

Aus der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

**AUSMAß DER HYPOTHERMIE UND HYPOTHERMIEPRÄVENTION  
BEI HUNDEN IN ALLGEMEINNARKOSE**

**Evaluation eines Infusionswärmers aus der Humanmedizin als  
Wärmekonzept beim Kleintier**

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

vorgelegt von  
Maria Somerkoski  
Tierärztin aus Lohja (Finnland)

Berlin 2008

Journal-Nr. 3231

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.- Prof. Dr. Leo Brunnberg  
Erster Gutachter: Univ.- Prof. Dr. Leo Brunnberg  
Zweiter Gutachter: Univ.- Prof. Dr. Klaus Osterrieder  
Dritter Gutachter: Univ.- Prof. Dr. Michael Schmidt

*Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):*  
dogs, anaesthesia, hypothermia, clinical aspects, fluid therapy

Tag der Promotion: 24.11.2008

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-86664-685-8

**Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2008**

Dissertation, Freie Universität Berlin

**D 188**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

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

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

This document is protected by copyright law.

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

alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© mensch und buch verlag 2009

choriner str. 85 - 10119 berlin

verlag@menschundbuch.de – [www.menschundbuch.de](http://www.menschundbuch.de)

Meinen Eltern

---



**Inhalt**

<b>A.</b>	<b>Einleitung</b>	1
<b>B.</b>	<b>Literaturübersicht</b>	2
1.	Physiologie und Pathophysiologie des Wärmehaushalts und der Thermoregulation	2
1.1.	Allgemeines	2
1.2.	Wärmehaushalt und Thermoregulation beim wachen Tier	3
1.2.1.	Temperaturfelder des Körpers	3
1.2.2.	Wärmehaushalt	3
1.2.2.1.	Wärmebildung (chemische Regulation)	4
1.2.2.2.	Wärmeabgabe	4
1.3.	Einflüsse auf die Körperkerntemperatur	7
1.3.1.	Körpermassen –Volumen Verhältnis	7
1.3.2.	Tageszeit	8
1.3.3.	Nahrungsaufnahme	8
1.3.4.	Alter	8
1.3.5.	Hormoneller Einfluss	8
1.3.6.	Körperliche Aktivität	8
1.4.	Thermoregulation	9
1.4.1.	Begriffsbestimmungen	9
1.4.2.	Komponenten des Regelsystems und deren Lokalisation	9
1.4.3.	Kurz- und langfristige physiologische Reaktionen auf Temperatur- schwankungen im Rahmen der Wärme- und Kälteakklimatisation	10
1.4.4.	Regelgrenzen und Schwellenänderungen	12
2.	Hypothermie	13
2.1.	Definition und Allgemeines	13
2.2.	Vorkommen und Prädisposition	14
2.3.	Auswirkungen der Hypothermie auf den Organismus	16
2.3.1.	Einteilung der Hypothermie nach Temperaturbereichen	16
2.3.2.	Einteilung nach pathophysiologischen Mechanismen	17
2.3.2.1.	Zentrales Nervensystem	17
2.3.2.2.	Sympathisches Nervensystem	17
2.3.2.3.	Kardiovaskuläres System	17
2.3.2.4.	Respirationstrakt	19
2.3.2.5.	Blutgerinnung	19
2.3.2.6.	Immunsystem	20
2.3.2.7.	Stoffwechselstörungen und Homöostase	21

## II

2.3.2.8.	Pharmakokinetik	23
2.3.2.9.	Protektive Eigenschaften der Hypothermie	23
2.3.2.10.	Patientenkomfort	24
3.	Wärmehaushalt und Thermoregulation unter Allgemeinnarkose	24
3.1.	Perioperative Wärmebilanz	24
3.2.	Ursachen für den perianästhetischen und perioperativen Wärmeverlust	26
3.2.1.	Allgemeinanästhesie	26
3.2.2.	Maschinelle Beatmung	26
3.1.2.3.	Flüssigkeitstherapie	27
3.2.4.	Umgebungsbedingungen	27
3.2.5.	Stoffwechsel	28
3.2.6.	Körpermasse und –oberfläche	28
3.2.7.	Alter	29
3.2.8.	Anästhetische und operative Verfahren	29
4.	Temperatur- Monitoring	30
4.1.	Definitionen	30
4.2.	Allgemeines	30
4.3.	Temperaturmessgeräte in der Medizin	31
4.3.1.	Maximum-Thermometer	31
4.3.1.1.	Quecksilberthermometer	31
4.3.1.2.	Digitalthermometer	32
4.3.2.	Infrarotthermometer	32
4.3.3.	Elektronische Temperaturmessung	32
4.3.3.1.	Thermocouples	33
4.3.3.2.	Widerstandsthermometer / Thermistor	33
4.3.3.3.	Flüssigkristalle	33
4.3.	Messorte	33
4.4.1.	Genauere Messorte	33
4.4.1.1.	Pulmonalarterie	33
4.4.1.2.	Speiseröhre	33
4.4.1.3.	Gehörgang / Trommelfell	34
4.4.2.	Annehmbare Messorte	34
4.4.2.1.	Harnblase	34
4.4.2.3.	Rektum	34
4.4.3.	Hautoberflächentemperatur	35

5.	Maßnahmen zur Prävention und Therapie einer perioperativen Hypothermie	35
5.1.	Allgemeines	35
5.2.	Passive Erwärmung	35
5.2.1.	Raumklima	35
5.2.2.	Isolierung	36
5.2.3.	Vermeidung von Verdunstungsflächen	36
5.2.4.	Artificial nose (HME)	36
5.2.5.	Glashauseffekt	37
5.3.	Aktive Erwärmung	37
5.3.1.	Aktive externe Erwärmung	37
5.3.1.1.	Konvektives Erwärmen	38
5.3.1.2.	Warmwassermatratzen	38
5.3.1.3.	Heizbare OP-Tische	39
5.3.1.4.	Elektrische Heizdecken	39
5.3.1.5.	Hot Packs, Hot Hands, warme Wasserflaschen	40
5.3.1.6.	Wärmestrahler	40
5.3.1.7.	Weitere Methoden	41
5.3.2.	Aktive interne Erwärmung	41
5.3.2.1.	Erwärmen/Anfeuchten der Atemgase	41
5.3.2.2.	Körperhöhlenlavagen	41
5.3.2.3.	Gastrointestinale Lavagen	42
5.3.2.3.	Extrakorporale Erwärmung (Dialyse)	42
5.3.2.4.	Anwärmen von Infusionslösungen	43
5.3.2.5.	Ösophagealer Wärmetauscher	45
5.3.2.6.	Infusion von Aminosäuren und Fructoselösungen	45
6.	Gefahren der Wiedererwärmung	45
6.1.	Allgemeines	45
6.2.	Afterdrop	45
6.3.	Schock durch Wiedererwärmen	46
6.4.	Reperfusionsschäden	46
6.5.	Hyperthermie, Verbrennungen, Hämolyse	46
6.6.	Bakterielle Kontamination von Infusionslösungen	47
<b>C.</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>48</b>
1.	Material	48
1.1.	Patienten	48
1.2.	Geräte	51

## IV

1.3.	Medikamente/Chemikalien	54
1.4.	Verbrauchsmaterial	54
1.5.	Datenbank, Statistik	54
2.	Methode	54
2.1.	Narkoseregime	55
2.2.	Temperatur-Monitoring und Wärmemanagement	55
2.3.	Erfassung der Umgebungstemperaturen sowie der Temperatur der Infusionslösungen	56
2.4.	Patientenverwaltung und statistische Auswertung	56
<b>D.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>58</b>
1.	Patienten	58
1.1.	Rassen	58
1.2.	Alter	59
1.3.	Geschlecht	59
1.4.	Körpermasse und Ernährungszustand	60
1.5.	Haarkleid	61
1.6.	Art der Operation	61
1.7.	Anästhesietoleranz der Patienten ( ASA-Gruppen)	62
2.	Einflussfaktoren der Entwicklung der perianästhetischen Hypothermie	63
2.1.	Umgebungstemperaturen im Operationssaal	63
2.2.	Anästhesiedauer	63
2.3.	Medikamente	68
2.4.	Operationsvorbereitung	68
2.4.1.	Waschung vor der Operation	68
2.4.2.	Abdeckung	70
2.4.3.	Feuchte Körperoberfläche, feuchte Operationstücher	70
2.5.	Patientenfaktoren	71
2.5.1.	Alter	71
2.5.2.	Geschlecht	71
2.5.3.	Gewicht	71
2.5.4.	Haarkleid	73
2.5.5.	Nahrungsaufnahme	76
2.5.6.	Grunderkrankungen	76
2.6.	Wärmemaßnahmen	77
3.	Messreihe der Körperkerntemperatur	80
3.1	Rektaltemperatur der Hunden bei der Voruntersuchung und bei der Narkoseinduktion	80



3.2.	Deskriptive Darstellung der perianästhetischen Körperkerntemperatur der Patienten in verschiedenen operativen Eingriffen	80
3. 2. 1.	Weichteiloperationen	80
3. 2. 2.	Orthopädische Operationen	82
3. 2. 3.	Ruptur des Ligamentum cruciatum craniale	83
3. 2. 4.	Totalendoprothese ( TEP ) des Hüftgelenks	84
3. 2. 5.	Arthrodese	85
3. 2. 6.	Wirbelsäulenoperationen	86
3..3	Hypothermie	87
3.3.1.	Grad der Hypothermie 60 Minuten nach der Narkoseeinleitung	87
3.3.2.	Grad der Hypothermie am Zeitpunkt der Extubation	88
3.4.	Korrelation von rektalen und ösophagealen Meßergebnissen	89
4.	Aufwachphase	90
4.1.	Dauer der Aufwachphase im Bezug auf Narkoseende und Extubation	90
4.2.	Aufwachverhalten der Patienten	91
4.3.	Hyperthermie	92
4. 4.	Temperaturen der Auwachräumen / Ställe	92
4.5.	Afterdrop	92
4. 6.	Wärmeschäden	92
<b>E.</b>	<b>Diskussion</b>	92
1.	Allgemeines	93
2.	Einfluss der Patientenfaktoren auf die Entwicklung perianästhetischen Hypothermie	93
3.	Einfluss der Umgebungsfaktoren auf die Entwicklung perianästhetischer Hypothermie	95
4.	Analyse der Temperaturmonitorin	97
5.	Perioperative Temperaturentwicklung und Einfluss des Infusionswärmers auf den Wärmehaushalt	98
6.	Aufwachphase	99
7.	Schlußfolgerung	100
<b>F.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	102
<b>G.</b>	<b>Summary</b>	104
<b>H.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	106
	<b>Danksagung</b>	122
	<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	124

**Tabellen**

<b>Tabelle 1</b>	Primäre und sekundäre Hypothermie nach ONCKEN et al. 2001	13
<b>Tabelle 2</b>	Kontrollgruppe (Patientennummer und Signalement: Rasse, Alter, Geschlecht, Gewicht, operativer Eingriff und Narkoseklasse (ASA I-V)	49
<b>Tabelle 3</b>	Behandlungsgruppe (Patientennummer und Signalement: Rasse, Alter, Geschlecht, Gewicht, operativer Eingriff und Narkoseklasse (ASA I-V)	50
<b>Tabelle 4</b>	Übersicht über die der Studie beteiligten Hunderassen und deren Anzahl	58
<b>Tabelle 5</b>	Geschlechtsverteilung	59
<b>Tabelle 6</b>	Gewichtverteilung	60
<b>Tabelle 7</b>	Gewichtgruppen	60
<b>Tabelle 8</b>	Ernährungszustand der Tiere (Anzahl und prozentuelles Anteil)	60
<b>Tabelle 9</b>	Charakterisierung des Felles	61
<b>Tabelle 10</b>	Anzahl der operativen Eingriffen bei Patienten in der Kontroll- und Behandlungsgruppe	62
<b>Tabelle 11</b>	Narkoserisiko der Tiere der Studie entsprechend der ASA-Klassifikation nach Sawyer 1982/Erhardt 1988/Gilroy 1992/Erhardt 2002	62
<b>Tabelle 12</b>	Darstellung der Umgebungstemperaturen im Operationssaal	63
<b>Tabelle 13</b>	Dauer von der Induktion bis zur Extubation	63
<b>Tabelle 14</b>	Dauer der Operation bei den Patienten und Tieren der Kontrollgruppe	64
<b>Tabelle 15</b>	Maßnahmen der Operationsvorbereitung	68
<b>Tabelle 16</b>	Körperkerntemperaturen nach 60 Minuten nach Narkoseeinleitung	72
<b>Tabelle 17</b>	Körperkerntemperatur bei Extubation	72
<b>Tabelle 18</b>	Temperaturdifferenzen in Relation zum Anfangswert während des gesamten Messvorganges in °C	78
<b>Tabelle 19</b>	Rektaltemperatur bei Voruntersuchung und bei der Narkoseeinleitung	80
<b>Tabelle 20</b>	Temperaturdifferenz zwischen Narkoseinduktion und Extubation (Weichteiloperationen)	82
<b>Tabelle 21</b>	Temperaturdifferenz zwischen Narkoseinduktion und Extubation bei Patienten mit Ruptur des Ligamentum cruciatum craniale	84
<b>Tabelle 22</b>	Temperaturdifferenz zwischen Narkoseinduktion und Extubation bei Patienten mit Implantation eines künstlichen Hüftgelenkes	85

<b>Tabelle 23</b>	Entwicklung des perianästhetischen Hypothermiegrades betrachtet in zwei Zeitpunkten	89
<b>Tabelle 24</b>	Zeit vom Operationsende zur Extubation in Minuten	91

**Abbildungen**

<b>Abb. 1</b>	Infusionswärmesystem Barkey 3XPT® mit Steuergerät Autocontrol 3XPT®, sowie Wärmeelement Barkey autoline® XPT Version 1.0®	51
<b>Abb. 2</b>	Tragbarer Patientenüberwachungsautomat Siemens SC 6000 Portable Patient Monitor® mit der Thermistorsonde am Vordergrund des Bildes	52
<b>Abb. 3</b>	MCM 500 Infusionspumpe	53
<b>Abb. 4</b>	Microlife Digitalthermometer	53
<b>Abb. 5</b>	Altersverteilung der Patienten	59
<b>Abb. 6</b>	Ernährungszustand des Patientengutes	61
<b>Abb. 7</b>	Darstellung der Temperaturentwicklung bei unterschiedlicher Operationsdauer	
	a) Die Körpertemperaturentwicklung bei einer Operationsdauer weniger als 90 Minuten	65
	b) Die Körpertemperaturentwicklung bei einer Operationsdauer von 90 bis zu 120 Minuten	66
	c) Die Körpertemperaturentwicklung bei einer Operationsdauer länger als 120 Minuten	67
<b>Abb. 8</b>	Temperaturverlauf in Relation zur Vorbereitung des Operationsgebietes, in der Abbildung ist die Anzahl der Patienten pro Messpunkt angegeben	69
<b>Abb. 9</b>	Kerntemperaturentwicklung in Relation der Operationsabdeckung	70
<b>Abb. 10</b>	Kerntemperaturverteilung aller Patienten 60 Minuten nach Narkoseeinleitung (Messpunkt 12) bezüglich nasser Operationstücher/nasser Körperoberflächen	71
<b>Abb. 11</b>	Perianästhetische Temperaturverläufe in Relation zum Körpergewicht als Medianfunktion	73
<b>Abb. 12</b>	Darstellung der perianästhetischen Temperaturverläufe in Bezug auf die Fellbeschaffenheit als Medianfunktion	75
<b>Abb. 13</b>	Ausmaß der Hypothermie bei Extubation und Fellqualität	76
<b>Abb. 14</b>	Temperaturverlauf des Hundes Nr. 56 im Vergleich zu den Mediane der Tiere der Behandlungs- und Kontrollgruppe	77
<b>Abb. 15</b>	Entwicklung der Temperaturabnahme zum Anfangswert	79
<b>Abb. 16</b>	Perioperative Körpertemperaturverlauf der Patienten aus Indikationsgruppe "Weichteiloperationen"	81

<b>Abb. 17</b>	Perioperative Temperaturabnahme bei orthopädischen Eingriffen	82
<b>Abb. 18</b>	Temperaturverläufe bei Patienten mit Ruptur des Ligamentum cruciatum craniale	83
<b>Abb. 19</b>	Temperaturverlauf bei Patienten bei Patienten mit Implantation eines künstlichen Hüftgelenkes	84
<b>Abb. 20</b>	Temperaturverlauf bei Patienten denen ein Gelenk arthrodetisiert wurde	86
<b>Abb. 21</b>	Verlauf der Körperkerntemperatur bei Patienten mit einer Wirbelsäulenoperation	87
<b>Abb. 22</b>	Hypothermiegrad - 60 Min Narkosedauer	88
<b>Abb. 23</b>	Hypothermiegrad bei Extubation	88
<b>Abb. 24</b>	Korrelation der rektalen und ösophagealen Messergebnisse	90
<b>Abb. 25</b>	Aufwachverhalten der Patienten nach Extubation	91



## **A. Einleitung**

Störungen der zentralen und peripheren Thermoregulationsmechanismen führen während jeder Vollnarkose sowohl bei Menschen als auch bei homoiothermen Tieren zu einer unbeabsichtigten Hypothermie, die sich unterschiedlich stark ausdrückt.

Lange Zeit wurde diesem intraoperativen Abkühlen des Patienten kaum Bedeutung beigemessen. In den letzten Jahrzehnten konnte in zahlreichen humanmedizinischen Studien das Ausmaß der negativen Auswirkungen peri- und postoperativer Hypothermie dargestellt werden. Ein geringfügiger Abfall der Körperkerntemperatur führt nach bisherigen Studien zu vermehrten hämodynamischen Instabilitäten wie Myokardischämien und ventrikuläre Tachykardien, Veränderungen in den Entzündungs- und Blutgerinnungskaskaden und zu einer veränderten Pharmakokinetik.

In der Veterinärmedizin ist dieses Thema noch wenig erforscht. Das ungünstige Verhältnis von Körpergewicht zur Körperoberfläche ist das Risiko des Abkühlens bei kleinen Haustieren signifikant höher als beim erwachsenen Menschen. Es ist in etwa vergleichbar mit dem von pädiatrischen Patienten.

Über mögliche Präventionsmaßnahmen findet man nur wenige Studien in der veterinärmedizinischen Literatur, sie widmen sich vor allem der aktiven äusseren Wärmezufuhr.

Das Phänomen der Hypothermie fand bisher jedoch kaum Beachtung im tierärztlichen Alltag. Im Rahmen dieser Doktorarbeit soll die Notwendigkeit der Temperaturüberwachung und Wärmezufuhr auch bei Routineoperationen in der Kleintiermedizin dargestellt werden. Darüber hinaus sollte die Durchführbarkeit und Effizienz der aktiven inneren Erwärmung mittels eines Infusionswärmers bei alleiniger Anwendung, an Hunden geprüft werden. Weiterhin soll dieses Verfahren im Hinblick auf Gefahren und Risiken der aktiven inneren Wärmezufuhr untersucht werden.

## B. Literaturübersicht

### 1. Physiologie und Pathophysiologie des Wärmehaushalts und der Thermoregulation

#### 1.1 Allgemeines

Alle Säugetiere, sowie Vögel sind homoiotherm (gleichwarm), das bedeutet, dass deren Körperkerntemperatur unabhängig von der Umgebungstemperatur innerhalb von engen Grenzen konstant gehalten wird. Voraussetzung ist, dass ein Gleichgewicht zwischen der Wärmeproduktion des Körpers und der Wärmeabgabe an die Umgebung besteht. Im Gegensatz zu wechselwarmen Tieren ist bei homoiothermen dafür ein fünf- bis zehnfach höherer Energieumsatz mit vermehrter Wärmebildung nötig.

Weicht die innere Temperatur wesentlich von der Norm ab, geraten die Stoffwechselprozesse aus dem Gleichgewicht. Homoiotherme Tiere müssen demzufolge sehr schnell in der Lage sein, auf die Veränderungen der Umwelt mit Wärmebildung, Wärmekonservierung oder Wärmeabgabe zu reagieren. Um die Körpertemperatur trotz Kälte- und Wärmebelastungen konstant zu halten, ist der Säugetierorganismus mit verschiedenen Regulationsmechanismen ausgerüstet.

Wichtig sind in diesem Zusammenhang folgende Begriffe [HÖRNICKE, 1987]:

Der Bereich der Normaltemperatur beschreibt den Bereich der Körperkerntemperatur, in dem der Energieumsatz von Tieren bei einer bestimmten Fütterung bzw. Leistung am geringsten ist.

Die biologisch optimale Temperatur ist der Wert, bei der die Belastung der Thermoregulation eines Haustiers am geringsten ist.

Die biologisch optimale Umgebungstemperatur oder die thermoneutrale Umgebungstemperatur wird als Wert definiert, bei der der Energieumsatz eines Lebewesens am geringsten ist.

Die Wärmeproduktion eines Gewebes ist proportional zu seiner Stoffwechselaktivität. Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik ist die Veränderung der inneren Energie ( $\Delta U$ ) eines Systems genau so groß, wie die Summe der zugeführten bzw. abgeführten Wärmemengen ( $\Delta Q$ ) und der geleisteten Arbeit ( $\Delta W$ ):  $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$

Da es sich bei einem Säugetier nicht um ein geschlossenes System handelt, wird ein Großteil der im System produzierten Energie in Form von Wärme in die Umwelt abgegeben. Nach dem zweiten thermodynamischen Hauptsatz ist die Menge der abgegebenen Wärme wiederum direkt proportional zur Temperaturdifferenz zwischen der Körperoberfläche und der Umwelt (Entropiegesetz). Demnach würde die Körpertemperatur unter Wärmebelastung



stetig steigen, hier gewinnt jedoch die Wärmeabgabe durch Verdunstung von Wasser Bedeutung, da sie vom Temperaturgradienten unabhängig ist.

## **1.2. Wärmehaushalt und Thermoregulation beim wachen Tier**

### **1.2.1. Temperaturfelder des Körpers**

Die Temperatur ist innerhalb eines Säugetierkörpers nicht gleichmäßig verteilt. Ein homoiothermer Organismus kann vereinfacht in zwei Temperaturkompartimente, dem Körperkern und der Körperschale unterteilt werden. Die Grenzen dieser zwei Zonen sind nicht konstant, sondern abhängig vom jeweiligen Stoffwechselzustand und der Umgebungstemperatur.

Streng genommen ist nur der Körperkern homoiotherm. Zum Körperkern werden die stoffwechselaktiven und gut durchbluteten Organe der großen Körperhöhlen und das Gehirn gerechnet. Innerhalb des Körperkernes variiert die Temperatur minimal, wobei der Wärmetransportfunktion des Blutes eine große Bedeutung zukommt. Unter Ruhebedingungen beträgt der Energieumsatz des Körperkernes bis zu 70%.

Die Temperatur des peripheren Kompartiments, der Körperschale, bestehend aus Haut, Unterhaut, Muskulatur und Knochen, nähert sich immer mehr der Umgebungstemperatur an. In gewisser Weise ist die Körperschale als poikilotherm anzusehen, ihre Temperatur variiert erheblich in Abhängigkeit von den Bedingungen des Wärmeentzuges. Sie ist in der Regel etwa 2-4°C niedriger als die Körperkerntemperatur. Bei Muskelarbeit verschieben sich die Verhältnisse zwischen Kern und Schale, so dass bei schwerer Arbeit weniger als 10% des Gesamtenergieumsatzes auf die Kernorgane entfallen.

### **1.2.2. Wärmehaushalt**

Die Wärmeproduktion steht in Abhängigkeit zum Energieumsatz, wobei die Energieumsatzrate wiederum unter dem Einfluss zahlreicher Faktoren wie Körpergröße, Tierart, Tageszeit, Geschlecht, Alter, Leistung, Stoffwechsel- sowie körperlicher Aktivität steht.

Als Grundumsatz ist nach PETRY [1999] der minimal notwendige Energieumsatz zur Aufrechterhaltung von lebensnotwendigen Körperfunktionen zu verstehen. Unter Ruhebedingungen bei indifferenter Umgebungstemperatur wird die gesamte im Grundumsatz freiwerdende Energie in Form von Wärme abgegeben. Die sogenannte Ruhe-Wärmeproduktion in thermoneutraler Umgebung wird in W/kg KM angegeben ( $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 60 \text{ J/min} = 3,6 \text{ kJ/h} = 86,4 \text{ kJ/d}$ ). Das Wärmebildungsvermögen eines Organismus ist durch seine stoffwechselaktive Körpermasse definiert, die Menge der abgegebenen Wärme ist wiederum direkt proportional zu seiner Körperoberfläche.

Das ungünstigere Verhältnis von wärmeabgebender Körperoberfläche zu wärmebildender Körpermasse führt bei kleineren Tieren zu einem höheren Energieumsatz.

### **1.2.2.1 Wärmebildung (chemische Regulation)**

Dem Körperkern sind im Ruhezustand etwa 70% der Wärmebildung zuzurechnen. Um die Kerntemperatur bei Kältebelastung konstant zu halten, muss die Wärmeproduktion über den Ruhewert gesteigert werden.

Dafür stehen dem Säugetierorganismus zwei Mechanismen zur Verfügung:

#### **Kältezittern**

Zu Beginn der Kälteeinwirkung zeigt die Muskulatur einen erhöhten Tonus, der bei stärkerem Wärmeverlust vom Kältezittern überlagert wird. Die Wärmeproduktion kann auf diesem Wege kurzfristig auf das Fünffache des Ruhewertes gesteigert werden [JESSEN 2000]. Gesteuert wird diese Form von Wärmebildung über motorische Nervenbahnen. Im Gegensatz zur gerichteten Bewegung der Muskulatur, kommt es beim Zittern zu unwillkürlichen, gleichzeitigen Kontraktionen der jeweils gepaarten Abduktoren und Adduktoren. Dabei wird die gesamte chemische Energie in Wärme umgesetzt. Sobald motorische Bahnen des Großhirns für Willkürbewegungen aktiviert werden, hört das Kältezittern auf [HÖRNICKE 1987].

#### **Zitterfreie Thermogenese**

Jungtiere, Neugeborene sowie kleine adulte Säugetiere wie Nager, verfügen zusätzlich über sog. braunes mitochondrienreiches Fettgewebe, das sich in den körperschalennahen Schichten des Rumpfes befindet. Dieses Gewebe ist stark vaskularisiert und über noradrenerge Rezeptoren vom Sympathikus innerviert. Bedingt durch seine Lage, gelangt die gebildete Wärme direkt in den Körperkern. Die Mitochondrien dieser Zellen besitzen ein Protein, das einen Kurzschluss-Protonenkanal über die Membran öffnen kann, so dass der Protonengradient nicht für die Bildung von ATP genutzt wird und die in ihm enthaltene Wärme frei wird [JESSEN 2000]. Eine milde Hypothermie triggert über die Steigerung der oxidativen Phosphorylierung in den Mitochondrien des braunen Fettgewebes die zitterfreie Thermogenese [BUGGY und CROSSLEY 2001]. Diese Fähigkeit bleibt Kleinsäugetern lebenslang erhalten, bei größeren Tierarten bildet sie sich in den ersten Lebenswochen zurück [JESSEN 2000].

### **1.2.2.2. Wärmeabgabe**

Die Menge der abgegebenen Wärme ist exponentiell-proportional zur Körperoberfläche. Im Gegensatz zur schnellen Wärmeverteilung innerhalb des Körperkernes (innerer Gradient), ist der Wärmefluss in den peripheren Körperregionen relativ langsam. Die Wärme kann auf die Körperoberfläche mittels zweier physikalischer Mechanismen transportiert werden: Einerseits

über die Wärmeleitung der angrenzenden Gewebe, andererseits rein konvektiv vermittelt über das Blut. Die konvektive Komponente wird vor allem durch die axialen großen Gefäße der Extremitäten gebildet. Die Geschwindigkeit der konvektiven Wärmeverteilung ist abhängig von der Geschwindigkeit des peripheren Blutflusses, der Gegenstrom-Wärmeaustauschergradienten der Arterien und Venen, sowie der Temperaturdifferenz von Körperkern und Körperschale. Der konduktive Wärmetransport ist sehr langsam und von einem wärmeren Körperkern zur kühleren Körperoberfläche gerichtet. Jedes Gewebe besitzt eine unterschiedliche Leitfähigkeit, z.B. ist die Leitfähigkeit des Fettgewebes etwa ein Drittel der der Muskulatur [SESSLER 2000]. Dies bewirkt zwar eine gute Isolation, kann aber unter hohen Temperaturen (durch innere oder äußere Wärmebelastung) zum Wärmestau führen. Der Wärmeaustausch zwischen Körperkern und –schale erfolgt deshalb fast ausschließlich über die Konvektion des Blutes.

Die innere Wärmedurchgangszahl ( $W/m^2/^\circ C$  Temperaturdifferenz zwischen Kern und Haut) kann bei Wärmebelastung fünf- bis achtmal größer sein als bei Kälteeinwirkung. Durch die Anpassung der regionalen Durchblutung kann die Thermoregulation an den inneren Wärmetransport sehr schnell angepasst werden.

Um die Wärmeverluste bei länger andauernden Kältebelastungen zu minimieren, gleicht sich die Temperatur der Körperschale der Umgebungstemperatur immer weiter an. Die periphere Durchblutung wird durch Vasokonstriktion soweit gedrosselt, bis die für den Ruhestoffwechsel erforderliche minimale Blutmenge die untere Grenze setzt. Vor allem spielen dabei die Extremitäten eine große Rolle, da auf sie ein großer Anteil der Körperoberfläche und damit auch ein erhebliches Wärmeabgabevermögen entfällt. In den Extremitäten betrifft die Durchblutungssenkung sowohl die Haut als auch die Muskulatur [JESSEN 2000].

In den Extremitäten verlaufen über weite Strecken die großen Blutgefäße parallel. Das aus dem Kern kommende wärmere arterielle Blut wird durch das zurückfließende venöse Blut abgekühlt (Gegenstrom-Wärmeaustausch). Dieser Mechanismus reduziert erstens die Wärmeverluste in die Umgebung, zweitens kann die Stoffwechselrate der tiefer gelegenen Gewebe reduziert und damit Energie gespart werden.

In der Haut, vor allem in den Akren, befinden sich arterio-venöse Anastomosen. Diese öffnen sich bei Wärmebelastung und schließen so den kapillaren Strömungswiderstand kurz, so dass sehr hohe Stromstärken erreicht werden. Durch die erhöhte Durchblutung der Haut strömt das Blut über oberflächliche Venen zurück. Damit wird eine höhere Wärmeabgabe ermöglicht.

Abgesehen von der sympathischen Innervation der Blutgefäße, erfolgt die Regulation der Wärmeabgabe direkt regional. Venen sowie Anastomosen reagieren auf Abkühlung durch Kontraktion. Um bei Kälte den Körper vor lokalen Frostschäden zu schützen, wird die

Gefäßkontraktion regelmäßig in 20-Minuten-Intervallen durch eine kurzandauernde Vasodilatation unterbrochen (Lewis-Reaktion). Es wird vermutet, dass die Gefäße bei Kälte ihre Empfindlichkeit auf Noradrenalin kurzzeitig verlieren [JESSEN 2000].

Beim Wärmeaustausch mit der Umgebung (äußerer Gradient) ist die Gesamtwärmabgabe die Summe ihrer Komponenten: Leitung (Konduktion), Strahlung (Radiation), Transport (Konvektion) und Verdunstung (Evaporation). Die Menge der von einem Körper emittierten Wärme ist direkt-proportional zu seiner Oberfläche und dem Temperaturgradienten der Grenzfläche. Die einzige Ausnahme davon ist die Evaporation, bei der die abgegebene Wärmemenge nur von dem Wasserdampfdruck der umgebenden Luft abhängt.

### **Leitung (Konduktion)**

Die Wärmeleitung ist physikalisch eine aufeinanderfolgende Übertragung von kinetischer Energie direkt von Molekül zu Molekül jeweils in Richtung des Temperaturgefälles. Das System strebt zum Temperaturnausgleich zwischen den Gradienten, dabei spielt vor allem das Wärmeleitvermögen der angrenzenden Materien eine große Rolle. Im Körper fungiert das Blut als Wärmetransportvehikel. Umgekehrt bedeutet dies, dass kühle Flüssigkeiten nach intravenöser Gabe unter Energieaufbringung des umgebenden Gewebes auf Körpertemperatur erhöht werden, was dem Körper wiederum Wärme entzieht. Weiterhin ist zu beachten, dass leitfähige Unterlagen (Stahl, Metall, Stein) z.B. einem Tier häufig bedeutende Wärmemengen entziehen.

### **Strahlung (Radiation)**

Die Wärmestrahlung ist die einzige Art des Wärmetransports, die keines körperlichen Mediums bedarf, dabei handelt es sich um elektromagnetische Wellen des infraroten Wellenlängenbereichs. Jeder Körper sendet und absorbiert Wärmestrahlung, die Menge ist von seiner Temperatur und von der Größe seiner Oberfläche abhängig. Gültigkeit für diesen Mechanismus des Wärmeaustausches hat das STEFAN-BOLTZMANNsche Gesetz, das besagt, dass die gesamte von einem Körper emittierte Strahlungsleistung proportional zur 4. Potenz der Temperatur wächst, d.h. bei einer Verdoppelung der Temperaturdifferenz steigert sich die emittierte Wärmemenge um den Faktor 16. In anderen Worten können durch niedrige Hauttemperaturen die Wärmeverluste minimiert werden, andererseits fördert die gesteigerte periphere Durchblutung die Wärmeabgabe in die Umwelt.

### **Transport (Konvektion)**

Unter Konvektion versteht man den Wärmetransport durch Bewegung einer gasförmigen oder flüssigen Substanz. Die erwärmten Bereiche dehnen sich aus, es entsteht eine laminare Strömung an der Grenzschicht (freie Konvektion). Die Wärmeverluste sind demnach direkt abhängig von der Geschwindigkeit der laminaren Strömung, sowie vom Temperaturgradienten der angrenzenden Substanzen. Nimmt die Strömungsgeschwindigkeit zu, kommt es zur einer schnelleren Abkühlung der Grenzflächen (erzwungene Konvektion).

Hieraus wird ersichtlich, warum die gleiche Temperatur bei größerer Windstärke kühler wahrgenommen wird. Das Haarkleid ist ein anatomisches Hilfsmittel zur Verminderung der Luftbewegungsgeschwindigkeit direkt an der Haut.

### **Verdunstung (Evaporation)**

Der trockenen Wärmeabgabe durch Strahlung, Transport und Leitung steht die feuchte Wärmeabgabe in Form von Verdunstung von Wasser auf der Haut und in den Atemwegen gegenüber. Die Evaporation unterscheidet sich wesentlich von den vorgenannten dadurch, dass sie relativ unabhängig von der Lufttemperatur ist und von der Differenz des Wasserdampfdruckes der Haut und der umgebenden Luft abhängt. Wenn die Wärmeabgabe durch Strahlung, Konvektion und Leitung unter Wärmebelastung nicht mehr ausreichen, bietet die Evaporation auf Grund der hohen Verdampfungswärme des Wassers (2430 kJ/l) für die schwitzenden Tierarten einen effektiven Wärmeabgabemechanismus (Perspiratio sensibilis). Tierarten, die nicht oder nur bedingt zur Schweißproduktion fähig sind (Hunde, Katzen) bleibt die Möglichkeit der forcierten Totraumventilation (Hecheln). Das Hecheln hat gegenüber der Schweißsekretion den Vorteil der Wasserverdunstung ohne große Elektrolytverschiebungen, ist energetisch jedoch aufwendiger. Bei starken Wärmebelastungen steigt auch die alveoläre Ventilation, die zu einer respiratorischen Alkalose führt. Die Flüssigkeitsverluste durch Verdunstung können bei Hitze sehr gravierend werden [HÖRNICKE 1987, JESSEN 2000].

Auch in indifferenten Temperaturbereichen kommt es zu Wärmeabgabe in Form von Verdunstung; durch die trockene Haut diffundiert ständig Wasser und auch die Ausatemungsluft ist mit Wasserdampf gesättigt. Daraus resultiert eine unregelmäßige Wärmeabgabe in Höhe von etwa 20% der Ruhe-Wärmeproduktion (Perspiratio insensibilis).

## **1.3. Einflüsse auf die Körperkerntemperatur**

### **1.3.1 Körpermassen –Volumen Verhältnis**

Die Möglichkeiten und Mechanismen der Thermoregulation sind zum Teil durch die Tiergröße vorgegeben und begrenzt. Je kleiner ein Tier ist, um so größer wird seine relative Oberfläche, und um so größer werden die Wärmeverluste über die Oberfläche an die Umgebung. Kleintiere und Jungtiere sind hierfür mit einer größeren Anzahl von Mitochondrien ausgestattet und haben auch demnach schon unter thermoneutralen Bedingungen eine deutlich höhere relative Energieumsatzrate [HÖRNICKE 1987].

Der unterschiedliche Wärmeentzug in Bezug auf das Verhältnis der Körperoberfläche zu seiner Masse gilt aber nicht nur im Vergleich kleiner und großer Tiere, sondern auch für Extremitäten und Akren im Verhältnis zum Rumpf [HÖRNICKE 1987].

### **1.3.2. Tageszeit**

Die Körperkerntemperatur unterliegt ebenso wie die Mehrzahl der Körperfunktionen einem endogenen zirkadianen Rhythmus. Im Allgemeinen steigt die Körpertemperatur während des Tages an, um am Nachmittag oder in den Abendstunden ein Maximum zu erreichen. Danach erfolgt ein Absinken mit einem Minimum in den frühen Morgenstunden. Die Amplitude der täglichen Abweichungen beträgt im Allgemeinen 0,5-1,5°C [HÖRNICKE 1987].

### **1.3.3. Nahrungsaufnahme**

Eine Erhöhung der Ruhe-Wärmeproduktion durch Futteraufnahme kann die Körpertemperatur geringfügig (0,2-1°C) steigern. Intensiv gefütterte Tiere haben eine erhöhte, unterernährte eine leicht niedrigere Körperkerntemperatur [HÖRNICKE 1987].

### **1.3.4. Alter**

Die Mechanismen der Thermoregulation sind angeboren. Eine geringere Körpergröße, ein ungünstiges Verhältnis der Oberfläche zur Masse, sowie ein unvollständiges Haarkleid bewirken, dass diese nur in einem relativ engen Temperaturbereich wirksam werden können. In den ersten 10-15 Lebenstagen liegt die Körperkerntemperatur dieser Tiere physiologischer Weise oft niedriger als einige Wochen später [HÖRNICKE 1987].

Beim alten Tier kommt es aufgrund der verlangsamten Stoffwechselrate und der degenerativen Prozesse im Gehirn zur Abnahme des normothermen Bereichs.

### **1.3.5. Hormoneller Einfluss**

Bezüglich auf Körperkerntemperatur bestehen so gut wie keine Geschlechtsunterschiede. Im Gegensatz zum Menschen haben weibliche Tiere keine deutlichen zyklusbedingten Temperaturschwankungen. Im letzten Drittel der Trächtigkeit weisen alle Haussäugetiere eine erhöhte Kerntemperatur auf, diese kann während des Geburtsvorganges weiter gering steigen [HÖRNICKE 1987].

Neben den Geschlechtshormonen haben die Hormone der Schilddrüse und der Nebenniere Einfluss auf die Kerntemperatur. Thyroxin und Trijodthyronin steigern die Stoffwechselrate und demnach auch die endogene Wärmeproduktion. Die Freisetzung von Catecholaminen führt einerseits zu einem gesteigerten Energieumsatz, andererseits verhindert die Vasokonstriktion der peripheren Blutgefäßen die Wärmeabgabe.

### **1.3.6 Körperliche Aktivität**

Schon Erregung allein kann bei Tieren durch erhöhten Muskeltonus zu erhöhter Körpertemperatur führen. Je kleiner ein Tier ist, desto schneller und deutlicher steigt die Kerntemperatur bereits durch spontane motorische Aktivität an, kehrt aber auch rasch wieder

auf die jeweiligen Ausgangswerte zurück. Diese sogenannten ultradianen Rhythmen können beim Tier sehr ausgeprägt sein [HÖRNICKE 1987].

Der Wirkungsgrad körperlicher Arbeit liegt bei 20%. Um die Kerntemperatur konstant zu halten, muss die restliche Energie (80%) in Form von Wärme in die Umgebung abgegeben werden. Bei intensiver Arbeit ist das Wärmeabgabevermögen des Körpers limitiert, der erhöhte Wärmeumsatz und das Wärmeabgabevermögen bilden ein neues Gleichgewicht auf einem höheren Niveau, die Körperkerntemperatur steigt. Die Höhe von Dauerleistungen wird wesentlich durch die maximale Wärmeabgabe definiert.

## **1.4 Thermoregulation**

### **1.4.1 Begriffsbestimmungen**

Die geregelte Größe ist die Körperkerntemperatur. Ihr durch Kerntemperatur-Messfühler ermittelter Istwert wird mit dem zentralen Sollwert verglichen. Das Ziel der Thermoregulationsmechanismen ist die Konstanthaltung der Kerntemperatur. Deshalb strebt der Körper danach, die normale Temperatur bei Störung des Gleichgewichts wieder herzustellen, indem durch Aktivierung einzelner Stellglieder der Thermoregulation Wärmeabgabe oder –produktion veranlasst und somit der Sollwert wieder erreicht wird. Beeinflusst wird die Kerntemperatur von sogenannten inneren und äußeren Störgrößen. Innere Störgrößen betreffen direkt den Kern, während die äußere zunächst auf die Haut und Schleimhäute zutreffen, die ebenfalls Temperaturmessfühler enthalten.

Die Aktivität der Stellglieder ist proportional zur Größe der Regelabweichung (Proportionalitätsregelung), was bedeutet, dass nur eine Abweichung vom Normwert die Stellglieder aktiviert. Bisher ist nicht bekannt, woher der Körper seinen Sollwert erhält, dieser Wert ist individuell und tierartspezifisch [JESSEN 2000]. Man könnte den Sollwert als jene Temperatur definieren, bei der sowohl die Kalt-, als auch die Warmrezeptoren nur minimal erregt werden. Eine intakte Thermoregulation erlaubt Normalabweichungen innerhalb eines Bereiches von 0,4°C, ohne dass es zu Korrekturmechanismen kommt [SCHOSER und MEBMER 1999].

### **1.4.2 Komponenten des Regelsystems und deren Lokalisation**

#### **Thermoregulationszentrum**

Der Hypothalamus und die rostral davon gelegene Area praeoptica können als Regelzentren für die Körperkerntemperatur angesehen werden. In starker Vereinfachung der komplexen morphologischen und funktionellen Verhältnisse kann man ein Wärmeabgabezentrum im vorderen Hypothalamus und ein Wärmebildungszentrum in hinteren Hypothalamus unterscheiden [HÖRNICKE 1987]. Die afferenten thermalen Informationen aus allen

Körperregionen treffen sich im anterioren Hypothalamus. Der posteriore Hypothalamus kontrolliert wiederum die efferenten, absteigenden Neurone. Es existieren zusätzliche für lokale Temperaturveränderungen sensitive Neuronen im posterioren Hypothalamus, in der Medulla (Nachhirn), in der Formatio reticularis und im Rückenmark. Über diese Informationen wird der jeweilige Istwert errechnet, der mit dem Sollwert verglichen wird [BUGGY und CROSSLEY 2000].

Das sympathische System gewährleistet die Regelung der Wärmebildung im braunen Fettgewebe (Noradrenalin,  $\beta$ -Rezeptoren) und der Hautdurchblutung sowie Schweißsekretion (Adrenalin und Noradrenalin;  $\alpha$ - und  $\beta$ -Rezeptoren). Die Steuersignale für Hecheln und Kältezittern werden über das motorische System weitergeleitet [JESSEN 2000].

### **Periphere Thermorezeptoren**

Die Wärme- und Kälterezeptoren der Haut und der Schleimhäute reagieren auf rasche Temperaturveränderungen mit einer überschießenden Impulssteigerung. Auf diese Weise können die thermoregulierenden Zentren Gegenmaßnahmen einleiten, bevor sich die Kerntemperatur ändert (Störgrößenausschaltung). Diese Rezeptoren müssen sich vor allem in temperaturexponierten Körperregionen befinden, um eine schnelle Registrierung der Temperaturschwankungen zu gewährleisten. Bei konstantbleibenden Umgebungstemperaturen erreichen die Kälterezeptoren ihre maximale Impulsfrequenz bei Temperaturen von 25-30°C, die Wärmerezeptoren bei 45-50°C. Die meisten Rezeptoren sind nicht spezifisch nur für die Thermoregulation, sondern reagieren auch auf mechanische Reize. Auf der Haut befinden sich etwa zehnfach so viele Kälterezeptoren als Wärmerezeptoren [HÖRNICKE 1987, BUGGY und CROSSLEY 2000].

### **Zentrale Thermorezeptoren**

Auf lokaler Ebene sind temperatursensitive Neurone zusätzlich zum posterioren Hypothalamus in der Medulla (Nachhirn), in der Formatio reticularis und im Rückenmark vorhanden [BUGGY und CROSSLEY, 2000]. Angenommen wird weiterhin das Vorhandensein von Thermorezeptoren in der Bauchhöhle, da von hier wahrscheinlich thermoregulatorische Vorgänge ausgehen. Diese Rezeptoren spielen eher eine untergeordnete Rolle [HÖRNICKE 1987, JESSEN 2000].

## **1.4.3 Kurz- und langfristige physiologische Reaktionen auf**

### **Temperaturschwankungen im Rahmen der Wärme- und Kälteakklimatisation**

Einem warmblütigen Lebewesen stehen verschiedene physiologische Reaktionen auf Änderung der Umweltbedingungen zur Verfügung, die in unterschiedlichem Maße zum Einsatz kommen.



## **Verhalten**

Die einfachste, daher erste und meist auch effektivste Reaktion auf ungünstige Temperaturverhältnisse besteht in Verhaltensveränderung zur Schaffung eines günstigeren Mikroklimas. Dies äußert sich bei kalten Temperaturverhältnissen in Form von Aktivitätssteigerung, dem Aufsuchen von geschützten Orten oder der Nähe von Artgenossen. Bei starker Sonneneinstrahlung werden schattige, kühle Plätze vorgezogen oder es wird versucht soviel Körperoberfläche wie möglich mit kühleren Unterlagen oder Flüssigkeit in Kontakt zu bringen. Ziel ist es, die thermoregulatorisch effektive Oberfläche den Umweltbedingungen anzupassen [JESSEN 2000].

## **Hecheln und Schwitzen**

Durch die relativ hohe Wärmekapazität des Wassers gewinnt bei unzureichendem trockenem Wärmeabgabevermögen die Verdunstung bei hohen Umgebungstemperaturen enorm an Bedeutung. Da das Abtropfen nur ein rein mechanischer Vorgang ist und nichts am Energiegleichgewicht ändert, muss der Schweiß verdunsten. Die Evaporation benötigt Energie, die dem Körper in Form von Wärme entzogen wird. Neben dem Flüssigkeitsverlust kommt es zu einer Elektrolytverschiebung. Bei langandauernder Schweißsekretion ohne die Möglichkeit, den Flüssigkeitshaushalt auszugleichen, kommt es zu einer Abnahme des Plasmavolumens mit negativen Auswirkungen auf den Kreislauf [JESSEN 2000].

Das Hecheln wird durch Reizung von kutanen Wärmerezeptoren hervorgerufen und verstärkt sich, sobald die Körperkerntemperatur ansteigt, da auch innere Wärmerezeptoren aktiviert werden. Bei milden Wärmebelastungen ist ein nichtschwitzendes Tier wie der Hund in der Lage, durch hochfrequente, flache Atmung die Totraumventilation und dadurch die evaporative Wärmeabgabe zu steigern. Der Totraumventilation sind jedoch Grenzen gesetzt. Übersteigt die Kerntemperatur durch die Wärmebelastung den Sollwert, geht das Hecheln in die Wärmehyperpnoe über, dabei steigt auch die alveoläre Ventilation, was zu einer respiratorischen Alkalose führen kann [NICHELMANN 1994].

## **Haarkleid**

Das Fell eines Tieres leistet einen wichtigen Beitrag zur Wärmeisolation. Die Lufteinschlüsse und die fehlende Luftbewegung bewirken ein eigenes Mikroklima. Da die Wärmeleitfähigkeit der Luft relativ gering ist, resultiert daraus, dass das Wärmeabgabevermögen eines Tierkörpers eine Funktion der Dicke der ruhenden Luftschicht, also der Felldicke ist. Damit beträgt nach JESSEN [2000] der Wärmedurchgang des Felles bei 10 mm Dicke etwa  $4 \text{ W/m}^2$  für eine Temperaturdifferenz von  $1^\circ\text{C}$  zwischen Haut und Luft, bei einer Felldicke von 40 mm jedoch nur noch  $1 \text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$ . Durch den entscheidenden Punkt der Unterdrückung der Konvektion legt das Haarkleid also ein dauerhaft ruhendes Luftpolster um den Körper. Jede Zerstörung dieser Luftschale verursacht einen Wärmeverlust an die Umgebung, daraus wird auch die Rolle des Windes und der Feuchtigkeit ersichtlich. Andererseits kann ein dickes Fell

die Wärmeabgabe bei höheren Temperaturen deutlich erschweren. Aus diesem Grund zeigen viele Tierarten im Rahmen der Akklimatisation zur langsamen Veränderungen der äußeren Temperaturverhältnisse einen Fellwechsel von Sommer- zu Winterfell, der primär durch die Änderungen der Tageslänge in Verlauf der Jahreszeiten gesteuert wird. In engen Grenzen steht dem Säugetier und dem Vogel für schnelle Erhöhung des Isolationswertes des Haarkleids die Pilomotorik zur Verfügung, wobei die Haare/Federn einzeln durch Kontraktion glatter Muskelfasern im Haarschaft aufgerichtet werden. Die ruhende Luftschicht wird hierdurch verstärkt [JESSEN 2000].

### **Weitere Faktoren**

Endokrine Sekretionsveränderungen sind eng gekoppelt mit äußeren und inneren Signalen, wie z.B. Veränderungen der Tageslänge und Temperatur, sowie des Energieumsatzes. Ein erhöhter Grundumsatz während der Gravidität oder Laktation oder als Folge von gesteigerter Thyroxinproduktion oder durch eine vermehrte Futterraufnahme kann eine Steigerung der Körperkerntemperatur verursachen.

### **1.4.4 Regelgrenzen und Schwellenänderungen**

Neben der thermischen nehmen auch nichtthermische Faktoren Einfluss auf die Veränderung des Sollwerts, was sich in Zyklen wie dem Tagesrhythmus der Körpertemperatur, dem Winterschlaf oder erhöhter Körpertemperatur bei Fieber äußert.

Ein Überschreiten des physiologischen Regelabweichungsbereichs der Körpertemperatur nach oben bezeichnet man als Hyperthermie, ein Abweichen nach unten als Hypothermie. Solche Abweichungen können als Folge von Überforderung oder Ausfall der Thermoregulation resultieren, oder sie basieren auf einer geregelten Erhöhung oder Verringerung des hypothalamischen Sollwertes [HÖRNICKE 1987].

### **Hyperthermie**

Die Hyperthermie beschreibt eine allgemeine Erhöhung der Kerntemperatur über den Regelabweichungsbereich. Exogene Hyperthermie kann über das Temperaturregulationssystem, aber auch durch den direkten Einfluss der erhöhten Kerntemperatur zur Änderungen im Intermediärstoffwechsel führen. Dabei sind vor allem die Funktionsweisen der Atmung, des Kreislaufs und der Säure-Base-Homöostase beeinträchtigt [NICHELMANN 1994].

Eine solche pathologische Erhöhung der Körperkerntemperatur tritt auch vermehrt bei Kramp fzuständen (Status epilepticus, Tetanus) und bei der sogenannten malignen Hyperthermie der Schweine und seltener beim Hund auf. Es handelt sich hierbei um einen genetischen Defekt der Zellmembranrezeptoren (Ryanodinrezeptoren) innerhalb der Muskelzelle der Skelettmuskulatur, die die Wiederaufnahme des intrazellulären Kalziums in das sarkoplasmatische Retikulum reguliert. Die drastische und dauerhafte Erhöhung der

intrazellulären Kalziumkonzentration führt zu einer Dauerkontraktion der Muskulatur, die die Wärmeproduktion immens steigert [JESSEN 2000].

### **Hypothermie**

Erfordert eine konstante Kerntemperatur bei intakter Thermoregulation eine Steigerung der Wärmeproduktion etwa auf das Fünffache des Ruheumsatzes, entsteht eine Hypothermie [JESSEN 2000]. Andererseits reicht bei beeinträchtigtem Thermoregulationssystem schon ein geringfügiger Wärmeentzug aus, um eine Hypothermie zu verursachen. Viele Narkosemittel beeinflussen die Regulationsmechanismen negativ. Daher kühlen Tiere bei Operationen leicht aus. Da bei Hypothermie die Stoffwechselprozesse verlangsamt sind, nutzt man dies bei Operationen an lebenswichtigen Organen, da die Blutzufuhr länger unterbrochen werden kann als bei normaler Körpertemperatur [HÖRNICKE 1987].

Während bei einer moderaten Hypothermie (bis zur 2,5°C) die gesteigerte Wärmeproduktion durch Muskelzittern, gesteigerte Ventilation, Aktivierung des Herz-Kreislauf-Systems und stoffwechselintensiven Hormonen sowie erhöhte motorische Aktivität aufrechterhalten wird, geht sie bei Erschöpfen der Energiereserven in eine progressive Hypothermie über [NICHELMANN 1994].

## **2. Hypothermie**

### **2.1 Definition und Allgemeines**

BLIGH und JOHNSON [1973] definieren Hypothermie als eine Körperkerntemperatur eines homoiothermen Tieres, die sich unterhalb des arttypischen Standardabweichungsbereiches befindet. Die Einteilung nach DHUPA [1995] erfolgt in milde (32-37°C), moderate (28-32°C), schwere (20-28°C) und profunde (<20°C) Hypothermie.

ONCKEN et al. [2001] differenzieren zusätzlich primäre und sekundäre Hypothermie. Hierbei ist die primäre Hypothermie eine Folge von der Exposition in kalter Umgebung bei einer intakten Wärmeproduktion. Die Ursachen für eine sekundäre Hypothermie sind multifaktoriell; sie ist die Konsequenz von durch Krankheit, Verletzung, Toxinen oder Medikamenten induzierten Störungen der Thermoregulation. Entsprechend unterscheiden ONCKEN et al. [2001] den Schweregrad der primären bzw. sekundären Hypothermie:

**Tabelle 1. Primäre und sekundäre Hypothermie nach ONCKEN et al. 2001**

	Primäre Hypothermie	Sekundäre Hypothermie
Mild	32-37°C	36,7-37,7°C
Moderat	28-32°C	35,5-36,7°C
Schwer	20-28°C	33,0-35,5°C
Profund/Kritisch	<20°C	<33,0°C

Durch die gestörte Wärmeproduktion und/oder Wärmeverteilung treten die pathologischen Effekte während der sekundären früher als bei der primären Hypothermie auf [ONCKEN et al. 2001].

## **2.2 Vorkommen und Prädisposition**

Jedes gesunde Tier kann durch eine Kälteexposition eine Hypothermie entwickeln. Sie kann aber auch unter moderaten Umweltbedingungen als Folge von beeinträchtigter Wärmeproduktion bzw. Wärmekonservierungsmechanismen entstehen [DHUPA 1995]. Gewisse Voraussetzungen prädisponieren ein Tier für eine Hypothermie.

### **Körpervolumen und Körperoberfläche**

Für die Wärmeproduktion ist die stoffwechselaktive Körpermasse von Bedeutung, für die Wärmeabgabe die effektive Oberfläche. Wie bereits dargestellt, disponiert ein ungünstiges Oberflächen-Volumen-Verhältnis kleinere Tiere zu einer Entstehung von Hypothermie.

### **Alter**

Auch der Einfluss des Alters wurde bereits erwähnt. Junge Tiere werden wieder mit dem Problem des unvorteilhaften Oberflächen-Volumen-Quotienten konfrontiert, zusätzlich verfügen Jungtiere über relativ wenig Unterhautfettgewebe, Muskulatur und Glykogenspeicher, die Haut ist noch dünn und das Haarkleid ggf. noch nicht vollständig ausgebildet.

Bei alten Tier hingegen ist die thermoregulatorische Regelgrenze schon im wachen Zustand nach unten verschoben. Die altersbedingten degenerativen Vorgänge bewirken eine verringerte Stoffwechselrate mit einer niedrigeren Wärmeproduktion. Die adrenerge Antwort auf eine milde Hypothermie ist bei jungen Individuen deutlich stärker als bei älteren. Dies könnte bei älteren Patienten die verminderte Fähigkeit erklären, die Normothermie aufrechtzuerhalten.

### **Grunderkrankungen**

Verschiedene Grunderkrankungen können schon beim wachen Tier eine labilere Wärme-Homöostase bewirken, die sich durch Anästhetika potenziert. Tiere, die aufgrund von Traumata bewegungsunfähig sind, sind den Umweltbedingungen ausgeliefert und kühlen schneller aus. Großflächige Verbrennungen und andere Verletzungen führen über Evaporation zu Wärme- und Flüssigkeitsverlusten [DHUPA 1995]. Metabolische Entgleisungen, z.B. als Folge von Endokrinopathien wie Hypothyreoidismus, Panhypopituitarismus und Nebenniereninsuffizienz können die Thermoregulation negativ beeinflussen. Der Mangel von Thyroxin bewirkt einen verringerten Grundumsatz, dabei kommt es häufig schon im wachen Zustand zu Imbalancen in der Wärmeproduktion und zur Neigung zur Hypothermie. Panhypopituitarismus und Nebenniereninsuffizienz können – obwohl selten der Grund für eine Hypothermie- zu einer Unempfindlichkeit des Körpers

gegenüber-Kältestress führen [GRAHAM et al. 2000, GROSSMANN und TOPLISS, 2006]. Eine Hypoglykämie bewirkt einerseits einen absoluten Energiemangel und dadurch ein Unvermögen, auf Kältestress mit ausreichender Wärmeproduktion zu reagieren; andererseits ist das Risiko für Hypothermie durch einen verminderten cerebralen intrazellulären Glukosespiegel und die dadurch gestörte Funktion des Hypothalamus erhöht. Erkrankungen des zentralen Nervensystems oder eine Exposition auf Kohlenmonoxid können die zentralen Thermoregulationsfunktionen des Hypothalamus beeinträchtigen [DHUPA 1995].

Starke Kachexie geht oft mit schweren Beeinträchtigungen der Körperfunktionen einher, so sind auch die Störungen der Thermoregulation durch eine verminderte Stoffwechselrate (Hypoglykämie) und Isolationsdefizite aufgrund mangelnden Fettgewebes zu erwarten. Großflächige dermatologische Erkrankungen sowie Alopezie bewirken erhöhte Wärmeverluste über Verdunstung bzw. Konvektion [SCHOSER und MEßMER 1999]. Ebenso beeinflusst eine Intoxikation mit Alkohol oder Ethylenglykol die Thermoregulation über eine gesteigerte periphere Durchblutung negativ [ONCKEN et al. 2001].

### **Iatrogene Faktoren**

Eine Hypothermie kann versehentlich oder absichtlich im Rahmen von Medikamentengabe, Anaesthesie und Chirurgie verursacht werden. Die meisten Anästhetika verschieben den physiologischen Schwellenwert der Thermoregulation weit unterhalb der normalen Kerntemperatur. Die meisten der Narkosemittel bewirken dazu primär eine Vasodilatation. Infolgedessen prädisponiert eine Allgemeinnarkose per se zu einem gesteigerten Wärmeverlust. Dazu müssen die evaporativen Wärmeverluste durch medizinische Hautreinigung und Desinfektion während der Operationsvorbereitung, sowie Verluste während der Eröffnung der Körperhöhlen addiert werden.

HASKINS [1995] teilt die Ursachen für eine Hypothermie nach den betroffenen Mechanismen der Thermophysilogie des Körpers ein. Einerseits führt eine verminderte Wärmeproduktion, andererseits verminderte Wärmeabgabe, sowie noch andererseits Störungen der Thermoregulation zur Hypothermie.

**Verminderte Wärmeproduktion:** Die Stoffwechselaktivität und die thermostatischen Mechanismen des Hypothalamus werden durch Anästhetika gedämpft. Weitere Ursachen für eine verminderte Wärmeproduktion sind verminderte Muskelaktivität, Hypoadrenokortizismus, Hypothyreose und Hypopituitarismus.

**Vermehrte Wärmeabgabe:** Eine durch die oben besprochenen physikalischen Vorgänge bedingte erhöhte Wärmeabgabe, z.B. nasse Körperoberfläche, Kälteexposition, große Verdunstungsoberflächen, wie eröffnete Körperhöhlen usw.

**Störungen der Thermoregulation:** Derartige Dysfunktionen werden hervorgerufen durch zentralnervöse Erkrankungen infolge von Traumata, Neoplasien oder Ödemen.

## **2.3 Auswirkungen der Hypothermie auf den Organismus**

Die Hypothermie reflektiert die Unfähigkeit des Körpers, die Wärmeverluste mit Wärmeproduktion zu kompensieren. Die Untertemperatur hat verschiedene Ursachen und bestimmte pathophysiologische Auswirkungen für den Organismus.

### **2.3.1 Einteilung der Hypothermie nach Temperaturbereichen**

Nach der Einteilung durch ONCKEN et al. [2001] bestehen bei primärer bzw. sekundärer Hypothermie unterschiedliche klinische Symptomatiken:

#### **Primäre Hypothermie**

Die milde Hypothermie ist durch erhöhte Stoffwechselrate, Muskelzittern, erhöhte kardiale Auswurfleistung, einer peripheren Vasokonstriktion, Piloerektion und Wärmesuchverhalten gekennzeichnet. Die moderate Hypothermie reduziert die Herz- und Atemfrequenz sowie den Blutdruck. Tiere weisen einen schwachen Puls und Bewusstseinstörung auf. Die Muskulatur versteift. Die schwere/ausgeprägte Hypothermie führt zur peripherer Vasodilatation, atrialen und ventrikulären Arrhythmien und Koagulopathien. Die Tiere sind stuporös bis komatös, Pupillar- und Korneareflexe fehlen. Die profunde Hypothermie äußert sich in Kammerflimmern und Asystolie.

DHUPA [1995] spricht bei milder Hypothermie von Tachypnoe und gesteigerter Diurese. Sinkt die Kerntemperatur unter 32° C, kommt es zu einem Verlust des Kältezitterns, Herzrhythmusstörungen werden bereits in diesem Temperaturbereich erwähnt. Elektrolytverschiebungen und eine metabolische Azidose resultieren aus herabgesetzten respiratorischen und metabolischen Funktionen bei milden bis moderaten Hypothermien [TAYLOR 2005]. Laut TAYLOR [2005] ist bei 30° C die Grenze der schweren Hypothermie erreicht, wenn die körpereigenen Wärmebildungsmechanismen versagen ohne den Organismus mittels externer Wärme in die Normothermie zurückzuführen.

#### **Sekundäre Hypothermie**

Im Gegensatz zu Katzen haben mild hypotherme Hunde eine erhöhte Herzfrequenz. Der mittlere arterielle Blutdruck und die Atemfrequenz sind im physiologischen Bereich. Das Bewusstsein der Tiere ist ungestört. Bei moderater Hypothermie sinkt der mittlere arterielle Blutdruck, bei Hunden nehmen die Herzfrequenz sowie die mentale Depression zu. Im Bereich der schweren Hypothermie sind die Herzfrequenz und der mittlere arterielle Blutdruck weiter vermindert, es kommt zur Atemdepression, die Tiere können stuporös bis komatös sein. Kritisch hypotherme Tiere sind hochgradig moribund mit hoher Mortalitätsrate.

## **2.3.2 Einteilung nach pathophysiologischen Mechanismen**

### **2.3.2.1 Zentrales Nervensystem**

Eine milde Hypothermie stört die zerebrale Autoregulation. Die Gehirndurchblutung nimmt progressiv bei sinkenden Körperkerntemperaturen ab, je 6-7% pro ein Grad Celsius. Diese führt zunächst zur Bewusstseinsstrübung unterschiedlichen Ausmaßes und bei fortschreitender Hypothermie zum Koma [ONCKEN et al. 2001].

### **2.3.2.2. Sympathisches Nervensystem**

Wie schon erwähnt, wird der Wärmegehalt des Körpers durch zwei Regelgrößen beeinflusst: einerseits durch das Verhalten, andererseits durch das autonome Nervensystem. Die Wärmebildung durch das Kältezittern, der zitterfreien Thermogenese und Wärmeabgabe über Schwitzen sowie Vasomotorik der Peripherie, sind Teil der effektiven Temperaturregulierung über das autonome Nervensystem [BUGGY und CROSSLEY, 2000]. Die adrenerge Responsivität eines wachen Patienten auf Hypothermie ist signifikant. Obwohl diese Reaktionen während der Narkose ausfallen, steigt der Noradrenalin Spiegel während der Aufwachphase bei mild hypothermen Patienten. Eine Kerntemperatur unter 35,5° C bewirkt nahezu eine Verdoppelung der Noradrenalin Konzentrationen des Blutes mit Vasokonstriktion und Blutdruckerhöhung. Diese Reaktionen scheinen in erster Linie vom peripheren (postganglionären) sympathischen Nervensystem auszugehen, ohne jedoch ein adrenomedulläres und –corticoides Feedback auszulösen, da Adrenalin- und Cortisolspiegel unverändert bleiben [FRANK et al. 1995]. Dies erklärt sich durch die Ausschaltung der hypothalamischen Funktion unter Allgemeinanästhesie, denn auch für die Freisetzung von Katecholaminen aus dem Nebennierenmark ist der Hypothalamus das übergeordnete Steuerorgan.

### **2.3.2.3. Kardiovaskuläres System**

Die Hypothermie beeinflusst direkt das Herz, weiterhin wird das kardiovaskuläre System über die periphere Vasomotorik beeinträchtigt.

Hypothermie reduziert die Frequenz der Spontandepolarisation des Sinusknotens, demnach sinkt die Herzfrequenz [u.a. DANZL und POZOS 1994, MURISON 2001, FRANK et al. 1997, 1993, KURZ 2001, SMITH 2001]. Die hypotherme Bradykardie ist unempfindlich auf anticholinerge Pharmaka. Die Auswurfleistung nimmt mit sinkender Körpertemperatur ab. Während der Hypothermie können Änderungen in den Reiz-Leitungs-Funktionen im EKG sichtbar gemacht werden. Verlängerung der P-R-Strecke und erweiterte QRS-Komplexe sowie eine T-Wellen-Inversion werden häufig beobachtet [DANZL und POZOS 1994, MURISON 2001, PALO et al. 2000]. 80% der hypothermen menschlichen Patienten weisen

eine sog. J-Welle (Osborn wave) auf, sie wird als positiver Ausschlag in der ST-Strecke sichtbar. Hieraus wird ersichtlich, dass Hypothermie die Patienten zu Arrhythmien prädisponiert. Atriale Arrhythmien sind typisch für die frühe Phase der Hypothermie. Bei sinkender Kerntemperatur (und Herzfrequenz) nehmen die Kammer-Reizleitungsstörungen wie ventrikuläre Tachycardien, Tachyarrhythmien sowie ventrikuläre Extrasystolen zu [MURISON, 2001]. Die hämodynamisch signifikanten Arrhythmien sind schwer zu therapieren, da durch Hypothermie das Myokard relativ unempfindlich auf Defibrillation oder auf kardiale Medikamente wird [SMITH, 2001].

ONCKEN et al. [2001] berichten von einer herabgesetzten  $\alpha$ 1-adrenergen Responsivität beim hypothermen Hund. Bei sinkender Körpertemperatur kommt es zunächst temperaturabhängig zu einer erhöhten Bindung von Noradrenalin an die  $\alpha$ 1-Rezeptoren, gefolgt von einer reduzierten Rezeptoraffinität unter niedrigeren Temperaturen und im Anschluss zu einer Kontraktilitätsdepression. Als Grund dafür wird eine Temperatur-induzierte Konformationsveränderung der Rezeptoren vermutet, die zu einer beeinträchtigten arteriellen Reaktion auf Katecholamine führt. Es findet also bei niedrigeren Kerntemperaturen ein Verlust der normalen thermoregulatorisch induzierten Vasokonstriktion statt.

Studien aus der Humanmedizin belegen, dass schon bei einer milden Hypothermie die Inzidenz von kardialen Ischämien zwei- bis dreimal erhöht ist und damit auch die Mortalität vor allem bei kardialen Risikopatienten erhöht ist [FRANK et al. 1993, 1997]. In einer Doppelblindstudie belegten FRANK et al. [1997] eine Reduktion der kardialbedingten postoperativen Zwischenfälle um 55%, wenn die Normothermie während der Anästhesie erhalten blieb. FRANK et al. [1995, 1997] postulierten, dass die adrenergen und metabolischen Reaktionen auf milde Hypothermie das Gleichgewicht zwischen myokardialer Sauerstoffversorgung und -verbrauch stören, die anschließend als krankhafte EKG-Veränderungen sichtbar werden können.

SCHOSER und MEBMER [1999] warnen vor am Narkoseende auftretender erhöhter Kathecholaminausschüttung, die eine periphere Vasokonstriktion, einen Anstieg der Herzfrequenz sowie des systemischen und pulmonalarteriellen Druckes bewirken.

Ein nicht zu vernachlässigender Belastungsfaktor für das Herz-Kreislaufsystem ist das Kältezittern in der postanästhetischen Phase, das den Sauerstoff-Verbrauch und damit das erforderliche Herzzeitvolumen des Organismus erhöht. Hypotherme Patienten ohne Muskelzittern haben dagegen den gleichen Sauerstoffverbrauch wie normotherme [SCHOSER und MEBMER, 1999].



#### **2.3.2.4 Respirationstrakt**

Eine milde bis moderate Hypothermie zeichnet sich nach anfänglicher Tachypnoe durch eine progressive Abnahme des Respirations-Zeit-Volumens aus und wird mit Hypoventilation und einem Verlust der Atemwegsreflexe in Zusammenhang gebracht [DANZL und POZOS, 1994]. Nach ONCKEN et al. [2001] kommt es bei Kerntemperaturen unter 28 °C zur Atemdepression, die eine verringerte Atemfrequenz und ein vermindertes Atemzeit- und Tidalvolumen bewirkt. Bedingt ist dies durch einen verringerten Zellstoffwechsel, wodurch der CO<sub>2</sub>- Partialdruck der Gewebe sinkt und damit die wichtigste Stimulation für das Atemzentrum fehlt. Eine schwere Hypothermie kann ein Lungenödem, eine Pneumonie und/oder ein akutes Atemnotsyndrom nach sich ziehen.

Aufgrund der verlangsamten Stoffwechselfvorgänge sinkt der Sauerstoffverbrauch während der Hypothermie um etwa 5% pro °C [FRANK, 2001]. Er beträgt bei einer Kerntemperatur von 30 °C etwa die Hälfte des normalen Sauerstoffverbrauchs. Die reduzierte Sauerstoffverteilung resultiert aus der Kombination von alveolärer Hypoventilation, verminderter Dissoziation von Oxyhämoglobin und Erhöhung der Blutviskosität [DHUPA, 1995]. Die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins verschiebt sich nach links.

In der Aufwärmphase entstehendes Muskelzittern ist mit einem erhöhten O<sub>2</sub>-Verbrauch verbunden. Allerdings steigt der Bedarf an Sauerstoff nicht um etwa 400%, wie früher vermutet wurde, sondern um Werte zwischen 40 und 100% [FRANK et al. 1995].

#### **2.3.2.5 Blutgerinnung**

Hypothermie hat komplexe Auswirkungen auf das Blutgerinnungssystem. In vitro- sowie in vivo-Studien haben deutlich demonstriert, dass eine Hypothermie eine erhöhte Blutungsneigung mit sich bringt [YOSHIHARA 1985, GOTO et al. 1985, SCHMIED et al. 1996, HOHN et al. 1998, ROHRER et al. 1992].

Eine Blutsequestration in der Milz hat eine scheinbare periphere Leukopenie und Thrombozytopenie zur Folge [u.a. VILLALOBOS et al. 1955, HELMSWORTH et al. 1955].

Nach SCHMIED et al. [1996] kann eine Hypothermie auf zwei Wegen die Hypokoagulabilität bewirken. Eine gestörte Thrombozytenfunktion und eine direkte Abnahme von Aktivität der Gerinnungsfaktoren verlängern die Blutungszeit während einer Hypothermie. Nach MICHELSON et al. [1994] kann Hypothermie in Blutplättchen zur Hemmung von zahlreichen intrazellulären Stoffwechselfunktionen führen. Die Inhibition der Thromboxan A<sub>2</sub>-Freisetzung, die Up-Regulation von Oberflächenprotein GMP-140 der Blutplättchen sowie verminderte Produktion des Glykoprotein Ib-IX-Komplexes führen zu einer lokalen temperaturabhängigen und reversen Funktionsstörung der Thrombozyten. Des Weiteren reagieren die hypothermen Thrombozyten träger auf Thromboxan A<sub>2</sub> sowie auf Thrombin. Beim Menschen kann eine Temperaturabnahme von 37 zu 34 °C eine Verlängerung der Prothrombin (PT)- und

aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT) von 10-15% bewirken [ROHRER et al. 1992]. Bei hypothermen Hunden konnten GOTO et al. [1985] eine vergleichbare signifikante Verlängerung der aktivierten partiellen Thromboplastinzeit (aPTT) feststellen. YOSHIHARA et al. [1985] fügen hinzu, dass eine kälteinduzierte Aktivierung der Fibrinolyse in geringem Maße die Hämostase stören kann.

Nach ONCKEN et al. [2001] kommt es bei einer milden Hypothermie zu einer erhöhten Aggregationsneigung der Thrombozyten als Folge einer verstärkten Katecholaminausschüttung. Beim weiteren Absinken der Kerntemperatur nimmt die Aggregationsneigung dagegen ab, was ebenfalls durch herabgesetzte Enzymaktivität und weiter durch erniedrigte Thromboxan A<sub>2</sub>-Werte begründet wird. Laut DHUPA [1995] kann in sehr profunden Fällen eine disseminierte intravasale Koagulopathie (DIC) entstehen.

Sowohl SCHMIED et al. [1996] als auch HOHN et al. [1998] konnten in ihren Studien eine signifikante Korrelation zwischen den peri- und postoperativen Blutverlusten und der peri- und postoperativen Hypothermie feststellen. WINKLER et al. [2000] konnten in einer Studie darstellen, dass sogar minimale perioperative Hypothermie verglichen mit Normothermie Patienten zu signifikanter Blutungsneigung prädisponiert.

Oftmals wird in der Literatur darauf hingewiesen, dass die üblichen Gerinnungsfunktions tests normalerweise in Labors bei 37 °C durchgeführt werden. Damit können die temperaturabhängigen Koagulopathien häufig nicht erkannt werden. Normalwerte täuschen damit eine falsche Sicherheit vor und werden in klinischen Situationen nicht erkannt.

### **2.3.2.6 Immunsystem**

Zahlreiche Studien bei Mensch und Tier haben gezeigt, dass eine milde Hypothermie die körpereigene Immunantwort signifikant vermindert. Die Wundinfektionen sind die ernstzunehmenden Komplikationen der Chirurgie und Anästhesie beim Menschen [WENISCH et al. 1996]. SHEFFIELD et al. [1994] stellten in experimentell-infizierten Hautläsionen bei mild hypothermen anästhesierten Meerschweinchen signifikant größere bakterielle Kolonisation als in normothermen und hyperthermen Vergleichsgruppen fest. Die mild hypothermen chirurgischen Patienten in der Humanmedizin leiden dreimal häufiger unter Wundinfektionen als normotherme Patienten [KURZ et al. 1996]. Kontrovers dazu konnten BEAL et al. [2000] in einer retrospektiven Studie beim Hund keine signifikante Korrelation zwischen perioperativer milder Hypothermie und einer erhöhten Wundinfektionsrate feststellen.

Schon frühe tierexperimentelle Studien berichten von einer absoluten Leukopenie und anderen hämatologischen Veränderungen während der Hypothermie beim Hund [u.a. VILLALOBOS et al. 1955, HELMSWORTH et al. 1955]. GOWEN et al. [1961] wiesen eine gestörte Leukozytenfunktion sowie eine stark erhöhte Mortalität bei iatrogenen Bakteriämie

bei hypothermen Hunden nach. BIGGAR et al. [1983] beobachteten eine absolut verminderte Anzahl von im peripheren Blut zirkulierenden neutrophilen Granulozyten bei anästhesierten hypothermen Schweinen. Zusätzlich blieb eine endotoxin-provozierte Freisetzung von Neutrophilen aus dem Knochenmark im Gegensatz zu den Normothermen aus.

Die thermoregulatorische Vasokonstriktion vermindert die periphere Gewebedurchblutung. Die lokale Abnahme der Temperatur vermindert die Sauerstoffspannung im subkutanen Gewebe [IKEDA et al., 1998] und damit die lokale Immunabwehr sowie die Wundheilung als Folge von verlangsamtem Kollagenumbau [SHEFFIELD et al. 1994, KURZ et al. 1996]. MELLING et al. [2001] verglichen Wundinfektionsraten bei Patienten, die entweder lokal oder systemisch erwärmt wurden mit Patienten, die kein Wärmemanagement genossen. Dabei stellten sie fest, dass selbst eine lokale präoperative Wärmezufuhr die Wundinfektionsraten signifikant verminderte.

WENISCH et al. [1996] gehen davon aus, dass die temperaturabhängig verringerte Kapazität der polymorphkernigen neutrophilen Granulozyten Bakterien durch Sauerstoffradikale abzutöten, eine weitere Ursache für die größere Infektanfälligkeit der hypothermen Patienten ist.

Nach BEILIN et al. [1998] vermindert eine milde perioperative Hypothermie die mitogen-induzierte Aktivierung von Lymphozyten und reduziert die Produktion von bestimmten Zytokinen ( Interleukin-1 $\beta$  und Interleukin-2 ). Der Plasmakortisonspiegel steigt am ersten postoperativen Tag deutlich an. XIAO et al. [2005] studierten im murinen Modell Entzündungszellzahlen sowie den Interleukin-6 Spiegel nach einer operativ-induzierten Sepsis und perioperativer Hypothermie und verglichen die Körpertemperatur mit der Mortalitätsrate. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass eine schnelle Hypothermiekorrektur zu einer effektiveren Modulation der Entzündungsreaktion führt und damit die Überlebensrate nach einer Sepsis erhöht.

Im Allgemeinen könnte milde perioperative Hypothermie als ein „window of opportunity“ für fakultative Infektionen aufgefasst werden [FRANK, 2001].

### **2.3.2.7 Stoffwechselstörungen und Homöostase**

Im Verlauf einer Hypothermie kommt es infolge verminderter Gewebepерfusion, erhöhter Muskelaktivität (Kältezittern) und herabgesetzter Enzymaktivität der Leber zur Akkumulation von Milchsäure. Diese führt zu einer metabolischen Azidose. Bei milder Hypothermie kann eine reaktive Tachypnoe eine vorübergehende gemischte respiratorische Alkalose mit metabolischer Azidose bewirken. Sinkt die Kerntemperatur weiter, entsteht auf Grund der verminderten Atemtätigkeit eine azidotische Stoffwechsellaage. Eine limitierte Sauerstoffdiffusion und die herabgesetzte Dissoziation von Sauerstoff aus dem

Oxyhämoglobinmolekül vermindern den Sauerstoffpartialdruck in peripheren Geweben [DHUPA, 1995].

Der zelluläre Stoffwechsel wird durch eine milde Hypothermie angeregt; dabei bewirken die osmotisch aktiven Zellmetaboliten einen Flüssigkeitssog in den Intrazellularraum. Weiterhin bewirken die osmotischen Kräfte eine Flüssigkeitsverschiebung von Intravasallflüssigkeit in den Extravasalraum. Diese Flüssigkeitsbewegungen machen sich durch Hämokonzentration bemerkbar [DHUPA, 1995].

Elektrolytverschiebungen sind schwer vorhersehbar und sollten individuell untersucht und bewertet werden. Bei zunehmender Hypothermie kann der Serumkaliumspiegel abnehmen, während die Serumnatriumkonzentration zunimmt. Wahrscheinlich wird diese von der verminderten Aktivität der K-Na-ATPase der K-Na-Pumpe an den Zellmembranen bewirkt [DHUPA, 1995]. ONCKEN et al. [2001] sehen einen Unterschied in der Entwicklung des Serumkaliumspiegels zwischen milder und schwerer Hypothermie; zunächst nimmt bei milder Hypothermie der Kaliumwert im Serum ab, was auf Rückverteilung in den Intrazellularraum und eine erhöhte Katecholaminproduktion zurückzuführen ist. Bei stark verringerter Körpertemperatur steigt der Kalium-Spiegel jedoch wieder an, bedingt durch die o.g. Funktionsstörung der Na-K-Pumpe und durch eine Freisetzung aus geschädigten Zellen. SMITH [2001] warnt vor den in Zusammenhang mit vermindertem Kaliumspiegel auftretenden kardiovaskulären Störungen.

Sowohl die exokrine wie auch die endokrine Pankreasfunktion ist unter Hypothermie eingeschränkt. Eine verminderte Insulinfreisetzung und ein peripherer Energieverbrauch erhöhen die Blutglukosekonzentration [SMITH, 2001]. Die Hyperglykämie wird jedoch laut DHUPA [1995] schnell durch Kältezittern ausgeglichen.

Auf Grund des verminderten portalen Blutflusses ist die gesamte Leberdurchblutung herabgesetzt, was mit einer verminderten Hepatozytenfunktion einhergeht. Die Wiederherstellung der Normothermie jedoch normalisiert die Hepatozytenfunktion [MIZUSHIMA et al. 2000]. Die Hypothermie-induzierte Reduktion der Abbau- und Ausscheidungsfunktionen der Leber führt zum verlängerten Metabolismus von Medikamenten und körpereigenen Stoffwechselprodukten [SMITH, 2001].

Die Hypothermie beeinflusst die Nierenfunktion in Form einer verstärkten Diurese [SMITH, 2001]. Eine reduzierte tubuläre Reabsorption und herabgesetzte Sensitivität des Tubulussystems stehen in direktem Zusammenhang mit der peripheren Vasokonstriktion und des damit gesteigerten Blut-Zeit-Volumens der Niere. Die renale Perfusion und die glomeruläre Filtration nehmen progressiv mit sinkender Körpertemperatur ab [DANZL und POZOS, 1994].

Die perioperative Hypothermie kann die stark katabolen Stoffwechselprozesse bei traumatisierten älteren bzw. ganz jungen Patienten weiter unterstreichen, da sie zu erhöhtem

Proteinabbau und Stickstoffverlusten führt. Bei traumatisierten Patienten wurde Hypothermie mit einem Verbrauch der energiereichen Phosphatverbindungen wie ATP assoziiert, was wiederum für Organversagen prädisponieren kann [SEEKAMP et al. 1999].

### **2.3.2.8 Pharmakokinetik**

Wie schon erwähnt verringert die Hypothermie den hepatischen und renalen Metabolismus. Die verminderte Enzymaktivität bewirkt Veränderungen in der Pharmakokinetik. Weiterhin verändert Hypothermie neben dem Metabolismus die Verteilung von Anästhetika. Laut LESLIE et al. [1995] ist die Propofolkonzentration im Blut bei 34° C etwa 28% höher als bei 37° C.

Die minimale alveoläre Konzentration (minimal alveolar concentration, MAC) von üblichen Inhalationsanästhetika reduziert sich um 5% pro °C Abfall der Kerntemperatur. Zusätzlich nimmt die Blut-/Gas-Löslichkeit der Narkosegase zu [VITEZ et al. 1974].

Die veränderte Pharmakokinetik und -dynamik in hypothermen Patienten kann zur verhängnisvollen relativen Überdosierung und/oder zu einer verlängerten Erholungsdauer von der Anästhesie führen. LENHARDT et al. [1997] verglichen in einer Blindstudie Patienten im Aufwachraum eines Krankenhauses und stellten dabei fest, dass ein perioperativer Temperaturabfall von etwa 2°C die Erholung von der Narkose und Entlassung auf die Station bis zur 40 Minuten verlängern kann.

### **2.3.2.9 Protektive Eigenschaften der Hypothermie**

Ein verminderter zellulärer Metabolismus während einer Hypothermie schützt den Körper über eine kurze Zeit vor hypoxischen Schäden. Beim Hund sinkt der Sauerstoffverbrauch bis zur Hälfte wenn die Kerntemperatur 30°C beträgt, bei Kerntemperaturen von 23°C auf 16% des Normalwerts. Unter diesen Bedingungen kann der Körper sogar profunde Bradykardie, Asystolie oder erhebliche Rhythmusstörungen überstehen [DHUPA, 1995].

Nach FRANK [2001] übertreffen die neuroprotektiven Eigenschaften der Hypothermie weitgehend alle bisher getesteten pharmakologischen Schutzmaßnahmen. Nach ONCKEN et al. [2001] vermindert ein Abfall der Körperkerntemperatur von 1°C die cerebrale Durchblutung um etwa 6 bis 7% und damit den cerebralen Druck. Nach ihren Angaben erträgt das Gehirn im normothermen Zustand eine 5- bis 6-minütige Ischämie, während sich diese Zeit pro 5°C Abfall der Kerntemperatur verdoppelt. Laut HARTEMINK et al. [2004] ist eine milde Hypothermie (32-34°C) bei allen Patienten mit posthypoxischen Traumen des ZNS oder des Rückenmarks als therapeutische Option zu erwägen. In der Humanmedizin werden die protektiven Vorteile der tiefen Hypothermie in der Herz- und Neurochirurgie genutzt.

### **2.3.2.10 Patientenkomfort**

Laut SCHOSER und MEßMER [1999] erinnern sich viele menschliche Patienten an unangenehmes postoperatives Muskelzittern nach früheren Narkosen. Die Inzidenz des postanästhetischen Muskelzitterns ist umgekehrt proportional zur Körperkerntemperatur. Aber auch normotherme, vasodilierte Patienten haben gelegentlich nach einer Narkose Muskeltremor. Dieses thermoregulatorisch unabhängige Muskelzittern wird wahrscheinlich multifaktoriell verursacht. Als Ursachen werden eine verringerte Aktivität des sympathischen Systems, Schmerzen, Medikamentenwirkung, respiratorische Alkalose, Ausschüttung von Pyrogenen oder eine verminderte Aktivität der inhibitorischen Nervenbahnen im Rückenmark diskutiert.

Nach BUGGY und CROSSLEY [2000] unterscheidet sich thermoregulatorisch unabhängiges Muskelzittern durch sein klonisches Zittermuster kombiniert mit unbeeinflussten spinalen Reflexen von tonischem Kältezittern.

Ähnliche Studien fehlen in der veterinärmedizinischen Literatur infolge der Kommunikationsbarriere zwischen Arzt und Patienten. Es ist jedoch anzunehmen, dass auch Tiere unter einem postanästhetischen Diskomfort leiden können.

## **3. Wärmehaushalt und Thermoregulation unter Allgemeinnarkose**

### **3.1 Perioperative Wärmebilanz**

Das im wachen Zustand vorhandene Fließgleichgewicht des Wärmehaushalts wird während einer Anästhesie aufgrund einer um etwa 30% verminderten endogenen Wärmebildung und einer vermehrten Wärmeabgabe in Richtung einer negativen Wärmebilanz verschoben [SCHOSER und MEßMER, 1999]. Die Immobilisation in Allgemeinnarkose macht es dem Patienten unmöglich, mittels angeborener Verhaltensmuster die Wärmeverluste zu minimieren [SESSLER, 1996; ONCKEN et al. 2001].

Nach SESSLER [2000] entsteht die perianästhetische Hypothermie als Kombination der Anästhetika-induzierten Störung der Kontrollfunktionen der Thermoregulation sowie der veränderten Wärmeverteilung.

Dabei beschreiben SESSLER [1997, 2000] und LENHARDT und SPISS [1999] den Temperaturabfall während der Anästhesie als einen typischen dreiphasigen Kurvenverlauf.

Initial nach Einleitung kommt es zu einem rapiden Abfall der Kerntemperatur. In der zweiten Phase sinkt die Temperatur langsamer. Sie wird eine lineare Funktion der progressiven negativen Wärmebilanz und beträgt ca. 1,1°C pro Stunde. Schließlich erreicht die Kerntemperatur eine Plateau-Phase, die durch ein Gleichgewicht zwischen Wärmeabgabe und Wärmeproduktion auf erniedrigtem Niveau charakterisiert wird. HASKINS [1992],

MACHON et al. [1999], TAN et al [2004] u.a. bestätigen einen ähnlichen Temperaturabfall beim Tier.

Initial nach der Anästhesieinduktion kommt es zur Vasodilation der peripheren Blutgefäße. Diese führt zu einem veränderten Temperaturgradienten zwischen dem Körperkern und der Körperschale, somit wird aus dem Kern Wärme auf die Hautoberfläche transportiert. Es kommt zu einem kurzen exponentiellen Abfall der Kerntemperatur, der bis zu 1,6°C betragen kann. Primär verändert diese Wärmeumverteilung den Gesamtwärmegehalt des Körpers nicht. Sekundär verstärkt natürlich die gesteigerte Oberflächentemperatur die Wärmeverluste in die Umgebung. Quantitative Studien beim Menschen haben gezeigt, dass innerhalb der ersten Stunde in Narkose etwa 81% des Temperaturabfalls durch Umverteilung der Wärme entstehen [SESSLER, 2000].

Die Stoffwechselrate reduziert sich etwa um 15-40% während der Allgemeinanästhesie. Die Wärmeverluste in die Umgebung überwiegen die interne Wärmeproduktion. Diese führen zu einem linearen Abfall der Kerntemperatur.

SESSLER [2000] postuliert, dass der verminderte Gehirnmotabolismus und die maschinelle Beatmung (das Ausschalten der Muskeltätigkeit von Zwerchfell und Brustwandmuskeln spart Energie) die Ursachen der verminderten Stoffwechselrate sein könnten. In der linearen Phase des Temperaturabfalls wird Wärme über alle vier Abgabemechanismen verloren. Das Ausmaß der Abkühlung ist während dieser Phase am leichtesten zu beeinflussen. Bei kleineren Patienten nimmt die Temperaturkurve einen steileren Verlauf als bei größeren. In dieser Periode sind die passiven und aktiven Erwärmungsmaßnahmen am effektivsten [SESSLER 1996, 2000].

Die typische letzte Phase der perioperativen Hypothermie ist gekennzeichnet durch eine konstant bleibende Kerntemperatur. Dabei wird zwischen einem passiven und aktiven Temperaturplateau unterschieden [SESSLER 1996, 2000; BISSONNETTE 1992]. Ein passives Gleichgewicht wird erreicht, wenn die Wärmeabgabe und die Wärmeproduktion übereinstimmen. Die thermoregulatorischen Mechanismen wie Vasokonstriktion werden nicht aktiviert. Ein Temperaturabfall von einem Grad vermindert die Wärmeverluste in die Umgebung um etwa 10%. Während einer Narkose verhindern mehrere Faktoren die Entstehung eines passiven Wärmeplateaus. So besteht auf der einen Seite eine verminderte metabolische Wärmeproduktion, auf der anderen Seite die überproportionalen Wärmeverluste in die Umgebung, z.B. in Form von kühler Raumtemperatur, alkoholhaltigen medizinischen Waschungen oder kalten intravenösen Lösungen. Eine Unterschreitung des neuen thermoregulatorischen Schwellenwertes, etwa bei Kerntemperaturen von 34°C, führt während einer Allgemeinnarkose zu einer Aktivierung von Wärmekonservierungsmaßnahmen. Eine aktive temperaturabhängige Vasokonstriktion verhindert die weitere Umverteilung von Wärme aus dem Körperkern in die Körperschale.

Dieser Prozess wird als aktives Temperaturplateau bezeichnet [SESSLER, 1996, 2000; BISSONNETTE 1992].

### **3.2 Ursachen für den perianästhetischen und perioperativen Wärmeverlust**

#### **3.2.1 Allgemeinanästhesie**

Die Allgemeinanästhesie führt über zwei Hauptwege zur Hypothermie: einerseits erhöhen Anästhetika die Schwelle für die thermoregulatorischen Korrekturmaßnahmen bis auf das Zwanzigfache (von 0,2°C bis zu 4°C), andererseits verursachen die meisten Anästhetika per se eine Vasodilatation. Damit sind die anästhesierten Patienten über eine bestimmte Temperaturspanne als poikilotherm anzusehen. Die Hypothermie ist eine direkte Folge der veränderten perianästhetischen Wärmeverteilung [SESSLER, 1997 und 2000].

Anästhetika verursachen eine ZNS-Depression, die die Sensitivität des Hypothalamus auf Veränderungen der Kerntemperatur herabsetzen [MURISON, 2001]. Die Hemmung der Thermoregulation durch Anästhetika ist dosisabhängig und verhindert dabei die Vasokonstriktion und das Kältezittern dreimal so stark wie Schwitzen [SESSLER, 1997]. Nach SESSLER [1997] erhöhen die volatilen Anästhetika Isofluran, Sevofluran und Desfluran die Schwelle für Schwitzen linear, senken aber die Schwelle für die Kältereaktionen in nicht linearer Weise in Abhängigkeit von der Dosierung. Propofol sowie Opiode (Alfentanil) erhöhen die Schwelle sowohl für Kälte- als auch Wärmereaktionen linear zur verabreichten Dosis.

Laut SCHOSER und MEßMER [1999] wirken zwar auch Barbiturate vasodilatierend, besitzen jedoch wegen ihrer ultrakurzen Halbwertszeit nur einen geringen Einfluss auf die Wärmebilanz.

Muskelrelaxantien verhindern Muskelzittern trotz unterschrittener Temperaturschwelle und blockieren damit einen effektiven Weg der postoperativen Wärmeproduktion. Weiterhin postuliert KURZ [2001], dass die thermoregulatorischen Effekte von Allgemeinanästhetika zentral zustande kommen müssen, da sehr unterschiedliche Stoffgruppen dieselbe Hemmung der Thermoregulation bewirken.

#### **3.2.2 Maschinelle Beatmung**

Die befeuchtende und wärmende Funktion des Nasenrachenraumes fällt durch die Intubation aus. Die trockene Kühle der medizinischen Gase erhöhen den evaporativen Wärmeverlust über den Respirationstrakt. Diese können in einem Halboffenen System mit hohem Gas-



Flow zu einer Wärmeabgabe von ca. 1,54 kcal pro Stunde und Liter Atemminutenvolumen führen.

Kleinere Patienten sind für die Wärmeverluste über den Respirationstrakt exponierter, da aufgrund des Massen-Volumen-Verhältnisses pro Minute pro kg Körpermasse dem Respirationstrakt ein höheres Ventilationsvolumen präsentiert wird [BISSONNETTE, 1992].

Eine Anfeuchtung der Atemgase durch passive Atemluftbefeuchter (HME=Heat moisture exchanger) reduzieren respiratorische Wärmeverluste. Bei sehr kleinen Patienten ist darauf zu achten, dass diese Geräte den Totraum des Narkosegerätes erhöhen und dadurch den Atemwiderstand steigern. Ein geschlossenes Beatmungssystem minimiert zusätzlich die Wärmeverluste [MURISON, 2001].

Nach SESSLER [1996, 2000] und SCHOSER und MEßMER [1999] ist bei einer Verwendung von Atemluftbefeuchtern der Einfluss der maschinellen Beatmung auf die Wärmebilanz zu vernachlässigen.

### 3.2.3 Flüssigkeitstherapie

Zugeführte ungewärmte und gekühlte Flüssigkeiten müssen nach der Körperaufnahme an die Körpertemperatur angeglichen werden. Dieser Vorgang verbraucht Energie und entzieht dem Körper Wärme. Der Kerntemperaturabfall ist abhängig von der Menge und Temperatur der verabreichten Flüssigkeit. Nach SCHOSER und MEßMER [1999] lässt sich dieser Wärmeverlust mit Hilfe einer Annäherungsformel wie folgt berechnen:

$$T = \frac{KG \cdot 0,87 \cdot T(\text{aktuell}) + \text{Infusionsmenge in Litern} \cdot T_{\text{Flüssigkeit}}}{\text{Infusionsmenge in Litern} + KG \cdot 0,87}$$

[ T= Körpertemperatur nach Infusion; KG= Körpergewicht; T<sub>aktuell</sub> = aktuelle Körpertemperatur; T<sub>Flüssigkeit</sub> = Temperatur der Infusionslösung ]

Aus dieser Gleichung kann auch die Infusionsmenge berechnet werden, die die Körpertemperatur um einen bestimmten Betrag abfallen lässt. Für die klinische Praxis einfacher zu verwenden ist folgende Annäherungsformel: ca. 50 ml/kg KM raumtemperierte Infusionslösung (20°C) senken die Körpertemperatur um 1°C. Bekäme also ein Hund mit 10 kg KM während einer Narkose 500 ml einer 20°C warmen Infusionslösung, würde dies seine Körpertemperatur bereits um 1°C senken.

### 3.2.4 Umgebungsbedingungen

Die Umgebungsbedingungen im Operationssaal können erheblichen Einfluss auf die Wärmebilanz nehmen. Die kutanen Wärmeverluste sind direkt linear zum Temperaturgradienten zwischen der Umgebungstemperatur und der Oberflächentemperatur

der Patienten. Eine niedrige Raumtemperatur entzieht dem Körper durch Radiation ebenso Wärme wie eine fehlende Isolation, hervorgerufen z.B. durch das Scheren des Fells oder fehlende Erwärmung des Patienten. Ein kalter Vorbereitungs- oder Operationstisch entzieht dem Körper Wärme durch Konduktion. In der Humanmedizin wird für erwachsene Patienten eine Raumtemperatur von mehr als 21°C, für Operationen bei pädiatrischen Patienten von mehr als 26 °C empfohlen [BISSONETTE, 1992].

Lösungen zur chirurgischen Hautdesinfektion, feuchte Abdecktücher und die Eröffnung von Körperhöhlen führen zu Wärmeverlusten durch Evaporation im Rahmen der Perspiratio insensibilis [SCHOSER und MEBMER, 1999]. Nach ROE [1971] können große Operationswunden die gesamten perioperativen Wärmeverluste beim Kaninchen verdoppeln. Nach SESSLER [2000] sinkt die Körpertemperatur beim erwachsenen Menschen pro Quadratmeter desinfizierte Körperoberfläche um 0,2-0,7°C in Abhängigkeit von der benutzten Desinfektionslösung (wässrig oder alkoholhaltig).

Die meisten Operationsräume sind klimatisiert, es herrscht eine geringe Luftfeuchtigkeit und laminare Luftbewegung. Sogar unter relativ langsamer Luftbewegung (von ca. 20 cm/s) können die Konvektionswärmeverluste erheblich an Bedeutung gewinnen [SESSLER, 2000].

### **3.2.5 Stoffwechsel**

Während einer Allgemeinnarkose ist der gesamte Stoffwechsel um etwa 15-40% reduziert. Die exakten Ursachen dafür sind bisher nur teilweise erfasst [SESSLER, 2000].

Da der Patient zumindest bei geplanten Narkosen vorher gefastet wird, kommt es zu einer Abnahme der Verdauung und einer herabgesetzten Darmmotilität. Beide Effekte vermindern die interne Wärmeproduktion. Weitere Faktoren für die Energieersparnis nach SESSLER [2000] sind der verminderte Gehirnmotabolismus und die maschinelle Beatmung. Durch die Allgemeinnarkose immobilisierte Patienten können sich nicht willkürlich bewegen oder Muskelaktivität stimulieren, was seinerseits die Wärmeproduktion reduziert.

### **3.2.6 Körpermasse und –oberfläche**

Wie schon mehrfach erwähnt, sind kleine Tiere aufgrund ihres ungünstigen Oberflächen-Volumen-Quotienten besonders hypothermiegefährdet. Die lineare Phase des Temperaturabfalls ist deshalb bei kleinen Patienten besonders steil.

Im Bezug auf die Körpermasse sind obese Patienten eine Ausnahme. Das Fett fungiert als Isolierschicht, wodurch adipöse Patienten eher Problem mit ausreichender Wärmeabgabe haben. Aufgrund der andauernden peripheren Vasodilatation ist auch die periphere Gewebetemperatur bei übergewichtigen Patienten höher als bei normalgewichtigen Patienten. Als Folge des geringeren Kern-Peripherie-Gradienten ist der

Kerntemperaturabfall während der Anästhesieinduktion bei diesen Patienten deutlich langsamer [SESSLER, 2000; KASAI, 2003].

### **3.1.2.7 Alter**

Ältere Patienten haben schon im Wachzustand eine verringerte Temperaturschwelle für die Vasokonstriktion, die während einer Narkose weiter absinkt. Daher ist die Gefahr einer stärkeren Auskühlung bei diesen Patienten erhöht [SCHOSER und MEßMER, 1999]. Laut FRANK [2001] ist die adrenerge Antwort auf einen Kältereiz bei jüngeren Patienten weitaus stärker als bei älteren, was das Unvermögen von geriatrischen Patienten, die Kerntemperatur in engen Grenzen aufrechtzuerhalten, erklären könnte.

MURISON [2001] erinnert daran, dass bei Jungtieren die thermoregulatorischen Mechanismen noch nicht voll funktionsfähig sind. Weiterhin fügt sie hinzu, dass juvenile Tiere weniger subkutanes Fettgewebe besitzen, was eine geringere Isolation und einen erhöhten Wärmeverlust zur Folge hat.

### **3.1.2.8 Anästhetische und operative Verfahren**

Auch in der Kleintiermedizin werden Kombinationen von Allgemeinanästhesie und Regionalanästhesie bei der Versorgung von polytraumatisierten Patienten verwendet. Sie vermindert den Bedarf an Anästhetika und führt zur nebenwirkungsärmeren Narkose [ALEF, 2004]. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine Regionalanästhesie sowohl die zentrale als auch die regionale Thermoregulation beeinträchtigt.

Alle thermalen Impulse aus der Körperperipherie werden neural weitergeleitet, daher werden durch die spinale und epidurale Anästhesie diese Signale unterbrochen. Die Konsequenz daraus ist, dass die Epi- und Periduralanästhesie die perioperativen Wärmeverluste verstärkt. Im Gegensatz zur Allgemeinnarkose fehlt während einer neuraxialen Anästhesie das aktive Kerntemperaturplateau, das normalerweise im Laufe der Anästhesie als das neue niedrigere Temperaturgleichgewicht entsteht. Das Fehlen der peripherer Vasokonstriktion und des Kältezitterns in den hinteren Extremitäten reduziert die Wärmekonservierungsmöglichkeiten der Patienten und es kommt zu einer gestörten Wärmeverteilung.

Patienten, die sowohl für eine Regional- als auch Allgemeinanästhesie ausgesetzt sind, haben das größte Risiko, eine schwere intraoperative Hypothermie zu entwickeln. Diese Patienten kühlen in der Linearphase der Anästhesie schneller aus als Patienten in alleiniger Allgemeinnarkose. Hierfür gibt es im Wesentlichen drei Gründe: Erstens vermindern sowohl Allgemeinanästhesie als auch Neuraxialanästhesie an sich bereits den Schwellenwert der Vasokonstriktion. Beide Effekte verhalten sich zueinander additiv, was eine Vasokonstriktion bei deutlich niedrigerer Kerntemperatur zur Folge hat. Zweitens verhindert eine

Allgemeinanästhesie das Kältezittern, das bei alleiniger Regionalanästhesie eine gewisse Gegenregulationsmöglichkeit des Körpers darstellen würde. Der dritte und wichtigste Grund ist die fehlende Vasokonstriktion in den Hinterbeinen während einer Epidural- oder Spinalanästhesie. Daraus resultiert, dass eine zentrale Initiation der peripheren Vasokonstriktion in den Hinterbeinen ineffektiv ist [SESSLER, 1997 und 2000 ].

## 4. Temperatur- Monitoring

### 4.1 Definitionen

Die Temperatur ist eine physikalische Grundgröße; als Zustandsgröße beschreibt sie die durchschnittliche kinetische Energiemenge der Moleküle einer Substanz. Das Kelvin (K) ist die SI-Einheit der Temperatur, im alltäglichen Gebrauch bleibt die handlichere CELSIUS-Skala weiterhin zugelassen.

Es gilt  $n \text{ }^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow (n + 273) \text{ K}$

Nach BLIGH und JOHNSON [1973] definiert sich die mittlere Körpertemperatur als Summe der Produkte aus Wärmekapazität und Temperatur in allen Körpergeweben dividiert durch die totale Wärmekapazität des Organismus:  $T_b = \sum (c_i \cdot T_i) / \sum c_i$ .

Im lebenden Organismus dagegen kann die Wärmekapazität nicht genau bestimmt werden. Die mittlere Körpertemperatur ist deshalb ein Annäherungswert und lässt sich mit Hilfe folgender Formel berechnen:  $T_b \approx 0,67 \cdot T_{\text{Kern}} + 0,33 \cdot T_{\text{Haut}}$ .

Die Funktion eines Kontaktthermometers beruht darauf, dass zwei Substanzen in thermischen Kontakt kommen und nach ausreichender Kontaktdauer die gleiche Temperatur, also ein thermisches Gleichgewicht, aufweisen. Strenggenommen also ändert sich auch die Temperatur des zu messenden Objekts. Dieses gilt natürlich nicht für Temperaturmessgeräte die auf Wärmestrahlung basieren.

### 4.2 Allgemeines

Die objektive quantitative Messung der Temperatur beruht auf einer physikalischen Zustandsveränderung, die linear zur Temperaturdifferenz ist.

Demnach kann man die Temperaturmessgeräte nach ihrem physikalischen Funktionsprinzip klassifizieren:

#### Thermische Ausdehnung

Bei zunehmenden Temperaturen nimmt die kinetische Energie eines Körpers zu, es kommt zu einer Volumenzunahme. Überwiegend eindimensionale Gebilde (Draht, dünne Flüssigkeitssäule in einem Glasrohr) zeigen dabei eine Längenzunahme, z.B. Quecksilberthermometer, Bimetallthermometer.

### **Thermische Druckänderung**

Unter konstantem Volumen steigt der Druck eines Gases wenn die Temperatur steigt. Dieses kann mit einem Gasthermometer sichtbar gemacht werden.

### **Thermische Änderung des elektrischen Widerstandes**

Bei Temperaturerhöhung zeigen Metalle einen Anstieg ihres elektrischen Widerstandes. Die praktische Anwendung ist ein Widerstandsthermometer/Thermistor.

### **Thermoelektrische Spannung**

Bringt man zwei verschiedene Metalle miteinander in Kontakt, dann ist die elektrische Spannung als Funktion der Temperatur festzustellen, z.B. sog. Thermocouples.

### **Wärmestrahlung**

Jeder Körper sendet abhängig von seiner Temperatur Wärme in Form von elektromagnetischer Strahlung (Wärmestrahlung). Diese wird mit einem Infrarotthermometer (Pyrometer) gemessen.

Um die zentrale Körpertemperatur bzw. die Körperkerntemperatur zu kennen, sollte die gemessene Temperatur möglichst mit der Temperatur in der Region des Hypothalamus übereinstimmen [SCHOSER und MEßMER, 1999].

## **4.3 Temperaturmessgeräte in der Medizin**

### **4.3.1 Maximum-Thermometer**

Die Ablesung entspricht der Maximaltemperatur, die vom Messobjekt während eines Messzeitraumes erreicht wurde. Für klinische Zwecke ist die Messung mit einem Maximum-Thermometer (Messbereich i.d.R. 32-43°C) völlig ausreichend. Kot oder Gas im Rektum können zu Messungenauigkeiten führen. Perioperativ lassen sich Maximum-Thermometer allerdings weniger gut einsetzen, da wiederholte rektale Messungen die Asepsis während der Operation gefährden.

#### **4.3.1.1 Quecksilberthermometer**

Quecksilberthermometer bestehen aus einer Glaskugel und einer Glaskapillare, diese enthalten flüssiges Quecksilber in einem Vakuum. Das flüssige Quecksilber dehnt sich in der Glaskapillare unter Wärmewirkung aus, die Verengung am unteren Kapillarende lässt den Flüssigkeitsfaden bei Temperaturrückgang abbrechen. Der Ablesewert entspricht also dem gemessenen Maximalwert. Quecksilberthermometer sind sehr nützlich, da sie genau messen, eine kurze Messdauer haben und einfach zu handhaben sind. Großer Nachteil ist wiederum, dass diese Thermometer aus Glas bestehen und Quecksilber giftig ist.

#### **4.3.1.2 Digitalthermometer**

Beim digitalen Thermometer wird über den Sensor an der Thermometerspitze der vorhandene elektrische Widerstand gemessen. Dieser ist umgekehrt proportional zur Temperatur. Der Messwert wird, je nach Fabrikat auf Zehntel- oder Hundertstelgrade genau angegeben. Vorteile gegenüber dem Quecksilberthermometer sind die geringere Zerbrechlichkeit und bessere Ablesbarkeit. Viele Digitalthermometer haben zusätzlich eine relativ kleinere oder sogar flexible Spitze, die zu einem höheren Patientenkomfort beiträgt.

#### **4.3.2 Infrarotthermometer**

Die Funktion der Infrarotthermometer beruht, wie vorher geschildert, auf der quantitativen Messung von elektromagnetischer Strahlung. In der Humanmedizin haben sich die Infrarot-Ohrthermometer etabliert, diese erfassen die Temperatur des Trommelfells. In einer Studie wurde an 50 Katzen die Körperkerntemperatur mittels eines Infrarot-Tympanothermometers ermittelt. Die Messergebnisse stimmten in einer engen Korrelation mit den Temperaturwerten überein, die mit einem rektal eingeführten Quecksilberthermometer erzielt wurden. Die Vorteile der Infrarotmessung waren kurze Dauer von etwa 2 Sekunden und eine einfache und sichere Anwendbarkeit [GRÖSSLINGER, 1998]. Gegensatz dazu fanden HUANG und SHIH [1998] eine nicht ausreichende Korrelation zwischen rektalen und tympanialen Temperaturmessergebnissen bei Hunden. LENHADRT und SPISS [1999] dagegen erwähnen, dass die Trommelfelltemperatur am genauesten mittels sog. Thermocouples zu messen ist, während die Infrarotthermometer weniger genaue Ergebnisse liefern.

#### **4.3.3 Elektronische Temperaturmessung**

Die elektronische Temperaturmessung ist zwar wesentlich teurer als die herkömmlichen Methoden, bietet aber entscheidende Vorteile. Thermoelemente haben eine wesentlich kleinere Wärmekapazität als Flüssigkeitsthermometer. Sie entziehen daher dem Messobjekt keine nennenswerten Wärmemengen und die Einstellzeit bei Temperaturschwankungen des Messobjekts ist viel kürzer. Auch eine unmittelbare Anzeige (Dauerregistriermöglichkeit) mittels elektrischer Messinstrumente ist ein Vorteil. Eine elektrische Temperaturmessung ist also immer dann vorzuziehen, wenn Temperaturverläufe mit kurzzeitigen Schwankungen über längere Zeit registriert werden sollen. Aufgrund ihrer wesentlich größeren Messbreite und ihrer äußeren Beschaffenheit eignen sich diese Techniken für unterschiedlichste Messorte, wie z.B. tief ösophageal, rektal, in der Pulmonalarterie, und auf der Körperoberfläche.

#### **4.3.3.1 Thermocouples**

In einem geschlossenen Leitkreis aus zwei Metallen fließt ein sog. Thermostrom solange diese Elemente unterschiedliche Temperaturen haben. Die Temperatur ist proportional zur elektrischen Spannung.

#### **4.3.3.2 Widerstandsthermometer/Thermistor**

Laut OHMschem Gesetz bleibt der elektrische Widerstand von Metallen bei gleichbleibender Temperatur konstant. Umgekehrt wird die Widerstandsänderung in Thermistoren als Funktion der Temperatur angegeben.

#### **4.3.3.3 Flüssigkristalle**

Für die Überwachung von Oberflächentemperatur können sog. Flüssigkristalle verwendet werden. Sie sind relativ preisgünstig und können nach der Verwendung entsorgt werden [BISSONNETTE, 1992].

### **4.4 Messorte**

Das Blut fungiert als konvektiver Wärmeverteiler. Die Temperatur des Blutes in Gefäßen und Organen der großen Körperhöhlen entspricht dem aktuellen Istwert der Körperkerntemperatur. Die Erfassung der Kerntemperatur sollte möglichst in diesem thermalen Kompartement geschehen. In Abhängigkeit von der Art des operativen Eingriffs und in der Veterinärmedizin von der Rentabilität, stehen mehrere Messorte zur Verfügung.

#### **4.4.1 Genaue Messorte**

##### **4.4.1.1 Pulmonalarterie**

Der in der Ateria pulmonalis eingeführte Swan-Ganz-Katheter ermöglicht eine kontinuierliche Temperaturmessung im Körperkern, die aufgrund der starken Durchblutung wahrscheinlich der intracerebralen Temperatur weitgehendst entspricht. Die Methode ist jedoch invasiv und aufgrund der aufwendigen Apparatur teuer und bleibt deshalb der Humanmedizin vorbehalten.

##### **4.4.1.2 Speiseröhre**

Die Temperaturmessung im distalen Drittel des Ösophagus wird am häufigsten verwendet und gilt als Standardmessung der Körperkerntemperatur. Dagegen empfiehlt SCHRÖDER [1999], die Messung im medialen Drittel durchzuführen.

#### **4.4.1.3 Gehörgang/Trommelfell**

Die tympanale Temperatur spiegelt am genauesten die Temperatur des Gehirns wieder. Die Messung kann mittels eines Thermistors im Gehörgang durchgeführt werden. SCHOSER und MEßMER [1999] warnen in diesem Zusammenhang jedoch vor iatrogenen Trommelfellläsionen; diese sind durch Infrarotmessung zu vermeiden, allerdings variieren die Ergebnisse über die Messgenauigkeit beim Tier mit dieser Methode in der Literatur [GRÖSSLINGER 1998, HUANG et SHIH 1998]. BISSONNETTE [1992] erwähnt, dass die neuen Thermistoren so weich und flexibel sind, dass sie selbst bei kraftvollem Einführen nicht vermögen, den Gehörgang oder das Trommelfell zu schädigen.

#### **4.4.2 Annehmbare Messorte**

##### **4.4.2.1 Harnblase**

Die Temperaturmessung mittels eines Verweilkatheters ist besonders vorteilhaft wenn das Temperaturmonitoring über einen längeren Zeitraum erforderlich ist, da er gut von den Patienten toleriert wird [SCHRÖDER et al. 1999]. Bei abdominalchirurgischen Eingriffen ist die Messgenauigkeit dieser Methode limitiert, sie ist zusätzlich relativ teuer und invasiv [SCHOSER und MEßMER, 1999].

SCHRÖDER et al. [1999] erinnern aber, dass die Blasentemperatur bei hohem Urindurchflussvolumen besser und bei einem niedrigen Urinfluss nur verzögert mit der Körperkerntemperatur korreliert. Dies macht man sich vor allem in der kardiologischen Chirurgie zu Nutze, wenn die Patienten für die Eingriffe absichtlich unterkühlt werden. Dabei kann die Harnblasentemperatur als Erfolgskontrolle der Wiedererwärmung angesehen werden. Nach BISSONNETTE [1992] entspricht die Blasentemperatur bei höheren Urinflussgeschwindigkeiten die der Pulmonalarterie.

##### **4.4.2.2 Rektum**

Die rektale Messung der Körpertemperatur genügt als Standardmethode für den klinischen Alltag in der Veterinärmedizin. Zu berücksichtigen ist, dass bei Normalgebrauch der Thermometer nur wenige Zentimeter in das Rektum eingeführt wird und dadurch die Ergebnisse immer ein wenig unter der tatsächlichen Kerntemperatur liegen. Sehr einfach lassen sich die elektronischen Temperatursonden anwenden, die sich weiter in den Enddarm einbringen lassen und daher der Körperkerntemperatur weitgehend entsprechen.

Die Messergebnisse können aber sehr leicht durch im Darm enthaltenes Gas oder Kot verfälscht werden. Eine Durchblutungssteigerung kann, z.B. als Folge einer Entzündung im Rektum, nach SCRÖDER et al. [1999] fälschlich erhöhte Werte liefern. Das kältere



Kompartement der Extremitäten kann scheinbar die gemessenen Temperaturen verringern [BISSONNETTE, 1992].

#### **4.4.3 Hautoberflächentemperatur**

Die axillare Temperaturmessung erfreut sich beim Menschen im Hausgebrauch großer Beliebtheit. Die Messergebnisse sind allerdings nur als ungefähre Überblick über die tatsächliche Kerntemperatur anzusehen, da die Hauttemperatur großen Schwankungen unterworfen ist.

Gleichzeitige elektronische Temperaturmessung des Körperkernes und der Hautoberfläche (z.B. interdigital) bietet die Möglichkeit zur Berechnung des inneren Temperaturgradienten. So kann gleichzeitig Auskunft über den Blutfluss zur Peripherie, die Kreislaufsituation und die Vasokonstriktion gewonnen werden.

### **5. Maßnahmen zur Prävention und Therapie einer perioperativen Hypothermie**

#### **5.1 Allgemeines**

Es sollte ein für jedes Patientenkollektiv und auf die lokale Infrastruktur zugeschnittenes Wärmemanagementkonzept entwickelt werden. Dabei muss das passende Verfahren unter Berücksichtigung des jeweiligen operativen Eingriffes und der damit einhergehenden Erfordernisse gewählt werden [SCHNOOR et al. 2005].

Generell gilt, dass die Erhaltung einer Normothermie besser ist als die Therapiemaßnahmen zur Korrektur der Hypothermie. Eine postanästhetische Vasokonstriktion vermindert die Effektivität der externen Wärmezufuhr. Man unterscheidet nach der Art der Erwärmung pharmakologische, passive, aktive interne und externe Erwärmung.

#### **5.2. Passive Erwärmung**

Unter passiver Erwärmung versteht man die Einschränkung bzw. Vermeidung von exzessiven Wärmeverlusten.

##### **5.2.1 Raumklima**

Der allgemeinanästhesierte Patient ist, einerseits als Folge der Anästhetika-induzierten Störung der Kontrollfunktionen der Thermoregulation, andererseits durch die veränderte Wärmeverteilung gewissermaßen als poikilotherm anzusehen [SESSLER, 2000]. Der Körper tendiert dazu, seine Temperatur an die Umgebungstemperatur anzugleichen. In Operationssälen wird heute eine Temperatur von ca. 18-21°C angestrebt, was jedoch mehr dem Komfort des OP-Personals dient. Zusätzlich herrscht durch die Klimatisierung eine

relativ hohe Luftgeschwindigkeit und eine niedrige Luftfeuchtigkeit, was die Wärmeabgabe über Evaporation erhöht.

Laut BISSONNETTE [1992] benötigen erwachsene Menschen Mindestraumtemperaturen  $>21^{\circ}\text{C}$  um normotherm zu bleiben. In der Pädiatrie werden Operationssaaltemperaturen von etwa  $26^{\circ}\text{C}$  empfohlen.

### **5.2.2 Isolierung**

Die einfachste Methode, um die oberflächlichen Wärmeverluste zu minimieren, ist eine passive Insolation der Hautoberfläche. Damit wird sowohl die konduktive als auch die konvektive Wärmeabgabe vermindert. Eine einzelne Schicht isolierenden Materials vermindert die Wärmeverluste um etwa 30%. Dieser Effekt wächst nicht proportional mit zusätzlichen isolierenden Schichten [SESSLER, 1991].

### **5.2.3 Vermeidung von Verdunstungsflächen**

ROE [1971] stellte bei einem Tierversuch fest, dass ein einfacher Evaporationsschutz mittels chirurgischen Plastikdecken die Wärmeverluste bei Bauchhöhlenoperationen signifikant vermindert, da Wärmeverluste über einem exponierten Darmkonvolut doppelt so hoch sind.

### **5.2.4 Artificial nose (HME)**

Die trockenen Atemgase können durch einen sogenannten Heat-Moisture-Exchanger (HME oder auch „artificial nose“ genannt) passiv angewärmt und befeuchtet werden. Dieser wird zwischen Tracheotubus und Y-Stück des Beatmungssystems platziert. Unabhängig vom Typ des HME ist das Prinzip der Funktion dasselbe, die Feuchtigkeit aus der Expirationsluft wird in dem HME zurückgehalten und durch Evaporation wieder an die trockenen Inspirationsgase abgegeben. Drei Typen von HMEs sind im Gebrauch. Der Kondensortyp besteht aus einer Metallplatte, an der sich die Feuchtigkeit der ausgeatmeten Gase niederschlägt und wieder an die eingeatmeten Gase abgegeben werden kann. Eine neuere Form des HME beinhaltet ein hygroskopisches Material, das Wasser und damit auch Wärme festhält. Die dritte Art besteht aus hydrophober Keramik, an der ebenfalls die Feuchtigkeit kondensieren kann.

Die Anfeuchtung der Atemgase durch passive Atemluftbefeuchtung reduziert ebenso wie ein niedriger Narkosegas-Flow den Wärmeentzug durch Verdunstung über die Atemwege auf ein Minimum [LESLIE et SESSLER 1999]. LE BLANC [1987] berichtet, dass allein die Verwendung eines halbgeschlossenen oder geschlossenen im Vergleich zu einem halboffenen Narkosesystem ausreicht, um das Ausmaß einer Hypothermie einzudämmen. Nach SCHÖBER und MESSMER [1999] ist eine aktive Erwärmung der Atemgase zum Erhalt der Körperkerntemperatur nur bei Benutzung halboffener Narkosesysteme sinnvoll.

SESSLER et al. [1997] und LESLIE und SESSLER [1999] wenden ein, dass eine Erwärmung und Anfeuchtung der Atemgase, kaum oder gar keinen Effekt auf die Kerntemperatur hat, da der Wärmeverlust über die Atemgase weniger als 10% des Gesamtwärmeverlustes beträgt. Nur bei Neonaten und Kleinkindern kann dieser Anteil erhöht sein. Für FRANK [2001] ist ein HME nur für jene Patienten von Nutzen, die durch eine Befeuchtung der Atemgase profitieren können oder bei denen keine anderen Wärmemaßnahmen zur Verfügung stehen. Laut MURISON [2001] ist ein HME jedoch für Tiere unter fünf Kilogramm Körpergewicht nicht unbedingt angezeigt. Für kleinere Tiere wird bei Spontanatmung der Widerstand des geschlossenen bzw. halbgeschlossenen Narkosesystems zu groß, was zur Erschwerung der Atemtätigkeit führt. Deshalb sollte darauf geachtet werden, HMEs aus der Pädiatrie für kleine Tiere zu verwenden.

### **5.2.5 Glashauseffekt**

PERSSON et al. [2004] beschreiben die Erzeugung eines künstlichen sog. Glashauseffekts. Dabei wird in offene artifizielle Operationswunden befeuchtetes Kohlendioxid insuffliert. Diese lokal erzeugte CO<sub>2</sub>-Atmosphäre absorbiert und emittiert langwellige Energie, wodurch eine wärmeisolierende Luftbarriere in der Wundhöhle entsteht. In Kombination mit Operationslampen kann in lokaler CO<sub>2</sub>-Atmosphäre nicht nur eine Kompensation der radiativen und evaporativen Wärmeverluste erzielt werden, sondern auch ein Nettoinflux von Energie zur Erwärmung der Wundhöhle.

### **5.3. Aktive Erwärmung**

Obwohl die unter 5.2. beschriebenen Methoden den Wärmeverlust des Patienten reduzieren können, vermögen sie keine Wärme aktiv in den Patienten zu transferieren. Deshalb ist eine aktive Erwärmung nötig, um die Normothermie perioperativ zu erhalten [FRANK, 2001].

#### **5.3.1 Aktive externe Erwärmung**

Etwa 90% der metabolischen Wärme wird während der Anästhesie über die Körperoberfläche verloren. Nach KURZ [2001] ist die aktive Erwärmung der Hautoberfläche die effektivste Methode zur Prävention der perianästhetischen Hypothermie.

Ziel dieser Methode ist es, die Lufttemperatur um den Patienten zu erhöhen, um damit den Temperaturgradienten zwischen dem Patienten und der Umgebung zu reduzieren. Diese Methode minimiert die konduktiven und konvektiven Wärmeverluste [ARMSTRONG et al. 2005]. Der Wärmetransport via Konduktion hängt von der Wärmekapazität der Haut, dem Temperaturgradienten sowie der Kontaktfläche zwischen Wärmequelle und Haut ab [DUNLOP, 1989].

### **5.3.1.1 Konvektives Erwärmen**

KURZ [2001] bezeichnet diese Methode als die effektivste, um dem Patienten perioperativ Wärme zuzuführen. Die besten dieser Systeme transportieren mehr als 50 Watt durch die Haut, was zu einem raschen Anstieg der mittleren Körpertemperatur führt.

Die konvektiven Wärmesysteme bestehen aus zwei Komponenten – dem Warmluftgenerator und einer Decke. Der Generator bläst warme Luft in variablen Flow-Raten und Temperaturen über ein Schlauchsystem in die Decke, die den Patienten umgibt. In der Decke befinden sich kleine Löcher, durch die die warme Luft direkt auf die Haut des Patienten geleitet wird. In der Humanmedizin gibt es solche Decken für Ober-, Unter- oder den ganzen Körper je nach Lokalisation des chirurgischen Eingriffs [FRANK 2001]. Die konvektiven Wärmesysteme (z.B. Bair Hugger®) schaffen ein warmes Mikroklima direkt um den Körper und vermindern aufgrund der aufgehobenen Temperaturgradienten zwischen dem Patienten und der Umgebung die Wärmeverluste. Aktive Oberflächenerwärmung kann den initialen Temperaturabfall während der Induktion der Narkose nicht verhindern, vermindert aber die Wärmeabgabe während der zweiten und dritten Phase [ARMSTRONG et al. 2004]. Allein die Erwärmung mit dem Bair-Hugger®-System konnte der Grad der Hypothermie bei Katzen, die 90 Minuten in Narkose lagen, minimiert werden [MACHON et al. 1999]. In einer Studie von TAN et al. [2004] erwies sich das konvektive Wärmesystem als alleinige Erwärmungsmaßnahme beim Hund als effektiv.

Eine lange Vorbereitung des Patienten vor der Operation (Waschen, Scheren, Desinfektion) sowie die Narkoseeinleitung (z.B. Dauerkatheter, Magensonde, zentraler Venenkatheter) kann die Kerntemperatur schon vor Beginn des Eingriffes erheblich absenken. Laut HEUER [2003] kann dem Patienten durch ein sogenanntes „pre-warming“ effektiv die Normothermie erhalten werden. Dabei beträgt die optimale Dauer des „pre-warming“ beim Menschen ca. 30 Min. Ein konvektives Wärmesystem ist allerdings für das Vorwärmen eines nicht-sedierten tierischen Patienten sicher nicht möglich.

Weiterer Vorteil dieser Warmluftdecken ist, dass sie durchlässig für Röntgenstrahlen sind. Es kann allerdings bei kleinen Tieren schwierig sein, nach Abdeckung ausreichend Zugang zum Operationsfeld zu haben. Zudem sind die Warmluftsysteme noch relativ teuer [MURISON, 2001].

### **5.3.1.2 Warmwassermatratzen**

Warmwassermatratzen kommen in der Veterinärmedizin immer häufiger zum Einsatz und erweisen sich trotz relativ hoher Anschaffungskosten als sehr vielseitig anwendbar. Sie können sowohl im Operationssaal als auch während der Aufwachphase zur Hypothermieprävention angewendet werden sowie bei den hypothermen Intensivpatienten zum Einsatz kommen.

Die Warmwassermatratzen bestehen aus strapazierfähigem Kunststoff. Im Inneren der Matratze zirkuliert in einem geschlossenen System warmes Wasser, das durch ein elektrisches Heizelement aufgewärmt wird und dessen Temperatur mit einem Thermostat kontrolliert werden kann. Als Wärmemethode ist sie als sicher einzustufen, da die eingestellte Temperatur der Heizmatratzen konstant bleibt [SWAIM et al. 1989].

EVANS et al. [1973] stellten bei Katzen, die während der Operation auf einer Warmwasser-Decke lagen, eine signifikant höhere Kerntemperatur fest als bei Katzen bei denen keine Erwärmung durchgeführt wurde. Bei Hunden konnte kein signifikanter Wärmeeffekt festgestellt werden.

In einer Studie von WATERMANN [1975] an Hunden und Katzen wird eine mediane Temperaturdifferenz von 0,5°C zwischen den ungewärmten Tieren und den Tieren, die während chirurgischen Maßnahmen auf der Warmwassermatratzen lagen, festgestellt. HUBBEL et al. [1985] fanden dagegen in einer Studie an 824 Hunden und 24 Katzen heraus, dass eine Warmwassermatratze konventionell unter dem Tier angewendet für die perioperative Hypothermieprävention als ineffektiv angesehen werden muss. Liegen die Tiere auf der Matratze, ist die Kontaktfläche zu klein. CABELL et al. [1997] beschrieben in einer Studie an 32 Hunden, dass in der Gruppe, die nur peripher mit Warmwassermatratzen gewärmt wurde, die Kerntemperatur während der gesamten Narkose signifikant höher war als bei den Hunden, die um deren Rumpf gewärmt wurde. Es machte keinen Unterschied, ob die Tiere auf der Matratze lagen oder von ihr bedeckt wurden.

In der Humanmedizin wird ein Warmwasseranzug erprobt, der um den Körper gewickelt wird. Dieses Gerät erlaubt die Körperoberfläche dreidimensional zu erwärmen und ist hinsichtlich seiner Effektivität mit einem konvektiven Erwärmungssystem zu vergleichen [JANICKI, 2001, Sury et Scuplak 2006].

### **5.3.1.3 Heizbare OP-Tische**

Aufgrund des hohen Kostenaufwands sind im OP-Tisch installierte Heizelemente in der Tiermedizin noch relativ selten. Die Anwendung von separaten Heizdecken erübrigt sich [MURISON 2001]. Die Effektivität von planaren Heizelementen ist vergleichbar mit Warmwassermatratzen oder elektrischen Heizdecken. Neuerdings werden in der Humanmedizin Gel-Unterlagen in Verbindung mit OP-Tischen verwendet, da das Gel die Wärme gut speichert und sich gleichmäßig an der Körperoberfläche anschmiegt.

### **5.3.1.4 Elektrische Heizdecken**

Elektrische Heizdecken finden seit Jahren in der Veterinärmedizin breite Verwendung; auf dem Markt befinden sich zahlreiche Modelle, mit und ohne Temperaturregler.

Vorteile sind vor allem die günstigen Anschaffungskosten und die einfache Anwendung. Elektrische Heizdecken haben jedoch gravierende Nachteile. Viele Modelle verfügen über kein Thermostat; die Temperatur der Decke lässt sich weder einstellen, noch ist es möglich die Wärmezufuhr zu kontrollieren. Weiterhin besteht die Gefahr eines Kurzschlusses, wenn das Stromkabel beschädigt wird. Das Stromkabel befindet sich sehr nah am Tier, so dass es durch das wache Tier angeknabbert oder während Desinfektions- oder Spülungsmaßnahmen oder durch Urin nass werden kann. Zusätzlich können Überwachungsmonitore, wie z.B. für das EKG elektrische Interferenzen zeigen [MURISON 2001]. Die größte Gefahr solcher Heizdecken ist jedoch die der Verbrennung, wenn sie unter einem anästhesierten Tier platziert werden. Einerseits kann dies durch Überhitzung der Decke geschehen, andererseits spielt die Auflagedauer, das Gewicht des Tieres, die Beschaffenheit des Haarkleides und die Isolationsschicht zwischen Tier und Decke eine Rolle, da die Perfusion der Körperauflagefläche reduziert ist und damit Wärme langsamer lokal abgeführt werden kann. Es kann die Wärmeproduktion gleicher Heizdecken bei gleicher Einstellung variieren [SWAIM et al. 1989].

#### **5.3.1.5 Hot Packs, Hot Hands, warme Wasserflaschen**

In der Veterinärmedizin häufig benutzt, bieten diese Wärmemethoden eine sehr einfache und günstige Möglichkeit, dem Patienten Wärme zuzuführen, bergen jedoch die Gefahr der potentiellen Verbrennungen durch Überhitzung. Nach DUNLOP et al. [1989] sind Hot Packs u.ä. Wärmequellen in der Lage, schwere Verbrennungen zu verursachen, wenn die Temperatur dieser Gerätschaften über 45° C steigt und sie direkten Kontakt zur Haut des Tieres haben. Sie sollten daher ohne direkten Hautkontakt in Tüchern gewickelt zum Einsatz kommen. Diese Wärmequellen sind relativ ineffektiv, insbesondere bei Temperaturen <45° C. Um bei einem 10 kg schweren Hund die Kerntemperatur ohne thermale Verletzungen um 10° C zu erwärmen, wären etwa 60 Handschuhe mit einer Temperatur von 45° C nötig. Die Hot Packs etc. können weiterhin perioperativ die Sterilität des Operationsfeldes gefährden, da sie häufig gewechselt werden müssen [TAN et al. 2004].

#### **5.3.1.6 Wärmestrahler**

Laut HASKINS [1992] können Infrarotstrahler sowohl peri- als auch postoperativ eingesetzt werden, wobei auf den optimalen Abstand von 75 cm geachtet werden muss.

TAN et al. [2004] warnen vor Verbrennungsgefahr für das Tier sowie für das Personal, wenn die Wärmestrahler zu nah am Patienten bzw. Personal aufgestellt werden. Durch das rote Licht lässt sich das zu operierende Gewebe zudem nicht mehr objektiv beurteilen.

### **5.3.1.7 Weitere Methoden**

Verschiedene Autoren beschreiben den Gebrauch von Warmwasserbädern und von Bodenheizungen in Aufwachräumen und –boxen. Nach einem Warmwasserbad muss das Tier auf jeden Fall sofort gründlich getrocknet und in eine warme Umgebung verbracht werden. Dabei ist der Vorteil einer Fußbodenheizung eine gleichmäßige Luftherwärmung und damit ein warmes Raumklima. Für die Effektivität dieser Methode gilt das bei Warmwassermatratzen gesagte. Die Kontaktfläche des Tieres mit dem warmen Boden ist zu klein, um das Tier effektiv vor einer Hypothermie zu schützen. Des Weiteren müssen Schutzmaßnahmen gegen Verbrennungen getroffen werden.

### **5.3.2 Aktive interne Erwärmung**

Das Ziel der aktiven inneren Erwärmung ist eine schnelle Temperaturerhöhung des Körperkerns [ARMSTRONG et al. 2004] bei gleichzeitiger Vermeidung eines Schocks durch Wiedererwärmen [BRUNETTE et al. 1987]. Das grundlegende Problem der aktiven Kernerwärmung ist der langsamere Anstieg der Körperschalentemperatur und die nachfolgende Umverteilung der Wärme in Richtung des Temperaturgradienten, wodurch es leicht zur Umverteilung der Wärme in die kältere Körperperipherie, dem sog. „Afterdrop“-Phänomen kommen kann.

#### **5.3.2.1 Erwärmen/Anfeuchten der Atemgase**

Die Atemgase können entweder passiv mit Hilfe eines HME oder aktiv evaporativ oder mit Ultraschallbefeuchtern erwärmt und angefeuchtet werden [BISSONNETTE, 1992]. Laut SMITH [2001] kann durch die Erwärmung der Atemgase und das Anfeuchten des Respirationstraktes eine Erhöhung der Kerntemperatur von 0,5-0,65 °C/h erzielt werden. Laut BISSONNETTE [1993] ist bei pädiatrischen Patienten das Erwärmen und Anfeuchten der Atemgase zur Erhaltung der Normothermie aufgrund der höheren Minutenventilation pro KG Körpergewicht effektiver als bei Erwachsenen. Im Gegensatz dazu ist nach HASKINS et al. [1980] die Effektivität dieser Methode bei Hund und Katze während einer Allgemeinnarkose als alleinige Hypothermieprophylaxe eher fraglich, die Wärmeverluste können jedoch mit angewärmten und angefeuchteten Atemgasen vermindert werden. Nach SESSLER [1997] können allerdings die geringen Wärmeverluste über den Respirationstrakt vernachlässigt werden, da diese unter 10% des Grundumsatzes ausmachen [LESLIE und SESSLER 1999].

#### **5.3.2.2 Körperhöhlenlavagen**

Das Funktionsprinzip dieser Methode ist, dass warme pleurale und peritoneale Körperhöhlenlavagen zu einem signifikanten Wärmetransfer führen, wenn die Temperatur

der Spülflüssigkeit höher ist als die Körpertemperatur [ARMSTRONG et al. 2004]. Warme Pleural-/Peritoneallavagen werden v.a. bei sehr hypothermen Patienten empfohlen (<28°C), sie bewirken aber bei moderater Hypothermie eine kardiovaskuläre Instabilisierung. Massive thorakoabdominale Traumen stellen eine Kontraindikation für eine Körperhöhlenspülung dar. Bei einer hohen Austauschrate der warmen Vollelektrolytlösung (6l/min beim Menschen) kann die Körpertemperatur um 2-3°C steigen [SMITH 2001].

Eine offene Thorakotomie und Lavage mit warmen Salzlösungen ist als sehr schnelle, aber auch eine risikoreiche Wiedererwärmungsmaßnahme einzustufen. Im Gegensatz dazu bietet eine geschlossene Pleurallavage eine relativ sichere und sehr schnelle Möglichkeit, die Kerntemperatur zu erhöhen. Diese Methode ist beispielsweise zweimal schneller als intragastrale Spülungen [BRUNETTE et al. 1987]. Die Pleurallavage ist mit gewissen materiellen Rahmenbedingungen verbunden und wahrscheinlich nur in der Humanmedizin als realistische Option zum Wiedererwärmen anzusehen.

NAWROCKI et al. [2005] verglichen bei 18 Hunden nach einer Laparotomie warme (ca. 42°C) oder raumtemperierte Bauchhöhlenlavagen und maßen daraufhin deren Wirkung auf die Körperkerntemperatur. Sie stellten eine signifikante Kerntemperaturerhöhung nach 2- bis 6-minütigen Spülung mit warmen Spülflüssigkeiten fest; die Temperaturen stiegen weiterhin bei 15-minütigen Spülungsperioden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die eingeführte Wärme eine Vasodilatation der Bauchhöhleingeweide verursacht und die potentielle Verdunstungsoberfläche für Wärmeverluste damit vergrößert wird.

### **5.3.2.3 Gastrointestinale Lavagen**

Intragastrale Spülungen mit erwärmten Lösungen beschreibt DHUPA [1995] als eine der effektivsten Methoden in der Veterinärmedizin, die Kerntemperatur schnell und ohne eine spezielle Apparatur zu erhöhen. Gastrointestinale Perforationen sowie die Induktion kardialer Dysrhythmie während der Platzierung der Magensonde sind potentielle Risiken. Warme Einläufe sind eine weitere Möglichkeit zur Erwärmung des Patienten, jedoch im Vergleich zur Körperhöhlenlavage deutlich langsamer [BRUNETTE 1987].

### **5.3.2.3 Extrakorporale Erwärmung (Dialyse)**

Die hier zur Verfügung stehenden Techniken sind äußerst wirksam, aber auch sehr aufwendig, teuer sowie invasiv und deshalb risikobehaftet. In der Tiermedizin werden diese Erwärmungsmethoden aufgrund der hohen Kosten sowie des technischen Aufwands keine große Rolle spielen.

#### **Kontinuierliches arteriovenöses Erwärmen (CAVR=continuous arteriovenous rewarming)**

Für CAVR sind die Kanülierung einer großlumigen Arterie und Vene (z.B. A. und V.femoralis) erforderlich, die über ein spezielles Leitungssystem mit einem heparinisierten



Wärmeaustauscher verbunden sind. Eine systemische Heparinisierung ist nicht nötig. Das gesamte Blutvolumen des Patienten fließt so durch das Wärmeelement und angewärmt in die Vene zurück. Bei systolischen Blutdrücken von >80 mmHg kann mit Flow-Raten von 225-375 ml/min gearbeitet werden, so kann ein sehr rasches Erwärmen des Patienten erzielt werden. Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der entfallenden Heparinisierung des Patienten, einer schnellen Therapie der Hypothermie, einem verringerten Auftreten von Organversagen und damit einem verkürzten Aufenthalt auf der Intensivstation. Risiken bestehen allerdings in der Punktion der femoralen Gefäße sowie der Gefahr der Luftembolie. Patienten mit schwerer myokardialer Dysfunktion tolerieren eventuell die höheren Flussraten des angegebenen Bereichs nicht [SMITH, 2001].

#### **Kardiopulmonarer Bypass (CPB = cardiopulmonary bypass)**

Der CPB ist die effektivste Methode, um Wärme in einen Patienten zu transferieren und die Organperfusion wiederherzustellen. Allerdings erfordert diese Technik eine systemische Heparinisierung und ist damit ungeeignet für die meisten Traumatpatienten. Weitere relative Kontraindikationen für einen CPB sind Asphyxie, schweres Trauma (erhöhtes Blutungsrisiko bei systemischer Heparinisierung) und extrem erhöhte Kalium-Spiegel (>10 mmol) [SMITH 2001].

#### **5.3.2.4 Anwärmen von Infusionslösungen**

Ein Anwärmen von Infusionslösungen kann laut FRANK [2001] das Ausmaß einer perioperativen Hypothermie vermindern helfen, aber nicht effektiv zum Wärmen des Patienten beitragen, da die Flüssigkeiten nicht wärmer als der Kerntemperatur entsprechend verabreicht werden dürfen. Trotzdem ist gerade bei höheren Flussraten der Einfluss der Temperatur nicht zu vernachlässigen: einfache thermodynamische Berechnungen zeigen, dass ein Liter einer Vollelektrolytlösung, infundiert bei Raumtemperatur, die mittlere Körpertemperatur um 0,25°C senken kann [SESSLER 1997].

Erhitzen der Infusionslösungen im Wasserbad ist zwar effektiv und kostengünstig aber langsam. In der Mikrowelle geht das Erwärmen schneller, doch muss hierbei beachtet werden, dass die Lösung nicht überhitzt wird, zumal die Proteine in kolloidalen Lösungen denaturiert werden können oder dem Patienten tiefe Verbrennungen durch heiße Infusionslösungen zugefügt werden können [SIEUNARINE und WHITE 1996]. Die Flüssigkeit in den Infusionsflaschen kühlt relativ schnell wieder auf Raumtemperatur ab. Noch schneller ist die Abkühlung jedoch in der Infusionsleitung in Folge des ungünstigen Volumen-/Oberflächenverhältnisses.

In der Kleintiermedizin sollten die Infusionslösungen zur intravenösen Verabreichung angewärmt werden. Infusionswärmer sind mittlerweile auf dem Markt erhältlich, aber bislang in der Veterinärmedizin kaum in Gebrauch. Infusionswärmer erwärmen die sie

durchlaufenden Infusionsleitungen mittels Heizplatten (z.B. Astotherm®, Gyamar®) oder durch koaxiale Erwärmung der Infusionsleitung über einem Wasserbad (z.B. Hotline®) [SCHNOOR et al. 2004], einem in Silikon eingegossenem Thermoelement (Autoline®) bzw. über Luftkonvektion (Buddy Fluid Warmer®, Bair Hugger Fluid Warmer®).

Die Notwendigkeit der Infusionserwärmung während der Anästhesie ist abhängig von der Operationstechnik und dem Flüssigkeitsbedarf des Patienten. Wärmeverluste über kalte intravenöse Elektrolytlösungen werden bei großen Volumen signifikant. Bei geringeren Infusionsmengen wird die Nettoeffektivität bezogen auf die zugefügten Wärmemenge geringer. Bisher gibt es nur wenige Untersuchungen, die sich mit dem Leistungsspektrum von Infusionserwärmern bei niedrigen Flussraten befassen [PRESSON et al. 1993, BISSONNETTE und PAUT 2002, OHTSUKA et al. 2002, SCHNOOR et al. 2004, HOROWITZ et al. 2004, AVULA und SMITH 2005, SCHNOOR et al. 2005]. Insbesondere im Bereich niedriger Flussraten und bei Verwendung von Infusionswärmesystemen ohne koaxiale Erwärmung, ist zwischen Infusionserwärmer und dem Patienten ein signifikanter sekundärer Wärmeverlust zu verzeichnen [BISSONNETTE und PAUT, 2002, SCHNOOR et al. 2004]. Die Positionierung des Infusionswärmers möglichst nah am venösen Zugang des Patienten verbessert die Leistung dieser Geräte [BISSONNETTE 1992, PRESSON et al. 1993]. Für BISSONNETTE und PAUT [2002] ist die Effizienz der Infusionserwärmung ohne koaxiale Erwärmung der Infusionsleitung aufgrund der enormen sekundären Wärmeverluste als fraglich einzustufen.

In einer Studie mit Patienten, die sich einem ausgedehnten abdominalen Eingriff mit hohen Infusionsraten unterzogen, konnte durch den kombinierten Einsatz des Systems Hotline® mit elektrischen Wärmedecken eine intraoperative Hypothermie signifikant vermindert werden im Vergleich zu einer Gruppe, die nur mit elektrischen Wärmedecken aufgewärmt wurde. Bei den Patienten der Kontrollgruppe war zusätzlich die Inzidenz postoperativen Kältezitterns signifikant höher [CAMUS et al. 1996]. SMITH et al. [1998] konnten ähnliche ergebnisse mit bei ambulatorischen Patientinnen bei einer relativ kurzen Operationsdauer feststellen.

SEROUR et al. [2002] beschreiben eine sehr einfache, effektive sowie kostengünstige Methode, intravenöse Flüssigkeiten zu erwärmen. Sie verglichen die Infusionstemperatur von mittels Infusionserwärmern erwärmten Flüssigkeiten mit denen nach Erwärmung unter einer Warmwassermatratze. Gemessen wurde die Temperatur jeweils kurz vor Eintritt der Flüssigkeiten in den Patienten. Die zweite Gruppe erreichte signifikant höhere Flusstemperaturen.

Für WERLHOF [1996] steht der Infusionserwärmer vor einem unlösbaren thermogenetischen Problem. Die zugefügte Wärmemenge kann berechnet werden als Differenz zwischen Flüssigkeits- und Körperkerntemperatur multipliziert mit dem Flüssigkeitsvolumen. Beispielsweise gehe man von einer zuzuführenden Flüssigkeitsmenge von 2l und -

temperatur von 40°C aus. Infundiert man einem 70kg schweren Patienten mit einer Kerntemperatur von 36°C diese Flüssigkeit, so führt dies zu einer trivialen Erhöhung seiner Kerntemperatur um 0,1°C. Demnach könnte die Erwärmung von Infusionslösungen nie als alleinige Maßnahme zur Hypothermieprophylaxe angesehen werden.

#### **5.3.2.5 Ösophagealer Wärmetauscher**

Dieses Gerät besteht aus einer doppelumigen, mit warmem Wasser durchströmten Sonde. Die hohe Invasivität mit möglichen Komplikationen, die begrenzte Anwendbarkeit während einer Allgemeinanästhesie sowie die relativ geringe Effizienz lassen dieses Verfahren kaum Anwendung finden [SCHOSER und MEßMER 1999].

#### **5.3.2.6 Infusion von Aminosäuren und Fructoselösungen**

Aus dem obig Gesagten geht hervor, dass die perioperative Hypothermie u.a. eine Folge des verringerten Stoffwechsels ist und damit eine verringerten Energieumsatz zur Folge hat. Die dem Organismus zugeführten Nährstoffe erhöhen den Grundumsatz. Dabei ist der thermische Effekt der Aminosäuren und Proteine als am höchsten einzustufen. Nach SELLDÉN [2001] können perianästhetisch infundierte Aminosäurelösungen den thermischen Umsatz um das fünffache des wachen Zustandes erhöhen. Dieser thermische Effekt entsteht ausschließlich außerhalb des Splanchnikus-Gebietes, wahrscheinlich in der quergestreiften Muskulatur und ist als Folge des erhöhten Proteinmetabolismus anzusehen. MIZOBE et al.[2006] konnten einen leichten Wärmegewinn durch Infusion von Fructoselösungen erzielen.

### **6. Gefahren der Wiedererwärmung**

#### **6.1 Allgemeines**

Eine Wiedererwärmung nach einer Hypothermie ist trotz allen Nutzens nicht völlig ohne Risiko. Ein aggressives Erwärmen kann teilweise schwere Komplikationen wie das Akute Atemnotsyndrom (ARDS) oder kardiale Dysrhythmien mit sich bringen. Die wärmebedingte Eröffnung der während der Hypothermie geschlossenen Shunt-Gefäße in der Peripherie kann zusätzlich eine metabolische Azidose sowie eine Hypotension bewirken [DHUPA 1995].

#### **6.2 Afterdrop**

Als Afterdrop kann eine während der Aufwachphase auftretende Umverteilung von Wärme aus dem Körperkern in die kältere Peripherie bezeichnet werden, die erneut zu einem rapiden Absinken der Kerntemperatur führen kann. Der Afterdrop ist als rein

thermophysikalisches Phänomen anzusehen. Durch Konduktion und Radiation wird Wärme in die kühlere Körperschale und danach in die Umgebung weitergeleitet [WEBB 1986]. Ein Afterdrop kann dann erhebliche Ausmaße annehmen, wenn ein großer Wärmegradient zwischen Körperkern und -peripherie besteht. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Abkühlung und Erwärmung des Patienten sehr schnell erfolgt, wie es z.B. nach Entwöhnung vom kardiopulmonalen Bypass häufig der Fall sein kann [KURZ 2001]. Der Ausmaß des Afterdrop kann durch eine verlängerte Wiedererwärmung, pharmakologische Vasodilatation sowie periphere Wärmezufuhr vermindert werden [WEBB 1986].

### **6.3 Schock durch Wiedererwärmen**

Eine rapide Vasodilatation und venöse Dezentralisation kann sekundär zu aggressiven externen Wiedererwärmungsmaßnahmen des hypothermen Patienten eine unüberwindbare Kreislaufinsuffizienz, sog. Rewarming Schock, mit sich bringen [BRUNETTE 1987, MURISON 2001]. Die hämodynamische Instabilität ist charakterisiert durch Hypotension und myokardiale Depression [SMITH 2001].

### **6.4 Reperfusionsschäden**

Die normale Responsivität der Gefäßwände auf Noradrenalin ist unter Hypothermie vermindert, d.h. die Gefäße sind dilatiert. Wird aggressiv infundiert, kommt es zu einer Volumenüberladung und damit zum Übertritt von Flüssigkeit ins Interstitium, wenn mit steigender Körpertemperatur die Vasokonstriktion wieder einsetzt. Demzufolge kann es in der Wiedererwärmungsphase zu Hirn- und Lungenödemen kommen.

### **6.5 Hyperthermie, Verbrennungen, Hämolyse**

Mehrere Autoren warnen vor Verbrennungen, die beim nicht überwachten Patienten auftreten können [u.a. SIEURANE und WHITE 1986, DUNLOP et al. 1989, SWAIM et al. 1989, AZZAM und KROCK 1995, HUSSER et al. 2004].

Aufgrund der isolierenden Eigenschaften der Haut kann ein intrakutanes thermales Gleichgewicht nur langsam einsetzen. Die Temperatur der direkten Kontaktfläche steigt schnell, aber das größere Wärmepotential des subkutanen Fettgewebes ermöglicht nur ein langsames Steigen der Temperatur der darunter liegenden Gewebe. Deshalb kommt es zur Überhitzung der Oberfläche und damit zu Verbrennungen [DUNLOP et al. 1989]. Großflächige Verbrennungen an den Körperseiten oder auf dem Rücken sind nicht selten. Typisch für diese Verletzungen ist, dass sie erst nach einigen Tagen nach dem Wärmeinsult sichtbar werden [SWAIM et al. 1989]. Die thermalen Verletzungen sind in ischämischem Gewebe wahrscheinlicher als in normal durchblutetem Gewebe. IKEDA et al. [1998] empfehlen deshalb, dass die Haut mittels Wärmematratzen erwärmt wird. Thermale

Verletzungen durch Konvektion oder Radiation sind meistens nicht so schwerwiegend, da diese Methoden die Oberflächentemperatur eher langsam steigern [DUNLOP et al. 1989]. SIEUNARINE und WHITE [1996] berichten von einem Patienten, bei dem die Zufuhr heißer intravenöser Flüssigkeiten Verbrennungen dritten Grades sowie eine komplette Venenthrombose und Sklerosierung der V. cephalica verursachte. Zentralvenöse Infusionen mit Temperaturen  $>40^{\circ}\text{C}$  werden als aktive Erwärmungsmaßnahmen befürwortet [SMITH, 2001]. GORE und BEASTON [1997] berichten von komplikationslosen Infusionen von Elektrolytlösungen mit einer Temperatur von ca.  $60^{\circ}\text{C}$  beim Menschen. Obwohl bei bis zu  $60^{\circ}\text{C}$  über 600ms in Blutzellen (Erythrozyten und neutrophile Granulozyten) nach Hitzestress keine letalen oder subletalen Störungen nachweisbar sind, können sehr heiße Infusionslösungen aus Sicherheitsgründen nicht empfohlen werden [SMITH 2001]. In einem Fallbericht von HUSSER et al. [2004] kam es bei Zufuhr von massiven Infusionsmengen zur Überhitzung und Verschmelzung der Heizelemente des Infusionserwärmers. Der Patient wies während der Phase des Gerätedefekts in mehreren Blutproben eine Hämolyse auf. Zusätzlich kam es in dieser Phase zu starker Hypotension. Die Hitzedenaturation und Lyse der Blutbestandteile (Hämolyse sowohl der roten als auch der weissen Blutkörperchen) können als Folgeerscheinungen der Überhitzung angesehen werden.

### **6.6 Bakterielle Kontamination von Infusionslösungen**

Eine trockene Erwärmung der Infusionslösungen birgt einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor in sich. Bei der Dauerbenutzung von Warmwassermanschetten zur Infusionserwärmung kann es zur Kontamination des koaxialen Wärmeelements, z.B. bei Hotline®, kommen. Kleine Lecks in diesem System können zu einer potentiellen Kreuzkontamination des Patienteninfusionssystems führen [HOROWITZ et. al. 2004].

## C. Material und Methoden

### 1. Material

#### 1.1 Patienten

In die Studie wurden 67 Hunde aufgenommen, die in dem Zeitraum 12/2004 bis 4/2006 in der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere an der Freien Universität Berlin operativ behandelt wurden. Die Hunde wurden unabhängig von ihrem Geschlecht, Alter, Gewicht, Ernährungszustand oder Haarkleid ausgesucht. Das Auswahlkriterium war eine voraussehbar ausreichend lange Narkosedauer (Minimum 60 Min.). Patienten mit hochgradigem Narkoserisiko wurden aus der Studie ausgeschlossen. Um das Narkoserisiko der Patienten einschätzen zu können, wurden die Patienten anhand des Alters, der Ergebnisse der Allgemeinuntersuchung sowie der Labordiagnostik gemäß des ASA-Systems (American Society of Anesthesiologists) klassifiziert. Bei der Einteilung wurde gemäß der für veterinärmedizinischen Patienten modifizierten Schemata nach Erhardt, Henke und Haberstroh [2002] vorgegangen.

Einteilung der Tiere in zwei Gruppen:

**Kontrollgruppe** Diese Patienten erhielten keine perioperativen Wärmemaßnahmen. Ihnen wurden kristalloide Infusionslösungen (Sterofundin®, Fa. Braun GmbH, Melsungen) kontrolliert mit einer Infusionspumpe (MCM 500®, Fa. Fresenius, Bad Homburg) verabreicht.

**Behandlungsgruppe** Diesen Patienten wurden aufgewärmte kristalloide Infusionslösungen mit einem Infusionswärmesystem 3XPT® (Fa. Barkey GmbH & CO KG, Leopoldshöhe) kontrolliert mit einer Infusionspumpe (MCM 500®, Fa. Fresenius, Bad Homburg) zugeführt.

Eine Übersicht über Rasse-, Alters- und Gewichtsverteilung, ASA-Einstufung sowie die operativen Eingriffe ist in Tabellen 2 und 3 gegeben.

**Tabelle 2 Kontrollgruppe - Patientenummer und Signalement: Rasse, Alter, Geschlecht, Gewicht, operativer Eingriff und Narkoseklasse (ASA I-V)**

Pat Nr.	Rasse	Alter (a)	Geschlecht	Gewicht (kg)	Operativer Eingriff	ASA Klasse
1	Berner Sennenhund	4	♂	43	Arthroskopie	I
2	Deutscher Schäferhund	9	♀	35	Cauda equina-Dekompression	III
3	Mischling	7	♀	14,5	Mastektomie	II
4	Mittel Schnautzer	8	♀	22	Kreuzbandriß	III
5	Mischling	5	♂	10	Osteosynthese	II
6	Bobtail	3	♂	34	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	I
18	Border Collie	6	♀	19	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	II
22	Mischling	11	♂	9,8	Osteosynthese	IV
23	Rottweiler	2	♂	34	Panarthrodese Karpus rechts und links	I
24	Boxer	5	♀	24,5	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	II
25	Berner Sennenhund	4	♀	42,5	Kreuzbandriß	I
26	Rhodesian Ridgeback	7	♀	35	Oralchirurgie	II
27	Jack Russel Terrier	4	♀	8	Wundrevision	I
28	Basset Hound	1	♂	28	Osteosynthese	I
29	Mischling	8	♀	19,5	Kreuzbandriß	III
30	Mischling	8	♀	28	Osteosynthese	III
31	Boxer	7	♂	39,8	Arthroskopie	II
32	Mischling	9	♂	10	Discopathie	III
33	Boxer	8	♂	33	Kreuzbandriß	III
34	Pudel	9	♀	5,4	Mastektomie	III
35	Mischling	6	♀	18	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	II
36	Mischling	1	♀	15	Implantatentfernung	I
37	Mischling	1	♀	12	Osteosynthese	I
38	Boxer	1	♂	28	Osteosynthese	I
39	Foxterrier	7	♀	10	Osteosynthese	III
43	Mischling	8	♂	39	Arthrodese Karpus rechts/links	III
50	Mischling	12	♀	42,5	Mastektomie	IV
61	Kleiner Münsterländer	9	♂	27	Cauda equina	III
71	Jack Russel Terrier	1	♀	6	Wundrevision	I

**Tabelle 3 Behandlungsgruppe - Patientennummer und Signalement: Rasse, Alter, Geschlecht, Gewicht, operativer Eingriff und Narkoseklasse (ASA I-V)**

Pat Nr.	Rasse	Alter (a)	Geschlecht	Gewicht (kg)	Operativer Eingriff	ASA Klasse
7	Leonberger	0,5	♀	21	Osteosynthese	I
8	Leonberger	4	♀	48	Kreuzbandriß	I
9	Golden Retriever	5	♀	30	Weichteiltumor Unterarm	II
10	Rauhaarteckel	7	♂	12	Discopathie	II
11	Rottweiler	7	♀	38	Kreuzbandriß	II
12	Rottweiler	9	♀	42	Kreuzbandriß	III
13	Deutscher Schäferhund	7	♂	36	Arthrodese Knie	II
14	Rottweiler	9	♀	43	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	III
15	Hovawart	1	♂	45	Implantatentfernung	I
16	Labrador	1	♂	28	Arthroskopie	I
17	Mischling	10	♀	26	Osteosynthese	III
19	Mischling	12	♂	6	Osteosynthese	IV
20	Cocker Spaniel	4	♀	12	Discopathie	I
21	Berner Sennenhund	8	♂	40	Perinealhernie	III
40	Entlebucher Sennenhund	3	♀	21	Kreuzbandriß	I
41	Mischling	3	♂	20,5	Patellaluxation	I
42	Pyränäen Schäferhund	9	♀	12	Kreuzbandriß	III
44	Mischling	5	♀	28	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	I
45	Golden Retriever	2	♀	32,8	Arthroskopie	I
46	Labrador	1	♀	25	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	I
47	Mischling	3	♀	5	Patellaluxation	I
48	Wolfspitz	1	♀	19,5	Patellaluxation	I
49	Kleiner Münsterländer	2	♂	28	Osteosynthese	II
51	Neufundländer	0,8	♀	28	Patellaluxation	I
52	Malinois	3	♂	37	Osteosynthese	I
53	Mischling	5	♀	37	Arthrodese	I
54	Mischling	1	♀	18	Osteosynthese	I
55	Yorkshire Terrier	9	♂	7	Osteosynthese	III
56	Kuvasz	7	♀	38	Kreuzbandriß	II
57	Irish Setter	1	♂	28	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	I
58	Tibetterrier	3	♀	11	Osteosynthese	I
59	Bordercollie	5	♂	30	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	II
60	Pudel	9	♀	10	Arthrodese Schulter	III
62	Leonberger	10	♀	46	Kreuzbandriß	III
64	Dobermann	2	♀	24	Osteosynthese	I
65	Golden Retriever	7	♀	32	Mastektomie	II
66	Berner Sennenhund	4	♂	38	Kreuzbandriß	I
67	Briard	6	♂	39	Totalendoprothese des Hüftgelenkes	II



## 1.2 Geräte

### Narkosegerät

Die Narkose wurde in einem halbgeschlossenen Kreissystem aufrechterhalten. Als Narkosegerät dienen das transportable Narkosesystem Ohmeda Modulus2® bzw. Excel® (Datex Ohmeda, Madison WI, USA). Das Gerät Modulus ist ein Standardnarkosegerät und verfügt über Messverfahren und Anzeigen für Herzfrequenz, automatisch nichtinvasiv gemessenen Blutdruck (NIBP), Pulsoxymetrie, Kapnometrie sowie den entsprechenden Beatmungsparametern. Bei dem Gerät Excel® sind Messverfahren und Anzeigen für Pulsoxymetrie, Kapnometrie sowie den entsprechenden Beatmungsparametern vorhanden.

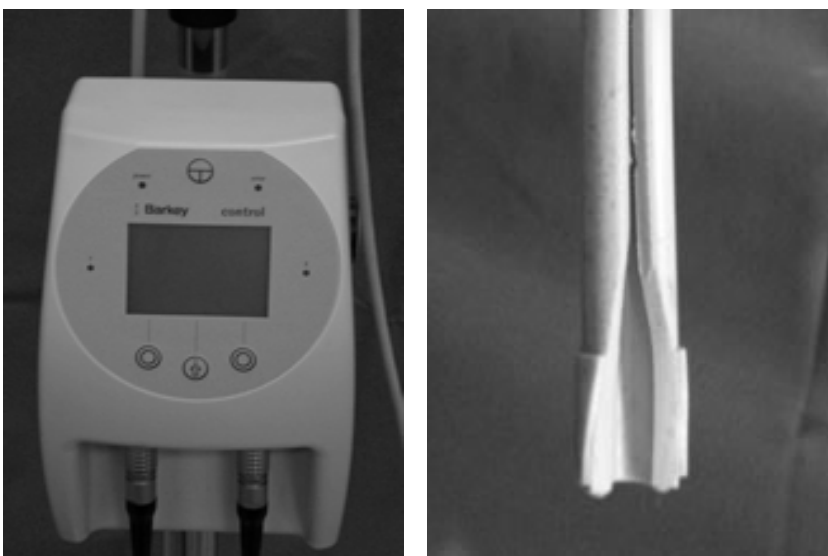
### Narkoseverdampfer

Bei den verwendeten Narkoseverdampfer handelt es sich um den Verdampfer Vapor (Isofluran) der Firma Dräger GmbH, Lübeck.

### Infusionswärmesystem

Das Infusionswärmesystem 3XPT® (Fa. Barkey GmbH & Co. KG, Leopoldshöhe) besteht aus einem Steuergerät Barkey Autocontrol 3XPT® und daran anschließbaren Wärmeelementen, wie dem Infusionserwärmer Barkey Autoline XPT Version 1.0®. Das Steuergerät Barkey autocontrol 3XPT® kann die Temperatur der angeschlossenen Wärmegeräte auf den voreingestellten Sollwert zwischen +25° C und +41° C regeln. Die Temperaturregelung wird über einen Referenzfühler und einem Mikroprozessor kontrolliert. Die Heizleistung des Infusionswärmers wird durch einen Temperaturfühler am Anschlusskopf geregelt. Somit ist die Heizleistung der Barkey Autoline® bedarfsgerecht regelbar.

**Abb. 1 Infusionswärmesystem Barkey 3XPT® mit Steuergerät Autocontrol 3XPT® sowie Wärmeelement Barkey Autoline XPT Version 1.0®**



Das Wärmeprofil Barkey autoline XPT® besteht aus dem Anschlussstecker mit integrierter Elektronik, der Steuerleitung und dem Anschlusskopf mit integriertem Temperaturfühler und einem heizbaren Drahtnetz, ummantelt von Silikon. Die

handelsüblichen Infusionsbestecke können in dieses U-förmige Silikonprofil eingelegt werden.

### Patientenüberwachung

Die Überwachung der Patienten während der Narkose erfolgte mit Siemens SC 6000 Portable Patient Monitor® (Fa. Siemens Medical Systems Inc., Electromedical Group, Danvers MA, USA).

Die Temperaturüberwachung basiert dabei auf der Thermistormethode. Ein Thermistor ist ein Widerstand, der sich aufgrund von Temperaturschwankungen verändert. Dabei werden die Widerstandsveränderungen in elektrische Stromspannungen übersetzt, die vom Monitor als numerische Messwerte in Grad Celsius angezeigt werden. Die Temperaturmessung erfolgte ösophageal im letzten Drittel der Speiseröhre.

**Abb. 2 Tragbarer Patientenüberwachungsautomat Siemens SC 6000 Portable Patient Monitor® mit der Thermistorsonde am Vordergrund des Bildes**



Die Sauerstoffsättigung des Patienten wurde mittels Infrarotmethode durch relative Absorption des Lichtes im Hämoglobin im arteriellen Blut ermittelt; zusätzlich wurde mit dem Sensor die Pulsrate erfasst, wobei der Sensor an der Zunge des Patienten angebracht wurde.

### **Infusionspumpe**

Als infusionsgerät wurde in dieser Studie das Gerät MCM 500 der Firma Fresenius AG, (Bad Homburg) verwendet.

Durch eine elektronisch gesteuerte Schlauchklemme am Infusionsgerät wird eine exakte Dosierung der Infusionsflüssigkeit pro Zeiteinheit ermöglicht. Die Flussraten betragen in dieser Studie auf 10 ml/kg/h.

#### **Abb. 3 MCM 500 Infusionspumpe**



### **Digitales Rektalthermometer**

Im digitalen Thermometer wird über den Sensor an der Thermometerspitze der elektrische Widerstand gemessen. Er ist umgekehrt proportional zur Temperatur. Der Messwert wird in dem in dieser Studie verwendeten Modell (Fa. Microlife AG, Heerbrugg, Schweiz) auf Zehntelgrade genau angegeben.

#### **Abb. 4 Microlife Digitalthermometer**



### 1.3 Medikamente und Chemikalien

Midazolam (Midazolam Ratiopharm 15mg/3ml, Fa. Ratiopharm GmbH, Ulm)

I-Methadon (I-Polamivet®, Fa. Intervet International B.V., Niederlande)

Propofol (Narcofol®, Fa. CP-Pharma Handelsgesellschaft mbH, Burgdorf)

Isofluran (Isoflo®, Fa. Abbot AG, Baar, Schweiz)

Sauerstoff (Fa. Linde GmbH, Berlin)

Ringer-Lactat (Sterofundin 1/1®, Fa. B. Braun Melsungen AG, Melsungen)

Amoxicillin/Clavulanat (Augmentan®, Fa. GlaxoSmithKline GmbH & Co KG, München)

Cefazolin (Cefazolin Sandoz®, Fa. Sandoz GmbH, Kundl, Österreich)

Povidon Iod/Propanol (Braunoderm®, Fa. B. Braun Melsungen AG, Melsungen)

Povidon Iod (Braunol®, Fa. B. Braun Melsungen AG, Melsungen)

### 1.4 Verbrauchsmaterial

Venenverweilkatheter (Vasofix®, Fa. B. Braun Melsungen AG, Melsungen)

Infusionsbesteck (Diabolo®, Fa. B. Braun Melsungen AG, Melsungen)

Heidelberger Verlängerung 75 cm (Fa. B. Braun Melsungen AG, Melsungen)

### 1.5 Datenbank, Statistik

Doggibank - Datenbank

Statistische Auswertung mittels SPSS

## 2. Methode

Die routinemäßige Narkoseüberwachung wurde bei 70 chirurgischen Eingriffe ohne Eröffnung der Körperhöhlen - hauptsächlich orthopädische Operationen - durchgeführt. Dabei wurden der Veränderung der Körpertemperatur während der Aufnahme des Patienten auf die chirurgische Station, der Induktion, der Narkose und der Aufwachphase besondere Beachtung geschenkt. Zusätzlich wurde beachtet ob Wärmegeräte die Körperkerntemperatur beeinflussen. Die an dieser Studie beteiligten Hunde gehörten zu dem üblichen chirurgischen Patientengut der Klinik an. Die Narkosevoruntersuchung und Einschätzung der Narkosetauglichkeit beinhaltete eine Allgemeinuntersuchung, eine Röntgenuntersuchung des Thorax, sowie labordiagnostische Untersuchungen (Blutbild und klinische Chemie). Die Hunde wurden am Tag der Operation erneut einer Allgemeinuntersuchung unterzogen und die Befunde im Narkoseprotokoll notiert (Tabelle 4). Die Hunde wurden nach dem Alter und unter Berücksichtigung der Befunde aus den Voruntersuchungen für präanästhetische Risikoeinschätzung in ASA – Gruppen (American Society of the Anaesthesiologists) I-V modifiziert nach Erhardt, Henke und Haberstroh (Schema nach Sawyer 1982, Erhardt et al. 1988, Gilroy 1992, Erhardt et al. 2002) eingeteilt. Die minimale Anästhesiedauer betrug 60

Minuten. Etwaige feuchte Operationstücher bzw. feucht gewordene Bereiche der Körperoberfläche wurden im Protokoll vermerkt.

## **2.1 Narkoseregime**

Die Patienten wurden mit Midazolam (0,5 mg/kg) und Levomethadon (0,1-0,2 mg/kg) nach Legen eines Venenverweilkatheters in die V. cephalica antebrachii bzw. V. saphena lateralis intravenös sediert. Simultan zur Sedation wurde präoperativ ein Antiinfektivum (Amoxicillin/Clavulanat 12,5 mg/kg bzw. Cefazolin 25 mg/kg i.v.) verabreicht. Die Einleitung der Narkose erfolgte mit Propofol intravenös bis zum Überwinden der Kiefersperre, anschließend wurde intubiert, nach der Operationsvorbereitung an ein halbgeschlossenes Narkosesystem an eine intermittierenden, positiven Druckventilation angeschlossen und die Anästhesie mit einem Isofluran/Sauerstoff/Luft-Gemisch aufrechterhalten. Isofluran wurde nach einer initialen Äquilibrationsphase mit 2,3-2,7 Vol.% über einem Verdampfer je nach Bedarf mit 1,0–2,3 Vol.% zugeführt. Die Narkoseüberwachung erfolgte durch Überprüfung der Beatmungsparameter mittels Kapnometrie, Pulsoxymetrie, sowie nach Möglichkeit durch Überprüfung des peripheren Pulses. In der perioperativen Phase wurde intravenös eine Vollelektrolytlösungen (Ringer-Lactat) in bestimmter Flussrate (10 ml/kg/h) infundiert. Die Isofluranzufuhr wurde am Ende der Operation unterbrochen und die Hunde erhielten bis zum Beginn der Spontanatmung eine Mischung aus Sauerstoff und Luft. Die Extubation erfolgte nach Wiederkehr des Schluckreflexes und die Hunde wurden in Aufwachräumlichkeiten untergebracht. Die Zeit vom Narkoseende bis zur Extubation wurde protokolliert. In der Aufwachphase wurden Körperhaltung und Bewusstsein Hunde 30, 60 und 180 Minuten nach Extubation beurteilt. Ein etwaiges Kältezittern in der Aufwachphase wurde notiert.

## **2.2 Temperatur-Monitoring und Wärmemanagement**

Während der Narkoseeinleitung wurde eine Thermistorsonde oesophageal platziert. Ihre Länge wurde parallel zum Tierkörper so bemessen, dass sie im letztem Drittel der Speiseröhre zu liegen kam. Zusätzlich zur Temperaturmessung per Thermistorsonde wurde die Körperkerntemperatur auch rektal vor der Intubation, während der Induktion, in der Zeit bis zur chirurgischen Abdeckung, sowie postoperativ gemessen. Zusätzlich wurde perioperativ in jenen Fällen eine rektale Temperaturmessung durchgeführt, in denen es ohne eine Verschmutzung des Operationsfeldes möglich war. Die Messung mit dem Ösophagusthermistor erfolgte nach Anschluss an das Narkosegerät. Nach der Extubation wurde die Körpertemperatur nur noch mit einem Rektalthermometer gemessen, da das Risiko des Durchbeißen des Ösophagusthermometers beim aufwachenden Hund zu hoch ist. In der Anfangs- und Endphase der Inhalationsnarkose wurden sowohl die Rektal- als

auch die Oesophagealtemperatur notiert. Die Körperkerntemperatur wurde bei der präoperativen Allgemeinuntersuchung, vor der Sedation, direkt nach der Narkoseeinleitung, alle fünf Minuten während der Narkose, sowie 5, 10, 30, 60 und 180 Minuten nach der Extubation gemessen. Die Tiere der Kontrollgruppe erhielten nach dem Anschluss an das Narkosegerät eine raumtemperierte, kristalloide Vollelektrolytlösung über eine Infusionspumpe in bestimmter Flussgeschwindigkeit (10 ml/kg/h). Im Gegensatz dazu wurden die Hunde der Behandlungsgruppe aktiv intern erwärmt. Sie erhielten vorgewärmte Vollelektrolytlösungen durch einen Infusionserwärmer (Infusionswärmesystem 3XPT® und Barkey autoline XPT Version 1.0®) mit derselben Flussgeschwindigkeit (10 ml/kg/h). In dem Narkoseprotokoll wurde vermerkt, falls perioperativ im Operationsfeld gespült wurde und/oder der Tierkörper postoperativ nass war.

In der Aufwachphase waren die Hunde entweder in den Aufwachräumen der chirurgischen Abteilung oder in der stationären Abteilung unterbracht. Die Aufwachräume des Operationstraktes verfügen über eine regulierbare Fußbodenheizung. Bei Unterbringung in der stationären Abteilung bekamen die Hunde während der Aufwachphase als zusätzliche Wärmequelle eine Rotlichtlampe bis die Rektaltemperatur mind. 38° C erreicht hatte. Einige Hunde wurden vor der 180-Minuten-Messung aus der chirurgischen Abteilung entlassen.

### **2.3 Erfassung der Umgebungstemperaturen sowie der Temperatur der Infusionslösungen**

Die Raumtemperatur im Operationssaal und in den Aufwachräumen wurden mit der Thermistorsonde ermittelt. Im Stallbereich wurde sie mit einem Quecksilberthermometer gemessen. Im Operationssaal erfolgte die Messung ca. 10 cm oberhalb der Operationstischoberfläche bei angeschalteter Operationslampe. In den Aufwachräumen wurde sie jeweils ca. 10 cm oberhalb der Fußbodenoberfläche ermittelt, dabei wurden die vorhandenen Wärmemaßnahmen in den Aufwachräumen (Fußbodenheizung/Rotlichtlampe) notiert und die Fußbodentemperatur in den Aufwachräumen durch Bodenkontakt gemessen. Das Rektalthermometer und die Thermistorsonde wurden im Wasserbad vor der jeweiligen Messreihe aufeinander geeicht. Die maximale Variation dieser beiden Messmethoden betrug 0,1°C. Zur Ermittlung der Temperatur der erwärmten Infusionslösung wurde zur gleicher Zeit eine vergleichbare Infusionsflasche vor der jeweiligen Messreihe aus dem Wärmeschrank entnommen und die Temperatur der Flüssigkeit mit der Thermistorsonde erfasst.

### **2.4 Patientenverwaltung und statistische Auswertung**

Die Patientendaten und Messverläufe wurden in Form eines elektronischen Narkoseprotokollprogramms (Doggibank, Eigenentwicklung) basierend auf Windows Access® verwaltet. Statistisch berechnet und daraus ausgewertet wurden die Daten mit dem

Programm SPSS® (Version 13.0 2004, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) im Institut für Biometrie und Informationsverarbeitung des Fachbereiches Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin. Eine Signifikanzprüfung bezüglich der Temperaturveränderungen erfolgte bei qualitativen nicht-parametrischen Merkmalen mit dem Mann-Whitney-Test und bei parametrischen Merkmalen mit dem Student-t-Test. Bei qualitativen Merkmalen wurde der Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde bei  $p < 0,05$  angesetzt.

## D. Ergebnisse

### 1. Patienten

#### 1.1. Rassen

Insgesamt wurden 67 Hunde verschiedener Rassen für die Studie ausgewählt. Die Tiere sind in der Tabelle 4 nach Rassen alphabetisch geordnet.

**Tabelle 4 Übersicht über die der Studie beteiligten Hunderassen und deren Anzahl**

Rassen	N
Basset Hound	1
Bobtail	1
Border Collie	2
Boxer	4
Briard	1
Berner Sennenhund	4
Cocker Spaniel	1
Dobermann	1
Dt. Schäferhund	2
Entlebucher Sennenhund	1
Foxterrier	1
Golden Retriever	3
Hovawart	1
Irish Setter	1
Jack Russel Terrier	2
Kuvasz	1
Labrador	2
Leonberger	3
Malinois	1
Mischling	18
Mittel Schnauzer	1
Münsterländer	2
Neufundländer	1
Pudel	2
Pyrenäen Schäferhund	1
Rhodesian Ridgeback	1
Rauhaarteckel	1
Rottweiler	4
Tibet Terrier	1
Wolfsspitz	1
Yorkshire Terrier	1
<b>Gesamt</b>	<b>67</b>

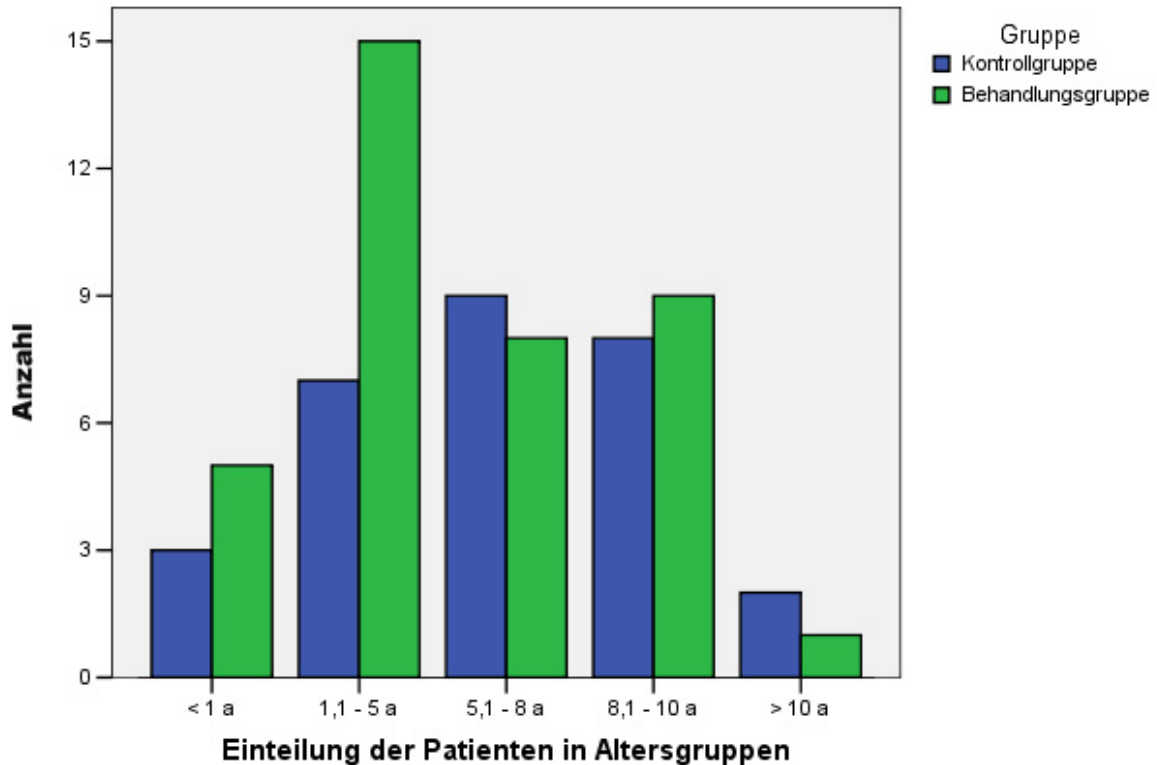
Mischlingshunde verschiedener Rassen machten mit 27% (n=18) vor Boxern mit 6 % (n=4) und Rottweilern mit 6 % (n=4), sowie vor den Berner Sennenhunden mit ebenso 6 % (n=4) den größten Anteil des Studienklientels aus.



## 1.2. Alter

Das Alter der Tiere in Jahren, ist dem Balkendiagramm (Abb. 5) zu entnehmen. Zur besseren Auswertung wurden Altersgruppen gebildet.

**Abb. 5 Die Altersverteilung der Patienten**



Das mittlere Alter aller an der Studie beteiligten Tiere betrug 5,3 Jahre, der Median 5,0 Jahre. In der Kontrollgruppe war das mittlere Alter der Hunde 5,9 und in der Behandlungsgruppe 4,9 Jahre. Der jüngste Hund war 6 Monate (Pat. Nr. 7) und die zwei ältesten Tiere (Pat. Nr. 19 und 50) 12 Jahre alt.

## 1.3. Geschlecht

**Tabelle 5 Geschlechtsverteilung**

Geschlecht	Anzahl	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
weiblich	40	59,7	59,7	59,7
männlich	27	40,3	40,3	100,0
Gesamt	67	100,0	100,0	

Im Studienklientel waren 59,7% (n=40) Tiere weiblich und 40,3% männlich.

In der Kontrollgruppe waren 16 weibliche und 13 männliche Hunde. In der Behandlungsgruppe waren 24 Patienten weiblich und 14 männlich. Sechs weibliche und vier männliche Tiere waren kastriert.

#### 1.4. Körpermasse und Ernährungszustand

Das Körpergewicht der Tiere ist in Tabelle 6 zusammengestellt.

**Tabelle 6 Gewichtverteilung**

Gruppe	Mittelwert (kg)	N	Standardabweichung (kg)	Median (kg)
Kontrollgruppe	23,8	29	12,31	24,5
Behandlungsgruppe	27,4	38	12,13	28,0
<b>Insgesamt</b>	<b>25,9</b>	<b>67</b>	<b>12,24</b>	<b>28,0</b>

Das mittlere Körpergewicht der Hunde betrug 25,9 kg und der Median 28 kg. Fünfundneunzig Prozent der Hunde waren zwischen 22,8 bis 28,8 kg schwer. Es bestand kein signifikanter Gewichtsunterschied zwischen den Gruppen.

In Tabelle 7 sind die Patienten entsprechend dem Körpergewicht gruppiert.

**Tabelle 7 Gewichtsgruppen**

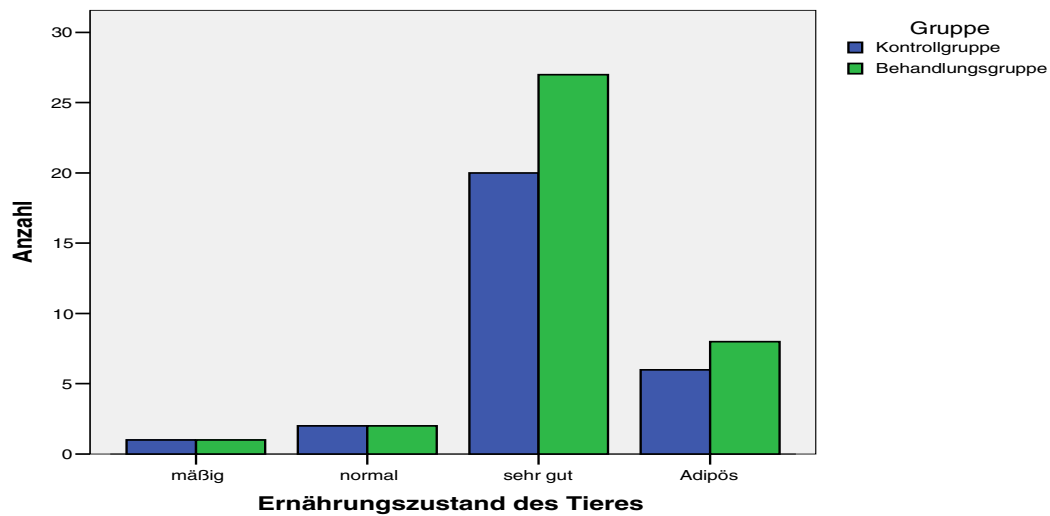
Anzahl der Tiere in den jeweiligen Körpergewichtgruppen

Einteilung in Gewichtsgruppen	Gruppe		Gesamt
	Kontrollgruppe (N)	Behandlungsgruppe (N)	(N)
< 10 kg	5	3	8
10-20 kg	8	8	16
21-30 kg	6	12	18
31-40 kg	7	10	17
> 40 kg	3	5	8
<b>Gesamt</b>	<b>29</b>	<b>38</b>	<b>67</b>

Der Ernährungszustand war bei 47 Hunden als sehr gut und bei 14 Hunden deutlich als adipös zu bewerten, nur zwei Hunde wiesen einen mäßig guten Ernährungszustand auf. In der Tabelle 8 und Abbildung 6 ist der Ernährungszustand der Patienten dargestellt.

**Tabelle 8 Ernährungszustand der Tiere (Anzahl und prozentuelles Anteil)**

	mäßig	normal	sehr gut	adipös	Gesamt
Kontrollgruppe					
N	1	2	20	6	29
Prozentuelles Anteil	3 %	7%	69%	21%	100%
Behandlungsgruppe					
N	1	2	27	8	38
Prozentuelles Anteil	3%	5%	71%	21%	100%
Gesamt					
Anzahl	2	4	47	14	67
Prozentuelles Anteil	3%	6%	70%	21%	100%

**Abb. 6 Ernährungszustand des Patientengutes**

### 1.5. Haarkleid

Die Beurteilung des Haarkleides der Hunde erfolgte bei der Aufnahme im Vorbereitungsbereich des Operationstraktes. Die Hunde wurden nach Beschaffenheit des Haarkleides in vier verschiedene Kategorien unterteilt. Die Anzahl der Hunde der jeweiligen Kategorie, ist aus der Tabelle 9 zu entnehmen.

**Tabelle 9 Charakterisierung des Felles (kurz, dicht, lang sowie lang und dicht)**

Charakterisierung des Felles	Anzahl der Tiere		Gesamt (N)
	Kontrollgruppe (N)	Behandlungsgruppe (N)	
kurz	12	4	16
dicht	8	17	25
lang	3	1	4
lang und dicht	6	16	22
<b>Gesamt</b>	<b>29</b>	<b>38</b>	<b>67</b>

kurz= kurzes Fell ohne Unterwolle

dicht= dichtes Fell von kurz bis mittellang mit Unterwolle

lang= langes Fell ohne Unterwolle

lang und dicht= dichtes und langes Fell mit dichter Unterwolle und langem Deckhaar

### 1.6. Art der Operation

Zwei Hunde der Kontrollgruppe wurden mehrfach operiert und entsprechend mehrfach gemessen (Hund Nr. 23 : 2x und Hund Nr. 32 : 3x). Insgesamt wurden daher 70 operative Eingriffe bei 67 Hunden im Rahmen dieser Studie vorgenommen.

Frakturversorgungen waren mit 20 % von chirurgischen Eingriffen vor der Versorgung des rupturierten kranialen Kreuzbandes mit 17 % am Häufigsten.

Je nach operativem Eingriff wurden die Patienten in sieben Untergruppen zusammengefasst (Tabelle 10). Bei je zehn Hunden wurden eine Weichteiloperation durchgeführt bzw. ein künstliches Hüftgelenk eingesetzt und bei zwölf Tieren das rupturierte kraniale Kreuzband versorgt. In sechs Fällen wurde ein Gelenk arthrodetisiert und bei sieben die Wirbelsäule operiert. Bei 21 Patienten wurden unter der Rubrik "andere orthopädische Eingriffe", einzelne Arthrotomien diverser Gelenke, sowie Frakturversorgungen durchgeführt.

**Tabelle 10 Anzahl der operativen Eingriffen bei Patienten in der Kontroll- und Behandlungsgruppe**

Operativer Eingriff	Anzahl der Tiere		
	Kontrollgruppe (N)	Behandlungsgruppe (N)	Gesamt (N)
Kreuzbandersatz	4	8	12
Arthrodese	3	3	6
Arthroskopie	2	2	4
Hüftendoprothese	4	6	10
andere orthopädische Eingriffe	7	14	21
Wirbelsäulenoperationen	5	2	7
Weichteiloperationen	7	3	10
<b>Insgesamt</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>70</b>

### 1.7. Anästhesietoleranz der Patienten (ASA-Gruppen)

In Relation zum Alter und dem Narkoserisiko mussten drei Tiere in die ASA-Klasse IV (Nr. 19, 22 und 50) eingegliedert werden. In beiden Gruppen bestand eine vergleichbare mittlere Risikoeinstufung. Die Unterschiede waren nicht signifikant (Tabelle 11). Hochgradig moribunde Patienten wurden ausgeschlossen.

**Tabelle 11 Narkoserisiko der Tiere der Studie entsprechend der ASA-Klassifikation nach Sawyer1982/Erhardt1988/Gilroy1992/Erhardt2002**

ASA-Klassifikation [nach Sawyer1982/Erhardt1988/Gilroy1992/Erhardt2002]	Anzahl der Tiere					
	Kontrollgruppe		Behandlungsgruppe		Gesamt	
	(N)	%	(N)	%	(N)	%
I	10	35	17	45	27	40
II	8	28	11	29	19	28
III	9	30	9	23	18	27
IV	2	7	1	3	3	5
<b>Gesamt</b>	<b>29</b>	<b>100</b>	<b>38</b>	<b>100</b>	<b>67</b>	<b>100</b>

## 2. Einflussfaktoren der perianästhetischen Hypothermie

## 2.1. Umgebungstemperaturen im Operationssaal

In Tabelle 12 sind die Umgebungsbedingungen im Operationssaal erörtert.

Bezüglich der Raumtemperatur sowie der Temperatur auf dem Operationstisch mit aufgeleuchteten OP-Lampen bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

**Tabelle 12 Die Umgebungstemperaturen im Operationssaal**

Gruppe		Raumtemperatur im Operationssaal	Temperatur auf dem Operationstisch mit aufgeleuchteten Op-Licht
Kontrollgruppe	Mittelwert	22,3	22,4
	Standardabweichung	1,05	1,00
Behandlungsgruppe	Mittelwert	22,2	22,3
	Standardabweichung	0,60	0,55
Insgesamt	Mittelwert	22,3	22,4
	Standardabweichung	0,83	0,77

## 2.2. Anästhesiedauer

Die aktive Zufuhr des Isofluran/Sauerstoff/Luft – Gemisches wurde zeitgleich mit der letzten Naht des Operateurs beendet. Die mittlere Anästhesiedauer betrug in der Kontrollgruppe 120 Minuten, im Median 107 Minuten. In der Behandlungsgruppe dauerte die Anästhesie durchschnittlich 108 Minuten, im Median 100 Minuten (Tabelle 13).

Bezüglich der Narkosedauer bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den zwei Gruppen.

**Tabelle 13 Dauer von der Induktion bis zur Extubation**

Gruppe	Mittelwert (Minuten)	N	Median (Minuten)	Standardabweichung (Minuten)
Kontrollgruppe	120	32	107	38
Behandlungsgruppe	108	38	100	39
Gesamt	113	70	102	38

Je nach Operationsdauer wurden drei Untergruppen analysiert (Tabelle 14 und Abbildung 7 a - c).

**Tabelle 14 Dauer der Operation bei den Patienten und der Tieren der Kontrollgruppe**

Narkosedauer in Minuten	Anzahl der Tiere		
	Kontrollgruppe (N)	Behandlungs- gruppe (N)	Gesamt (N)
< 90 Min	7	14	21
90 - 120 Min	11	11	22
> 120 Min	14	13	27
Gesamt	32	38	70

In Abbildungen 7 a. bis c. ist der Verlauf der Kerntemperatur der Patienten in Kontroll- und Behandlungsgruppe als Boxplots in Relation zum jeweiligen Messzeitpunkt korreliert. Zu ersehen ist, dass bei kurz- (< 90 Min.) und langdauernden Operationen (>120 Min.) die Temperatur beider Gruppen deutlich differiert. Während die Patienten der Behandlungsgruppe bei "kurzdauernden Operationen" (< 90 Min.) nach 70 Minuten Narkosedauer zu 75 % normotherm waren (Messpunkt = MP 14), wiesen von den Patienten der Kontrollgruppe nach 30 Minuten (MP 4) Narkose mehr als 50 % und nach 60 Minuten (MP 12) mehr als 75 % eine milde Hypothermie auf. Die Körperkerntemperatur differierte zwischen den Gruppen bei kurzzeitigen Operationen ab 30 Minuten Narkosedauer bis 75 Minuten Narkosedauer signifikant. Bei "mittellang dauernden Operationen" (90 – 120 Min.) konnte dagegen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Bei den "langdauernden Operationen" waren Patienten der Kontrollgruppe nach 40 Minuten Narkosedauer (MP 8) zu mehr als 75 % mild hypotherm, während mehr als 50 % der Patienten der Behandlungsgruppe normotherm waren. Die Gruppen unterscheiden sich ab 55 Minuten (MP 11) Narkosedauer bis zur Narkosedauer von 130 Minuten (MP 26) signifikant. Pro Messpunkt wurden die Signifikanzen mittels Mann-Whitney U-Test ermittelt ( $p < 0,05$ ).

Abb. 7a. Die Körpertemperaturentwicklung bei einer Operationsdauer weniger als 90 Minuten, in der Abbildung ist der Anzahl der Patienten in jeweiligen Gruppe bei jedem Messpunkt angegeben

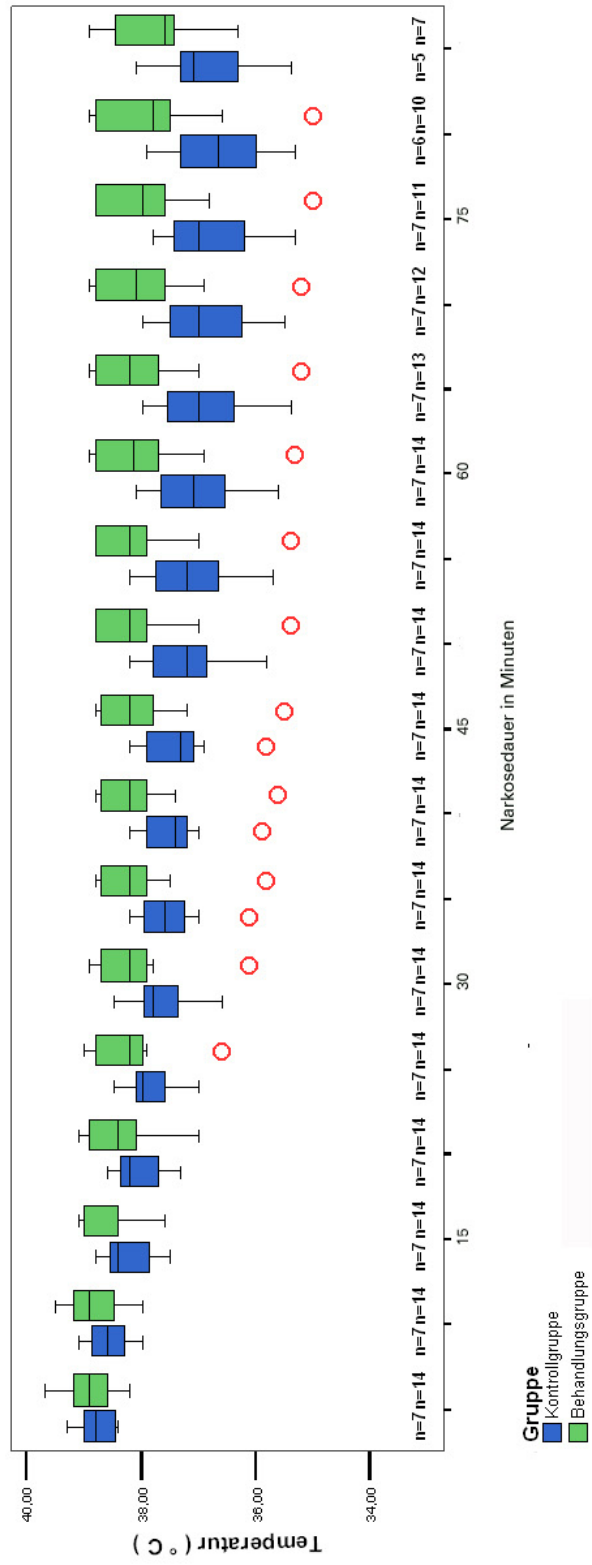
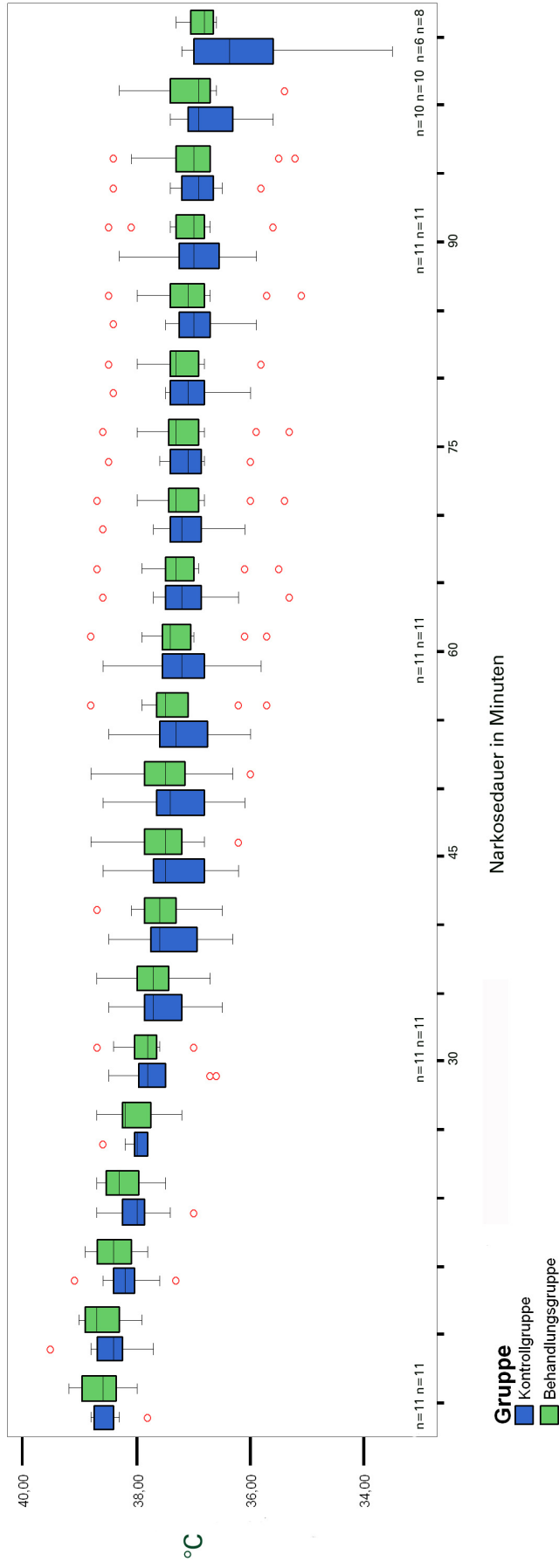


Abb. 7b. Körpertemperaturentwicklung bei einer Operationsdauer von 90 bis zu 120 Minuten, in der Abbildung ist die Anzahl der Patienten in der jeweiligen Gruppe während des Messvorganges angegeben







### 2.3. Medikamente

Die Narkose wurde jeweils intravenös mit Midazolam (0,5 mg/kg) und Levomethadon (0,1 – 0,2 mg/kg) eingeleitet und um die Kiefersperre zu überwinden zusätzlich Propofol (ca. 6mg/kg) appliziert, so dass intubiert und die Thermistorsonde in die Speiseröhre eingeführt werden konnte. Zusätzlich wurde den Tieren nach Narkoseeinleitung prophylaktische ein Antibiotikum (Cefazolin 25 mg/kg oder Amoxicillin/Clavulanat 12,5 mg/kg) intravenös appliziert. Bei einer Narkosedauer von mehr als drei Stunden, wurde die Antibiotikagabe wiederholt.

### 2.4. Operationsvorbereitung

#### 2.4.1. Waschung vor der Operation

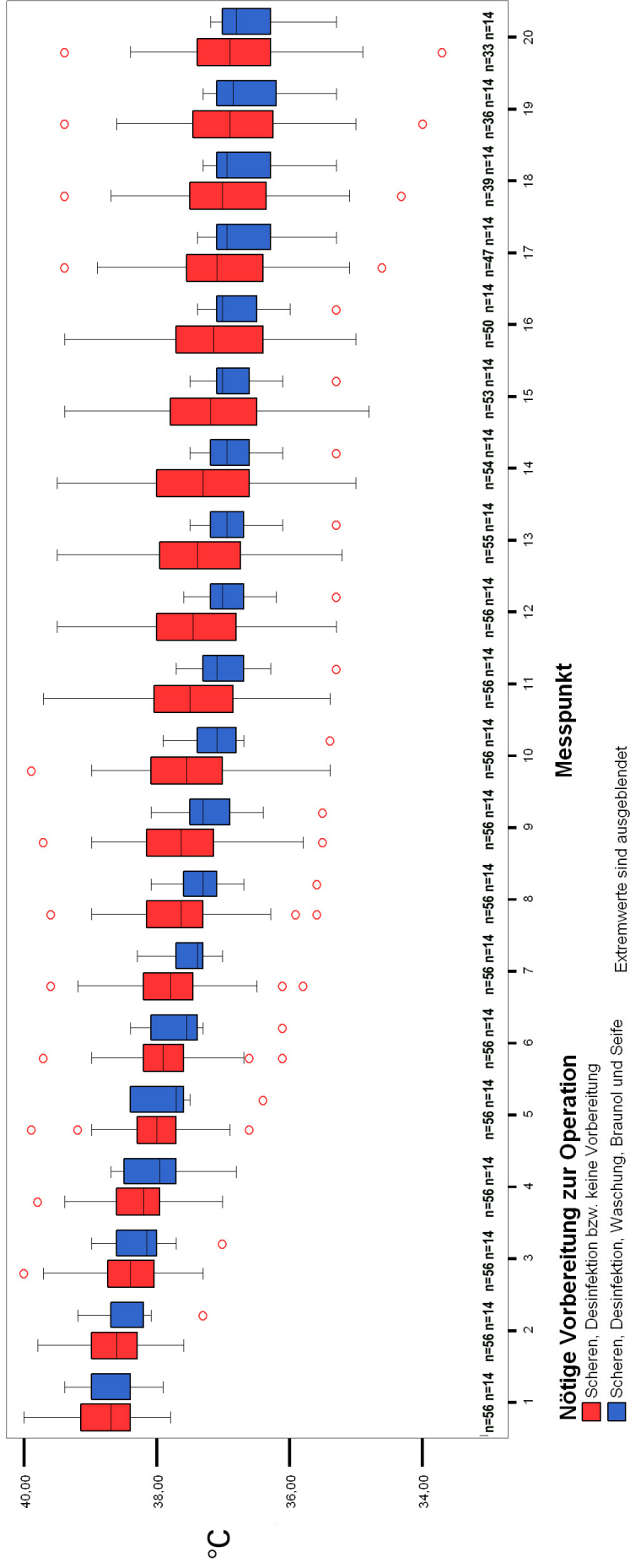
Patienten die zur Hüftgelenktotalendoprothetik vorbereitet wurden, sowie verschmutzte Tiere (insgesamt 14 Tiere) wurden im Operationsbereich besonders sorgfältig mit Povidon-Iodhaltigen Waschlösung gesäubert. Diese Tiere waren während der üblichen Operationsvorbereitung (Scheren, Desinfektion) dadurch einer zusätzlichen Kälteexposition ausgesetzt (Tabelle 15).

**Tabelle 15 Maßnahmen der Operationsvorbereitung**

Vorbereitung des Operationsgebiets	Anzahl der Tiere		
	Kontrollgruppe (N)	Behandlungsgruppe (N)	Gesamt (N)
keine	1	0	1
Scheren, Desinfektion	27	28	55
Scheren, Desinfektion und Waschung	4	10	14
Gesamt	32	38	70

Zu Operationsbeginn (Hautschnitt) betrug die Kerntemperatur in der Behandlungsgruppe, bei Patienten die zusätzlich noch gewaschen wurden, im Mittel 37,3°C und in der Kontrollgruppe 36,9 °C. Im Gegensatz dazu lag die durchschnittliche Kerntemperatur der Patienten die keiner bzw. der Routineoperationsvorbereitung unterlagen in der Wärmegruppe bei 38,2 °C und in der Kontrollgruppe bei 37,9 °C, womit hier signifikante Unterschiede zu erkennen waren. Die Körperkerntemperaturen wiederum unterschieden sich signifikant bezüglich der Operationsvorbereitung bei Narkosedauern von 40 Minuten (MP 8) bis 80 Minuten (MP 16). In Abbildung 8 sind die perianästhetischen Kerntemperaturverläufe als Boxplots in den verschiedenen Vorbereitungsgruppen dargestellt.

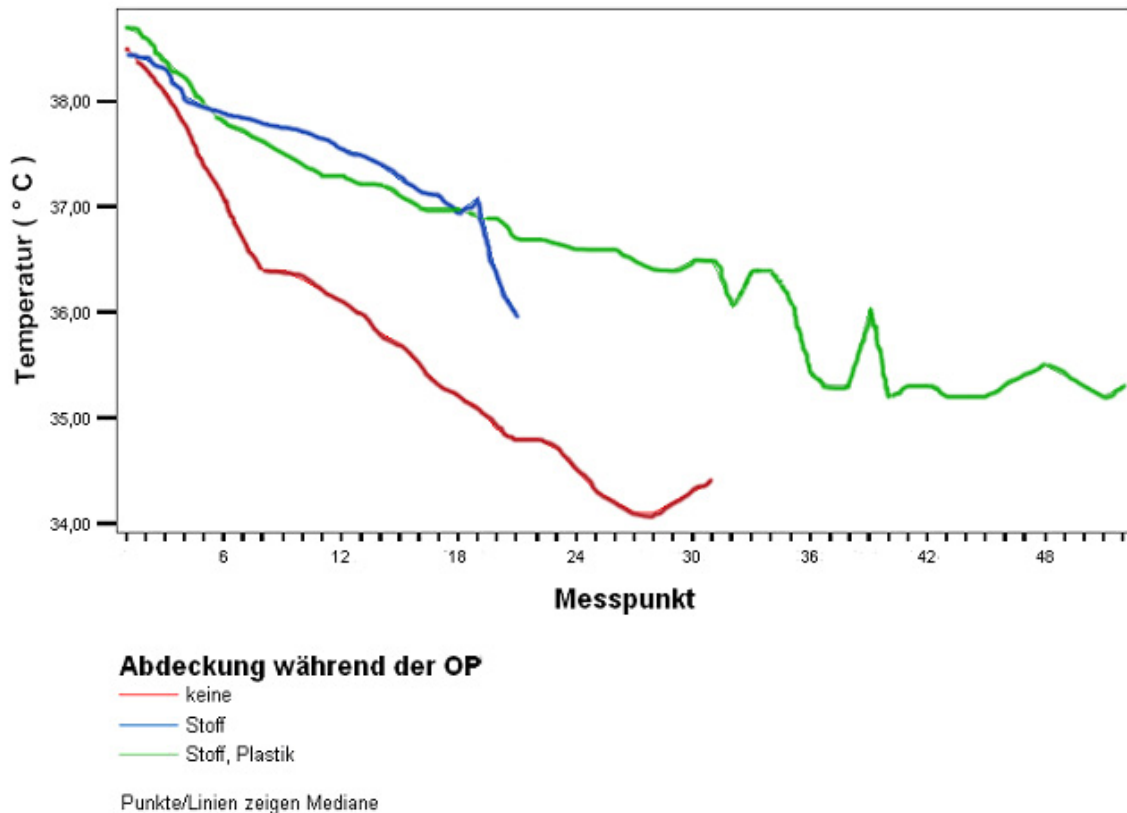
Abb. 8 Temperaturverlauf in Relation zur Vorbereitung des Operationsgebietes, in der Abbildung ist die Anzahl der Patienten in der jeweiligen Gruppe pro Zeiteinheit (Messpunkt) angegeben



### 2.4.2. Abdeckung

Für den jeweils geplanten Eingriff wurden zwei Hunde (Pat. Nr. 3 und 34) mit nur einem Baumwollstofftuch und 67 zumindest mit Plastikfolie und darüber mit einem Baumwollstofftuch, sowie ein weiterer (Hund Nr. 26) für den oralchirurgischen Eingriff perioperativ nicht abgedeckt. Die Temperaturentwicklung dieses nicht-abgedeckten Patienten unterschied sich deutlich von der der abgedeckten Hunde (Abbildung 9).

**Abb 9 Kerntemperaturentwicklung in Relation der Operationsabdeckung**

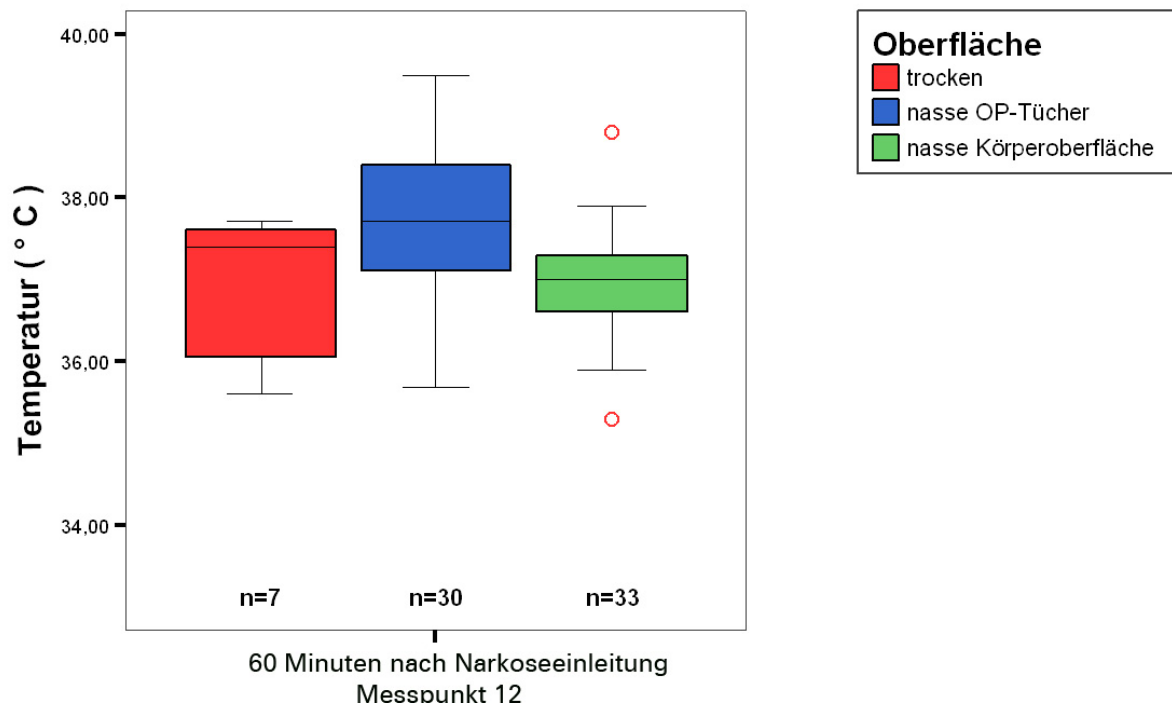


Legende: der zeitlicher Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten

### 2.4.3. Feuchte Körperoberfläche, feuchte Operationstücher

Zum Narkoseende waren bei 33 der 70 Narkosen (47 %) die Operationstücher und die Körperoberfläche feucht. Bei 30 der 70 Operationen (43 %) waren nur die Abdecktücher feucht. Die Kerntemperaturverteilung aller Patienten 60 Minuten nach der Narkoseeinleitung (Messpunkt 12) ist der Abbildung 10 zu entnehmen. Unter den Aspekten nasse Operationstücher bzw. nasse Körperoberfläche konnten im Hinblick auf die Temperaturentwicklung weder 60 Minuten nach Narkoseeinleitung (Messpunkt 12) noch bei Zeitpunkt der Extubation keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden.

**Abb. 10 Kerntemperaturverteilung der Patienten 60 Minuten nach Narkoseeinleitung (Messpunkt12) bezüglich nassen Operationstüchern/nassen Körperoberflächen**



## 2.5 Patientenfaktoren

### 2.5.1. Alter

Es konnte kein statistisch signifikanter Einfluss des Alters auf den perianästhetischen Hypothermiegrad festgestellt werden.

### 2.5.2. Geschlecht

Es konnte keine Auswirkung des Geschlechts auf das perianästhetischen Wärmehaushalt festgestellt werden.

### 2.5.3. Gewicht

Patienten aus der Gewichtsgruppe I (< 10 kg) wiesen sowohl in der Kontroll-, als auch in der Behandlungsgruppe den schnellsten sowie umfangreichsten Kerntemperaturabfall auf. In der Behandlungsgruppe mit den Gewichtsgruppen II - V nahm nach 60 Minuten die Temperatur stabil linear ab. Die Patienten der Kontrollgruppe mit den Gewichtsgruppen I-IV unterschritten im Median spätestens bei Messpunkt (MP) 7 (Narkosedauer 35 Minuten) die Grenze zur milden Hypothermie. In der Behandlungsgruppe erreichte die Gewichtsgruppe I beim Messpunkt 4 (Narkosedauer 20 Minuten), die Gewichtsgruppe IV beim Messpunkt 10 (Narkosedauer 50 Minuten) und die Gruppen II sowie III beim Messpunkt 12 (Narkosedauer

60 Minuten) im Median die Grenze zur milden Hypothermie. Die Temperaturabnahme der Gewichtsguppe V war in der Behandlungsgruppe deutlich flacher (Abbildung 11). Die Körperkerntemperaturen 60 Minuten nach Narkoseeinleitung und bei Extubation, sind in den Tabellen 16 und 17 dargestellt. Die Temperaturabnahme, verglichen mit dem Anfangswert, war in der Gewichtsguppe IV sowohl 60 Minuten (MP 12) nach Narkoseinduktion als auch bei Extubation in der Kontrollgruppe signifikant größer als in der Behandlungsgruppe.

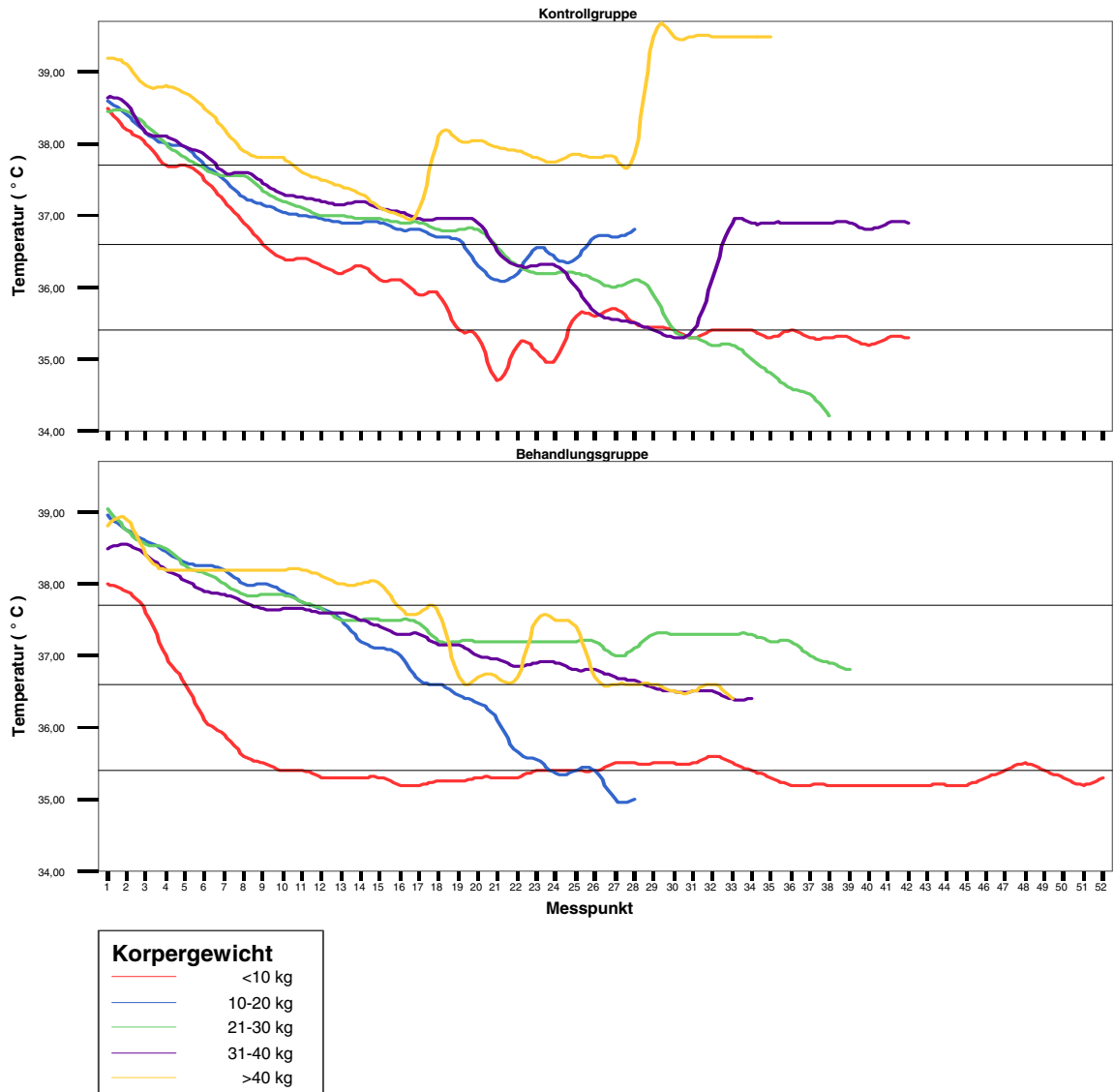
**Tabelle 16 Körperkerntemperaturen 60 Minuten nach Narkoseeinleitung**

Gruppe	Gewichtsguppe/ Körpergewicht	Mittelwert	N	Standardab- weichung	Median
Kontrollgruppe	I < 10 kg	35,7	7	1,19	35,5
	II 10-20 kg	36,9	8	0,87	36,7
	III 21-30 kg	36,7	6	0,70	36,7
	IV 31-40 kg	36,4	8	1,08	36,9
	V > 40 kg	37,5	3	1,76	37,0
	Insgesamt		36,5	32	1,14
Behandlungs- gruppe	I < 10 kg	35,2	3	0,15	35,2
	II 10-20 kg	37,3	8	1,15	37,3
	III 21-30 kg	37,5	12	0,69	37,3
	IV 31-40 kg	37,6	10	0,72	37,4
	V > 40 kg	37,7	5	1,06	38,0
	Insgesamt		37,3	38	0,02

**Tabelle 17 Körperkerntemperatur bei Extubation**

Gruppe	Gewichtsguppe/ Körpergewicht	Mittelwert	N	Standardab- weichung	Median
Kontrollgruppe	I < 10 kg	35,2	7	1,36	35,3
	II 10-20 kg	36,7	8	1,03	36,4
	III 21-30 kg	36,3	6	1,16	36,6
	IV 31-40 kg	36,3	8	1,07	36,7
	V > 40 kg	37,6	3	1,71	37,1
	Insgesamt		36,3	32	1,31
Behandlungs- gruppe	I < 10 kg	35,2	3	0,15	35,2
	II 10-20 kg	37,0	8	1,43	37,1
	III 21-30 kg	37,4	12	0,79	37,3
	IV 31-40 kg	37,4	10	0,77	37,4
	V > 40 kg	37,6	5	1,02	38,0
	Insgesamt		37,2	38	1,10

**Abb.11 Perianästhetische Temperaturverläufe in Relation zum Körpergewicht als Medianfunktion**



Punkte/Linien zeigen Mediane

Legende: Bezugslinien sind angelegt bei 37,7 °C, 36,6 °C und 35,4 °C,  
der Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten

#### 2.5.4. Haarkleid

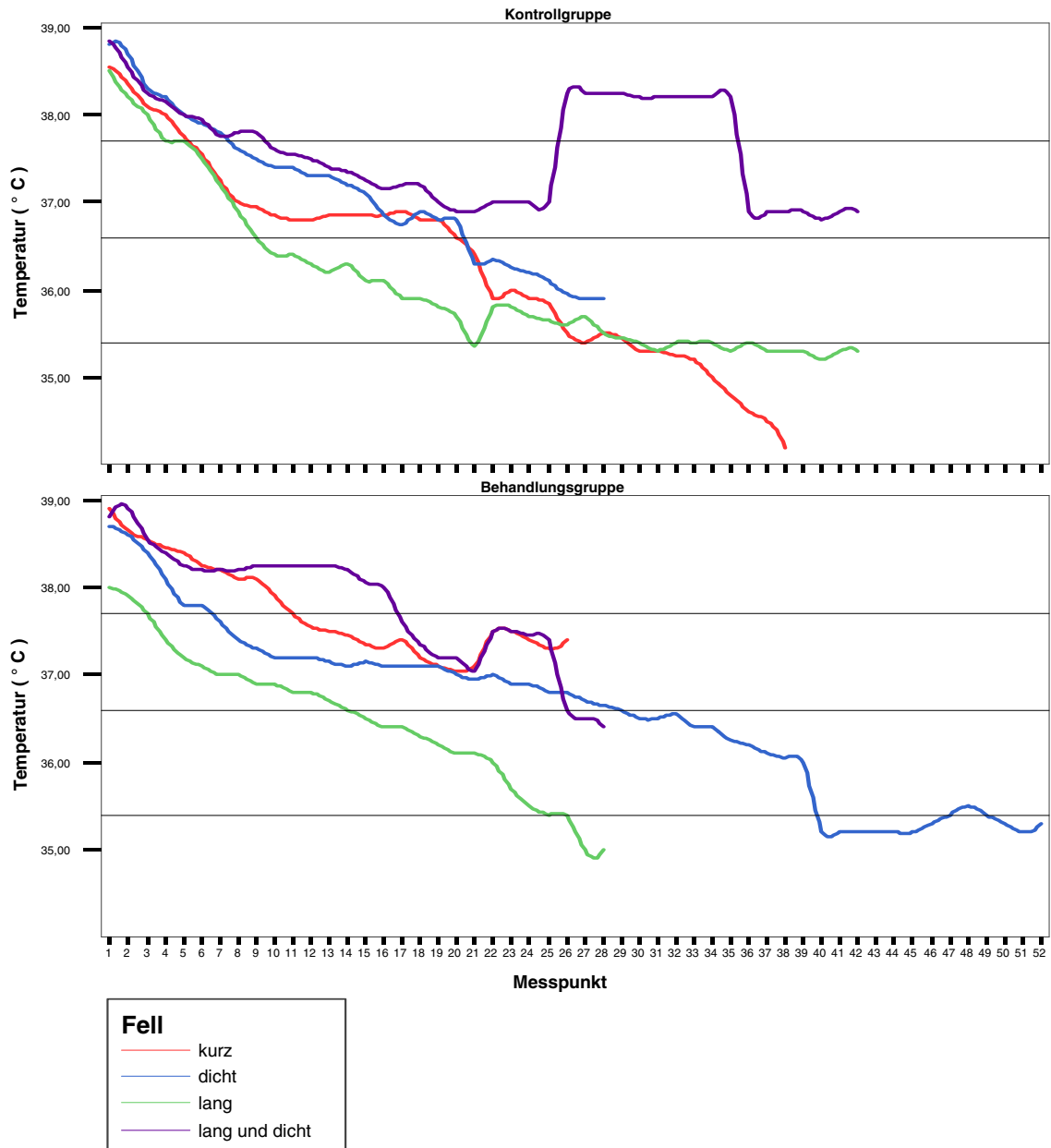
Dem Haarkleid entsprechend wurden die Patienten in vier Kategorien klassifiziert: Patienten mit kurzem Fell ohne Unterwolle (Gruppe – kurz), Patienten mit kurzem bis mittellangem Fell mit Unterwolle (Gruppe – kurz, dicht), Patienten mit langem Fell ohne Unterwolle (Gruppe – lang) sowie Patienten mit langem dichtem Fell mit Unterwolle (Gruppe – lang, dicht).

In Abbildung 12 sind die perianästhetischen Kerntemperaturverläufe verschiedener Felltypen als Medianfunktionen zusammengestellt. Hunde mit langem dichtem Fell (Gruppe – lang, dicht) wiesen 60 Minuten (MP12) nach Narkosebeginn eine durchschnittliche Körperkerntemperatur von  $37,7 (\pm 1,0) ^\circ\text{C}$  in der Kontrollgruppe und  $38,0 (\pm 0,9) ^\circ\text{C}$  auf, bei Extubation betrug sie im Mittel  $37,5 (\pm 1,2) ^\circ\text{C}$  in der Kontrollgruppe  $37,7 (\pm 1,0) ^\circ\text{C}$ . Patienten mit kurzem bis mittellangem Haarkleid mit Unterwolle hatten nach einer Stunde Narkosedauer (MP 12) im Mittel eine Temperatur von  $37,0 (\pm 0,7) ^\circ\text{C}$  in der Kontrollgruppe und  $37,2 (\pm 0,8) ^\circ\text{C}$  in der Behandlungsgruppe. Bei Extubation waren es in der Kontrollgruppe  $36,5 (\pm 0,8) ^\circ\text{C}$  und in der Behandlungsgruppe  $36,8 (\pm 0,8) ^\circ\text{C}$ . Hunde mit kurzem Haarkleid ohne Unterwolle wiesen 60 Minuten (MP 12) nach der Narkoseeinleitung in der Kontrollgruppe eine mittlere Körperkerntemperatur von  $36,9 (\pm 0,7) ^\circ\text{C}$  und in der Behandlungsgruppe eine von  $37,1 (\pm 1,2) ^\circ\text{C}$ . Bei Extubation wurden im Mittel  $36,2 (\pm 1,2) ^\circ\text{C}$  in der Kontrollgruppe und  $36,6 (\pm 1,1) ^\circ\text{C}$  in der Behandlungsgruppe gemessen. Bei Hunden mit langem Haarkleid (ohne Unterwolle) wurde nach einer Stunde (MP 12) in der Kontrollgruppe im Mittel eine Körperkerntemperatur von  $36,3 (\pm 0,5) ^\circ\text{C}$  und in der Behandlungsgruppe eine von  $36,8 ^\circ\text{C}$  gemessen. Bei Extubation wiesen die Hunde der Kontrollgruppe eine mittlere Körperkerntemperatur von  $34,9 (\pm 1,4) ^\circ\text{C}$  bzw.  $35,0 ^\circ\text{C}$  in der Behandlungsgruppe auf. Die Temperaturabnahme, verglichen mit den Anfangswert, war in den Gruppen weder 60 Minuten (MP 12) nach Narkoseinduktion, noch bei der Extubation unter dem Aspekt Fellqualität signifikant.

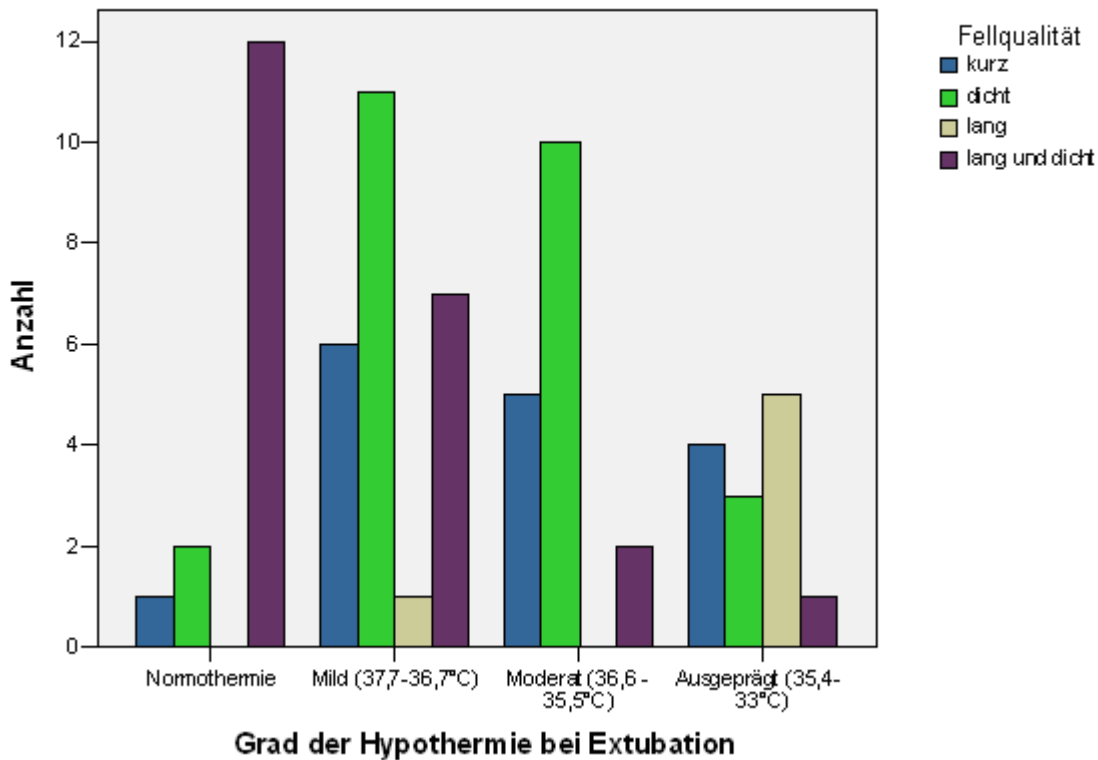
Aus Abbildung 13 ist der Grad der Hypothermie zum Zeitpunkt der Extubation in Relation zum Haarkleides zu ersehen. 80 % der Hunde mit langem dichten Haarkleid waren bei Extubation normotherm und 28 % mild, 12 % moderat und 8 % ausgeprägt hypotherm. Hunde mit dichtem kurzen bis mittellangem Haarkleid wiesen bei Extubation zu 8 % eine Normothermie auf, eine milde Hypothermie war bei 42%, eine moderate bei 39 % und eine ausgeprägte Hypothermie bei 12 % der Tiere zu messen. Hunde mit kurzem einfachen Haarkleid waren zum Narkoseende zu 6 % normotherm, 38 % waren mild, 31 % moderat und 25 % ausgeprägt hypotherm. Hunde mit langem Haarkleid ohne Unterwolle (lang) waren zum Narkoseende zu 17 % mild und 83 % ausgeprägt hypotherm.



**Abb. 12 Perianästhetische Temperaturverläufe und Fellbeschaffenheit als Medianfunktion**



Legende: Bezugslinien sind angelegt bei 37,7 °C, 36,6 °C und 35,4 °C  
Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten

**Abb. 13 Ausmaß der Hypothermie bei Extubation und Fellqualität**

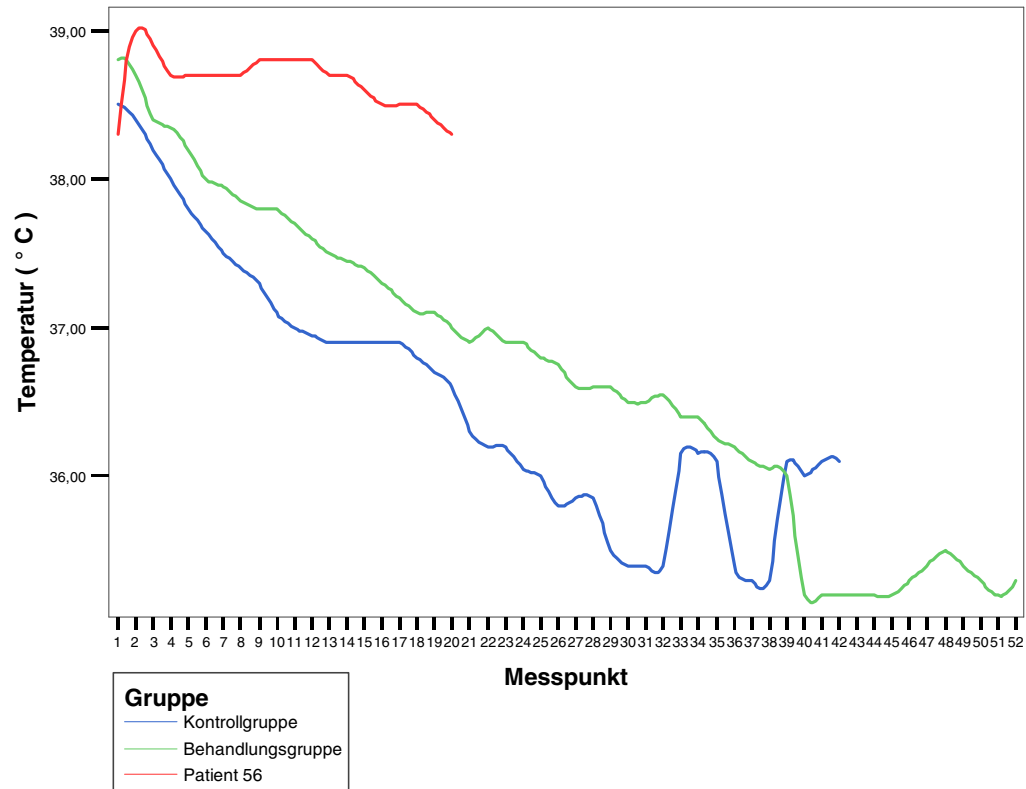
### 2.5.5. Nahrungsaufnahme

Die Patienten der Studie hungerten laut Besitzerangaben mindestens 10 Stunden vor dem Eingriff.

### 2.5.6. Grunderkrankungen

Der Patient Nr. 56 litt an einer Nebenniereninsuffizienz und wurde wegen eines Kreuzbandrisses operiert. Aufgrund der Nebenniereninsuffizienz war er dauerhaft in Behandlung und überstand die Operation komplikationslos. Der Patient wies während der ersten 15 Minuten nach Narkoseeinleitung einen Temperaturanstieg von 0,7 °C auf, wobei die Temperatur danach während 10 Minuten um 0,3 °C abfiel und dann 60 Minuten stabil blieb. Gegen Narkoseende war der Patient normotherm. In der Abbildung 14 ist die Körperkerntemperatur des Patienten zusammen mit den Körperkerntemperaturmedianfunktionen der Kontroll- und Behandlungsgruppe zusammengestellt.

**Abb. 14 Temperaturverlauf des Hundes Nr. 56 im Vergleich zu den Mediane der Tiere der Behandlungs- und Kontrollgruppe**



Legende: Der Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten

## 2.6. Wärmemaßnahmen

In der Behandlungsgruppe wurden aufgewärmte kristalloide Infusionslösungen (Einstellung auf 42 °C) mit Hilfe eines Infusionswärmesystem kontrolliert den Patienten mit einer Infusionspumpe zugeführt. Die Patienten der Kontrollgruppe erhielten perianästhetisch abgesehen von der intraoperativen Abdeckung (außer Patient Nr. 26) kein weiteres Wärmemanagement. Die Infusionen waren in dieser Gruppe raumtemperiert.

Aufgrund der jeweiligen individuellen Variation des SOLL-Wertes wurden die perianästhetischen Körperkerntemperaturänderungen als Temperaturdifferenz zum Anfangswert analysiert (Abbildung 15). Zwischen den Gruppen konnte ab Messpunkt 8 (40 Minuten nach Narkoseeinleitung) bis zum Messpunkt 26 (130 Minuten nach der

Narkoseinduktion) ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. In der Tabelle 18 sind die Temperaturdifferenzen der Gruppen gegenübergestellt.

**Tabelle 18 Temperaturdifferenzen in Relation zum Anfangswert während des gesamten Messvorganges in °C**

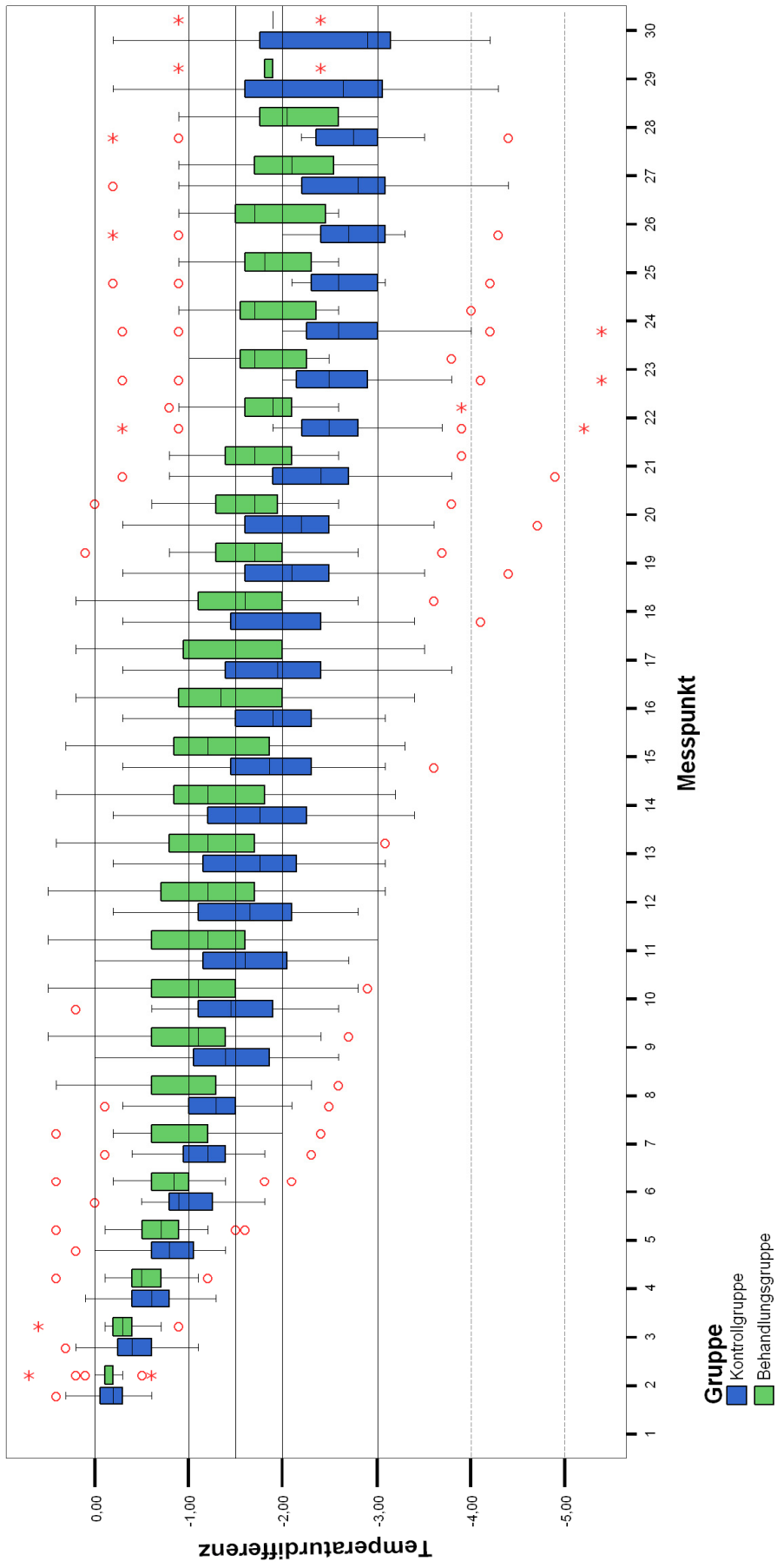
Gruppe	Mittelwert	N	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
Kontrollgruppe	-1,6	793	1,04	-1,5	-5,4	0,4
Behandlungsgruppe	-1,2	861	0,84	-1,1	-4,0	0,7
Insgesamt	-1,4	1654	0,97	-1,2	-5,4	0,7

Mit der Formel:  $Md_{MP\ Ko} - Md_{MP\ Beh} = TMD$  ( Temperaturabfall Median Differenz )

MP= Messpunkt ( zeitlicher Index )

ergibt sich unter Beachtung der Differenzen der Mediane der Temperaturänderungen zum Anfangswert für jeden Messpunkt ab MP11 (Narkosedauer 55 Min.) eine jeweils durchschnittlich mindestens 0,4°C kühlere Temperatur der Kontrollgruppe gegenüber jenen der Behandlungsgruppe (mit 0,4-1°C).

Abb. 15 Entwicklung der Temperaturabnahme in Relation zum Anfangswert



### 3. Messreihe der Körperkerntemperatur

#### 3.1 Rektaltemperatur der Hunde bei der Voruntersuchung und bei der Narkoseinduktion

Die Rektaltemperatur betrug bei der Voruntersuchung im Mittel 38,5 °C (Maximum 39,6 °C und Minimum 37,6 °C), in der Kontrollgruppe im Mittel eine Rektaltemperatur von 38,4 °C und in der Behandlungsgruppe von 38,6 °C. Die Rektaltemperatur stieg bei Narkoseeinleitung bei 46 Hunden (66 %) kurzfristig an und bei zwölfen (17 %) blieb sie unverändert. Bei zwölf Patienten (17%) war die Rektaltemperatur bei Narkoseeinleitung niedriger als bei der Voruntersuchung. Im Mittel stieg die Rektaltemperatur um 0,2 ( $\pm 0,34$ )°C und maximal um 1,3 °C an. Im Vergleich war die durchschnittliche Rektaltemperatur der beiden Gruppen während der Narkoseeinleitung nicht signifikant höher als bei der Voruntersuchung bei Aufnahme in den Operationstrakt (Tabelle 19).

**Tabelle 19 Rektaltemperatur bei Voruntersuchung und bei der Narkoseeinleitung**

Gruppe		Rektaltemperatur bei der Voruntersuchung in °C	Rektaltemperatur bei der Narkoseinduktion in °C
Kontrollgruppe	Mittelwert	38,4	38,7
	N	32	32
	Standardabweichung	0,4	0,5
	Median	38,4	38,5
Behandlungsgruppe	Mittelwert	38,6	38,8
	N	38	38
	Standardabweichung	0,4	0,5
	Median	38,5	38,8
Insgesamt	Mittelwert	38,5	38,7
	N	70	70
	Standardabweichung	0,4	0,5
	Median	38,4	38,6

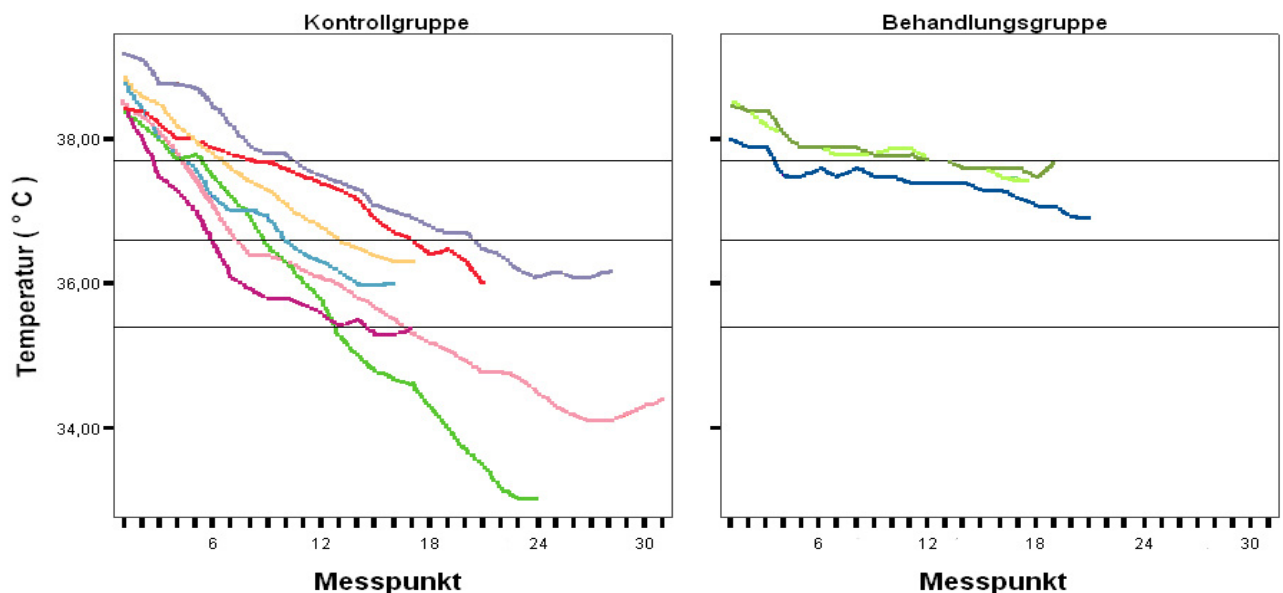
#### 3. 2. Deskriptive Darstellung der perianästhetischen Körperkerntemperatur der Patienten mit verschiedenen operativen Eingriffen

##### 3. 2. 1. Weichteiloperationen

In der Studie wurden zehn Hunde Weichteiloperationen unterzogen. Sowohl in der Kontroll- als auch in der Behandlungsgruppe waren bei diesen Tieren im Hinblick auf Gewicht, Operationsdauer oder Operationsvorbereitung keine signifikanten Differenzen festzustellen. Patient Nr. 26 wurde zur Operation nicht abgedeckt.

In Abbildung 16 sind die perianästhetischen Kerntemperaturverlaufskurven der Hunde dieser Gruppe dargestellt. In der Kontrollgruppe waren nach 30 Minuten (MP 6) drei von sieben Hunden mild hypotherm, in der Behandlungsgruppe einer von dreien. Die Körperkerntemperatur sank in der Kontrollgruppe steiler als in der Behandlungsgruppe. Nach 60 Minuten (MP 12) konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Die Kerntemperatur der Tiere der Kontrollgruppe betrug nach 60 Minuten Narkose (MP 12) im Mittel  $36,5 (\pm 0,8) ^\circ\text{C}$  und in der Behandlungsgruppe  $37,3 (\pm 0,3) ^\circ\text{C}$ . Bei Extubation in der Kontrollgruppe  $35,3 (\pm 1,2) ^\circ\text{C}$  bzw.  $37,3 (\pm 0,3) ^\circ\text{C}$  in der Behandlungsgruppe. Bei den Hunden der Behandlungsgruppe sank die Kerntemperatur während der Narkose im Mittel um  $0,9^\circ\text{C}$ . Sie wiesen aber während der Narkose einen stabilen Temperaturverlauf auf. In der Kontrollgruppe sank die Kerntemperatur im Mittel um  $3,3 ^\circ\text{C}$ . Bei vier Patienten der Kontrollgruppe war am Ende des Messverlaufes tendenziell ein stabiles Temperaturplateau zu bemerken. Dies zeichnete sich sowohl zeitlich deutlich später ab, als auch bei deutlich niedrigeren Temperaturen als in der Behandlungsgruppe. Aus Tabelle 20 kann die Temperaturdifferenz zwischen den Anfangs- und Endwerten in der Kontroll- und Behandlungsgruppe verglichen werden.

**Abb.16 Perioperativer Körpertemperaturverlauf der Patienten mit einer "Weichteiloperation"**



Legende:      Bezugslinien sind angelegt bei  $37,7 ^\circ\text{C}$ ,  $36,6 ^\circ\text{C}$  und  $35,4 ^\circ\text{C}$   
                   Der Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten

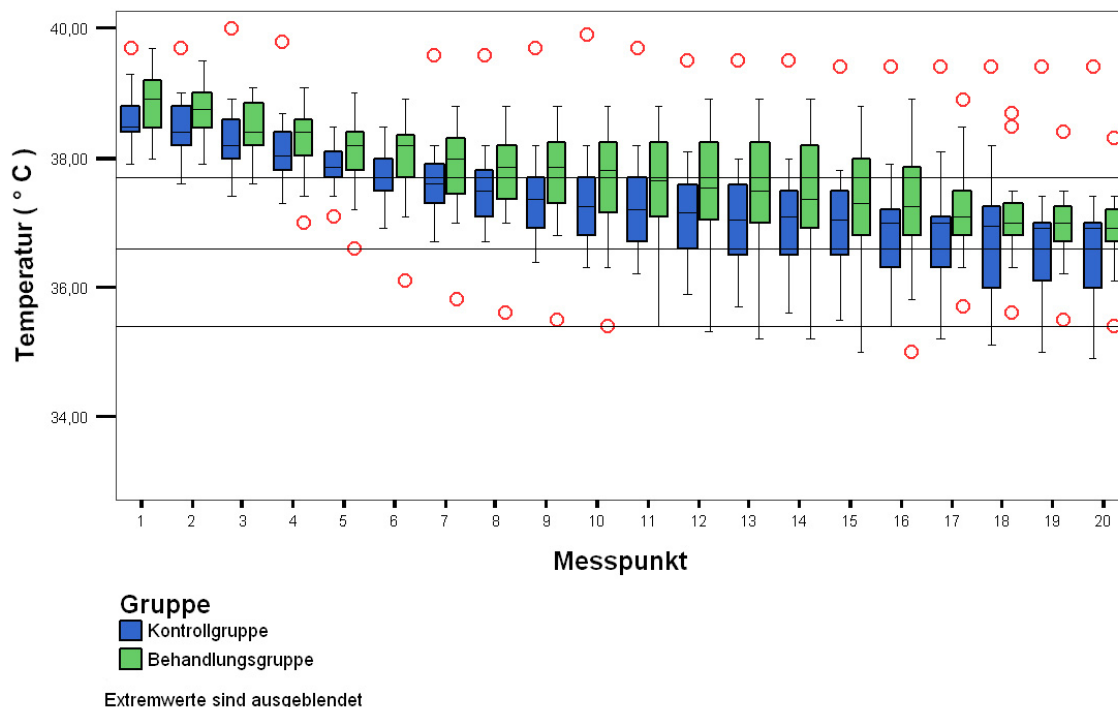
**Tabelle 20 Temperaturdifferenz zwischen Narkoseinduktion und Extubation (Weichteiloperationen)**

Gruppe	Mittelwert	N	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
Kontrollgruppe	-3,3	7	1,1	-3,0	-5,4	-2,4
Behandlungsgruppe	-1,0	3	0,1	-1,0	-1,1	-1,0
Insgesamt	-2,6	10	1,4	-2,7	-5,4	-1,0

### 3. 2. 2. Orthopädische Operationen

Die perianästhetische Temperaturentwicklung wurde bei 60 orthopädischen Operationen unterschiedlicher Dauer protokolliert. Die Gruppen unterschieden sich dabei signifikant bezüglich der Operationsdauer voneinander. Die durchschnittliche Operationsdauer betrug 129 ( $\pm$  45) Minuten (Median 125 Min.), in der Kontrollgruppe 135 ( $\pm$  42) Minuten (Median 130 Min.) und in der Behandlungsgruppe 124 ( $\pm$  47) Minuten (Median 120 Min.). Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen in Bezug auf Körpergewicht oder Operationsabdeckung. In Abbildung 17 ist die Temperaturabnahme bei orthopädischen Operationen als Boxplots dargestellt.

**Abb. 17 Perioperative Temperaturabnahme bei orthopädischen Eingriffen**



Legende: die Bezugslinien sind angelegt bei 37,7 °C, 36,6 °C und 35,4 °C  
Der Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten

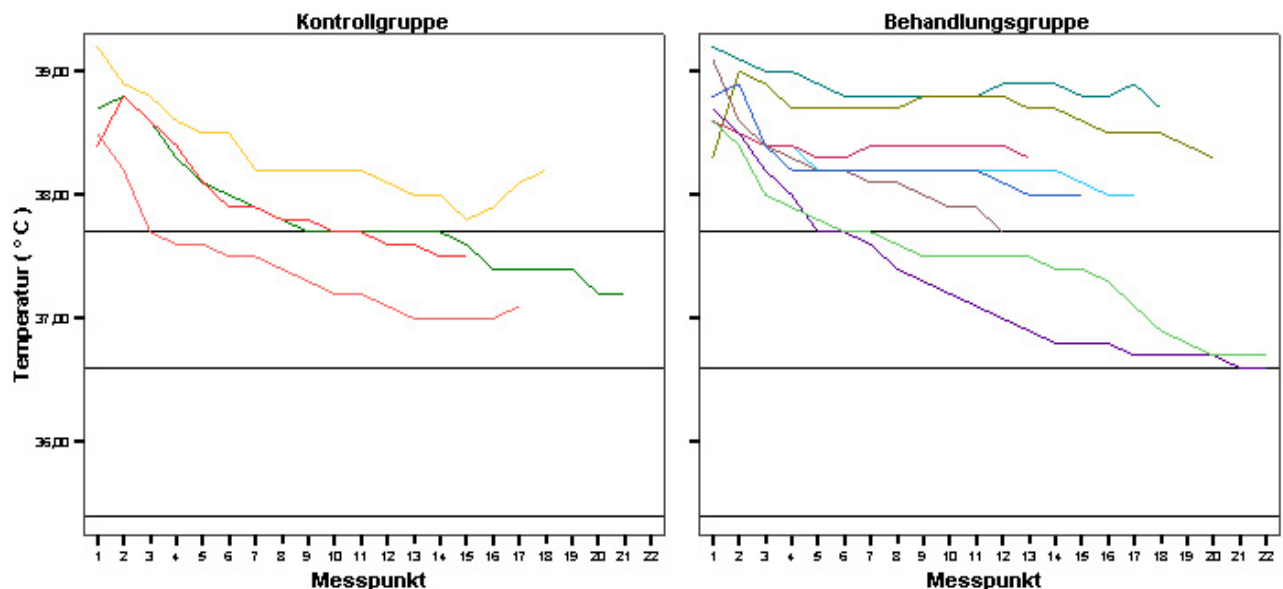


### 3. 2. 3. Ruptur des Ligamentum cruciatum craniale

Bei den zwölf Hunde mit Ruptur des Ligamentum cruciatum craniale waren im Hinblick auf Körpergewicht, Operationsdauer, Operationsvorbereitung sowie Abdeckung zur Operation so gut wie keine Unterschiede festzustellen.

In der Abbildung 18 sind die perianästhetischen Messreihen der Körperkerntemperaturen von diesen Tieren dargestellt. In der Behandlungsgruppe erreichten fünf Hunde verglichen mit der Kontrollgruppe nach einem kürzeren und flacheren initialen Temperaturabfall perianästhetisch ein Temperatur-Steady-State. Ein Temperaturplateau war bei einem Patienten aus der Kontrollgruppe zu beobachten. Während der gesamten Narkosedauer waren sechs Hunde der Behandlungsgruppe normotherm. Bei Extubation waren aus der Behandlungsgruppe fünf von acht Hunden normotherm und aus der Kontrollgruppe wies lediglich ein Hund eine Normothermie auf. Nach 60 Minuten (MP12) betrug die mittlere Kerntemperatur in der Kontrollgruppe  $37,6 (\pm 0,4) ^\circ\text{C}$  und in der Behandlungsgruppe  $38,1 (\pm 0,6) ^\circ\text{C}$ . Bei Extubation lagen die Temperaturen bei  $37,5 (\pm 0,5) ^\circ\text{C}$  bzw.  $37,7 (\pm 0,7) ^\circ\text{C}$ .

**Abb. 18** Temperaturverläufe bei Patienten mit Ruptur des Ligamentum cruciatum craniale



Legende:      Bezugslinien sind angelegt bei  $37,7 ^\circ\text{C}$ ,  $36,6 ^\circ\text{C}$  und  $35,4 ^\circ\text{C}$   
                   Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten

Aus Tabelle 21 lässt sich die Temperaturdifferenz zwischen Narkoseeinleitung und Extubation der verschiedenen Gruppen entnehmen. Dabei können zwischen den Gruppen keine signifikanten Differenzen ausmacht (Mann-Whitney U-Test) werden.

**Tabelle 21 Temperaturdifferenz zwischen Narkoseinduktion und Extubation bei Patienten mit Ruptur des Ligamentum cruciatum craniale**

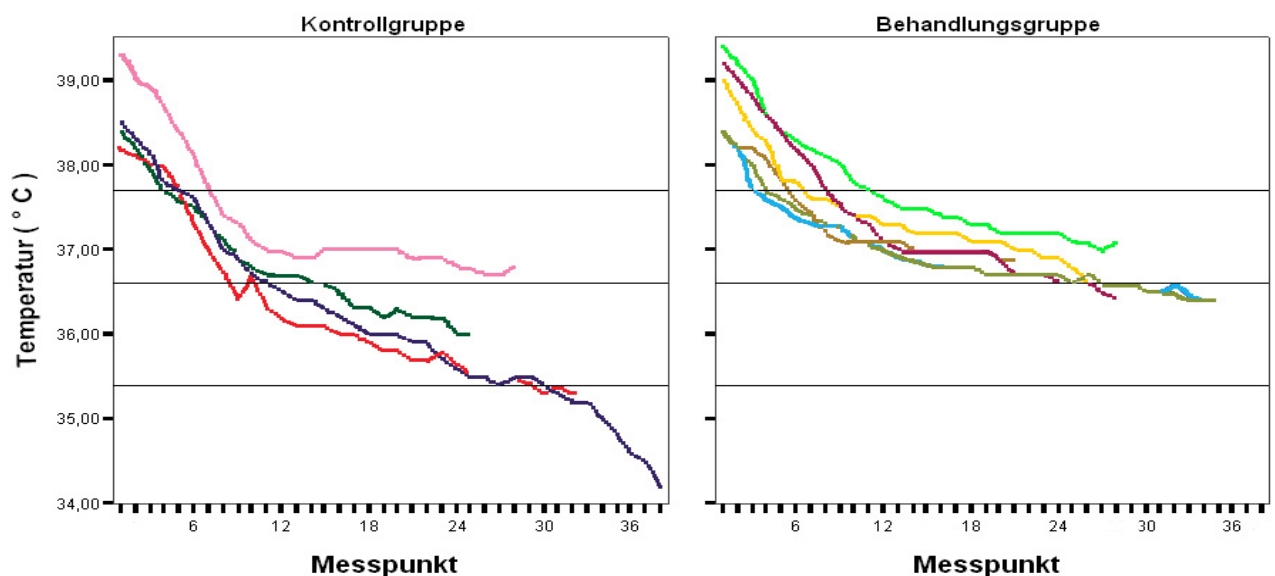
Gruppe	Mittelwert	N	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
Kontrollgruppe	-1,2	4	0,3	-1,2	-1,5	-0,9
Behandlungsgruppe	-1,0	8	0,8	-,8	-2,1	0,0
Insgesamt	-1,1	12	0,6	-1,0	-2,1	0,0

### 3. 2. 4. Totalendoprothese (TEP) des Hüftgelenks

Bei zehn Patienten wurde ein künstliches Hüftgelenk eingesetzt. Diese Gruppe war im Hinblick auf Alter, Gewicht, ASA-Klasse, Operationsvorbereitung, Abdeckung und Operationsdauer homogen.

In Abbildung 19 sind die perianästhetischen Kerntemperaturverläufe im einzelnen zusammengestellt. Nach Narkoseeinleitung ist initial eine nahezu exponentielle Temperaturabnahme bei allen Hunden zu beobachten. In der Kontrollgruppe ist sie steiler als in der Behandlungsgruppe. Die Hunde der Behandlungsgruppe erreichten die lineare Temperaturabnahmephase und das Temperaturplateau auf einem höheren Niveau als Tiere der Kontrollgruppe. In der Kontrollgruppe wies nur ein Patient ein Temperaturplateau auf, im Gegensatz dazu erreichten alle Patienten der Behandlungsgruppe ein Temperaturgleichgewicht.

**Abb. 19 Temperaturverlauf bei Patienten bei Patienten mit Implantation eines künstlichen Hüftgelenkes**



Legende:      Bezugslinien sind angelegt bei 37,7 °C, 36,6 °C und 35,4 °C  
 Der Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten

Die Kerntemperatur war bei den Patienten der Behandlungsgruppe ab 55 Minuten (MP 11) nach Narkoseeinleitung bis zur Extubation signifikant höher als bei denen der Kontrollgruppe. Die Körperkerntemperatur betrug nach 60 Minuten (MP 12) Narkose in der Kontrollgruppe im Mittel  $36,6 (\pm 0,3) ^\circ\text{C}$ , in der Behandlungsgruppe  $37,2 (\pm 0,2) ^\circ\text{C}$  sowie bei Extubation  $35,6 (\pm 1,1) ^\circ\text{C}$  bzw.  $36,6 (\pm 0,3) ^\circ\text{C}$ . Aus Tabelle 22 kann die Temperaturdifferenz der Körperkerntemperatur während der Narkoseinduktion und bei Extubation nach Gruppen ersehen werden. Die Gruppen unterschieden sich dabei signifikant (Mann-Whitney U-Test).

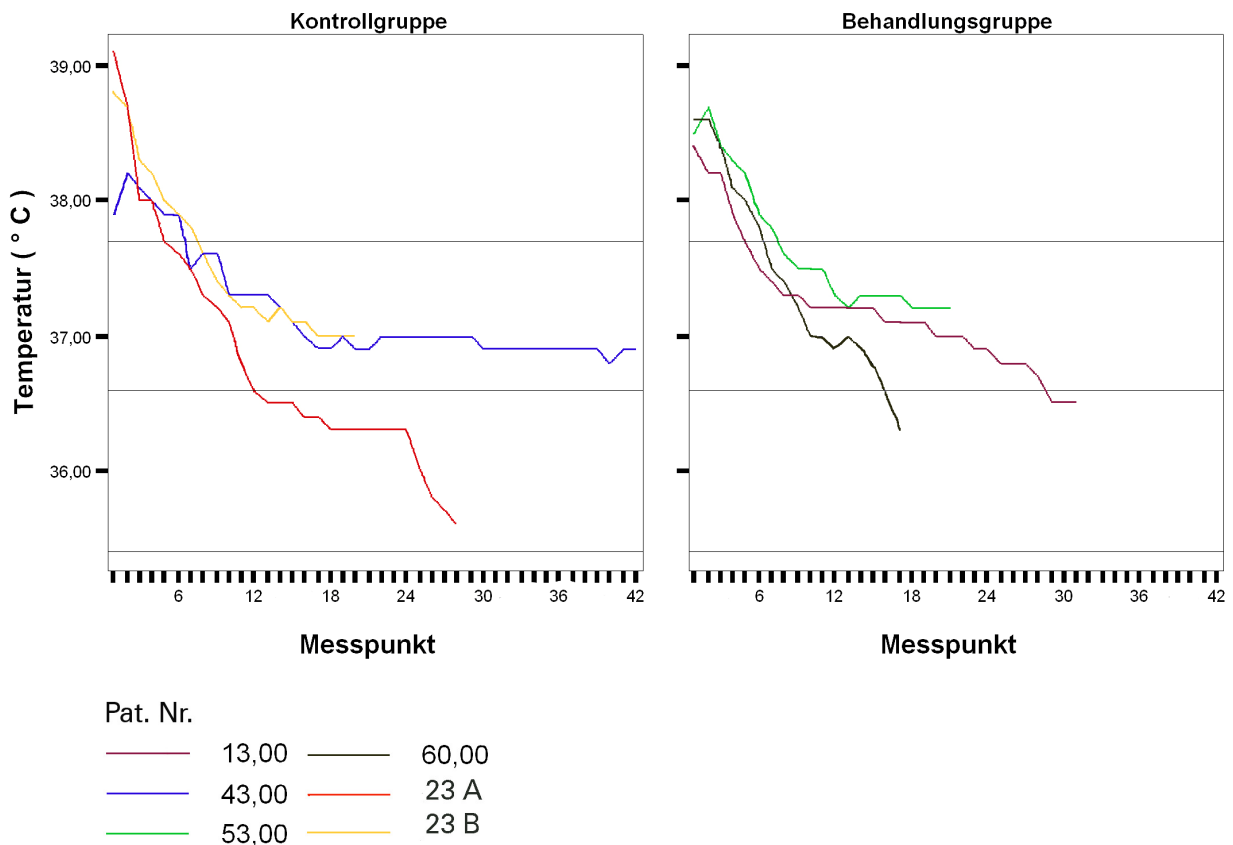
**Tabelle 22 Temperaturdifferenz zwischen Narkoseinduktion und Extubation bei Patienten mit Implantation eines künstlichen Hüftgelenkes**

Gruppe	Mittelwert	N	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
Kontrollgruppe	-3,0	4	0,9	-2,7	-4,3	-2,4
Behandlungsgruppe	-2,2	6	0,4	-2,2	-2,8	-1,5
Insgesamt	-2,5	10	0,7	-2,4	-4,3	-1,5

### 3. 2. 5. Arthrodesis

In Rahmen der Studie wurden bei vier Patienten das Karpalgelenk und bei je einem ein Kniegelenk bzw. ein Schultergelenk arthrodesiert. Einer der Hunde (Hund Nr. 23) wurde zweimal innerhalb von zwei Tagen operiert. Der Ersteingriff ist unter Nr. 23 A angegeben. Sieht man vom Patienten Nr. 60 (Gewicht 10 kg) ab, gehörten die anderen Tiere dieser indikationsbedingten Gruppe den großen Hunderassen (Gewichtsklasse 4) an. Bei Nr. 60 der Behandlungsgruppe fiel die Temperatur während der gesamten Narkosedauer exponentiell ab. Bei den anderen Patienten dieser Gruppe war der Temperaturabfall nur anfangs exponentiell, dann linear und gegen Ende mit einer Tendenz zur Temperaturplateaubildung. Bei dem Patienten Nr. 23 der Kontrollgruppe ergaben die Temperaturmessungen bei wiederholten Messverläufen auffällige Differenzen. Die Temperaturen bei Extubation unterschieden sich um  $1,4 ^\circ\text{C}$  bei ähnlicher Narkosedauer.

In der Abbildung 20 sind die perianästhetischen Kerntemperaturverläufe der einzelnen Hunde aus dieser Gruppe zusammengestellt. Sechzig Minuten (MP 12) nach Induktion betrug die Körperkerntemperatur in der Kontrollgruppe  $37,0 (\pm 0,4) ^\circ\text{C}$ ; in der Behandlungsgruppe  $37,1 (\pm 0,3) ^\circ\text{C}$  und bei Extubation in der Kontrollgruppe  $36,6 (\pm 2,2)$  bzw.  $36,9 (\pm 0,6) ^\circ\text{C}$  in der Behandlungsgruppe.

**Abb. 20 Temperaturverlauf bei Patienten denen ein Gelenk arthrodetisiert wurde**

Legende: Bezugslinien sind angelegt bei 37,7 °C, 36,6 °C und 35,4 °C  
Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten

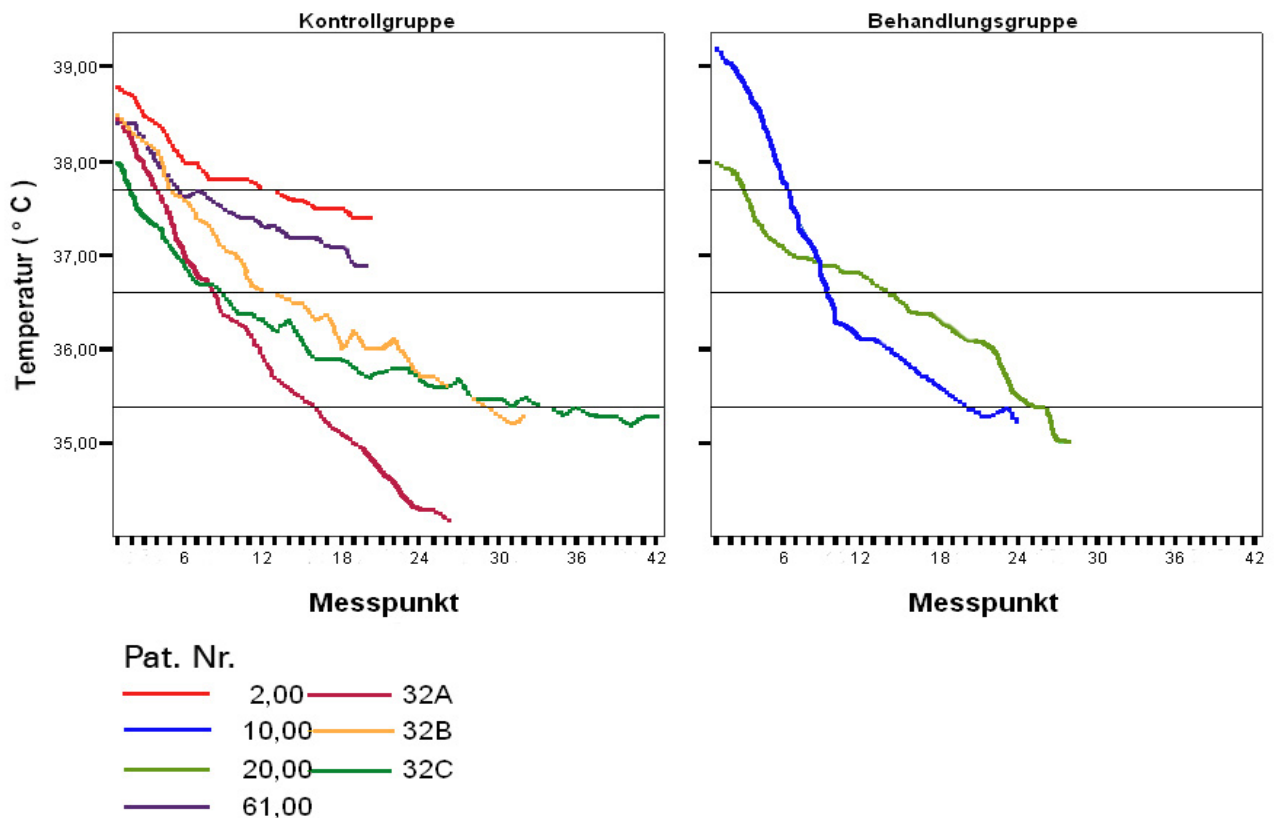
### 3. 2. 6. Wirbelsäulenoperationen

Verschiedene Patienten wurden im Rahmen der Studie an der Wirbelsäule operiert. Bei den Hunden Nr. 10, 20 und 32 konnten im Hinblick auf Körpergewicht und Operationsdauer kaum Unterschiede entdeckt werden, während sie bei Nr. 2 und 61 bestanden. Der Patient Nummer 32 wurde dreimal operiert, jeweils mit einem zwei- bis dreitägigen Zeitintervall (Nr. 32 B – erste Operation, Nr. 32 A – zweite Operation, Nr. 32C – dritte Operation).

Aus Abbildung 21 sind die perianästhetischen Messverläufe der Patienten mit einer Wirbelsäulenoperation zu ersehen. Die Patienten Nr. 2 und 61 der Kontrollgruppe fielen durch eine vergleichbar geringere Temperaturabsenkung auf. Beide wiesen nach 60 Minuten einen Temperaturabfall von  $1 (\pm 0,1) ^\circ\text{C}$  und bei der Extubation von  $1,45 (\pm 0,25) ^\circ\text{C}$  auf. Während der ersten und der dritten Operation konnte bei dem Patienten Nr. 32 die Entwicklung eines Temperaturplateaus beobachtet werden (Nr. 32B und 32C), welcher während der zweiten Operation fehlte (32A). Bei Induktion betrug die Kerntemperatur im Mittel  $38,3 (\pm 0,3) ^\circ\text{C}$ , nach 60 Minuten  $36,3 (\pm 0,4) ^\circ\text{C}$  und bei Extubation  $34,9 (\pm 0,63) ^\circ\text{C}$ . Beide Patienten (Nr. 10 und 20) der Behandlungsgruppe entwickelten kein perianästhetisches Temperaturplateau. Bei Narkoseinduktion betrug die

Körperkerntemperatur im Mittel  $38,6 (\pm 0,6) \text{ }^\circ\text{C}$ , nach 60 Minuten  $36,4 (\pm 0,3) \text{ }^\circ\text{C}$  und bei Extubation  $35,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hund Nr. 10 wies zunächst einen exponentiellen Kerntemperaturabfall von  $3,1 \text{ }^\circ\text{C}$  in den ersten 60 Minuten auf. Anschließend nahm die Geschwindigkeit des Kerntemperaturabfalles eine nahezu lineare Funktion der Zeit an. Im Gegensatz dazu fiel die Kerntemperatur des Patienten Nr. 20 während der gesamten Narkose nahezu linear ab.

**Abb. 21** Verlauf der Körperkerntemperatur bei Patienten mit einer Wirbelsäulenoperation



Legende: Bezugslinien sind angelegt bei  $37,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $36,6 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $35,4 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
Der zeitlicher Abstand zwischen Messpunkten beträgt 5 Minuten.

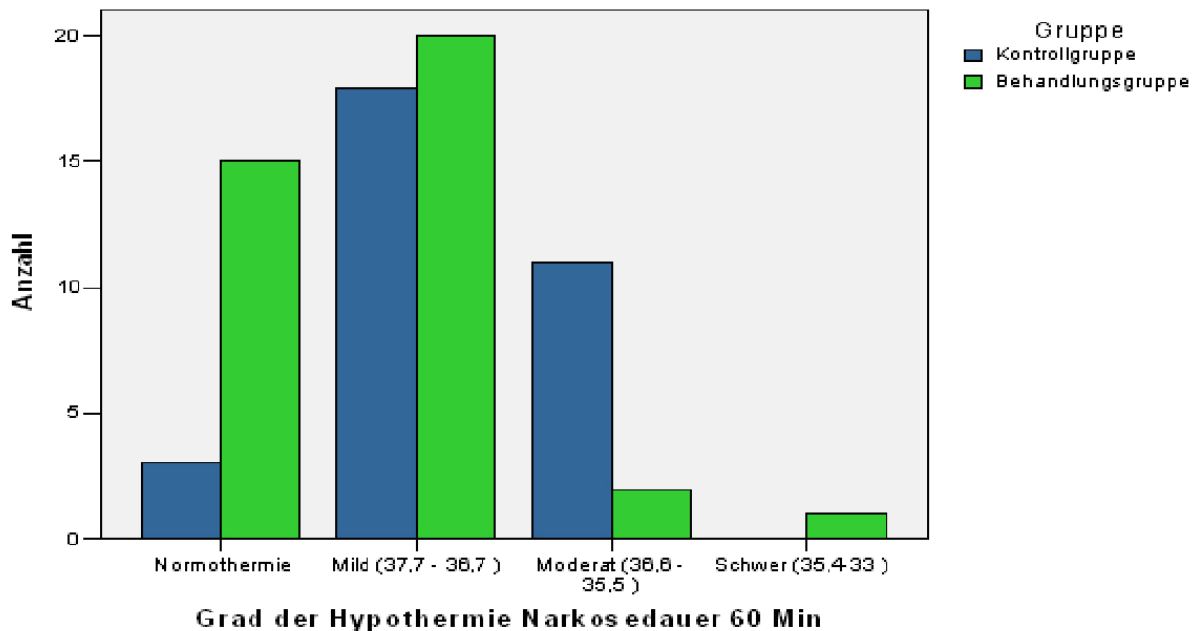
### 3. 3. Hypothermie

#### 3. 3.1. Grad der Hypothermie 60 Minuten nach der Narkoseeinleitung

Je nach Schweregrad der Hypothermie wurden die Patienten in Anlehnung an sekundäre Hypothermie vier Gruppen nach ONCKEN [2001] zugeordnet. Sechzig Minuten (MP 12) nach Narkoseeinleitung waren 15 Hunde der Behandlungsgruppe und drei der Kontrollgruppe normotherm und 20 bzw. 18 mild hypotherm. Eine moderate Hypothermie

konnte bei zweien der Behandlungsgruppe und elf der Kontrollgruppe festgestellt werden. Eine schwere Hypothermie wies ein Hund aus der Behandlungsgruppe auf (Abbildung 22).

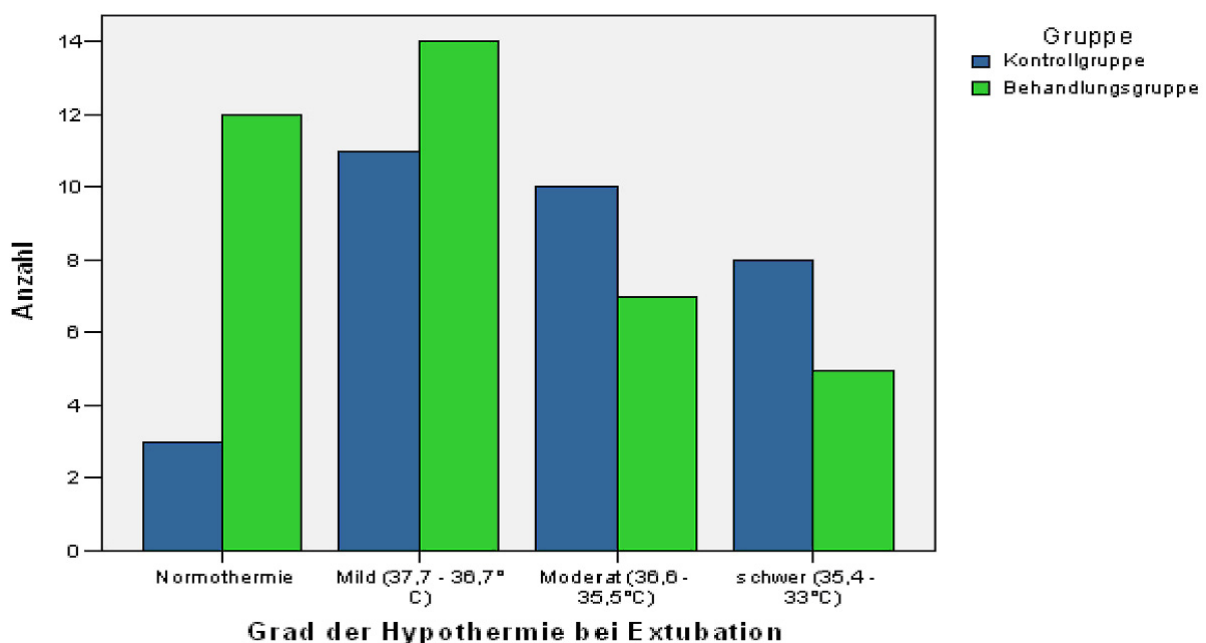
**Abb. 22 Hypothermiegrad – 60 Min Narkosedauer**



### 3. 3. 2. Grad der Hypothermie zum Zeitpunkt der Extubation

Am Narkoseende wiesen zwölf Hunde aus der Behandlungsgruppe und drei Hunde der Kontrollgruppe eine Normothermie auf. Der Schweregrad der perioperativen sekundären Hypothermie bei Extubation war bei 14 Hunden der Behandlungsgruppe, und elf der Kontrollgruppe mild, bei sieben bzw. zehn Hunden moderat und bei fünf Hunden der Behandlungsgruppe, sowie acht der Kontrollgruppe schwer (Abbildung 23).

**Abb. 23 Hypothermiegrad bei Extubation**



In Tabelle 23 ist der Hypothermiegrad gemessen - an zwei Zeitpunkten - zusammengestellt. Damit wird die Entwicklung des Hypothermiegrades in der Kontroll- und der Behandlungsgruppe während der Narkosedauer demonstriert.

Der Hypothermiegrad war sowohl nach 60 minütiger Narkosedauer als auch bei Extubation bei den Patienten der Behandlungsgruppe signifikant niedriger als bei denen der Kontrollgruppe (Mann-Whitney U-Test).

**Tabelle 23 Entwicklung des perianästhetischen Hypothermiegrades**

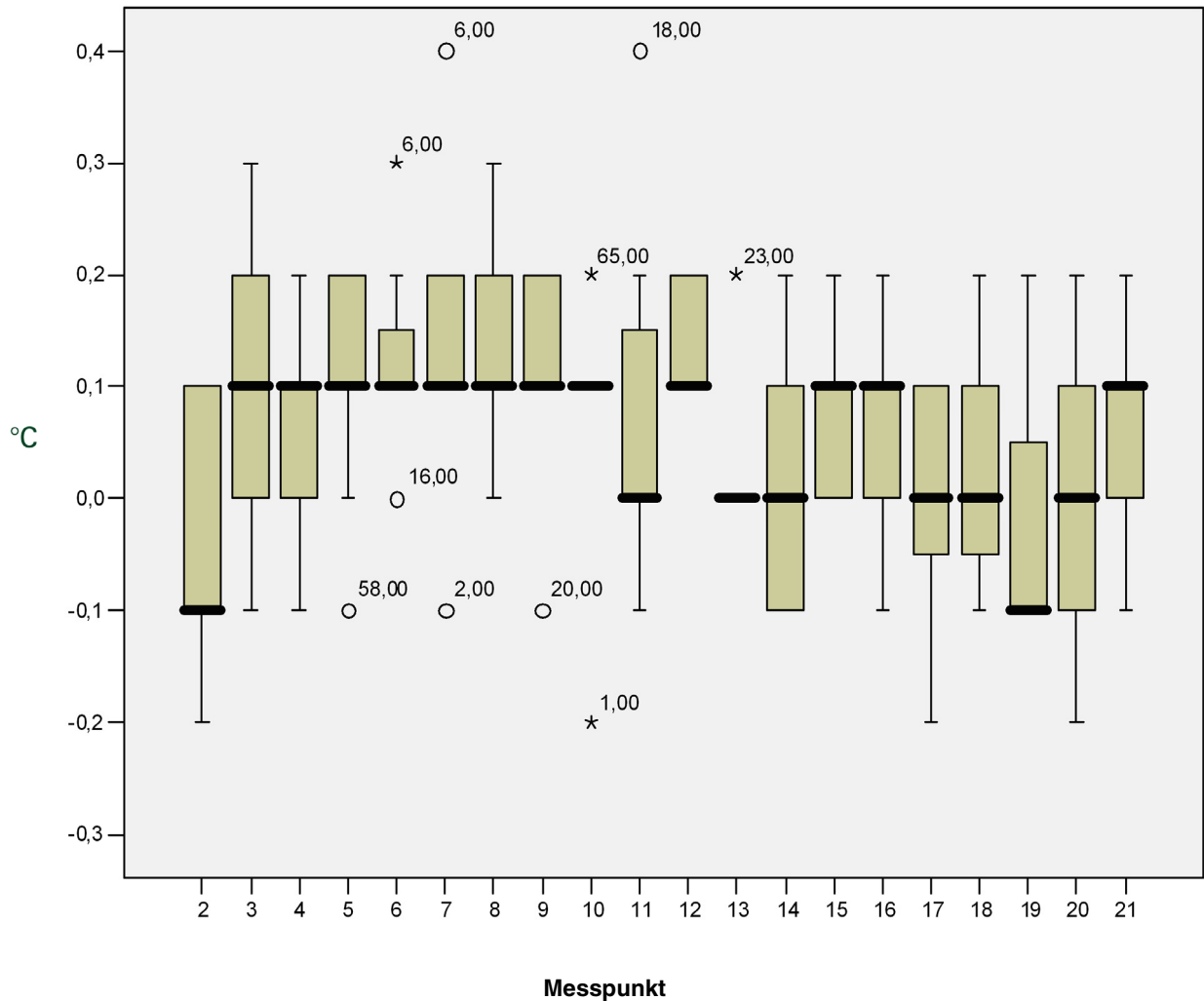
Gruppe	Narkosedauer Hypothermiegrad		Grad der Hypothermie bei Extubation				Gesamt
			Mild	Moderat	Schwer	Normo- thermie	
Kontroll- gruppe	Grad der Hypo- thermie bei 60 Minuten Narkose- dauer	Mild	11	7	0	0	18
		Moderat	0	3	8	0	11
		Normothermie	0	0	0	3	3
	Gesamt		11	10	8	3	32
Behandlungs- gruppe	Grad der Hypo- thermie bei 60 Minuten Narkose- dauer	Mild	12	7	1	0	20
		Moderat	0	0	2	0	2
		Schwer	0	0	1	0	1
	Normothermie	2	0	1	12	15	
Gesamt		14	7	5	12	38	

### 3.4. Korrelation von rektalen und ösophagealen Messergebnissen

Zum Beginn und am Ende der Narkose wurde die Körpertemperatur sowohl rektal als auch ösophageal gemessen. Die Messwerte korrelierten eng. In der Abbildung 24 sind in Boxplots

die Ergebnisse der jeweiligen Messpunkte dargestellt. Insgesamt wurden 255 Parallelmessungen vorgenommen. Zu ersehen ist, dass die Messwerte sich um maximal 0,4 °C unterscheiden und im Mittel um 0,1 °C.

**Abb. 24 Korrelation rektaler und ösophagealer Meßergebnisse**



Legende: X-Achse: zeitlicher Verlauf in Form der Messpunkten, der Abstand der Messpunkten beträgt fünf Minuten  
Y-Achse: Temperaturdifferenz in Grad Celsius  
In der Abbildung sind die abweichenden Patienten mit Patientennummern angegeben.

#### 4. Aufwachphase

##### 4.1. Dauer der Aufwachphase im Bezug auf Narkoseende und Extubation

Aus Tabelle 24 ist der Zeitraum zwischen dem Ende der Narkosegaszufuhr bis zur Extubation bzw. zur Wiederkehr des Schluckreflexes zu ersehen. In der Kontrollgruppe war



sie mit ca. 21 Minuten etwa doppelt so lang als in der Behandlungsgruppe mit 13 Minuten. Das zeitliche Unterschied war auch statistisch signifikant

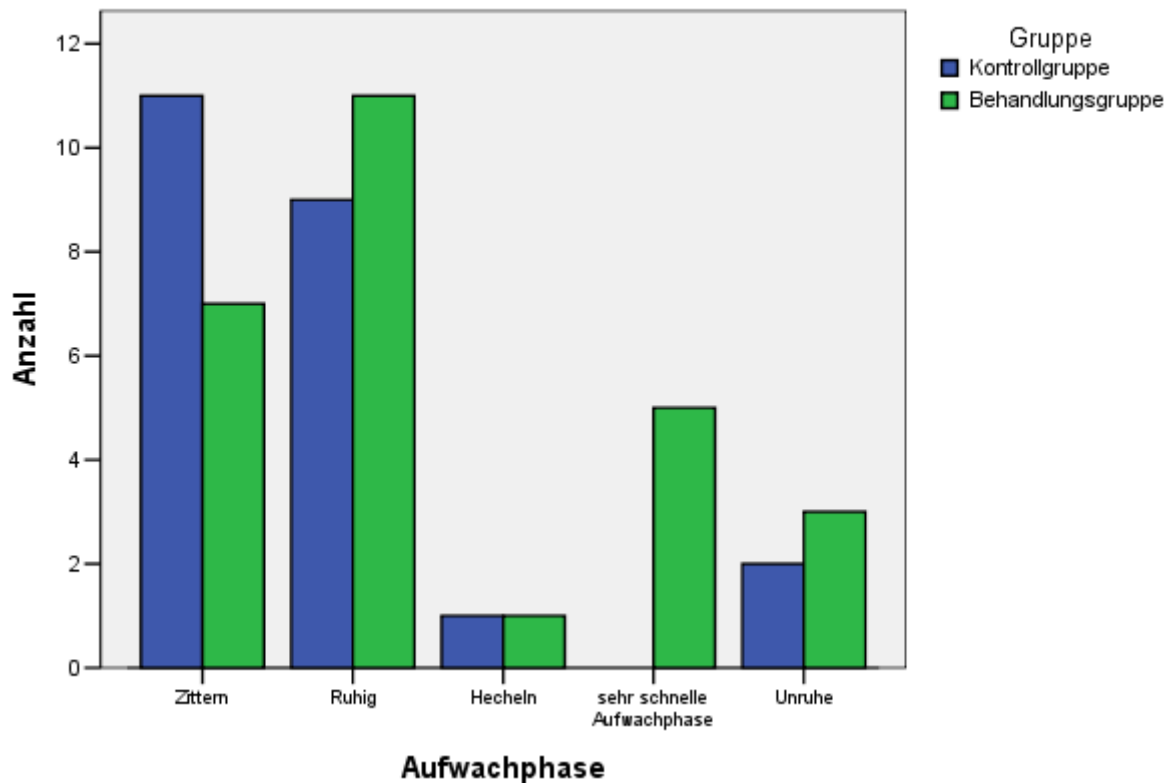
**Tabelle 24 Zeit vom Operationsende bis Extubation in Minuten**

Gruppe	Mittelwert	N	Standard-abweichung	Median
Kontrollgruppe	21	32	10,8	17,5
Behandlungsgruppe	13	38	7,3	10,0
Insgesamt	16	70	9,8	15,0

#### 4.2 Aufwachverhalten der Patienten

Die Aufwachphase war bei 20 Hunden unauffällig. Fünf Hunde der Behandlungsgruppe wachten auffällig schnell auf und versuchten nach Extubation aufzustehen. Elf Hunde der Kontrollgruppe zitterten während der Aufwachphase. In der Behandlungsgruppe waren es sieben mit postanästhetischen Tremor. Unruhe mit lauter Vokalisation und unkontrollierter Motorik konnte bei fünf Patienten (zwei in Kontroll- und drei in Behandlungsgruppe) beobachtet werden, wie aus Abbildung 25 zu ersehen ist.

**Abb. 25 Aufwachverhalten der Patienten nach Extubation**



### **4.3. Hyperthermie**

Patient Nr. 10 der Kontrollgruppe war während der gesamten Anästhesiedauer sowie während der Aufwachphase bis zur Entlassung hypertherm ( $> 39^{\circ}\text{C}$ ) mit einer Rektaltemperatur  $39,4^{\circ}\text{C}$ .

### **4. 4. Temperaturen der Aufwchräume / Ställe**

Die mittlere Lufttemperatur in den Aufwchräumen des Operationtraktes betrug  $22,8^{\circ}\text{C}$  bei einer durchschnittlichen Temperatur des Fußbodens bei aktivierter Fußbodenheizung von  $26,6^{\circ}\text{C}$ . Die mittlere Temperatur auf der Station betrug  $18,5^{\circ}\text{C}$ , in den Hundeboxen mit eingeschalteter Rotlichtlampe  $24,1^{\circ}\text{C}$ . Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Behandlungsgruppe und der Kontrollgruppe aus den Umgebungsbedingungen in den Aufwchräumen festgestellt werden.

### **4.5. Afterdrop**

Bei Hunden mit postoperativem Kältezittern stieg die Kerntemperatur kontinuierlich. Einige Patienten benötigten nach Extubation mehr als 180 Minuten, um eine Normaltemperatur zu erreichen. Die Rektaltemperatur fiel während der Aufwachphase bei drei Hunden der Behandlungsgruppe um mehr als  $1^{\circ}\text{C}$  ab. Zwei davon fielen auf, weil sie nach der Extubation ein sehr schnelles Aufwachverhalten aufwiesen, während ein Hund ruhig aufwachte. Zwei von diesen Tiere waren während der Aufwachphase im Aufwachraum und einer auf Station unter Rotlicht.

### **4. 6. Wärmeschäden**

Hyperthermieschäden als Folge der intravenösen Infusion vorgewärmter Infusionslösungen in eine periphere Vene waren weder lokal noch systemisch festzustellen.

## **E. Diskussion**

### **1. Allgemeines**

Eine perianästhetische Hypothermie entsteht bei Patienten, bei denen keine Maßnahmen getroffen werden, die perioperativen Wärmeverluste zu verhindern [EVANS et al. 1970, WATERMAN 1975, BISSONETTE 1992, HASKINS 1995, SESSLER 1997 und 2000, KURZ 2001, ARMSTRONG et al. 2005]. Die Hypothermie verändert die physiologischen Regulationsmechanismen und kann dadurch erhebliche Komplikationen verursachen und damit entscheidend den postoperativen Verlauf beeinflussen [FRANK et al. 1995, 1997 und 2001, SCHMIED et al. 1996, MELLING et al. 2001, FRÖHLICH et al. 2004]. Somit wird die Qualität des operativen Eingriffs nachhaltig mitbestimmt [KURZ et al. 1996, BEILIN et al. 1998, BEAL et al. 2000, WINKLER et al. 2000, WAGNER et al. 2006].

Die Effektivität wärme protektiver Maßnahmen wird von ihrer Praktikabilität beeinflusst [SESSLER 1995, DEBENBUSCH 2002]. Die Maßnahmen zur Wärmeprotektion sollten zusätzlich zur hohen Sicherheit aus veterinärmedizinischer Sicht auch ökonomisch sein [DUNLOP et al. 1989, AZZAM und KROCK 1995, DEWAR et al. 2004, HOROWITZ et al. 2004, HUSSER et al. 2004]. Durch den Einsatz von Systemen, die mit wiederverwendbaren Materialien arbeiten, lassen sich die Kosten der Wärmetherapie erheblich senken. Im Rahmen dieser Studie wurde ein Infusionswärmesystem untersucht, welches ohne Verwendung zusätzlicher gerätespezifischer Einmalartikel genutzt werden kann. Der Zeitaufwand für die Aufbereitung der Wärmemaßnahmen muss bei reger Operationssaalfrequentierung vertretbar sein. Oft entscheiden allein die Praktikabilität sowie einfache und schnelle Handhabung, ob die zur Verfügung stehenden Geräte auch großzügig zum Einsatz kommen [MACARIO und DEXTER 2002, DEBENBUSCH 2002].

### **2. Einfluss der Patientenfaktoren auf die Entwicklung einer perianästhetischen Hypothermie**

Für die Studie wurden 67 Hunde ausgewählt, die in der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere der Freien Universität Berlin chirurgisch versorgt wurden. Die Probandenauswahl erfolgte dabei unabhängig von Rasse, Alter oder Geschlecht, wobei das Auswahlkriterium eine ausreichend lange voraussehbare Narkosedauer (min. 60 Min.) war. Patienten mit hochgradigem Narkoserisiko sowie Patienten, bei denen eine Eröffnung der Körperhöhlen durchgeführt wurde, wurden aus der Studie ausgeschlossen. Die in dieser Studie untersuchten Patientengruppen (Kontroll- und Behandlungsgruppe) waren hinsichtlich der Demographie und Morphometrie homogen, wobei angemerkt werden muss, dass die Studie klinischer Natur und daher die natürliche Varianz innerhalb der Gruppen unvermeidbar war.

Den in der Literatur erwähnten Einfluss des Alters auf die Entwicklung der perianästhetischen Hypothermie vor allem bei Jungtieren und geriatrischen Patienten [HÖRNICKE 1987, BISSONETTE 1992, FRANK et al. 1995, GONANO und ZIMPFER 2003] konnte im Rahmen dieser Studie nicht belegt werden, da keine sehr jungen und nur drei ältere Hunde (10-12 Jahre) an der Untersuchung beteiligt waren. Darüberhinaus konnte keine geschlechtsbedingte Prädisposition zur perioperativen Hypothermie festgestellt werden.

Die Gewichtsverteilung zwischen den Gruppen unterschied sich nicht signifikant voneinander, jedoch war die Gewichtsspanne innerhalb der beiden Gruppen relativ groß. Ein geringeres Körpergewicht prädisponiert als Folge des ungünstigen Körperoberflächen/ -gewichtsverhältnisses zur perioperativen Hypothermie [GOUDSOUZIAN et al.1973, HASKINS 1980, BISSONETTE und SESSLER 1990]. Auch die hier durchgeführte Studie unterstützt die Aussage dieser disponierenden Faktoren (Tabellen 16 und 17 sowie Abb. 11). Auffällig bei der Betrachtung der Zusammensetzung des Patientengutes war, dass 91% der Patienten übergewichtig bis schwergradig adipös waren. Laut einer Studie von KURZ et al. [1995] ist das Ausmaß der intraoperativen Hypothermie beim Menschen während der ersten Stunde nach der Narkoseinduktion umgekehrt proportional zum Körperfettgehalt. Obese Patienten redistribuieren beträchtlich weniger Wärme als normalgewichtige. Neben dem hohen Isolationswert des Fettes, ist dafür nach KASAI et al. [2003] die Schwelle der Vasokonstriktion verantwortlich, die bei übergewichtigen Patienten höher ist als bei normalgewichtigen. In dieser Studie war die Anzahl der normal- und untergewichtigen Patienten zu gering und die Gewichtsspanne der Patienten zu groß, um Aussagen über die Auswirkung des Ernährungszustandes auf die Entwicklung der perioperativen Hypothermie beim Hund machen zu können.

Einen natürlichen Schutz gegen die Auskühlung bietet das Haarkleid. Im Gegensatz zu einer Studie bei Katzen von GRÖSSLINGER [1998], konnte in der vorliegenden Arbeit belegt werden, dass Hunde mit dichtem Haarkleid und Unterwolle bezüglich der perioperativen Temperaturentwicklung im Vorteil sind (Abb. 12). Dies ist nicht überraschend, da das dichte Fell mit Unterwolle mehr Luft als natürliche Wärmebarriere einlagern und damit die konvektiven und konduktiven Wärmeverluste verringern kann.

Einige metabolische Grunderkrankungen prädisponieren Patienten zur Hypothermie [DANZL und POZOS 1994, BRÄUER et al. 2006]. Es wird in verschiedenen Publikationen berichtet, dass Hypoadrenokortizismus zu einer Hypothermie führen und dieser Zustand den perianästhetischen Temperaturabfall akzentuieren kann [SHENKER und SKATRUD 2001, GROSSMANN und TOPLISS 2006]. Patient Nr.56 der Behandlungsgruppe litt bekannterweise unter einer Unterfunktion der Nebennierenrinde und stand zum Zeitpunkt der Operation unter Dauermedikation mit Fludrokortison. Er hatte die normale

Medikamentendosis auch am Tag der Operation vom Besitzer bekommen. Laut GRAHAM et al. [2000] kann Operationsstress, der bei orthopädischen Operationen als moderat einzustufen ist, zu perioperativen homöostatischen Entgleisungen führen. Die neuesten Untersuchungen aus der Humanmedizin sprechen für eine moderate zusätzliche Kortisonmedikation vor und während eines operativen Eingriffs [CONNERY und COURSIN 2004, KNÜTTGEN und WAPPLER 2007]. Der perianästhetische Temperaturverlauf des Patienten Nr.56 erwies sich als sehr stabil. Im Gegensatz zu Hunden aus dem Bericht von LANE et al. [1999] verlief die Aufwachphase schnell und komplikationslos. Der sehr stabile Temperaturverlauf des Hundes Nr.56 kann multifaktoriell postuliert werden. Zum Ersten hinsichtlich der Patientendemographie, da es sich um ein relativ schweres Tier (38 kg) mit langem Haarkleid und dichter Unterwolle (Kuvasz) in einer relativ kurzen operativen Situation (Kreuzbandriss - Narkosedauer: 90 Min.) handelte. Zweitens aufgrund der Erwärmungsmaßnahmen, da der Hund während der Operation doppelt abgedeckt wurde und zur Behandlungsgruppe gehörte (Abb.14)

### **3. Einfluss der Umgebungsfaktoren auf die Entwicklung einer perianästhetischer Hypothermie**

In einer Risikometanalyse von MACARIO und DEXTER [2002] bewerteten 96 amerikanische Humananästhesisten und Thermophysiologen eine kühle Umgebungstemperatur im Operationssaal als zweithöchsten Risikofaktor für die Entwicklung intraoperativer Hypothermie. In der durchgeführten Studie war die gemessene mittlere Raumtemperatur (22,3°C) in den Operationssälen in beiden Gruppen innerhalb enger Grenzen konstant und lässt damit keinen vergleichenden Rückschluss auf die Hypothermieentwicklung zu. Die gemessenen Raumtemperaturen dieser Untersuchung sind eher als niedrig einzustufen, da in der Kleintiermedizin die Patienten aufgrund des durchschnittlich geringen Körpergewichtes eher mit pädiatrischen Patienten vergleichbar sind. Nach ASPAN [1994] sollte die minimale Operationssaaltemperatur 20–24°C betragen. TANDER et al. [2005] empfehlen, um das Ausmaß der Hypothermie für pädiatrische Patienten zu begrenzen, eine Raumtemperatur von >23°C. EL GAMAL et al. [2000] konnten durch Erhöhung der Raumtemperatur auf 26°C die Inzidenz einer milden Hypothermie (<36,0°C) sogar bei Erwachsenen von ca. 50% auf 10% senken. Für die Veterinärmedizin empfiehlt HASKINS [1995], um den Temperaturgradienten zwischen dem Patienten und der Umgebung möglichst gering zu halten, die Raumtemperatur sowohl in den Vorbereitungsräumen, als auch im Operationsbereich relativ hoch aufrechtzuerhalten.

Vergleichbar mit der Studie von GRÖSSLINGER [1999] an Katzen wiesen in der vorliegenden Studie 66% der Patienten einen wahrscheinlich stressbedingten Anstieg der Rektaltemperatur während der Narkoseinduktion auf. Im Mittel betrug dieser 0,2 ( $\pm 0,34$ )°C,

maximal 1,3°C. Obwohl das Ausmaß mit dem sog. Pre-Warming aus der Humanmedizin [HEUER 2003] vergleichbar war, wurden Patienten der vorliegenden Studie hier von nicht vor der Entwicklung einer perianästhetischen Hypothermie geschützt, da das Pre-Warming gezielt den Wärmegradienten der Haut und nicht den des Körperkerns erhöht. Das anfängliche Absinken der Körperkerntemperatur beruht auf einer Umverteilung von Wärme aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen Kern und Körperperipherie [CAMUS et al. 1995]. Das Einführen des Patienten-Pre-Warmings im engeren Sinne dürfte in der Veterinärmedizin aufgrund der patientenbedingten Unsicherheitsfaktoren nicht möglich sein. Das Tier müsste schon für das Pre-Warming immobilisiert werden, um dieses sicher für den Patienten als auch ohne Beschädigung der Wärmegeräte durchführen zu können. Jedoch sollten schon während der chirurgischen Patientenpräparation (Scheren, Desinfektion, Waschen, Operationsabdeckung) die Wärmeverluste nicht außer Acht gelassen werden. In der vorliegenden Studie konnte bei Patienten, die für die Operation gewaschen werden mussten (u.a. Patienten für eine Totalendoprothese des Hüftgelenks), eine profundere Hypothermie zum Operationsbeginn dargestellt werden, als dies bei Patienten nach einer Routineoperationsvorbereitung der Fall war (Abb.8). Dieses Problem ist auch aus der Humanmedizin bekannt. Vor allem eine länger andauernde Narkoseeinleitung und Patientenvorbereitung bewirkt, dass der Patient den Operationssaal bereits hypotherm erreicht. Die erst im Operationssaal einsetzende Wärmetherapie kann als vorwiegend symptomatisch angesehen werden, da die Wärmeredistribution nach der Anästhesieinduktion ungeschützt und damit unvermeidbar ist [HEUER 2003]. Einen signifikanten Wärmegewinn konnten KIM et al. [2005] durch Wärmen des Patienten ausschliesslich während des Anbringens von Gerätschaften für die Patientenüberwachung demonstrieren.

Thermale Isolation reduziert die Wärmeverluste von der Körperoberfläche zur Umgebung durch Senkung der radiativen und konvektiven Wärmeverluste [BRÄUER et al. 2004]. Schon eine Schicht isolierenden Abdeckungsmaterials kann die perianästhetischen Wärmeverluste um 30% vermindern, wobei zusätzliche Lagen den Wärmefluss nicht mehr proportional ändern [SESSLER 1997].

Bei feuchter Haut können die evaporativen Wärmeverluste verdreifacht werden [MAGLINGER et al. 2005]. In der vorliegenden Studie wurde ein Rhodesian Ridgeback (Patient Nr.26, 35 kg) perioperativ für eine oralchirurgische Behandlung nicht abgedeckt. Er demonstrierte einen steilen perioperativen Temperaturabfall und war am Ende der Narkose moderat hypotherm (Abb.9). Ähnliche Temperaturabfälle wurden auch bei anderen Patienten der Studie beobachtet, jedoch handelte es sich dabei um Patienten, die vom Körpergewicht her deutlich leichter waren (Gewichtsgruppe I, Abb. 11). HALE und ANTHONY [1997] postulierten, dass selbst kurze oralchirurgische Maßnahmen den Patienten aufgrund der

andauernden oralen Spülungen, sowie der nassen Körperoberfläche zur stärkeren Hypothermie exponieren können. Auch große Operationswunden und vor allem die Eröffnung der Körperhöhlen setzen den Patienten erhöhten Wärmeverlusten aus [u. a. ROE 1971, HASKINS 1980, SESSLER 1995, NAWROCKI et al. 2005, TANDER et al. 2005]. Daher wurden in die Studie nur Tiere aufgenommen, bei denen intraoperativ keine großen Körperhöhlen geöffnet wurden.

Die Medikation der Patienten kann eine Rolle bei der Entwicklung von perioperativer Hypothermie spielen und bedarf einer gesonderten Betrachtung. In dieser Studie wurde die Narkose der Patienten mit Benzodiazepinen (Midazolam), Opioiden (L-Methadon) und Propofol eingeleitet und danach mit einem Gasgemisch aus Isofluran und Sauerstoff aufrechterhalten. Es ist aus der Literatur bekannt, dass alle diese Medikamente Auswirkungen auf den perianästhetischen Wärmehaushalt der Patienten haben können und umgekehrt die entstehende Hypothermie die Metabolisierung der Pharmaka verlangsamen kann [u. a. DEAKIN 1998, ANTOGNINI 1993, LESLIE et al. 1995, MATSUKAWA et al. 1995, KURZ 2001, WILSON et al. 2006]. Da es sich in der hier durchgeführten Studie jedoch um eine standardisierte Anästhesie handelte, lässt sie keine Aussage über den Einfluss verschiedener Anästhetika auf die perianästhetische Körperkerntemperatur zu. Die Temperatur des Narkosegasgemisches als Einflussgröße auf die perianästhetische Körperkerntemperatur wurde dabei nicht berücksichtigt. Die Narkosegase wurden weder aufgewärmt noch wurde eine HME in das Narkosesystem eingeschaltet. Es ist möglich, durch Verwendung von HME und geschlossenen Narkosesystemen, sowie aufgewärmten Narkosegasen das Ausmaß der perianästhetischen Hypothermie einzudämmen [HASKINS und PATZ 1980, LE BLANC 1987, BICKLER und SESSLER 1997].

#### **4. Analyse des Temperaturmonitorings**

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Körperkerntemperatur im kaudalen Drittel des Ösophagus, sowie tief rektal gemessen. Dieses ideale Verfahren zur Erfassung der Körperkerntemperatur ist sehr genau und erlaubt eine kontinuierliche Überwachung der gesamten perioperativen Phase und weist kein Verletzungsrisiko für den Patienten auf. Zur korrekten Ermittlung der Körperkerntemperatur können verschiedene Messorte erwogen werden. Als Referenzmethode gilt nach wie vor die Messung der Kerntemperatur an der A. pulmonalis [SCHOSER und MEBMER 1999, BRÄUER et al. 2006]. Andere Messorte werden mit dieser Methode hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Zuverlässigkeit verglichen. Auch das Trommelfell kann aufgrund der Nähe zur A. carotis int. als relativ genauer Messort angesehen werden, allerdings nur bei einer korrekten Positionierung einer Thermocouplesonde [CATTANEO et al. 2002]. HUANG und SHIH [1998] beurteilen die intraaurale Messung der Körperkerntemperatur mittels eines Infrarotthermometers beim

Hund als zu ungenau. In dieser Studie war eine gefahrlose und korrekte Positionierung eines Thermocouples am Tympanon beim Hund aus Zeit- und Kostengründen nicht realisierbar. In der Literatur gilt der distale Bereich der Speiseröhre als zuverlässige Standardlokalisierung zur Messung der Körperkerntemperatur. Zudem ist diese Messmethode wenig invasiv und schnell anwendbar, weswegen sie für diese Studie während der perioperativen Phase das Mittel der Wahl war. Im Gegensatz zu WATERMANN [1975] wurden in den Studien von CATTANEO et al. 2002, MACHON et al. 1999 und NAWROCKI et al. 2005 für die tiefe rektale Temperaturerfassung eine relativ gute Genauigkeit belegt. BRÄUER et al. [1997] stellten bei einer vergleichenden Untersuchung zwischen Ösophageal -, Rektal- und Harnblasentemperaturen sehr geringe Abweichungen fest. Die Abweichungsspanne zwischen den Parallelmessungen im Rektum und Ösophagus betrug in dieser Studie im Mittel 0,1°C und unterstützte damit weitestgehend die Befunde von BRÄUER et al. [1997].

### **5. Perioperative Temperaturentwicklung und Einfluss des Infusionserwärmers auf den Wärmehaushalt**

Die von KURZ et al. [1995] beschriebene charakteristische perianästhetische Temperaturverlaufskurve mit primär exponentiellem und sekundär linearem Temperaturabfall mit anschließender Temperaturplateaubildung, konnte bei mehreren Patienten dargestellt werden (z. B. Abb.16, 18 und 19). Im Gegensatz zu den Ergebnissen von GRÖSSLINGER [1998] bei Katzen, konnte auch bei relativ leichten Hunden (unter 10 kg) sowohl in der Kontrollgruppe, als auch in der Behandlungsgruppe eine Temperaturplateaubildung auch während relativ kurzer Operationen (<90 Minuten) beobachtet werden.

Weil die Aufrechterhaltung der perioperativen Normothermie den Patienten vor intra- und postoperativen Zwischenfällen schützen kann, wurden in der Human- und Veterinärmedizin zahlreiche Techniken zur Wärmekonservierung eingeführt. Die konvektiven Luft-Wärmesysteme gelten heute in der Humanmedizin als Mittel der Wahl zur perioperativen Hypothermieprävention, da deren Effektivität und etwaiges Gefahrenpotential sehr gut dokumentiert sind. Allerdings ist die Anwendung von konvektiven Luftherwärmern mit relativ hohen Kosten für einmalig verwendbare Wärmedecken verbunden. Dies führt zu einem wachsenden Interesse an Alternativmethoden, die ohne Einmalartikel auskommen [BRÄUER et al. 2004]. MACHON et al. [1999] sowie TAN et al. [2004] untersuchten die Effektivität von konvektiver Patientenerwärmung beim narkotisierten Kleintier. Dabei konnten MACHON et al. [1999] durch konvektive Patientenerwärmung bei Katzen einen durchschnittlichen Vorteil von 0,9°C verglichen mit nicht-erwärmten Kontrolltieren feststellen, jedoch eine perianästhetische Hypothermie nicht verhindern. TAN et al. [2004] publizierten für den Hund keine absoluten perioperativen Zahlen. Jedoch betrug die errechnete Temperaturdifferenz zwischen den nicht-erwärmten Kontrolltieren und den konvektiv erwärmten Patienten nach



60 Minuten Narkose  $0,6 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$  und nach 120 Minuten  $1,6 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$ . Sowohl in der Studie von TAN et al. [2004], als auch in hier durchgeführten Studie konnte eine perioperative Hypothermie durch Verwendung einzelner Erwärmungsmethoden beim Tier nicht vermieden werden.

Über die Auswirkung von Infusionserwärmern auf den perianästhetischen Wärmehaushalt gibt es bisher wenige klinische Studien [SMITH et al. 1998, CAMUS et al. 1996, WERLHOF 1996]. Für Hunde liegen bisher keine vor. Infusionserwärmer mit eingebautem koaxialem Warmwasserbadsystem und speziellen Infusionsleitungen (z.B. Hotline®) haben sich in zahlreichen Studien in allen Infusionsgeschwindigkeiten als am leistungstärksten erwiesen [PATEL et al. 1996, OHTSUKA et al. 2002, SCHNOOR et al. 2006, TURNER et al. 2006]. In der vorliegenden Studie wurde ein konvektiver Infusionserwärmer (Autoline 3 XPT®) verwendet, der sich in labortechnischen Studien bezüglich seiner Wärmeleistung in niedrigen (<250 ml/h) und mittleren (250–2500 ml/h) Flussbereichen als effizient erwiesen hatte [SCHNOOR et al. 2005 MOERER et al. 2004, SCHNOOR et al. 2006]. Dabei handelt es sich um ein Gerät mit koaxialer Erwärmung [BISSONNETTE und PAUT 2002], welches ohne gerätespezifische Infusionsleitungen auskommt und damit ohne zusätzliche patientenbedingten Materialkosten verwendbar ist.

In der vorliegenden Studie konnte festgestellt werden, dass das Zuführen von erwärmter Infusionslösung (Einstellung auf  $42^{\circ}\text{C}$ ) in einer Geschwindigkeit von 10 ml/kg/h eine  $0,4\text{--}0,8^{\circ}\text{C}$  (Maximal  $1^{\circ}\text{C}$ ) höhere Körperkerntemperatur zur Folge hat. Zusätzlich wiesen diese Patienten einen signifikant geringeren Hypothermiegrad sowohl nach 60 Minuten Narkose, als auch bei Extubation auf. Diese Ergebnisse decken sich mit den Studien aus der Humanmedizin von SMITH et al. [1998] und CAMUS et al. [1996]. Überwiegend befanden sich die Hunde der Behandlungsgruppe der verschiedenen Operationen auf einer z.T. deutlich höheren Temperaturebene bzw. erreichten eine Steady-State-Phase zeitlich früher als die Patienten der Kontrollgruppe.

Es ist bekannt, dass ein Infusionserwärmer allein verwendet eine nicht ausreichende Maßnahme zur perioperativen Hypothermieprävention sein kann. Er hilft jedoch das Ausmaß der Hypothermie zu verringern. Im Gegensatz zu Ergebnissen von WOON und TALKE [1999] konnte in der vorliegenden Untersuchung keine Konglomeration der Luftblasen in der Infusionsleitung als Folge der Leitungserwärmung beobachtet werden.

## **6. Aufwachphase**

Die Dauer vom Ende der aktiven Zufuhr des Narkosegases bis zur Extubation unterschied sich in den Betrachtungsgruppen signifikant. Die Patienten der Behandlungsgruppe konnten durchschnittlich acht Minuten früher extubiert werden als die Tiere der Kontrollgruppe. Fünf Hunde der Wärmegruppe wiesen eine sehr schnelle Aufwachphase auf und zeigten die

ersten Aufstehversuche schon kurz (<30 Minuten) nach der Extubation. LENHARDT et al. [1997], LESLIE und SESSLER [1998] sowie FLEISCHER et. al. [1998] fanden bei Menschen und auch GRÖSSLINGER [1999] bei Katzen eine enge Korrelation zwischen dem postoperativen Hypothermiegrad und der Dauer der postanästhetischen Aufwachphase. Patienten, die während der Narkose eine Normothermie bzw. eine geringgradige Hypothermie aufwiesen, konnten schneller extubiert und von der Aufwachstation entlassen werden. Eine Hypothermie kann die postanästhetische Erholungsphase verlängern, da sie die Anästhetikapotenz erhöht. Einerseits kommt es zu einer Verlangsamung des hepatischen und renalen Metabolismus, andererseits verändert eine Hypothermie die Verteilung der Anästhetika. Zusätzlich korrelieren kognitive sowie motorische Leistungen des Patienten mit der Körpertemperatur [DANZL und POZOS 1994, LENHARDT et al. 1997].

Die Patienten, die während der Aufwachphase Zittern aufwiesen, zeigten alle während der 180-minütigen postoperativen Beobachtungszeit einen Anstieg der Körpertemperatur. Diese Beobachtungen decken sich mit einer Studie von LYONS et al. [1996] in der Pädiatrie. Zudem wiesen Kinder mit einem postanästhetischen Kältezittern eine schnellere Wiedererwärmungsphase auf als Patienten, bei denen kein postanästhetisches Zittern (PAS) beobachtet wurde. In der vorliegenden Studie konnte kein Unterschied bezüglich der Häufigkeit des postanästhetischen Zitterns zwischen der Kontroll- und der Behandlungsgruppe festgestellt werden. Im Gegensatz zu BUGGY und CROSSLEY [2000], die von einer PAS-Inzidenz nach einer Allgemeinnarkose von 5-65% sprechen, wurde in einer großen Studie von EBERHARDT et al. [2005] bei Menschen eine PAS-Inzidenz von 14,4% (12,3-16,7%) festgestellt. Die Inzidenz für PAS betrug in der vorliegenden Studie dagegen 25%. EBERHARDT et al. [2005] stellten zudem fest, dass abgesehen von der Körperkerntemperatur vor allem ein junges Alter zum PAS prädisponiert. In dieser Studie konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten und PAS entdeckt werden. Außerdem postulieren EBERHARDT et al. [2005] eine Korrelation zwischen intraoperativem Gewebetrauma und der daraus folgenden Pyrogenausschüttung, vor allem auf den durch Knochenzement ausgelösten Reiz, und somit eine höhere Wahrscheinlichkeit für PAS. Betrachtet man die jeweilige Indikation, wiesen in dem Patientengut dieser Studie fünf von sieben Patienten, welche einer Wirbelsäulenoperation unterzogen wurden, PAS auf. Bei drei dieser Patienten wurde Knochenzement verwendet. Diese Patienten wiesen am Narkoseende eine moderate bis schwere Hypothermie auf.

## **7. Schlussfolgerung**

Die Hypothermieentwicklung darf auch beim Tier nicht als unvermeidliche Begleiterscheinung des operativen Geschehens gewertet werden. In zahlreichen zusammenfassenden Publikationen der letzten Jahre wurde für die Aufrechterhaltung der

Normothermie während einer Anästhesie beim Kleintier propagiert. Obwohl sich viele Wärmekonzepte aus der Humanmedizin auch für die Anwendung bei veterinärmedizinischen Patienten eignen, fehlt es noch an quantitativen Daten aus klinischen Studien zur Effektivität der verschiedenen Wärmemaßnahmen. Ziel dieser Untersuchung war es, das Ausmaß der perioperativen Hypothermie beim Hund zu dokumentieren und den möglichen Einfluss eines Infusionserwärmers auf den perianästhetischen Wärmehaushalt abzuwägen.

Diese Studie ergab, dass schon sehr einfache Maßnahmen sich auf die perianästhetische Wärmebilanz auswirken und damit die Hypothermie reduzieren können. Durch deren sinnvollen Einsatz können die Aufwachphase, der weitere postoperative Genesungsprozess sowie die Qualität des operativen Eingriffs nachhaltig positiv beeinflusst werden. Allerdings kann die alleinige Anwendung eines Infusionserwärmers als perioperatives Wärmekonzept die entstehende Hypothermie beim Hund nicht ausreichend verhindern.

Als Problematik dieser Studie ist die Heterogenität des Patientengutes trotz Vergleichbarkeit der Gruppen anzusehen. Somit sind Aussagen über weitere Korrelationen diesbezüglich nicht postulierbar. Als Folge der Varianz der klinischen Situation können für weitere Fragestellungen zum perioperativen Wärmehaushalt beim Tier aus diesem Studiengut interessante Entwicklungstendenzen gewonnen werden.

## **F. Zusammenfassung**

### **Perianästhetische Hypothermie beim Hund – Ausmaß und Prävention mittels Infusionserwärmer als einzige aktive perianästhetische Wärmemaßnahme**

Eine durch die Anästhesie induzierte Inhibition der normalen Thermoregulation kombiniert mit kühlen Umgebungsbedingungen im Operationssaal führen bei den meisten chirurgischen Patienten zur peri- und postanästhetischen Hypothermie. Ziel dieser prospektiven Studie war es, die Effektivität eines Infusionserwärmers als einzige aktive perianästhetische Wärmemaßnahme bei Hunden während oberflächlichen, meist orthopädischen Operationen, zu evaluieren.

In diese Studie gingen 67 Hunde verschiedener Rassen ein, bei denen 70 elektive Operationen mit einer Narkosedauer von mindestens 60 Minuten durchgeführt wurden. Die Patienten wurden in zwei Gruppen unterteilt. Eine Gruppe erhielt erwärmte kristalloide Infusionslösungen (42°C) mittels eines koaxialen Infusionserwärmers (Autotherm®) in einer Fließgeschwindigkeit von 10 ml/kg/h. Die zweite Gruppe wurde als Kontrollgruppe beobachtet und erhielt während der intraoperativen Phase keine aktiven Wärmemaßnahmen (raumtemperierte Infusionslösungen). Nach einer routinemäßigen Sedation mit Midazolam, L-Methadon und Propofol wurden die Patienten intubiert und eine Allgemeinnarkose wurde mit Isofluran/Sauerstoff aufrechterhalten. Die Körperkerntemperatur wurde ösophageal sowie tief rektal gemessen. Die Körpertemperatur wurde bei der präoperativen Allgemeinuntersuchung, vor der Induktion, direkt nach der Induktion, alle fünf Minuten während der Narkose, sowie 5, 10, 30, 60 und 180 Minuten nach Extubation bestimmt. Zusätzlich wurde während der Aufwachphase das postoperative Verhalten, die Körperhaltung sowie etwaiges postoperatives Zittern vermerkt.

Nach einer kurzfristigen, wohl aufregungsbedingten Erhöhung der Körperkerntemperatur während der Induktion sank die Körpertemperatur in beiden Gruppen. Der perianästhetische Temperaturabfall folgte in vielen Fällen einem charakteristischen Muster und war am schnellsten während der ersten Stunde der Narkose. Die Körperkerntemperatur der Wärmegruppe war vom Zeitpunkt 40 Minuten bis 130 Minuten nach Induktion signifikant höher als die der Kontrollgruppe. Die Patienten der Wärmegruppe wiesen einen signifikant geringeren Hypothermiegrad sowohl 60 Minuten nach Narkoseinduktion als auch bei Extubation auf. Die Temperaturverläufe der Gruppen unterschieden sich signifikant nach 40 Minuten Narkosedauer. Betrachtet man einmal die Differenzen der Mediane der Temperaturveränderungen zum Anfangswert für jeden Messpunkt einer Gruppe, so sind 55 Minuten nach Narkoseinduktion die Patienten der Kontrollgruppe durchschnittlich mindestens

0,4°C kühler als die Patienten der Behandlungsgruppe (0,4–1°C). Ausserdem wiesen die Hunde der Wärmegruppe gegenüber der Kontrollgruppe einen signifikant geringeren sekundären Hypothermiegrad auf. Während der Aufwachphase konnten die Patienten der Wärmegruppe signifikant früher extubiert werden. Ein postoperatives Zittern bestand in beiden Gruppen, jedoch wurde dieses in der Kontrollgruppe tendenziell häufiger beobachtet. Die perianästhetische Anwendung eines Infusionserwärmers zur Hypothermieprophylaxe kombiniert mit gewöhnlicher passiver Wärmekonservierung (Abdeckung, Isolierung) kann das Ausmass der Hypothermie beim Hund verringern. Diese Massnahme allein ist allerdings nicht effektiv genug, eine perioperative Normothermie aufrechtzuerhalten.

## G. Summary

### **Extent of perianaesthetic hypothermia and hypothermia prevention with a fluid warmer as a single active perianaesthetic warming method in dogs**

Anaesthetic induced inhibition of normal thermoregulation combined with cool operating room environment, results in peri- and postanaesthetic hypothermia in most surgical patients. Aim of this study was to determine whether a fluid warmer as a single active perianaesthetic warming method was capable to prevent or reduce perioperative hypothermia in dogs undergoing superficial, mainly orthopedic surgery.

In this study sixty-seven dogs of different breeds undergoing seventy elective surgical procedures of longer than 60 Minutes were divided to two groups. One group received warmed intravenous crystalloid fluids (42°C) via coaxial fluid warmer (Autotherm®) in flow rate of 10 ml/kg/h, the other was observed as a control (room temperature crystalloid fluids). After a routine sedation with midazolam and l-methadone, induction with propofol for tracheal intubation was performed. All patients received general anaesthesia with isoflurane/oxygen. In both groups standard surgical draping was used and dogs were placed on an isolated operating table. Results of the deep rectal- and oesophageal temperatures were considered as body core temperature. The body temperature was measured during preoperative examination, at the induction, in five minute intervals during the intraoperative phase and during postanaesthetic recovery 5, 10, 30, 60 and 180 minutes after tracheal extubation. Posture, postoperative behaviour and incidence of postanaesthetic shivering were also evaluated.

After a short moderate temperature elevation ( $0,2 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ), probably due to mental excitement, during the anaesthesia induction, perianaesthetic body core temperature fell in both groups. The fall in core temperature was greatest during the first hour of anaesthesia. This likely reflected the redistribution of heat following the vasodilatation after anaesthesia induction. The classic pattern of perianaesthetic core temperature fall was observed in several cases in both groups. Dogs that received warmed intravenous fluids had a significantly higher body core temperature after 40 min until 130 min of anaesthesia. The present study demonstrated that warming intravenous fluids resulted at least  $0,4^{\circ}\text{C}$  ( $0,4\text{-}1^{\circ}\text{C}$ ) greater core temperature and a significantly lower grade of secondary hypothermia. The patients of the warm fluid group could be extubated significantly earlier than the control animals. Shivering was consistent in both groups, however it was observed more often in animals of the control group. We conclude that fluid warming combined with standard

passive heat conservation methods, was effective in minimizing perianaesthetic hypothermia during superficial and orthopedic surgery in dogs, however it was not effective enough as a single method to maintain the perioperative normothermia.

## H. Literatur

Alef, M (2004)

Anästhesie des Polytraumatischen Patienten

In: Proceedings des 50. Jahreskongress der DVG-Fachgruppe "Kleintierkrankheiten",  
in Hamburg 2004, s.18 - 26

ISBN 3-938026-09-X

Antognini J.F. (1993)

Hypothermia eliminates isoflurane requirements at 20 °C

Anesthesiology 78, 1152 – 1156

Armstrong S.R., Roberts B.K., Aronsohn M. (2005)

Perioperative hypothermia

J Vet Emerg Crit Care 15, 32-37

Avula R.R., Smith C.E. (2005)

Air-Venting and In-line Intravenous Fluid Warming for Pediatrics

Anesthesiology 102, 1290

Azzam F.J., Krock J.L. (1995)

Thermal burns in two infants associated with forced air warming system

Anesth Analg 81, 661

Beal M.W., Brown D.C., Shofer F.S. (2000)

The Effects of Perioperative Hypothermia and the Duration of Anesthesia on Postoperative  
Wound Infection Rate in Clean Wounds: A Retrospective Study

Vet Surg 29 (2), 123-127

Beilin B., Shavit Y., Razumowsky J., Wolloch Y., Zeidel A., Bessler H. (1998)

Effects of Mild Perioperative Hypothermia on Cellular Immune Responses

Anesthesiology 89 (5), 1133-1140

Biggar W.D., Bohn D., Kent G. (1983)

Neutrophil Circulation and Release From Bone Marrow During Hypothermia

Infect Immun 40 (2), 708-712



Bissonette B., Paut O. (2002)

Active warming of saline or blood is ineffective when standard infusion tubing is used: an experimental study

Can J Anaesth 49 (1), 270-275

Bissonette B. (1992)

Temperature Monitoring in Pediatric Anesthesia

Int Anesthesiol Clin 30, 63-76

Bligh J., Johnson K.G. (1973)

Glossary of terms for thermal physiology

J Appl Physiol 35 (6), 941-961

Bräuer A., Perl T., Quintel M. (2006)

Perioperatives Wärmemanagement

Anaesthesist 55 (12), 1321 – 1340

Bräuer A., Weyland W., Fritz U., Schuhmann M.U., Schmidt J.H., Braun U. (1997)

Bestimmung der Körperkerntemperatur während der postoperativen Wiedererwärmung - Ein Vergleich von Ösophagus-, Blasen- und Rektaltemperatur

Anaesthesist 46 (8), 683 – 688

Brunette D.D., Sterner S., Robinson E.P., Ruiz E. (1987)

Comparison of Gastric Lavage and Thoracic Cavity Lavage in the Treatment of Severe Hypothermia in Dogs

Ann Emerg Med 16 (11), 1222-1226

Buggy D.J., Crossley A.W.A. (2000)

Thermoregulation, mild perioperative Hypothermia and postanesthetic shivering

Br J Anaesth 84, 615-628

Cabell L. W., .Perkowski S.Z, Gregor T., Smith G.K. (1997)

The Effects of Active Peripheral Skin Warming on Perioperative Hypothermia in Dogs

Vet Surg 26 (2), 79-85

Camus Y., Delva E., Sessler D.I., Lienhart A. (1995)

Pre-induction skin-surface warming minimizes intraoperative core hypothermia  
J Clin Anesth. 1995 (7) 384 – 388

Camus Y., Delva E., Cohen S., Lienhart A. (1996)

The effects of warming intravenous fluids on intraoperative hypothermia and postoperative shivering during prolonged abdominal surgery  
Acta Anaesthesiol Scand 40 (7), 779-782

Cattaneo, C.G., Frank S. M., Hesel T.W., El Rahmany H.K., Kim L.J., Tran K.M. (2000)

The Accuracy and Precision of Body Temperature Monitoring Methods During Regional and General Anesthesia  
Anesth Analg 90, 938 – 945

Connery L.E., Coursin D.B. (2004)

Assessment and therapy of selected endocrine disorders  
Anesthesiol Clin N Am 22 (1), 93-123

Danzl D.F., Pozos R.S. (1994)

Current Concepts – Accidental Hypothermia  
N Engl J Med 331, 1756-1760

Deakin C.D. (1998)

Changes in core temperature compartment size on induction of general anaesthesia  
Br J Anaesth 81, 861 – 864

Debenbusch G. (2002)

Heiße Tipps gegen coole Fälle  
Intensiv 10, 48 - 59

Dewar D.J., Fraser J.F., Choo K.L., Kimble (2004)

Thermal injuries in three children caused by an electrical warming mattress  
Br J Anaesth 93 (4), 586 – 589

Dhupa N. (1995)

Hypothermia in Dogs and Cats  
Comp Contin Educ Pract Vet 17, 61-69

Dunlop C.I., Daunt D.A., Haskins S.C. (1989)

Thermal Burns in Four Dogs during Anesthesia

Vet Surg 18; 242-246

Eberhardt L.H.J., Döderlein F., Eisenhardt G., Kranke P., Sessler D.I., Torossian A., Wulf H., Morin A.M. (2005)

Independent Risk Factors for Postoperative Shivering

Anesth Analg 101, 1849 – 1857

El Gamal N., El Kassabany N., Frank S.M., Amar R., Abu Khabir H., El Rahmany H.K., Okasha A.S. (2000)

Age-Related Thermoregulatory Differences in a Warm Operating Room Environment

(Approximately 26°C)

Anesth Analg 2000 (90) 694 – 698

Evans A.T., Sawyer D.C., Krahwinkel D.J. (1973)

Effect of Warm-Water Blanket on Development of Hypothermia during Small Animal Surgery

J Am Vet Med Assoc 163, 147 - 148

Frank S.M., Fleischer L.A., Olson K.F., Gorman R.B., Higgins M.S., Breslow M.J., Sitzmann J.V., Beattie C. (1995)

Multivariate Determinants of Early Postoperative Oxygen Consumption in Elderly Patients - Effects of Shivering, Bodytemperature, and Gender

Anesthesiology 83, 241-249

Frank S.M., Higgins M.S., Breslow M.J., Fleischer L.A., Gorman R.B., Sitzmann J.V., Raff H., Beattie C. (1995)

The Catecholamine, Cortisol and Hemodynamic Responses to Mild Perioperative Hypothermia: A Randomized Clinical Trial

Anesthesiology 82, 83-93

Frank S.M., Fleischer L.A., Breslow M.J., Higgins M.S., Olson K.F., Kelly S., Beattie C. (1997)

Perioperative Maintenance of Normothermia Reduces the Incidence of Morbid Cardiac Events- A Randomized Clinical Trial

J Am Med Assoc 277, 1127-1134

Frank S.M. (2001)

Consequences of hypothermia

Curr Anaesth & Crit Care 12, 79-86

Fröhlich D., Wittmann S., Rothe G., Sessler D.I., Vogel P., Taeger K. (2004)

Mild Hyperthermia Down-Regulates Receptor-Dependent Neutrophil Function

Anesth Analg 99 (1), 284-292

Gore D.C., Beaton J. (1997)

Infusion of Hot Crystalloid during Operative Burn Wound Debridement

J Trauma 42, 1112-1115

Goto H., Nonami R., Hamasaki Y., Zucker M.L., Unruh G.K., Arakawa K. (1985)

Effect of hypothermia on coagulation

Anesthesiology 63, A 107

Goudsouzian N.G., Morris R.H., Ryan J.F. (1973)

The effect of warming blankets on the maintenance of body temperature of the anesthetized infants and children

Anesthesiology 39 (3), 351 – 353

Gowen G.F., Friou G.J. (1961)

The influence of hypothermia on experimental bacteriemia in dogs

Surgery 50, 919-921

Graham G.W., Unger B.P., Coursin D.B. (2000)

Perioperative management of selected endocrine disorders

Int Anesthesiol Clin 38 (4), 31 - 67

Grösslinger K. (1998)

Intraoperative Hypothermie bei Katzen: Vergleichende Untersuchung verschiedener Methoden der äusseren Wärmezufuhr

Wien, Veterinärmedizinische Universität, Diss.

Grösslinger K., Auer U., Mosing M. (1999)

Intraoperative Hypothermie bei Katzen: Vergleichende Untersuchung verschiedener Methoden der äusseren Wärmezufuhr

Wien Tierarztl Mschr 86, 372-377

Grossmann M., Topliss D.J. (2006)

A cool case: hypothermia and adrenal failure

Lancet 368, 2184

Hale A., Anthony J.M.G. (1997)

Prevention of hypothermia in Cats during Routine Oral Hygiene Procedures

Can Vet J 38, 297-299

Hartemink K.J., Wisselink W., Rauwerda J.A., Girbes A.R.J., Polderman K.H. (2004)

Novel applications of therapeutic hypothermia: report of three cases

Crit. Care Med 8, 343-346

Haskins S.C., Patz J.D. (1980)

Effect of Inspired-Air Warming and Humidification in the Prevention of Hypothermia During General Anesthesia in Cats

Am J Vet Res 41, 1669-1673

Haskins S.C. (1981)

Hypothermia and its Prevention During General Anesthesia in Cats

Am J Vet Res 42, 856-861

Helmsworth J.A., Stiles W.J., Elstun W. (1955)

Changes in Blood Cellular Elements in Dogs during Hypothermia

Surgery 38 (5), 843-847

Heuer L. (2003)

„Pre-warming“ – Einführung in ein Verfahren zur Vermeidung der perioperativen Hypothermie

Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 38, 583-586

Hörnigke H. (1987)

Thermophysiologie

In: Scheunert A., Trautmann A.

Hrsg: Lehrbuch der Veterinärphysiologie, 7. Aufl

Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg 1987, - ISBN: 3-489-66216-4, s. 142-158

Hohn L., Schweizer A., Kalangos A., Morel D.R., Bednarkiewicz M., Licker M. (1998)

Benefits of intraoperative skin surface warming in cardiac surgical patients

Br J Anaesth 1998 (80) 318-323

Horowitz P.E., Delagarza M.A., Pulaski J.J., Smith R.A. (2004)

Flow Rates and Warming Efficacy with Hotline and Ranger Blood/Fluid Warmers

Anesth Analg 99, 788-792

Huang H.P., Shih H.M. (1998)

Use of infrared thermometry and effect of otitis externa on external ear canal temperature in dogs

J Am Vet Med Assoc 213 (1), 76 – 79

Husser C.S., Chamblee B., Brown M.J., Long T.R., Wass C.T. (2004)

Inductive Warming of Intravenous Fluids: Overheating of the Toroid Heating Element during Rapid Infusion

Anesthesiology 101, 1019-21

Hubbell J.A.E., Muir W.W., Harrison E.E. (1985)

Effect of Warm Water Heating Blankets on Anesthetic Heat Loss in Dogs and Cats

Vet Surg 14, 338

Ikeda T., Tayefeh F., Sessler D.I., Kurz A., Plattner O., Petschnigg B., Hopf H., West J. (1998)

Local Radiant Heating Increases Subcutaneous Oxygen Tension

Am J Surg 175 (1) 33-37

Janicki P.K., Higgins M.S., Janssen J.R.N., Johnson R.F., Beattie C. (2001)

Comparison of Two Different Temperature Maintenance Strategies during Open Abdominal Surgery: Upper Body Forced-air Warming versus Whole Body Water Garment

Anesthesiology 95, 868-874

Jessen C (2000)

Wärmebilanz und Temperaturregulation

In: Engelhardt W.v., Breves G.

Hrsg: Physiologie der Haustiere; 1. Aufl.

Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 2000, - ISBN: 3-432-26851-3, s. 467-481

Kasai T., Hirose M., Matsukawa T., Takamata A., Tanaka Y. (2003)

The Vasoconstriction threshold is increased in obese patients during general anaesthesia

Acta Anaesthesiol Scand 47 (5) 588-592

Kim J.Y., Shinn H., Young J.O., Hong Y.W., Kwak H.J., Kwak Y.L. (2006)

The effect of skin surface warming during anesthesia preparation on preventing redistribution hypothermia in the early operative period of off-pump coronary artery bypass surgery

Eur J Cardiothorac Surg 29, 343- 347

Knüttgen D., Wappler F. (2007)

Anästhesie bei Erkrankungen der Nebennierenrinde - Effizientes Risikomanagement von der Prämedikation bis zum Aufwachraum

Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 42, 170-178

Kurz A., Sessler D.I., Narzt E., Lenhardt R., Lackner F. (1995)

Morphometric influences on intraoperative core temperature changes

Anesth Analg 80, 562 - 567

Kurz A., Sessler D.I., Lenhardt R. (1996)

Perioperative Normothermia to Reduce the Incidence of Surgical-Wound Infection and Shorten Hospitalization

N Engl J Med 334, 1209-1215

Kurz A. (2001)

Prevention and treatment of perioperative hypothermia

Curr Anaesth & Crit Care 12, 96-102

Kurz A. (2001)

Effects of anesthesia on thermoregulation

Curr Anaesth & Crit Care 12, 72-78

Lane I.F., Matwichuk C.L., Carpenter L.G., Behrend E.N. (1999)

Profound postanesthetic hypoglycemia attributable to glucocorticoid deficiency in 2 dogs  
Can Vet J 40, 497 - 500

Le Blanc P. H. (1987)

The Influence of Closed Circuit Anesthesia on Body Temperature in Dogs Having Abdominal Surgery  
Vet Surg 16, 322

Lenhardt R., Marker E., Goll V., Tschernich H., Kurz A., Sessler D.I., Narzt E., Lackner F. (1997)

Mild Intraoperative Hypothermia Prolongs Postanesthetic Recovery  
Anesthesiology 87(6), 1318-1323

Lenhardt R., Spiss C.K. (1999)

Gefahren milder perioperativer Hypothermie  
Anaesthesist 48, 727-732

Lenhardt R. (2003)

Monitoring and thermal management  
Baillieres Best Pract Res Clin Anaesthesiol 17, 569 – 581

Leslie K., Sessler D.I., Bjorksten A.R., Moayeri A. (1995)

Mild Hypothermia Alters Propofol Pharmacokinetics and Increases the Duration of Action of Atracurium  
Anesth Analg 80, 1007 - 1014

Leslie K., Sessler D.I. (1998)

The implications of hypothermia for early tracheal extubation following cardiac surgery  
J Cardiothorac Vasc Anesth 12 (6, suppl.2), 30 – 34 und 41 – 44

Leslie K., Sessler D.I. (1999)

Perioperative hypothermia in the high-risk surgical patient  
Baillieres Best Pract Res Clin Anaesthesiol 13, 349-361



Lyons B., Taylor A., Power C., Casey W. (1996)

Postanaesthetic shivering in children

Anaesthesia 51(5), 442 – 445

Macario A., Dexter F. (2002)

What are the Most Important Risk Factors for a Patient's Developing Intraoperative Hypothermia

Anesth Analg 94 (5), 215 - 220

Machon R.G., Raffe M.R., Robinson E.P. (1999)

Warming With a Forced Air Warming Blankets Minimizes Anesthetic-Induced Hypothermia in Cats

Vet Surg 28 (4), 301-310

Maglinger P.E., Sessler D.I., Lenhardt R. (2005)

Cutaneous Heat Loss with Three Surgical Drapes, One Impervious to Moisture

Anesth Analg 100 (3), 738 – 742

Melling A. C., Bagar A., Scott E.M., Leaper D.J. (2001)

Effects of preoperative warming on the incidence of wound infection after clean surgery: a randomised trial

Lancet 358, 876-880

Michelson A.D., Mac Gregor H., Barnard M.R., Kestin A.S., Rohrer M.J., Valeri C.R. (1994)

Reversible Inhibition of Human Platelet Activation by Hypothermia In Vivo and In Vitro

Thromb Haemost 71 (5), 633-640

Mizobe, T., Nakajima, Y., Ueno, H., Sessler, D. I. (2006)

Fructose Administration Increases Intraoperative Core Temperature by Augmenting Both Metabolic Rate and the Vasoconstriction Threshold

Anesthesiology 104, 1124-1130

Mizushima Y., Wang P., Cioffi W.G., Bland K.I., Chaudry I.H. (2000)

Should Normothermia Be Restored and Maintained during Resuscitation after Trauma and Hemorrhage

J Trauma 48 (1), 58-65

Moerer O., Bräuer A., Weyland W., Braun U. (2004)

Erwärmungseffektivität und Erythrozytentraumatisierung verschiedener Infusions- und Blutwärmungssysteme

Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 39, 138 -146

Murison P. (2001)

Prevention and treatment of perioperative hypothermia in animals under 5 kg bodyweight

In Practice 412-415

Nawrocki M. A., Mc Laughlin R., Hendrix P.K. (2005)

The Effects of Heated and Room-Temperature Abdominal Lavage Solutions on Core Body Temperature in Dogs Undergoing Celiotomy

J Am Anim Hosp Assoc 41, 61-67

Nichelmann, M. (1994)

Pathophysiologie des Wärmehaushaltes

In: Hartmann H., Meyer H.

Hrsg: Klinische Pathologie der Haustiere;

Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart 1994, - ISBN 3-334-60387-3, s. 67-91

Oncken A.K., Kirby R., Rudloff E. (2001)

Hypothermia in Critically Ill Dogs and Cats

Comp Contin Educ Pract Vet 23, 506-520

Ohtsuka N., Yamakage M., Chen X., Kamada Y., Namiki A. (2002)

Evaluation of four techniques of warming intravenous fluids

J Anesth 16 (2) 145-149

Palo M., Lauri T., Timisjärvi (2000)

Effects on dogs of surface-induced hypothermia and rewarming on the right heart function and pulmonary circulation

Eur J Appl Physiol 81 (5) 391-396

Petry H. (2000)

Energiestoffwechsel

In: Engelhardt W.v., Breves G.

Hrsg: Physiologie der Haustiere; 1. Aufl.,

Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 2000, - ISBN: 3-432-26851-3, s. 435-445

Persson M., Elmqvist H., van der Linden J. (2004)

Topical Humidified Carbon Dioxide to Keep the Open Surgical Wound Warm – The Greenhouse Effect Revisited

Anesthesiology 101 (4), 945-949

Presson R.G., Bezruczko A.P., Hillier S.C., McNiece W.L (1993)

Evaluation of a New Fluid Warmer Effective at Low to Moderate Flow Rates

Anesthesiology 78 (5), 974-980

Raffe M.R., Martin F.B. (1983)

Effect of inspired air heat humidification on anesthetic-induced hypothermia in dogs

Am J Vet Res 44 (3), 455-458

Rohrer M. J., Natale A.M. (1992)

Effects of hypothermia on the coagulation cascade

Crit Care Med 20, 1402-1406

Roe C.F. (1971)

Effect of bowel exposure on body temperature during surgical operations

Am J Surg 122 (1), 13-15

Schmied H., Kurz A., Sessler D. I., Kozek S., Reitler A. (1996)

Mild hypothermia increases blood loss and transfusion requirements during total hip arthroplasty

Lancet 347, 289-292

Schnoor J., Simon H.B., Schälte G., Weber I., Rossaint R. (2004)

Leistungskapazität von vier Infusionswärmesystemen bei niedrigen Flussraten- Heating Capabilities of Fluid Warming Systems During Low Infusion Rates

Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 39 (8), 477-481

Schnoor J., Weber I., Macko S., Rossaint (2005)  
Autoline ® - Effektivität eines Infusionswärmekonzepts  
Autoline ® - Effectivity of an infusion warmer concept  
Anaesthesist 54 (9) 871-876

Schofer G., Messmer M. (1999)  
Perioperative Hypothermie  
Anaesthesist 48 (12) 931-943

Schröder F. Horn E.-P., Redmann G., Standl Th. (1999)  
Intraoperative Normothermie durch partielle Wärmung von Patienten während  
orthopädischer Operationen  
Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 34, 475-479

Seekamp A., van Griensven M., Hildebrandt F., Wahlers T., Tscherne H. (1999)  
Adenosine-Triphosphate in Trauma-Related and Elective Hypothermia  
J Trauma 47 (4), 673-682

Selldén E. (2001)  
Nutritional substrate and perioperative hypothermia  
Curr Anaesth & Crit Care 12, 103-108

Serour F., Weissenberg M., Boaz M., Ezri T., Gorenstein A. (2002)  
Intravenous fluids warming by mattress is simple and efficient during pediatric surgery  
Acta Anaesthesiol Scand 46 (1), 80-84

Sessler D.I. (1997)  
Current Concepts: Mild Perioperative Hypothermia  
N Engl J Med 336 (24), 1730-1737

Sessler D.I. (2000)  
Perioperative Heat Balance  
Anesthesiology 92 (2), 578-596

Sheffield C.W., Sessler D.I., Hunt T.K. (1994)

Mild hypothermia during isoflurane anesthesia decreases resistance to E.coli dermal infection in guinea pigs

Acta Anaesthesiol Scand 38 (3) 201-205

Shenker Y., Skatrud J.B. (2001)

Adrenal Insufficiency in Critically Ill Patients

Am J Respir Crit Care Med 163 (7), 1520-1523

Sieunarine K., White G.H. (1996)

Full-thickness burn and venous thrombosis following intravenous infusion of microwave-heated crystalloid fluids

Burns 22 (7), 568-569

Smith C.E., Gerdes E., Sweda S., Myles C., Punjabi A., Pinchak A.C., Hagen J.F. (1998)

Warming Intravenous Fluids Reduces Perioperative Hypothermia in Women Undergoing Ambulatory Gynecological Surgery

Anesth Analg 87, 37-41

Sury M.R.J., Scuplak S. (2006)

Water-filled warmed warmig of infants undergoing open abdominal or thoracic surgery

Pediatr Surg Int 22 (2) 182-185

Swaim S.F., Lee A.H., Hughes S. (1989)

Heating Pads and Thermal Burns in Small Animals

J Am Anim Hosp Assoc 25 (2), 156-162

Tan C., Govendir M., Zaki S., Miyake Y., Packiarajah P., Malik R. (2004)

Evaluation of four warming procedures to minimise heat loss induced by anaesthesia and surgery in dogs

Aust Vet J 82 (1-2), 65-68

Tander B, Baris S., Karakaya D., Ariturk E., MD, Rizalar R., Bernay F. (2005)

Risk factors influencing inadvertent hypothermia in infants and neonates during anesthesia

Pediatric Anesthesia 15 (7), 574-579

Villalobos T.J., Adelson E., Barila T.G. (1955)  
Hematologic Changes in Hypothermic Dogs  
Proc Soc Exp Biol Med 89 (2), 192-196

Vitez T.S., White P.F., Eger E.I. (1974)  
Effects of Hypothermia on Halothane MAC and Isoflurane MAC in the Rat  
Anesthesiology 41 (1), 80-81

Waterman A. (1975)  
Accidental hypothermia during Anaesthesia in dogs and cats  
Vet Rec 96 (14), 308-313

Webb P. (1986)  
Afterdrop of body temperature during rewarming: an alternative explanation  
J Appl Physiol 60 (2), 385-390

Wenisch C., Narzt E., Sessler D.I., Parschalk B., Lenhardt R., Kurz A., Graninger W. (1996)  
Mild Intraoperative Hypothermia Reduces Production of Reactive Oxygen Intermediates by  
Polymorphonuclear Leukocytes  
Anesth Analg 82, 810-816

Werlhof, Victor (1996)  
Hotline Fluid Warming Fails to Maintain Normothermia  
Anesthesiology 86 (6), 1520-1521

Wilson D., Pettifer G.R., Hosgood G. (2006)  
Effect of transdermally administered fentanyl on minimum alveolar concentration of isoflurane  
in normothermic and hypothermic dogs  
J Am Vet Med Assn 228 (7) 1042-1046

Winkler M., Ozan A., Birkenberg B., Hetz H., Scheck T., Arkilic C.F., Kabon B., Marker E.,  
Grübl A., Czepan R., Greher M., Goll V., Gottsauber-Wolf F., Kurz A., Sessler D.I. (2000)  
Aggressive Warming Reduces Blood Loss During Hip Arthroplasty  
Anesth Analg 91, 978 – 984

Xiao H., Remick D.G. (2005)

Correction of perioperative hypothermia decreases experimental sepsis mortality by modulating the inflammatory response

Crit Care Med 33 (1), 161-167

Yoshihara H., Yamamoto M., Mihara H. (1985)

Changes in coagulation and fibrinolysis occurring in dogs during hypothermia

Thromb Res 37, 503-512

## Danksagung

Ohne erlaubte Hilfe und Rat anderer wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Brunnberg möchte ich herzlichst dafür danken, dass er mir ermöglichte, diese Arbeit anfertigen zu können, sowie für seine hilfreichen Anregungen und immer freundliche Unterstützung.

Herrn Dr. Burger für seine Bereitschaft, mit meinen Fragen und schriftlichen Bemühungen auseinanderzusetzen und allen Mitarbeitern der Klinik und Poliklinik der freien Universität zu Berlin, insbesondere dem OP-Team gilt mein Dank.

Frau Dipl. stat. Schmitz aus dem Institut für Biometrie des Fachbereiches Veterinärmedizin der Freien Universität zu Berlin hat mich bei der statistischen Auswertung der Daten betreut.

Herrn Dipl. Ing. Jan Wischert möchte ich mich herzlichst für das Doggibank-Patientenverwaltungsprogramm bedanken.

Der grösste Dank gilt meiner Familie, die stets Vertrauen in mich hatte, die mich jeder Zeit motiviert und unterstützt hat. Ebenso möchte ich hiermit mein herzlichsten Dank meinen engsten Freunden für ihre liebevolle Unterstützung aussprechen.



## **Selbstständigkeitserklärung**

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

Turku, den 5.5.2008

Maria Somerkoski