E-W	7 Hunde/ k.A./ u.a. Radius	40* (Einzelmessungen) bzw. 5‡ (Mittelwert aus 10 Werten)	p (A.femorallis- Telemerie)	146,2- 237,1		k.A.	k.A.	45,8‡	16,1‡						
											DAD	69,7-86,8	0,443*0,585‡	k.A.	-7,2‡	7,8‡
											MAD	92,0-125,6	0,690*0,804‡	k.A.	1,7‡	8,5‡
Meurs et al. (1996) Dinamap 8300	K-N	15 Hunde/ 3,0-43,6kg/ Metatarsus	15 (Mittelwert aus 5 Werten)	p (A.dorsalis pedis)												
											SAD	k.A.	0,80	k.A.	k.A.	k.A.
											DAD	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Grosenbaugh et al. (1998) Dinamap 8100	E-N	7 Hunde/ 19-22kg/ Radius	54 (Einzelmessungen)	p (A.femorallis)												
											SAD	50-205 ¹	k.A.	k.A.	9,3	15
											DAD	25-135 ¹	k.A.	k.A.	6,6	9,2
Schneider (1999) Dinamap Veterinär Monitor	K-W	23 Hunde/ 7,5-38,0kg/ u.a. Radius	23 (Median aus 7 Werten)	p (A.dorsalis pedis)												
											SAD	96-296	0,768	<0,001	41,4	33,6
											DAD	58-102	0,832	<0,001	-10,9	11,3
				MAD	71-137	0,872	<0,001	-3,6	9,9							

Fortsetzung Tabelle 13: Statistische Daten zum Vergleich des Dinamap Monitors mit anderen Verfahren

Quelle/ Modell	Art der Studie/ Zustand der Tiere	Art und Anzahl der Probanden/ Gewicht/ Messort	Anzahl der Vergleiche	Referenzmethode	Blutdruck-Bereich	Korrelation		Abweichung (Referenz – Testgerät)	
						r	p	MW	SD
Habermann et al. (2006) Dinamap 8300	E-W	12 Beagle/ 11,1±1,6kg/ u.a. Schwanz	174*(Einzelmessungen) bzw. 35‡ (Mittelwert aus 5 Werten)	z (Telemetrie, Aorta descendens) SAD	108-268*/ 112-213‡	0,887*/0,941‡	<0,0001	20,0*	18,2*
				DAD	52-163*/ 58-119‡	0,849*/0,949‡	<0,0001	5,3*	15,3*
				MAD	65-190*/ 79-147‡‡	0,860*/0,924‡	<0,0001	10,8*	15,6*
Vorliegende Studie Dinamap Plus Vital signs Monitor	K-N	47 Hunde/ 4,2-42,0kg/ Radius	141 (Median aus 5 Werten)	z (Aorta descendens)					
				SAD	65-155	0,903	<0,001	-0,6	8,7
				DAD	24-104	0,946	<0,001	7,2	6,6
				MAD	39-121	0,939	<0,001	3,1	6,3

E = experimentell, K = klinisch, N = Narkose, W = wach, p = peripher, z = zentral, k.A. = keine Angaben, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

* Einzelbestimmung im Vergleich zu Mittelwert ‡

¹ aus Grafik abgelesen

² individuelle Unterschiede

³ aus SEM berechnet

Der Dinamap Monitor wurde in den verschiedenen Modellen in einer Vielzahl von Studien beim Hund eingesetzt. Der Überblick über die Studienergebnisse ist nicht leicht, da verschiedene Referenzmethoden genutzt und nicht immer alle statistische Angaben (Messwertbereich, Korrelationskoeffizient, mittlere Differenz und Standardabweichung) gemacht wurden.

Insgesamt kann man zusammenfassen, dass für den DAD und MAD eine recht hohe Korrelation (r zwischen 0,71 und 0,984 (Ausnahme bei BODEY et al. (11): 0,585 (Mittelwertbestimmung), erklärbar durch die geringe Messwertschwankung) bzw. zwischen 0,78 und 0,94) besteht.

Man findet eine nur geringe mittlere Abweichung (-10,96 bis +8,2 mmHg bzw. -3,57 bis +10,8 mmHg) und Standardabweichung (7,8 bis 15,3 mmHg bzw. 8,5 bis 15,6 mmHg). Die schlechteren Werte sind vor allem bei wachen Patienten sowie bei der Aufnahme von Einzelmessungen statt Bildung von Mittelwert oder Median zu verzeichnen.

Beim SAD weichen die Werte in Abhängigkeit von der Referenzmethode ab. Schlechtere Werte ergeben sich bei Anwendung der invasiv peripheren Messung in der Arteria dorsalis pedis sowohl für die Korrelation (r zwischen 0,76 und 0,80), als auch für die mittlere Abweichung (MW zwischen +23,0 und +41,39 mmHg) und deren Streuung (SD zwischen 15,7 und 33,64 mmHg). Deutliche bessere Werte finden sich bei der invasiv zentralen Messung in der Aorta, insbesondere beim Mitteln von Werten (r zwischen 0,89 und 0,95). Die Arteria femoralis sowie andere in den Studien genutzte Arterien wie die Arteria sublingualis nehmen eine Zwischenstellung ein. Der Unterschied zwischen den verschiedenen Lokalisationen zeigt sich auch innerhalb von Studien und ist auf die artifizielle Erhöhung des SAD bei der invasiv peripheren Messung zurückzuführen (136).

Somit decken sich die Ergebnisse dieser klinischen Studie mit den früheren Studien der verschiedenen Dinamap-Geräte. Kleine Unterschiede sind durch oben bereits beschriebenen Faktoren wie ein breites Gewichtsspektrum, eine unterschiedliche Gliedmaßenform und kardiovaskuläre Grunderkrankung zu erklären. Außerdem spielt auch der Zustand des Patienten (wach oder in Narkose) sowie der Blutdruckbereich eine Rolle.

5.10 Surgivet-Messung gegen zentral invasive Messung

Bei der Messung mit dem Surgivet Monitor zeigten sich für alle drei Blutdruckwerte sehr gute Ergebnisse (Korrelationskoeffizient zwischen 0,895 und 0,939, Mittelwert zwischen 1,6 und 5,9 mmHg sowie Standardabweichung zwischen 6,3 und 9,2 mmHg). Da zum Surgivet Monitor derzeit noch keine Vergleichstudien vorliegen, wird im Folgenden auf andere aktuelle Geräte eingegangen (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Statistische Daten zum Vergleich anderer oszillometrischer Geräte mit anderen Verfahren

Quelle/ Gerät	Art der Studie/ Zustand der Tiere	Anzahl/ Probanden Gewicht/ Messort	Anzahl der Vergleiche	Referenz- methode	Blutdruck- Bereich	Korrelation		Abweichung (Referenz – Testgerät	
						r	p	MW	SD
Schneider (1999) SDI VetBP6000	K-W	25 Hunde/ 9,5-60,0kg/ u.a. Radius	25 (Median aus 7 Werten)	p (A.dorsalis pedis)					
				SAD	93,0-259,0	0,764	<0,001	34,9	24,5
				DAD	55,0-123,0	0,947	<0,001	-8,5	8,3
Grosenbaugh et al. (1998) SDI VetBP6000	E-N	7 Hunde/ 19-22kg/ Radius	54 (Einzelmessungen)	MAD	67,0-157,0	0,881	<0,001	-4,7	11,8
				p (A.femoralis)					
				SAD	50-205 ¹	k.A.	k.A.	6,8	15
Sawyer et al. (2004) Cardell 9301V	E-N	6 Mischlinge/ 27,8±2,9/ Radius, Metatarsus, Tibia	129 (Einzelmessungen)	DAD	25-140 ¹	k.A.	k.A.	9,4	7,7
				MAD	35-160 ¹	k.A.	k.A.	10	8,9
				p (A.anterior tibialis)					
Stepien et al. (1999) Eagle 4000GE	E-W	28 Hunde/ 8,4-54,8kg/ Metatarsus+Radi us	27 (Mittelwerte aus 3 Werten)	SAD	50-150	0,92 ²	k.A.	9	13
				DAD	k.A.	0,79 ²	k.A.	13	8
				MAD	k.A.	0,91 ²	k.A.	11	7
				p (A.femoralis)					
				SAD	112-196	0,28 ²	0,160	k.A.	k.A.
				DAD	66-98	0,39 ²	0,156	k.A.	k.A.
				MAD	85-128	0,40 ²	0,036	k.A.	k.A.

Fortsetzung Tabelle 14: Statistische Daten zum Vergleich anderer oszillometrischer Geräte mit anderen Verfahren

Quelle/ Gerät	Art der Studie/ Zustand der Tiere	Anzahl/ Probanden Gewicht/ Messort	Anzahl der Vergleiche (Einzelmessungen)	Referenz- methode	Blutdruck- Bereich	Korrelation		Abweichung (Referenz – Testgerät	
						r	p	MW	SD
Hunter et al. (1990) Carolina Biological Supply Co, Modell DS- 115	E-N	4 Mischlinge/ 11,0-21,0kg/ Metatarsus	73 (Einzelmessungen)	p (A.dorsalis pedis)					
				SAD	100-195	0,78	k.A.	k.A.	k.A.
				DAD	40-140	0,65	k.A.	k.A.	k.A.
				MAD	k.A.	0,74	k.A.	k.A.	k.A.
Hunter et al. (1990) The Luminoscope Co Inc, Modell 1091	E-N	8 Mischlinge/ 11,0-21,0kg/ Metatarsus	229 (Einzelmessungen)	p (A.dorsalis pedis)					
				SAD	79-215	0,77	k.A.	k.A.	k.A.
				DAD	30-145	0,87	k.A.	k.A.	k.A.
				MAD	k.A.	0,87	k.A.	k.A.	k.A.
McMurphy et al. (2006) Cardell vet monitor 9402	E-N	8 Beagle/ 6,8-11,4kg/ Radius	56 (Einzelmessungen)	p (A.dorsalis pedis)					
				SAD	>200	k.A.	k.A.	22,95	16,8 ³
				DAD	k.A.	k.A.	k.A.	5,33	16,2 ³
				MAD	>140	k.A.	k.A.	6,10	11,9 ³
				SAD	Narkose ohne weitere Medikamente	k.A.	k.A.	7,75	14,9 ³
				DAD		k.A.	k.A.	13,67	16,2 ³
				MAD		k.A.	k.A.	6,36	11,9 ³

Fortsetzung Tabelle 14: Statistische Daten zum Vergleich anderer oszillometrischer Geräte mit anderen Verfahren

Quelle/ Gerät	Art der Studie/ Zustand der Tiere	Anzahl/ Probanden Gewicht/ Messort	Anzahl der Vergleiche (Einzelmessungen)	Referenz- methode	Blutdruck- Bereich	Korrelation		Abweichung (Referenz – Testgerät	
						r	p	MW	SD
McMurphy et al. (2006) Cardell vet monitor 9402	E-N	8 Beagle/ 6,8-11,4kg/ Radius	56	z (A.lingualis)					
				SAD	>200	k.A.	k.A.	7,28	14,9 ³
				DAD	k.A.	k.A.	k.A.	11,15	13,9 ³
				MAD	>140	k.A.	k.A.	9,56	9,6 ³
				SAD	Narkose ohne weitere Medikamente	k.A.	k.A.	0,88	14,4 ³
				DAD		k.A.	k.A.	20,11	13,9 ³
				MAD		k.A.	k.A.	9,95	9,6 ³
Vorliegende Studie Surgivet V6004 Moni- tor	K-N	47 Hunde/ 4,2-42,0kg/ Radius	141 (Median aus 5 Werten)	z (Aorta descendens)					
				SAD	66-152	0,895	<0,001	1,6	9,2
				DAD	23-103	0,936	<0,001	5,9	6,8
				MAD	38-117	0,939	<0,001	2,4	6,3

E=experimentell, K=klinisch, N=Narkose, W=wach, p=peripher, z=zentral, k.A.=keine Angaben, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung

¹ aus Grafik abgelesen

² aus R² berechnet

³ aus SEM berechnet

Im Gegensatz zum Surgivet Monitor liegt der Korrelationskoeffizient bei den beiden von HUNTER et al. (70) eingesetzten Geräten deutlich niedriger (r zwischen 0,65 und 0,87). Dies ist dadurch zu erklären, dass es sich beim DS-115 bzw. Modell 1091 um humanmedizinische Geräte handelt, die nicht ausreichend für das Tier modifiziert wurden.

Ähnlich verhält es sich mit dem Eagle 4000 GE mit dem STEPIEN (148) sehr niedrige Korrelationsquotienten ermittelte (r zwischen 0,28 und 0,4).

Vergleichbar gute Ergebnisse zum Surgivet Monitor konnten mit dem SDI Vet / BP 6000 und dem Cardell Veterinär Blood Pressure Monitor, Model 9301V erzielt werden.

In den Studien von SCHNEIDER (133) und GROSENBAUGH (58) wurden mittels SDI ähnlich wie in der vorliegenden Studie mit dem Surgivet Monitor beim DAD und MAD niedrige mittlere Abweichungen (MW zwischen -8,5 und 10 mmHg) und Standardabweichungen (SD zwischen 7,7 und 11,79 mmHg) gefunden. Die mittlere Abweichung beim SAD bei SCHNEIDER (133) ist mit 34,92 mmHg sehr hoch und die Streuung mit 24,52 mmHg sehr breit und ist auf die artifizielle Blutdruckerhöhung in den peripheren Arterien zurückzuführen.

SAWYER et al. (129) zeigte, dass der Cardell-Monitor auch bei niedrigen Drücken zuverlässig misst, aber, dass mit steigendem Druck der SAD zunehmend unterschätzt wird. Wie wichtig die Wahl der Arterie ist, zeigen MC MURPHY et al. (97) durch den Vergleich der oszillometrischen Messung mit der invasiven Messung in der Arteria dorsalis pedis und in der zentraler liegenden Arteria lingualis. Wie in der vorliegenden Studie, misst der oszillometrisch arbeitende Monitor den zentral invasiven Druck (MW der Differenz 0,88 bis 7,28 mmHg) und nicht den peripher invasiven Druck (MW der Differenz 7,75 bis 22,95 mmHg).

Schlussfolgerung

Aus den vorliegenden Studienergebnissen und den Literaturbeschreibungen lässt sich zum Vergleich der oszillometrisch nicht-invasiven mit der invasiven Messung beim narkotisierten Hund folgendes zusammenfassen:

Periphere und zentrale invasive Blutdruckmessung ergeben beim MAD und DAD annähernd identische Werte. Die Werte des SAD unterscheiden sich dagegen drastisch. Da diese durch eine artifizielle Erhöhung des peripheren SAD bedingt ist, muss überlegt werden, inwieweit die peripher invasive Messung weiterhin als Referenzmethode für die Überprüfung nicht-invasiv messender Geräte genutzt werden sollte.

Experimentalstudien sind nicht direkt auf die klinische Anwendung transferierbar, da sie oftmals unter Bedingungen durchgeführt werden, die eine nicht-invasive Blutdruckmessung erleichtern (z.B. mittlere Gewichtsklasse der Probanden, homogene Gliedmaßenform, stabile Herz-Kreislauf-Situation). Der große Blutdruckbereich, der durch medikamentelle Maßnahmen hypotone bis hypertone Werte umfasst, führt zur besseren Ergebnissen der Korrelationsanalyse in den Experimentalarbeiten, denn einerseits funktioniert die nicht-invasive Messung bei normal bis leicht hohen Werten einfacher, andererseits wird automatisch eine Korrelationsanalyse mit bessere Werte erzeugt.

Der Dinamap- und Surgivet Monitor sind bei narkotisierten Hunden in einer weiten Körpergewichtsspanne (4,2 und 42,0 kg) mit hypo- bis normotonen Blutdruckwerten zur Ermittlung des SAD, DAD und MAD gut geeignet. Sowohl die mittlere Differenz, als auch die Standardabweichung lag meist innerhalb der humanmedizinischen Grenzen der AAMI oder diese wurden nur knapp überschritten.

Es konnte eine geringe Unterschätzung beim MAD und DAD festgestellt werden. Ein Übersehen einer Hypotonie im Rahmen des Narkosemonitoring ist damit mit beiden Geräten unwahrscheinlich.

Der Memoprint Monitor schneidet in dieser Studie deutlich schlechter ab. Bei der Durchführung zeigten sich Fehlermeldungen, die ein erneutes Anlegen der Manschette und somit eine verlängerte Messperiode zur Folge hatte. Des Weiteren konnten bei zwei kleinen Tieren (4,5 und 5,3 kg) mit Hypotonie nur lückenhaft oder gar keine Druckwerte ermittelt werden. Die Korrelationskoeffizienten zeigten niedrigere Werte im Vergleich zu den zwei anderen Geräten. In Bezug auf die mittlere Differenz und Standardabweichung wurden die Richtlinien der AAMI deutlich verfehlt. Da es zudem zu einer zunehmenden Überschätzung des invasiven

diastolischen Blutdrucks bei fallenden Werten kommt, ist der Memoprint Monitor zum Narkosemonitoring und zur Überwachung von Intensivpatienten als ungeeignet zu beurteilen.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, drei oszillometrische Blutdruckmessgeräte anhand der invasiven Blutdruckmessung zu evaluieren. Der Vergleich wurde an einer inhomogenen Patientengruppe aus 47 Hunden (26 verschiedenen Rassen und 7 Mischlingshunde, Alter zwischen 2 und 83 Monaten, Körpergewicht 4,2 bis 42,0 kg), die wegen eines interventionellen Herzkathetereingriff narkotisiert wurden, durchgeführt.

Für diese Studie wurde der arterielle Blutdruck mittels flüssigkeitsgefüllten Kathetern an zwei verschiedenen Stellen des Gefäßbaumes gemessen: peripher in der Arterie dorsalis pedis sowie zentral in der Aorta descendens. Simultan zur zentralen Messung fand die oszillometrische Messung mit dem Memoprint-, dem Surgivet V6004 Monitor und dem Dinamap Plus Vital Signs Monitor statt. Die für die jeweilige Größe geeigneten Manschetten wurden oberhalb des linken Karpalgelenkes auf Herzhöhe angelegt. An jedem Hund wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten die Messungen vom systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruck (SAD, DAD, MAD) durchgeführt. Die Mediane aus jeweils fünf invasiv und nicht-invasiv simultan erhobenen Messungen wurden mittels Korrelationsanalyse und in Bland-Altman-Diagrammen miteinander verglichen.

Die Drücke für alle drei Blutdruckwerte lagen im normo- bis hypotonen Bereich (SAD 64-155 mmHg; DAD 23-106 mmHg, MAD 38-121 mmHg).

Im **Vergleich der peripher invasiven mit der zentral invasiven Messung** fiel eine gute Korrelation und geringe Differenz der Methoden für den DAD ($r = 0,987$, Differenz = $2,0 \pm 3,3$ mmHg) und MAD ($r = 0,989$, Differenz = $1,4 \pm 2,7$ mmHg) auf. Beim SAD dagegen war eine geringere Übereinstimmung feststellbar ($r = 0,828$, Differenz = $-24,3 \pm 17,7$ mmHg), wobei die Überschätzung durch die periphere Messung mit höheren Werten signifikant zunahm.

Mittels **Memoprint Monitor** konnte bei zwei Tieren keine vollständige Messreihe ermittelt werden. Für alle drei Blutdruckwerte ergab sich eine mäßige Korrelation zur zentral invasiven Messung mit deutlicher mittlerer Überschätzung und hoher

Streuung (SAD $r = 0,750$, Differenz = $-13,6 \pm 17,7$ mmHg; DAD $r = 0,704$, Differenz = $-11,4 \pm 13,4$ mmHg; MAD $r = 0,765$, Differenz = $-10,5 \pm 12,1$ mmHg). Beim MAD war diese Überschätzung unabhängig von der Höhe des Blutdruckes, beim SAD dagegen signifikant stärker bei hohen Werten und beim DAD signifikant stärker bei niedrigen Werten.

Beim **Dinamap Monitor** zeigten sich für alle drei Blutdruckwerte gute Korrelationen zur zentral invasiven Messung mit relativ geringer mittlerer Abweichung und Streuung (SAD $r = 0,903$, Differenz = $-0,6 \pm 8,7$ mmHg; DAD $r = 0,946$, Differenz = $7,2 \pm 6,6$ mmHg; MAD $r = 0,939$, Differenz = $3,1 \pm 6,3$ mmHg). Dabei war die Abweichung beim SAD und MAD unabhängig von der Höhe des jeweiligen Blutdruckes; die Unterschätzung des DAD durch den Dinamap Monitor war dagegen signifikant stärker ausgeprägt bei hohen Blutdruckwerten.

Beim **Surgivet Monitor** zeigten sich ebenfalls für alle drei Blutdruckwerte gute Korrelationen zur zentral invasiven Messung mit relativ geringer mittlerer Abweichung und Streuung (SAD $r = 0,895$, Differenz = $1,6 \pm 9,2$ mmHg; DAD $r = 0,936$, Differenz = $5,9 \pm 6,8$ mmHg; MAD $r = 0,939$, Differenz = $2,4 \pm 6,3$ mmHg). Die leichte Unterschätzung war beim DAD und MAD unabhängig von der Höhe des jeweiligen Blutdruckes; beim SAD dagegen etwas stärker bei höheren Werten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Memoprint Monitor zur Blutdruckmessung in Narkose bei Herzkreislaufpatienten nicht geeignet erscheint. Sowohl der humanmedizinische Dinamap Plus Vital Signs Monitor als auch der veterinärmedizinische Surgivet V6004 Monitor erfüllen die Guidelines der Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) oder verpassen diese nur knapp. Beide Geräte können daher gut zur Blutdrucküberwachung beim Hund in Narkose eingesetzt werden.

7 Summary

The aim of the study was to evaluate three different oscillometric non-invasive (indirect) blood pressure devices on the basis of the invasive (direct) blood pressure measurements during monitoring of anesthetized dogs. The study group was inhomogeneous and consisted of 47 patients including 40 purebred dogs and 7 mixed breed dogs of both sexes, aged 2 to 83 months and weighing 4.2 to 42.0 kg. All patients were anesthetized for interventional cardiac catheterization.

The direct blood pressure measurement was performed at two different sites: peripherally in the dorsal pedal artery and centrally in the descending aorta. Indirect oscillometric measurements were performed using the Memoprint monitor, the Surgivet V6004 monitor and the Dinamap plus vital signs monitor and were done simultaneously with the direct blood measurements. The appropriately sized cuffs were placed directly proximal to the left carpal joint at the level of the heart. Measurements of systolic, diastolic and mean arterial blood pressure (SAP, DAP, MAP) were performed at 3 different time points. The median of five simultaneous measurements obtained from the invasive and non-invasive monitors were compared using a correlation analysis and Bland-Altman diagrams.

The pressures of all three blood pressure values were within the normo- to hypotensive range (SAP 64-155 mmHg, DAP 23-106 mmHg, MAP 38-121 mmHg).

The comparison of the peripheral invasive and the central invasive measurements revealed a good correlation and minor differences of DAP ($r = 0.987$, bias = 2.0 ± 3.3 mmHg) and MAP ($r = 0.989$, bias = 1.4 ± 2.7 mmHg) values. However a lower correlation could be observed in case of the SAP ($r = 0.828$, bias = -24.3 ± 17.7 mmHg) values, whereas the overestimation of the peripheral measurements increased significantly with increasing values.

Using the **Memoprint monitor** a complete series of measurements could not be generated for two dogs.

For all three blood pressure values a moderate correlation, clear overestimation and high variance, to the central invasive measurement could be observed (SAP

$r = 0.750$, bias = -13.6 ± 17.7 mmHg; DAP $r = 0.704$, bias = -11.4 ± 13.4 mmHg; MAP $r = 0.765$, bias = -10.5 ± 12.1 mmHg). In case of the MAP, this overestimation was independent of the blood pressure level. In contrast the overestimation of the SAP and DAP was bigger at higher and lower values, respectively.

Using the **Dinamap monitor** all three blood pressure values displayed a good correlation, low bias and variance, compared to the central invasive measurement (SAP $r = 0.903$, bias = -0.6 ± 8.7 mmHg; DAP $r = 0.946$, bias = 7.2 ± 6.6 mmHg; MAP $r = 0.939$, bias = 3.1 ± 6.3 mmHg). The deviation of the MAP and SAP was independent of the blood pressure level. In contrast the observed underestimation of the DAP was bigger at higher blood pressure values.

Also the **Surgivet monitor** demonstrated good correlation with low bias and variance for all three blood pressure values (SAP $r = 0.895$, bias = 1.6 ± 9.2 mmHg; DAP $r = 0.936$, bias = 5.9 ± 6.8 mmHg; MAP $r = 0.939$, bias = 2.4 ± 6.3 mmHg). The slight underestimation of the MAP and DAP was independent of the blood pressure level, whereas the underestimation of the SAP increased at higher blood pressure values.

In conclusion, these results indicate that the Memoprint monitor is not suitable for the measurements of blood pressure in anaesthetised dogs with cardiovascular diseases. Both the Dinamap monitor, used in human medicine, and the Surgivet V6004 monitor, used in veterinary medicine, meet or miss marginally most criteria of the guidelines of the Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI). None the less, monitoring anesthetized patients can be successfully performed.

Literaturverzeichnis

1. Allen, F. M. (1923), Auscultatory estimation of the blood pressure of dogs, *J Metab Res*, 4, 431-443.
2. Anderson, L. J. and Fisher, E. W. (1968), The blood pressure in canine interstitial nephritis, *Res Vet Sci*, 9, 304-313.
3. Baum, T. and Rowles, G. (1969), Drug-induced changes in blood pressure as recorded by direct and indirect methods, *Arch Int Pharmacodyn Ther*, 177, 179-184.
4. Bayer, A. and Rheinlander, W. (1967), [Bloodless measurement of the systolic blood pressure with a novel pulse feeler in horses], *Berl Münch Tierärztl Wochenschr*, 80, 84-86.
5. Bertrand, C. A. and Pascarelli, E. F. (1974), Arm and leg blood pressures, *JAMA*, 227, 942.
6. Binns, S. H., Sisson, D. D., Buoscio, D. A., and Schaeffer, D. J. (1995), Doppler ultrasonographic, oscillometric sphygmomanometric, and photoplethysmographic techniques for noninvasive blood pressure measurement in anesthetized cats, *J Vet Intern Med*, 9, 405-414.
7. Bisgard, J. R. and Gillilan, S. W. (1973), Evaluation of an inexpensive arterial blood pressure monitor, *Vet Med/Small Anim Clin*, 68, 1005-1007.
8. Bland, J. M. and Altman, D. G. (1986), Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement, *Lancet*, 1, 307-310.
9. Bodey, A. R. and Michell, A. R. (1996), Epidemiological study of blood pressure in domestic dogs, *J Small Anim Pract*, 37, 116-125.
10. Bodey, A. R. and Michell, A. R. (1997), Longitudinal studies of reproducibility and variability of indirect (oscillometric) blood pressure measurements in dogs: evidence for tracking, *Res Vet Sci*, 63, 15-21.
11. Bodey, A. R., Michell, A. R., Bovee, K. C., Buranakurl, C., and Garg, T. (1996), Comparison of direct and indirect (oscillometric) measurements of arterial blood pressure in conscious dogs, *Res Vet Sci*, 61, 17-21.
12. Bodey, A. R., Young, L. E., Bartram, D. H., Diamond, M. J., and Michell, A. R. (1994), A comparison of direct and indirect (oscillometric) measurements of arterial blood pressure in anaesthetised dogs, using tail and limb cuffs, *Res Vet Sci*, 57, 265-269.
13. Booth, J. (1977), A short history of blood pressure measurement, *Proc R Soc Med*, 70, 793-799.
14. Branson, K. R., Wagner-Mann, C. C., and Mann, F. A. (1997), Evaluation of an oscillometric blood pressure monitor on anesthetized cats and the effect of cuff placement and fur on accuracy, *Vet Surg*, 26, 347-353.

15. Brecht, K. and Boucke, H. (1953), Ein neuer Pulsabnehmer für Kleintiere, *Naunyn Schmiedebergs Arch Exp Pathol Pharmacol*, 217, 399-400.
16. Bright, J. M. and Dentino, M. (2002), Indirect arterial blood pressure measurement in nonsedated Irish Wolfhounds: Reference values for the breed, *J Am Anim Hosp Assoc*, 38, 512-526.
17. Bruner, J. M. R., Krenis, I. J., Kunsman, J. M., and Sherman, A. P. (1981), Comparison of direct and indirect methods of measuring arterial blood pressure, *Med Instrum*, 15, 11-21.
18. Bryan-Brown, C. W. (1988), Blood flow to organs: Parameters for function and survival in critical illness, *Critical care medicine*, 16, 170-178.
19. Bunag, R. D. (1983), Facts and fallacies about measuring blood pressure in rats, *Clin Exp Hypertens*, 5, 1659-1681.
20. Busse, R. (1995), Gefäßsystem und Kreislaufregulation, 498-561. In R. F. Schmidt and G. Thews (eds.), *Physiologie des Menschen*. Springer, Berlin.
21. Carr, A. (1999), Blood pressure measurement in clinical practice. 1-5.
22. Caulkett, N. A., Cantwell, S. L., and Houston, D. M. (1998), A comparison of indirect blood pressure monitoring techniques in the anesthetized cat, *Vet Surg*, 27, 370-377.
23. Chalifoux, A., Dallaire, A., Blais, D., Lariviere, N., and Pelletier, N. (1985), Evaluation of the arterial blood pressure of dogs by two noninvasive methods, *Can J Comp Med*, 49, 419-423.
24. Chemla, D., Hebert, J. L., Aptecar, E., Mazoit, J. X., Zamani, K., Frank, R., Fontaine, G., Nitenberg, A., and Lecarpentier, Y. (2002), Empirical estimates of mean aortic pressure: advantages, drawbacks and implications for pressure redundancy, *Clin Sci (Lond)*, 103, 7-13.
25. Chia, F., Ang, A. T., Wong, T. W., Tan, K. W., Fung, K. P., Lee, J., and Khin, K. (1990), Reliability of the Dinamap non-invasive monitor in the measurement of blood pressure of ill Asian newborns, *Clin Pediatr (Phila)*, 29, 262-267.
26. Cimini, C. M. and Zambraski, E. J. (1985), Non-invasive blood pressure measurement in Yucatan miniature swine using tail cuff sphygmomanometry, *Lab Anim Sci*, 35, 412-416.
27. Cohn, J. N. (1967), Blood pressure measurement in shock, *JAMA*, 225, 1215-1218.
28. Colan, S. D., Fujii, A., Borow, K. M., MacPherson, D., and Sanders, S. P. (1983), Noninvasive determination of systolic, diastolic and end-systolic blood pressure in neonates, infants and young children: comparison with central aortic pressure measurements, *Am J Cardiol*, 52, 867-870.
29. Coulter, D. B. and Keith, J. C. (1984), Blood pressures obtained by indirect measurement in conscious dogs, *J Am Vet Med Assoc*, 184, 1375-1378.

30. Cowgill, L. D. (1991), Systemische Hypertension bei Hund und Katze, *Vet Fachspiegel*, 2, 46-52.
31. Crowe, D. T. and Spreng, D. E. (1985), Doppler assesment of blood flow and pressure in surgial and critical care patients, 113-114. *In* J. D. Bonagura (ed.), *Kirks's Current Veterinary Therapie*. W.B.Saunders Company, Philadelphia.
32. Darnall, R. A. J. (1985), Noninvasive blood pressure measurement in the neonate, *Clin Perinatol*, 12, 31-49.
33. Davis, R. F. (1985), Clinical comparson of automated auscultatory and oscillometric and catheter-transducer measurement of arterial pressure, *J Clin Monit*, 1, 114-119.
34. Diem, K. and Lentner, C. (1977), Documenta Geigy.Wissenschaftliche Tabellen, 548-550. *In* Ciba-Geigy-AG (ed.), Thieme, Stuttgart.
35. Dukes, J. (1992), Hypertension: A review of the mechanisms, manifestations, and management, *J Small Anim Pract*, 33, 119-129.
36. Eckert, R. and Randall, D. (1986), Zirkulation des Blutes, 501-524. *In* R. Eckert (ed.), *Tierphysiologie*. Thieme, Stuttgart.
37. Egner, B. (2000), Blutdruckmessung in der Kleintierpraxis: Indikation, Vorgehen, Geräte, Normalwerte, *Vök-Kardiologieseminar*, 1-4.
38. Egner, B. (2002), Blutdruck auf den Punkt gebracht. Parey Buchverlag, Berlin.
39. Engelhardt, W. V. and Hampel, K. H. (1962), Ein Gerät zur Blutdruckmessung bei den Haustieren, *Tierärztliche Umschau*, 17, 117-119.
40. Erhardt, W. and Henke, J. (1996), Blutdruckprobleme während der Anästhesie beim Hund, *Der praktische Tierarzt*, 5, 379-388.
41. Erhardt, W., Henke, J., Haberstroh, J. (2004), Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier. Schattauer, Stuttgart.
42. Erhardt, W., Henke, J., Scabell, P., Mattburger, C., and Petrowicz, O. (1998), Einsatzmöglichkeiten der Blutdruckmanschette bei Hunden, *Kleintiermedizin*, 4, 14-16.
43. Feische, A. (2002), Dissertation Ludwig-Maximilian-Universität München. Untersuchung zur Alterabhängigkeit des systolischen und diastolischen Blutdruckes beim Hund unter Verwendung einer oszillometrischen und einer Doppler-sonographischen Messmethode.
44. Felix, W. R. (1973), Ultrasound measurement of arm and leg blood pressure, *JAMA*, 226, 1096-1099.
45. Ferris, H. W. and Hynes, J. F. (1931), Indirect blood pressure readings in dogs: Description of method and report of results, *J Lab Clin Med*, 16, 597-610.

46. Freundlich, J. J., Detweiler, D. K., and Hance, E. (1972), Indirect blood pressure determination by the ultrasonic doppler technique in dogs, *Curr Ther Res*, 14, 73-80.
47. Gains, M. J., Grodecki, K. M., Jacobs, R. M., Dyson, D., and Foster, R. A. (1995), Comparison of direct and indirect blood pressure measurements in anesthetized dogs, *Can J Vet Res*, 59, 238-240.
48. Gay, C. C., McCarthy, M., Reynolds, W. T., and Carter, J. (1977), A method for indirect measurement of arterial blood pressure in the horse, *Aust Vet J*, 53, 163-166.
49. Geddes, L. A. (1986), The significance of a reference in the direct measurement of blood pressure, *Med Instrum*, 20, 331-332.
50. Geddes, L. A., Combs, W., Denton, W., Whistler, S. J., and Bourland, J. D. (1980), Indirect mean arterial pressure in the anesthetized dog, *Am J Physiol*, 238, 664-666.
51. Geddes, L. A. and Tivey, R. (1976), The importance of cuff width in measurement of blood pressure indirectly, *Cardiovasc Res Cent Bull*, 14, 69-79.
52. Geddes, L. A., Voelz, M., Combs, C., Reiner, D., and Babbs, C. F. (1982), Characterization of the oscillometric method for measuring indirect blood pressure, *Ann Biomed Eng*, 10, 271-280.
53. Glen, J. B. (1970), Indirect blood pressure measurement in anaesthetised animals, *Vet Rec*, 87, 349-354.
54. Glen, J. B. (1972), Indirect pressure measurements in unconscious horses, *Equine Vet J*, 4, 204-208.
55. Grauwiler, J., Spörri, H., and Wegmann, H. (1958), Zur graphischen Ermittlung des systolischen und diastolischen Blutdruckes bei Haustieren mittels des Infraconmikrophons und Druckmarkengebers von Brecht und Boucke, *Schweiz Arch Tierheilkd*, 100, 297-318.
56. Gravlee, G. P. and Brockschmidt, J. K. (1990), Accuracy of four indirect methods of blood pressure measurement, with hemodynamic correlations, *J Clin Monit*, 6, 284-298.
57. Green, M., Paulus, D. A., Roan, V. P., and van der Aa, J. (1984), Comparison between oscillometric and invasive blood pressure monitoring during cardiac surgery, *Int J Clin Monit Comput*, 1, 21-26.
58. Grosenbaugh, D. A. and Muir, W. W. (1998), Accuracy of noninvasive oxyhemoglobin saturation, end-tidal carbon dioxide concentration, and blood pressure monitoring during experimentally induced hypoxemia, hypotension, or hypertension in anesthetized dogs, *Am J Vet Res*, 59, 205-212.
59. Grosenbaugh, D. A. and Muir, W. W. (1999), Blutdruckmessung, *Kleintiermedizin*, 3, 123-126?

60. Grünbaum, E. G. and Bünemann, S. (1997), Prophylaxe und Therapie des postnarkotischen Nierenversagens, *Praktischer Tierarzt*, 78, 180-185.
61. Haberman, C. E., Kang, C. W., Morgan, J. D., and Brown, S. A. (2006), Evaluation of oscillometric and Doppler ultrasonic methods of indirect blood pressure estimation in conscious dogs, *Can J Vet Res*, 70, 211-217.
62. Hamilton, W. F., Pund, E. R., Slaughter, R. F., Simpson, W. A., Colson, G. M., Coleman, H. W., and Bateman, W. H. (1940), Blood pressure values in street dogs, *Am J Physiol*, 128, 113-118.
63. Hamlin, R. L., Kittleson, M. D., Rice, D., Knowlen, G., and Seyffert, R. (1982), Noninvasive measurement of systemic arterial pressure in dogs by automatic sphygmomanometry, *Am J Vet Res*, 43, 1271-1273.
64. Hansen, B. (1995), Blood pressure measurement, 110-112. In J. D. Bonagura (ed.), *Kirks's Current Veterinary Therapie XII*. W.B.Saunders Company, Philadelphia.
65. Harvey, J., Falsetti, H., Copper, P., and Downing, D. (1983), Auscultatory indirect measurement of blood pressure in dogs, *Lab Anim Sci*, 33, 370-372.
66. Haskins, S. C. (1992), Monitoring, 157-188. In R. R. Paddlefort and W. Erhardt (eds.), *Anästhesie bei Kleintieren*. Schattauer, Stuttgart.
67. Hauk, K., Schatzmann, U., Lauk, H. D., and von Plocki, K. A. (1987), Die indirekte Blutdruckmessung: Untersuchungen beim Kolikpferd, *Pferdeheilkunde*, 3, 323-331.
68. Henke, J., Pragst, I., Zahn, P., Egner, B., and Erhardt, W. (2000), Vergleich der oscillometrischen mit der intraarteriellen Blutdruckmessung am anästhesierten Hund, *Kleintierpraxis*, 45, 661-666.
69. Horii, D. and Higuchi, T. (1985), A device for indirect measurement of blood pressure in conscious dogs, *Tohoku J Exp Med*, 146, 479-480.
70. Hunter, J. S. J., McGrath, C. J., Thatcher, C. D., Remillard, R. L., and McCain, W. C. (1990), Adaptation of human oscillometric blood pressure monitors for use in dogs, *Am J Vet Res*, 51, 1439-1442.
71. Kaindl, F., Polzer, K., and Schuhfried, F. (1959), Rheographie: eine Methode zur Beurteilung peripherer Gefäße, In Steinkopf, Darmstadt.
72. Kallet, A. J., Cowgill, L. D., and Kass, P. H. (1997), Comparison of blood pressure measurements obtained in dogs by use of indirect oscillometry in a veterinary clinic versus at home, *J Am Vet Med Assoc*, 210, 651-654.
73. Kallet, A. J., Madera, C., Cowgill, L. D., and Kass, P. H. (1992), Comparison of direct arterial and indirect oscillometric measurement of blood pressure in conscious dogs, *J Vet Intern Med*, 6, 116.

74. Kanai, H., Iizuka, M., and Sakamoto, K. (1970), One of the problems in the measurement of blood pressure by catheter-insertion: wave reflection at the tip of the catheter, *Med Biol Eng*, 8, 483-496.
75. Kar, S., Drury, J. K., Tokioka, H., Meerbaum, S., and Corday, E. (1989), Experimental evaluation of a new transducer tipped catheter, *Indian Heart J*, 41, 213-220.
76. Katz, J. I., Skom, J. H., and Wakerlin, G. E. (1957), Pathogenesis of spontaneous and pyelonephritic hypertension in the dog, *Circ Res*, 5, 137-143.
77. Kazamias, T. M., Gander, M. P., Franklin, D. L., and Ross, J. J. (1971), Blood pressure measurement with Doppler ultrasonic flowmeter, *J Appl Physiol*, 30, 585-588.
78. Kirkendall, W. M., Feinleib, M., Freis, E. D., and Mark, A. L. (1980), Recommendations for human blood pressure determination by sphygmomanometers. Subcommittee of the AHA Postgraduate Education Committee, *Circ*, 62, 1146-1155.
79. Kittleson, M. D. (1998), *Small animal cardiovascular medicine*. Mosby, St. Louis.
80. Kittleson, M. D. and Olivier, N. B. (1983), Measurement of systemic arterial blood pressure, *Vet Clin North Am Small Anim Pract*, 13, 321-336.
81. Klevans, L. R., Hirkaler, G., and Kovacs, J. L. (1979), Indirect blood pressure determination by Doppler technique in renal hypertensive cats, *Am J Physiol*, 237, 720-723.
82. Kluge, H. (1968), Dissertation Freie Universität Berlin. Der Einfluß der Manschettenbreite auf die ermittelte Druckhöhe bei der Blutdruckmessung am Hund.
83. Kobayashi, D. L., Peterson, M. E., Graves, T. K., Lesser, M., and Nichols, C. E. (1990), Hypertension in cats with chronic renal failure or hyperthyroidism, *J Vet Intern Med*, 4, 58-62.
84. Kolb, E. (1962), Herz und Kreislauf, 433-488. In E. Kolb (ed.), *Lehrbuch der Physiologie der Haustiere*. VEB G. Fischer, Jena.
85. Kolls, A. C. (1920), An indirect method for the determination of blood pressure in the unanesthetized dog, *J Pharmacol Exp Ther*, 15, 443-452.
86. Kühn, A., Schmidtke, H.-O., and Schmidtke, D. (1979), Unblutige Blutdruckmessung an unседierten Hunden, *Kleintierpraxis*, 24, 81-84.
87. Kutz, S. A., Detweiler, D. K., Cimprich, R. E., Smith, S. G., and DeBaecke, P. J. (1985), Evaluation of a direct blood pressure measurement technique for canine toxicity studies, *Fundam Appl Toxicol*, 5, 391-398.

88. Kwart, C. (1979), An ultrasonic method for indirect blood pressure measurement in the horse, *J Equine Med Surg*, 3, 16-23.
89. Littman, M. P. and Drobatz, K. J. (1995), Hypertensive and Hypotensive disorders, 93-100. *In* S. J. Ettinger and E. C. Feldmann (eds.), Textbook of veterinary internal medicine. WB Saunders, Philadelphia.
90. Littman, M. P., Robertson, J. L., and Bovee, K. C. (1988), Spontaneous systemic hypertension in dogs: five cases (1981-1983), *J Am Vet Med Assoc*, 193, 486-494.
91. Ludders, J. W., Reitan, J. A., Martucci, R., Fung, D. L., and Steffey, E. P. (1983), Blood pressure response to phenylephrine infusion in halothane-anesthetized dogs given acetylpromazine maleate, *Am J Vet Res*, 44, 996-999.
92. Mahoney, L. T. and Brody, M. J. (1978), A method for indirect recording of arterial pressure in the conscious cat, *J Pharmacol Meth*, 1, 61-66.
93. Mann, W. A., Landi M. S., Horner, E., Woodward, P., Campbell, S., Kinter, L. B. (1987), A simple procedure for direct blood pressure measurement in conscious dogs, *Lab Anim Sci*, 37, 105-108.
94. McCubbin, J. W. and Corcoran, A. C. (1953), Arterial pressures in street dogs: incidence and significance of hypertension, *Proc Soc Exp Biol Med*, 84, 130-131.
95. McGrath, C. J., Brunson, D. B., Burke, P. A., and Crimi, A. J. (1977), Clinical application of indirect blood pressure monitoring in the dog, *Canine Practice*, 4, 28-38.
96. McLeish, I. (1977), Doppler ultrasonic arterial pressure measurement in the cat, *Vet Rec*, 100, 290-291.
97. McMurphy, R. M., Stoll, M. R., and McCubrey, R. (2006), Accuracy of an oscillometric blood pressure monitor during phenylephrine-induced hypertension in dogs, *Am J Vet Res*, 67, 1541-1545.
98. Meier, D. (1991), Dissertation Universität Wien. Untersuchungen zur Kreislaufüberwachung narkotisierter Kleintiere mit einem Gerät zur nichtinvasiven Blutdruckmessung, das Oszillometrie und Photoplethysmographie kombiniert.
99. Meurs, K. M., Miller, M. W., and Slater, M. R. (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.
100. Meurs, K. M., Miller, M. W., Slater, M. R., and Glaze, K. (2000), Arterial blood pressure measurement in a population of healthy geriatric dogs, *J Am Anim Hosp Assoc*, 36, 497-500.
101. Mishina, M., Watanabe, T., Fujii, K., Maeda, H., Wakao, Y., and Takahashi, M. (1997), A clinical evaluation of blood pressure through non-invasive

- measurement using the oscillometric procedure in conscious dogs, *J Vet Med Sci*, 59, 989-993.
102. Müller, L. F. (1963), Der psychische Einfluss auf den Blutdruck des Hundes, *Tierärztl Umsch*, 18, 296-304.
 103. Murray, I. P. (1981), Complications of invasiv monitoring, *Med Instrum*, 15, 85-89.
 104. Newman, D. L. and Greenwald, S. E. (1980), Analysis of forward and backward pressure waves by a total-occlusion method, *Med Biol Eng Comput*, 18, 241-245.
 105. Niederhagen, T. (2003); Dissertation Freie Universität Berlin. Blutdruckmessung an gesunden und kranken Katzen-Methodenvergleich, Hypertonievorkommen und Therapie.
 106. O'Brien, E., Fitzgerald, D., and O'Malley, K. (1985), Blood pressure measurement: current practice and future trends, *BMJ*, 290, 729-733.
 107. Pace, N. L. and East, T. D. (1991), Simultaneous comparison of intraarterial, oscillometric, and Finapres monitoring during anesthesia, *Anest Analg*, 73, 213-220.
 108. Park, M. K. and Menard, S. M. (1987), Accuracy of Blood Pressure Measurement by the Dinamap Monitor in Infants and Children, *Pediatrics*, 79, 907-914.
 109. Parry, T., Hirsch, N., and Fauvel, N. (1995), Comparison of direkt blood-pressure measurement at the radial and dorsalis-pedis arteries during surgery in horizontal and reverse tendelenburg positions, *Anaesthesia*, 50, 553-555.
 110. Pascarelli, E. F. and Bertrand, C. A. (1964), Comparison of blood pressure in the arms and legs, *N Engl J Med*, 270, 693-698.
 111. Pascoe, P. J., Ilkiw, J.E., and Cowgill, L.D. (1994), Concerned about renal failure after anesthesia/surgery., *J Am Vet Med Assoc*, 204, 1734.
 112. Pettersen, J. C., Linartz, R. R., Hamlin, R. L., and Stal, R. F. (1988), Noninvasive measurement of systemic arterial blood pressure in the conscious Beagle dog, *Fundam Appl Toxicol*, 10, 89-97.
 113. Pillosoff, V., Schröder, J. G., Peters, D., and Bühlmeier, K. (1985), Non-invasive oscillometric measurement of systolic, mean and diastolic blood pressure in infants with congenital heart defects after operation. A comparison with direct blood pressure measurements, *Eur J Pediatr*, 144, 324-330.
 114. Podell, M. 1992. Use of blood pressure monitors, 834-837. In R. W. Kirk and J. D. Bonagura (eds.), *Kirks's Current Veterinary Therapy XI*. W.B.Saunders, Philadelphia, PA.
 115. Prioli, N. A. and Winbury, M. M. (1960), Indirect method for blood pressure determination in the dog, *J Appl Physiol*, 15, 323-324.

116. Raftery, E. B. (1991), Technical aspects of blood pressure measurement, 55-71. *In* E. O'Brien and K. O'Malley (eds.), *Handbook of Hypertension*. Elsevier, Amsterdam.
117. Ramsey, M. (1979), Noninvasive automatic determination of mean arterial pressure, *Med Biol Eng Comput*, 17, 11-18.
118. Romanoli, A. (1952), Sull'impiego dell'elettromanometro e dell'elettropletismographo in medicina veterinaria, *Atti Soc Ital Sci Vet*, 6, 334-338.
119. Romanoli, A. (1953), A comparative study of blood pressure measurement in dogs, *Cornell Vet*, 43, 161.
120. Romanoli, A. (1956), Indirekt blood pressure measurement in sheep and goats employing the electronic plethysmograph: Validation against capacitance Manometer, *Br Vet J*, 112, 247-252.
121. Ross, L. A. 1985. Endocrine Hypertension, 309-313. *In* J. D. Bonagura (ed.), *Kirk's Current Veterinary Therapie XIII*. W.B.Saunders, Philadelphia.
122. Rothe, C. F. and Kim, K. C. (1980), Measuring systolic arterial blood pressure. Possible errors from extension tubes or disposable transducer domes, *Crit Care Med*, 8, 683-689.
123. Rueger, M. J. (1951), Blood pressure variations in the two arms, *Ann Intern Med*, 35, 1023-1027.
124. Rule, C. (1943), A simple auscultatory technique for the estimation of the blood pressure measurement of dogs, *J Lab Clin Med*, 8, 97-98.
125. Sachs, L. (1999), *Angewandte Statistik*. Springer, Berlin.
126. Sander, C. (1997), Dissertation Ludwig-Maximilian-Universität München. Indirekte Blutdruckmessung mit der oszillometrischen und der Dopplersonographischen Methode bei gesunden Katzen und bei Katzen mit Diabetes mellitus, chronischer Nephropathie und Hypertropher Kardiomyopathie.
127. Sander, C., Kolb, S., Hörauf, A., and Reusch, C. (1996), Indirekte Blutdruckmessungen bei gesunden Hunden und Katzen, *Kleintierpraxis*, 41, 5-17.
128. Sawyer, D. C., Brown, M., Striler, E. L., Durham R. A., Langham, M. A., and Rech, R. H. (1991), Comparison of direkt and indirekt blood pressure measurement in aesthetized dogs, *Lab Anim Sci*, 41, 134-138.
129. Sawyer, D. C., Guikema, A. H., and Siegel, E. M. (2004), Evaluation of a new oscillometric blood pressure monitor in isoflurane-anesthetized dogs, *Vet Anaesth Analg*, 31, 27-39.
130. Schmidt-Oechtering, G. U. and Trautvetter, E. (1987), Narkoseüberwachung bei Hund und Katze, *Report*, 25, 15-23.

131. Schmidtke, H.-O., Schmidtke, D., and Kühn, U. (1977), Unblutige Blutdruckmessung bei sedierten und anästhesierten Hunden und Katzen, *Kleintierpraxis*, 22, 14-19.
132. Schmiegl, L. F. M. (2002), Dissertation Ludwig-Maximilian-Universität München. Vergleich zweier indirekter Blutdruckmessmethoden an gesunden und kranken Hunden.
133. Schneider, I. (1999), Dissertation Justus-Liebig-Universität Giessen. Vergleich der indirekten arteriellen Blutdruckmessung mittels zweier oszillometrisch messender Blutdruckmonitore mit der direkten Blutdruckmessung beim Hund.
134. Schneider, I., Neu, H., and Schneider, M. (1999), Blutdruckmessung bei Hund und Katze, *Praktischer Tierarzt*, 4-10.
135. Schneider, M. (1997), Dissertation Justus-Liebig-Universität Giessen. Vergleichende Untersuchungen zur Wertigkeit der klassisch-kardiologischen Untersuchung und der Ultraschalluntersuchung in der Diagnostik von Herzmißbildungen beim Hund.
136. Schragel, I. (1989), Dissertation Universität Wien. Untersuchungen zur indirekten Blutdruckmessung am Hund mit einem oszillometrisch arbeitenden Blutdruckmessgerät.
137. Scully, P., Chan, P. S., and Cervoni, P. (1983), A method of measuring direct arterial blood pressure, *Canine Pract*, 10, 24-33.
138. Seldinger, S. I. (1953), Catheter Replacement of the needle in percutaneous arteriography, *Acta Radiol*, 39, 368-376.
139. Sheppard, L. C. (1971), Controlled study of brachial artery blood pressure measured by a new indirect method, *Med Instrum*, 5, 297-301.
140. Shimazu, H., Kobayashi, H., Yamakoshi, K., and Ito, H. (1986), Idea to measure diastolic arterial pressure by volume oszillometric method in human fingers, *Med Biol Eng Comput*, 24, 549-554.
141. Spangler, W. L., Gribble, D. H., and Weiser, M.-G. (1977), Canine Hypertension: A Review, *JAVMA*, 170, 995-998.
142. Sparkes, A. H. (1999), Hypertension in the cat. Proceedings Voorjaarsdaggen.
143. Spencer, M. P. and Denison, A. B. (1963), Pulsatile flow in the vascular system, 839-864. *In Handbook of physiology*.
144. Spörri, H. 1987. Blutkreislauf, 209-301. *In* A. Scheunert and A. Trautmann (eds.), *Lehrbuch der Veterinärphysiologie*. Paul Parey, Berlin.
145. Spreng, D. E., Spreng, R., Kirby R., and Schawalder, P. (1996), Überwachung des Notfall- und Intensivpatienten: Einfache diagnostische Hilfsmittel, *Schweiz Arch Tierheilkd*, 138, 537-545.

146. Stegall, H. F., Rushmer, R. F., and Baker, D. W. (1966), A transcutaneous ultrasonic blood-velocity meter, *J Appl Physiol*, 21(2), 707-711.
147. Stepien, R. L. (2000), Blood pressure measurement in dogs and cats, *In Pract*, 3, 136-145.
148. Stepien, R. L. and Rapoport, G. S. (1999), Clinical comparison of three methods to measure blood pressure in nonsedated dogs, *J Am Vet Med Assoc*, 215, 1623-1628.
149. Stepien, R. L., Rapoport, G. S., Henik, R. A., Wenholz, L., and Thomas, C. B. (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.
150. Stokes, D. N., Clutton-Brock, T., Patil, C., Thompson, J. M., and Hutton, P. (1991), Comparison of invasive and non-invasive measurement of continuous arterial pressure using the finapres, *Br J Anaesth*, 67, 26-35.
151. Stroemberg, B. and Story, E. (1972), Ultrasonic indirect blood pressure recordings in the dog, *Acta Radiol Suppl Stockh*, 319, 287-289.
152. Syme, H. M., Barber P. J., Markwell, P. J., and Elliott, J. (2002), Prevalence of systolic hypertension in cats with chronic renal failure at initial evaluation, *J Am Vet Med Assoc*, 220, 1799-1804.
153. Tabaru, H., Watanabe, H., Tanaka, M., and Nakama, S. (1990), Non-invasive measurement of systemic arterial pressure by Finapres in anaesthetized dogs, *Jap J Vet Sci*, 52, 427-430.
154. Taylor, P. M. (1981), Techniques and clinical application of arterial blood pressure measurement in the horse, *Equine Vet J*, 13, 271-275.
155. Tenhündfeld, J. (2002), Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover. Plazebokontrollierte und randomisierte Studie zur Therapie der chronischen Niereninsuffizienz der Hundes mit Benazepril und Heparin.
156. Tipett, F. E., Padgett, G. A., Blanchard, G., Bett, T., and Eyster, G. (1987), Primary hypertension in a colony of dogs, *Hypertension (Supplement I)*, 9, 49-59.
157. Toll, M. O. (1984), Direct blood-pressure measurements: risks, technological evolution and some current problems, *Med Biol Eng Comput*, 22, 2-5.
158. Valtonen, M. H. and Eriksson, L. M. (1970), The effect of cuff width on accuracy of indirect measurement of blood pressure in dogs, *Res Vet Sci*, 11, 358-362.
159. van Bergen, F. H., Weatherhead, D. S., Treloar, A. E., Dobkin, A. B., and Bruckley, J. J. (1954), Comparison of indirect and direct methods of measuring arterial blood pressure, *Circ*, 10, 481-490.

160. van de Sandt, R. R., Stades, F. C., Boeve, M. H., and Stokhof, A. A. (2003), [Arterial hypertension in the cat. A pathobiologic and clinical review with emphasis on the ophthalmologic aspects], *Tijdschr Diergeneeskd*, 128, 2-10.
161. Vincent, I. C., Michell, A. R., and Leahy, R. A. (1993), Non-invasive measurement of arterial blood pressure in dogs: a potential indicator for the identification of stress, *Res Vet Sci*, 54, 195-201.
162. Voelz, M. (1981), Measurement of the blood-pressure constant k, over a pressure range in the canine radial artery, *Med Biol Eng Comput*, 19, 535-537.
163. von Recklinghausen, H. (1906), Unblutige Blutdruckmessung, *Unblutige Blutdruckmessung*, 55, 375-504.
164. Weiser, M.-G., Spangler, W. L., and Gribble, D. H. (1977), Blood pressure measurement in the dog, *JAVMA*, 171, 364-368.
165. Werner, J. (1972), Methodische Untersuchungen zur unblutigen Messung des Blutdruckes beim Hund, *Zentralbl Veterinarmed B*, 19, 142-176.
166. Werner, J. (1980), Kritik dreier Methoden zur unblutigen Messung des Blutdruckes bei Tieren, *Kleintierpraxis*, 25, 485-494.
167. Werner, J. and Schäffer, E. (1984), Ein neues Gerät zur unblutigen Blutdruckmessung und zur Pulskontrolle für Operationsüberwachung an Tieren, *Kleintierpraxis*, 22, 50-54.
168. Wessale, J. L., Smith, C. R., Reid M., Janas, W., Carter, A. B., and Geddes, L. A. (1985), Indirect auscultatory systolic and diastolic pressures in the anesthetized dog, *Am J Vet Res*, 46, 2129-2132.
169. Westerhof, N., Sipkema, P., van den Bos, G. C., and Elzinga, G. (1972), Forward and backward waves in the arterial system, *Cardiovasc Res*, 6, 648-656.
170. Wetterer, E., Bauer, R. D., and Busse, R. (1985), Bau und Funktion des Gefäßsystems, 6.01-6.63. In W. D. Keidel (ed.), *Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie*. Thieme, Stuttgart.
171. Wilcox, L. D., Passi, R., Sales, J., Copeland, L., and Simpson, D. (1974), Blood pressure by auscultation over the carotid artery of the dog, *J Surg Res*, 17, 338-340.
172. Wilson, R. B. and Clarke, T. J. (1964), Indirect measurement of systolic blood pressure in dogs by use a xylol pulse indicator, *JAVMA*, 144, 981-984.
173. Zingg, W., Baines, W. D., and Mathur, A. N. (1968), Errors in intra-arterial blood-pressure measurements, *Can J Surg*, 11, 93-96.

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn PD Dr. M. Schneider für die Überlassung des interessanten Themas, aber auch für die exzellente Betreuung, die wertvollen Ratschläge und die immer bestehende Diskussionsbereitschaft.

Herrn Prof. Dr. E.-G. Grünbaum möchte ich für die herzliche Aufnahme in die Medizinische und Gerichtliche Veterinärklinik I (heute Klinik für Kleintiere, Innere Medizin und Chirurgie) der Justus Liebig Universität danken.

Ein großer Dank geht auch an alle Mitarbeiter der Klinik für Kleintiere, die mir freundschaftlich jederzeit zur Seite standen und mir bei der Durchführung der Blutdruckmessung geholfen haben.

Herrn Dr. K. Failing danke ich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Ich möchte meinem Freund Dr. Leif Steil danken, der mir immer wieder den Rücken gestärkt hat.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Eltern, die mich auf vielfältige Weise im Studium und in allen Phasen dieser Dissertation unterstützt haben, insbesondere an meinen Vater für die endlose Geduld bei statistischen Problemen.



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
ST AU FEN BER GRING 15
D - 3 5 3 9 6 G I E S S E N

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

ISBN 3-8359-5229-3



9 7 8 3 8 3 5 1 9 5 2 2 9 4