

AUS DER KLINIK FÜR PFERDE, ALLGEMEINE CHIRURGIE UND RADIOLOGIE DES
FACHBEREICHES VETERINÄRMEDIZIN DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

Thermographische Untersuchungen an diagnostisch anästhesierten und neurektomierten Pferdebeinen

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines
DOKTORS DER VETERINÄRMEDIZIN
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von Franziska Kremer

Tierärztin aus Bonn

Berlin 2010

Journal-Nr.: 3450

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.- Prof. Dr. Leo Brunnberg
Erster Gutachter: Univ.- Prof. Dr. Bodo – Wolfhart Hertsch
Zweiter Gutachter: Univ.- Prof. Dr. Christoph Lischer
Dritter Gutachter: Univ.- Prof. Dr. Leo Brunnberg

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus): horses, injection, temperature, doping

Tag der Promotion: 28.06.2011

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: 978-3-86387-010-2

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2011

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 2011

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Schrifttum	2
2.1	Doping im Pferdesport	2
2.1.1	Definition	2
2.1.2	Grundlagen der Dopingbestimmungen	2
2.1.3	Formen des Dopings	2
2.1.4	Doping auf Sieg	3
2.1.5	Doping zur Wiederherstellung der normalen Leistungsfähigkeit	3
2.1.6	Doping mit körpereigenen Substanzen	3
2.1.7	Physikalisches Doping	3
2.1.8	Doping auf Niederlage	3
2.1.9	Unabsichtliches Doping	4
2.1.10	Doping zur Maskierung anderer Substanzen	4
2.1.11	Dopingkontrollen	4
2.2	Thermographie	4
2.2.1	Allgemeine Grundlagen	4
2.2.2	Thermophysiologische Grundlagen	5
2.2.2.1	Allgemein	5
2.2.2.2	Bildung von Wärme	5
2.2.2.3	Abgabe von Wärme	5
2.2.3	Physikalische Grundlagen	6
2.2.4	Einflussfaktoren auf die thermographische Untersuchung	6
2.2.5	Anwendungsgebiet Humanmedizin	7
2.2.6	Anwendungsgebiet Pferdeheilkunde	8
2.2.6.1	Physiologisches Temperaturverteilungsmuster an der Pferdegliedmaße	8
2.2.6.2	Hyperämisierende Einreibungen	9
2.2.6.3	Touchieren	9
2.2.6.4	Medikamente	9
2.2.6.5	Neurektomie	10
2.2.6.6	Horners Syndrom	10
2.3	Diagnostische Anästhesien	11
2.3.1	Anatomie und Klassifizierung der Nervenfasern	11
2.3.2	Physiologie der Nervenfasern	12
2.3.2.1	Leistungsstrukturen der distalen Vordergliedmaße des Pferdes	12
2.3.3	Lokalanästhetika	12
2.3.3.1	Pharmakologische Aktivität	13
2.3.3.2	Zusatz von anderen Wirkstoffen	13
2.3.4	Leitungsanästhesien an der Vordergliedmaße	14
2.3.4.1	Ramus pulvinus Anästhesie	14
2.3.4.2	Tiefe Palmarnervenblockade (TPA ; Palmar Digital Nerve Block)	14
2.3.4.3	Mittlere Palmarnervenblockade (MPA; Abaxial Sesamoid Nerve Block)	14
2.3.4.4	Interosseusanästhesie (IOA)	15
2.3.4.5	4-Punkt-Block	15
2.3.4.6	Hohe Palmarnervenblockade (HPA)	15
2.3.4.7	Anästhesie des Nervus palmaris lateralis	15
2.3.4.8	N. Medianusanästhesie	15
2.3.4.9	N. Ulnarisanästhesie	16
2.3.4.10	Anästhesie des N. cutaneus antebrachii	16
2.3.5	Leitungsanästhesien an der Hintergliedmaße	16
2.4	Neurektomie	16
2.4.1	Indikationen	17
2.4.2	Chirurgische Techniken und Alternativen	17

2.4.3	Guillotine Technik	18
2.4.3.1	Neurektomie über einen Hautschnitt	18
2.4.3.2	Neurektomie über zwei Hautschnitte	18
2.4.3.3	Hohe laterale und mediale palmare Neurektomie	18
2.4.4	Nachsorge	19
2.4.5	Komplikationen nach Neurektomien	19
3	Material	20
3.1	Untersuchungsgruppen	20
3.1.1	Gruppe 1A	21
3.1.2	Gruppe 1B	21
3.1.3	Gruppe 1C	21
3.1.4	Gruppe 2A	21
3.1.5	Gruppe 2B	22
3.1.6	Gruppe 3	22
4	Methode	23
4.1	Thermographische Untersuchung	23
4.1.1	Kamera Varioscan Compact 3011	23
4.1.2	Datenerfassung und Datenspeicherung	23
4.1.3	Datenverarbeitung	24
4.1.4	Untersuchungsraum	24
4.1.5	Aufnahmetechnik	25
4.1.6	Ablauf der Untersuchung Gruppe 1A, 1B und 1C	25
4.1.6.1	Diagnostische Leitungsanästhesien	26
4.1.7	Ablauf der Untersuchung Gruppe 2A und 2B	26
4.1.8	Ablauf der Untersuchung Gruppe 3	26
4.1.9	Auswertung	26
4.1.9.1	Parameter	27
5	Ergebnisse	29
5.1	Gruppe 1 A	29
5.1.1	Untersuchungsintervalle	29
5.1.2	Parameter ΔT_{R1-5}	29
5.1.2.1	Vor der TPA	31
5.1.2.2	Zehn Minuten nach der TPA	32
5.1.2.3	20 Minuten nach der TPA	33
5.1.2.4	30 Minuten nach der TPA	34
5.1.2.5	40 Minuten nach der TPA	35
5.1.2.6	50 Minuten nach der TPA	36
5.1.2.7	60 Minuten nach der TPA	37
5.1.2.8	70 Minuten nach der TPA	38
5.1.2.9	80 Minuten nach Anästhesie	39
5.1.2.10	Einzelpräsentation	40
5.1.3	Parameter ΔT_{GM}	42
5.2	Gruppe 1B	43
5.2.1	Parameter ΔT_{R1-5}	44
5.2.1.1	Anästhesiegruppe TPA, MPA	46
5.2.1.2	Anästhesiegruppe TPA, MPA, IOA	47
5.2.1.3	Anästhesiegruppe TPA, MPA, HPA	48
5.2.1.4	Anästhesiegruppe MPA, IOA, HPA	49
5.2.1.5	Anästhesiegruppe TPA, MPA, IOA, HPA	50
5.2.2	Parameter ΔT_{GM}	52
5.2.2.1	Anästhesiegruppe MPA, IOA	52
5.2.2.2	Anästhesiegruppe TPA, MPA	53
5.2.2.3	Anästhesiegruppe TPA, MPA, IOA	54
5.2.2.4	Anästhesiegruppe TPA, MPA, HPA	55
5.2.2.5	Anästhesiegruppe MPA, IOA, HPA	56

5.2.2.6	Anästhesiegruppe TPA, MPA, IOA, HPA	57
5.3	Gruppe 1C	57
5.3.1	Parameter ΔT_{R1-5}	57
5.3.2	Parameter ΔT_{GM}	64
5.4	Gruppe 2A	65
5.4.1	Zwei bis acht Wochen nach Neurektomie	65
5.4.1.1	Parameter ΔT_{R1-5}	65
5.4.1.2	Parameter ΔT_{GM}	66
5.4.2	Sechs bis elf Monate nach Neurektomie	66
5.4.2.1	Parameter ΔT_{R1-5}	66
5.4.2.2	Parameter ΔT_{GM}	68
5.4.3	12 Monate bis fünf Jahre nach Neurektomie	68
5.4.3.1	Parameter ΔT_{R1-5}	68
5.4.3.2	Parameter ΔT_{GM}	69
5.5	Gruppe 2B	70
5.5.1	Parameter ΔT_{R1-5}	70
5.5.2	Parameter ΔT_{GM}	71
5.6	Gruppe 3	72
5.6.1	Parameter ΔT_{R1-5}	72
5.6.2	Parameter ΔT_{GM}	73
6	Diskussion	74
6.1	Patientenmaterial	74
6.2	Methode	75
6.3	Ergebnisse	77
6.3.1	Kontrollgruppe	77
6.3.2	Gruppe 1A	78
6.3.3	Gruppe 1B	80
6.3.4	Gruppe 1A und 1B im Vergleich	82
6.3.5	Gruppe 1C	83
6.3.6	Gruppe 2A	84
6.3.7	Gruppe 2B	87
7	Zusammenfassung	88
8	Summary	90
9	Literaturverzeichnis	91
9.1	Danksagung	104
9.2	Selbstständigkeitserklärung	105

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
bds.	beidseits
bzw.	beziehungsweise
C°	Grad Celsius
cm	Zentimeter
d	Differenz
dig.	digital
dist.	distal
d. h.	das heißt
e. V.	eingetragener Verein
evt.	eventuell
FU	Freie Universität
GM	Gliedmaße
hi. li.	hinten links
hi. re.	hinten rechts
HPA	Hohe Palmarnerveanästhesie
Hz	Hertz
K	Kelvin
Kap.	Kapitel
lat.	lateral
lfd. Nr.	laufende Nummer
m	Meter
M.	Musculus
med.	medial
Min.	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MPA	Mittlere Palmarnerveanästhesie
msec	Millisekunde
mV	Millivolt
MZ	Messzeitpunkt
N.	Nervus
Nn.	Nervi
Nr.	Nummer
OBS	Oberflächliche Beugesehne
palm.	palmar
Pfd.	Pferd
prox.	proximal
R.	Ramus
R	Region
Rr.	Rami
s.	siehe
Syn.	Synonym
T	Temperatur
Tab.	Tabelle
TBS	Tiefe Beugesehne
TPA	Tiefe Palmarnerveanästhesie
u.	und
US	Untersuchung
V.	Vena
V	Volt
v. a.	vor allem

Abkürzungen

vgl.	vergleiche
vo. li.	vorne links
vo. re.	vorne rechts
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Unter dem Begriff „Doping“ versteht man die Verabreichung von Substanzen an Mensch oder Tier mit dem Ziel einer Beeinflussung der natürlichen und aktuellen Leistungsfähigkeit bei sportlichen Wettkämpfen (KLUGE u. UNGEMACH 2006).

Im deutschen Pferdesport wird die unerlaubte Leistungsbeeinflussung durch die Dopingbestimmungen der drei großen Pferdesportverbände (Deutsche Reiterliche Vereinigung e. V. [FN], Direktorium für Vollblutzucht und Rennen e. V. [DVR], Hauptverband für Traberzucht und Rennen e. V. [HVT]) geregelt (KLUGE u. UNGEMACH 2006).

Die Verabreichung eines Lokalanästhetikums an ein lahmes Pferd gilt als „Doping zur Wiederherstellung der normalen Leistungsfähigkeit“. Der Nachweis erfolgt v. a. durch sensitive analytische Methoden, die jedoch kosten- und zeitintensiv sind.

Alle Maßnahmen, die ohne die Verabreichung chemischer Substanzen zu einer Leistungsbeeinflussung führen, werden als „physikalisches Doping“ bezeichnet. Ein Beispiel für diese Art von Maßnahmen ist die Neurektomie. Für diese physikalischen Dopingmethoden existiert keine gesicherte Nachweismethode sowie keine klare Begriffsdefinition.

Bereits MAXWELL-CLADE (1968) erkannte, dass sowohl perineurale Injektionen von Lokalanästhetika, als auch eine Neurektomie der digitalen Nerven zu einem Verlust der Innervation der Hautgefäße und zu einer daraus resultierenden Vasodilatation führen. Die Unterbindung der sympathischen Innervation hat aus diesem Grund eine erhöhte Hauttemperatur zur Folge. Die Thermographie ist eine nicht-invasive Methode der bildhaften Darstellung der Oberflächentemperatur eines Objektes. Mittels der thermographischen Untersuchung kann dem zur Folge der Vaskularisationszustand des unter der Haut liegenden Gewebes gemessen werden.

Das Ziel dieser Arbeit war es, zu überprüfen ob die thermographische Messmethode zur bildhaften Darstellung von Neurektomien und/oder perineuralen Injektionen von Lokalanästhetika auf sportlichen Veranstaltungen dienen kann.

2 Schrifttum

2.1 Doping im Pferdesport

2.1.1 Definition

Die Beeinflussung der natürlichen und aktuellen Leistungsfähigkeit durch Verabreichung von Substanzen an Mensch und Tier unter sportlichen Wettkampfbedingungen wird als „Doping“ bezeichnet (SCHOENE 1996; KLUGE u. UNGEMACH 2006). Geprägt wurde dieser Begriff in seiner heutigen Bedeutung um etwa 1900 in den USA. Das Doping von Rennpferden findet hingegen schon sehr viel früher seinen Ursprung, die ältesten Dopingbestimmungen stammen von 1666. In der englischen Stadt Worksop wurde ein Dekret erlassen, indem der Einsatz „stimulierender Substanzen“ bei Rennpferden ohne genauere Definition verboten wurde (SCHOENE 1996). Im Vordergrund stand allerdings bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts das leistungsmindernde Doping. Im Zuge der zunehmenden Entwicklungsgeschwindigkeit von Arzneimitteln inklusive der Bereitstellung potenter zentral-wirksamer Stimulanzien und deren analytischen Nachweismethoden setzte auch die gezielte Bekämpfung der unlauteren Leistungsbeeinflussung im 20. Jahrhundert ein. Reglementiert werden die Dopingbestimmungen im Bereich des Pferdesports in Deutschland über die drei großen Pferdesportverbände (SCHOENE 1996; KLUGE u. UNGEMACH 2006):

- Deutsche Reiterliche Vereinigung e. V. [FN]
- Direktorium für Vollblutzucht und Rennen e. V. [DVR]
- Hauptverband für Traberzucht und Rennen e. V. [HVT]

2.1.2 Grundlagen der Dopingbestimmungen

Im Wesentlichen beruht für KLUGE und UNGEMACH (2006) das Verbot des Dopings im Pferdesport auf sechs Grundlagen:

- dem Tierschutz (v. a. § 3 des Tierschutzgesetzes „Verbotsbestimmungen“)
- dem sportethischen Grundsatz im Sinne gleicher Voraussetzungen aller Teilnehmer
- dem Schutz vor Täuschung des Publikums (Strafgesetzbuch § 263)
- dem Schutz anderer Teilnehmer vor den Gefährdungen, die von manipulierten, evt. unkontrollierbaren Tieren ausgehen
- der Vortäuschung eines unzutreffenden Leistungsstandards mit daraus resultierender falscher Zuchtauslese
- dem Verstoß gegen das Arzneimittel- (§ 95 Absatz 1 Nr. 9 und 10) und Betäubungsmittelgesetz (§ 29)

2.1.3 Formen des Dopings

Im Pferdesport kann die unerlaubte Leistungsbeeinflussung verschiedenartig und mit unterschiedlichen Zielsetzungen erfolgen (SCHOENE 1996):

- Doping auf Sieg
- Doping zur Wiederherstellung der ursprünglichen Leistungsfähigkeit
- Doping mit körpereigenen Substanzen
- Physikalisches Doping
- Doping auf Niederlage
- Unabsichtliches Doping
- Doping zur Maskierung anderer Substanzen

- Doping zur Verdünnung anderer Substanzen

2.1.4 Doping auf Sieg

Das Ziel dieser Form des Dopings ist es, die Leistungsfähigkeit des Pferdes über das natürliche, unter optimalen Bedingungen zu aktivierende Maß hinaus zu steigern. Hierbei dringt das Sportpferd in Leistungsbereiche vor, die unter normalen Umständen durch physische und psychische Barrieren des Körpers geschützt werden. Dabei werden verschiedene Formen unterschieden:

Bei der *akuten* Form (Syn.: „short term medication“) wird die leistungssteigernde Substanz direkt vor dem Wettkampf verabreicht, bei der *chronischen* Variante geraume Zeit vorher. Der Begriff der *paradoxen* Form des Dopings auf Sieg beschreibt die Verabreichung von Sedativa in niedrigen Dosen zur Erzielung eines positiven Dopingeffektes (SCHOENE 1996; KLUGE u. UNGEMACH 2006).

2.1.5 Doping zur Wiederherstellung der normalen Leistungsfähigkeit

Die medikamentelle Schmerzausschaltung von Lahmheiten, die nach Erbringen von Hochleistungen vermehrt auftreten können, spielt bei dieser Art des Dopings die größte Rolle. Hier kommen vor allem Lokalanästhetika, Glukokortikoide und nichtsteroidale Antiphlogistika zum Einsatz (SCHOENE 1996; KLUGE u. UNGEMACH 2006).

2.1.6 Doping mit körpereigenen Substanzen

Zu den körpereigenen Substanzen im Sinne der Dopingbestimmungen zählen (KLUGE u. UNGEMACH 2006):

- Blut, d. h. alle Sauerstoffträger und die Erythropoese stimulierenden Substanzen
- Elektrolyte, d. h. eine Injektion oder Infusion von Elektrolyten im unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang mit dem Wettbewerb
- Glukose und Vitamine, d. h. deren parenterale Applikation im unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang mit dem Wettbewerb
- Kreatin (ein leistungssteigernder Effekt ist beim Pferd allerdings umstritten)
- Gendoping, d. h. alle nicht therapeutischen Einschleusungen von Genen, Genelementen und Zellen, die die sportliche Leistungsfähigkeit verbessern können

2.1.7 Physikalisches Doping

Unter dem Begriff des *physikalischen Dopings* versteht man alle Maßnahmen, die nicht durch Verabreichung chemischer Substanzen zu einer Leistungssteigerung des Sportpferdes führen. Beispiele hierfür sind Neurektomien, Tracheotomien, Akupunktur und elektrische Reize (KLUGE u. UNGEMACH 2006).

2.1.8 Doping auf Niederlage

Hier spielt vor allem die Verabreichung von Neuroleptika und Ataraktika in der entsprechenden beruhigend wirkenden Dosierung kurz vor dem Wettbewerb eine Rolle. Es liegt nahe, dass diese negative Manipulation der Leistungsfähigkeit meist von außenstehenden Personen durchgeführt wird (SCHOENE 1996; KLUGE u. UNGEMACH 2006).

2.1.9 Unabsichtliches Doping

Die Aufnahme von Substanzen mit unwissentlich leistungsbeeinflussenden Nebenwirkungen über ein Futtermittel oder durch Anwendung von Medikamenten mit kombinierten Wirkstoffen durch den Tierarzt birgt die Gefahr des unabsichtlichen Dopings. Häufig wird die Resorption von arzneilich wirksamen Substanzen nach äußerlicher Anwendung unterschätzt und der Nachweis messbarer Konzentrationen führt zu positiven Dopingbefunden (KLUGE u. UNGEMACH 2006). Zusätzlich spielt die Kontamination einer entnommenen Urin- bzw. Blutprobe eine weitere Rolle bei der versehentlichen Form des Dopings (SCHOENE 1996).

2.1.10 Doping zur Maskierung anderer Substanzen

Unter dieser Art des Dopings wird die Verabreichung von Substanzen, die das Vorhandensein gleichzeitig applizierter, potenter Dopingmittel überdecken oder deren Ausscheidung verzögern, verringern oder beschleunigen verstanden. Die applizierten Stoffe haben dabei selbst keine stimulierende oder dämpfende Wirkung auf den Organismus (SCHOENE 1996).

2.1.11 Dopingkontrollen

Seit 1970 werden durch die großen Pferdesportverbände systematisch Dopingkontrollen durchgeführt. Die Auswahl der zu untersuchenden Pferde erfolgt entweder nach dem Zufallsprinzip oder aufgrund einer Platzierung, andernfalls in begründeten Verdachtsfällen. Eine Urin- und/oder eine Blutprobe werden in der Regel vom Turniertierarzt entnommen und die Proben werden an ein akkreditiertes Untersuchungslabor geschickt. Für die Erstanalyse steht die sogenannte A-Probe zur Verfügung. Fällt ihr Ergebnis positiv aus, steht es dem Pferdebesitzer frei, die B-Probe testen zu lassen. Ein Verzicht auf eine weitere Untersuchung oder ein positives Ergebnis der zweiten Probe machen einen Dopingfall aus (KLUGE u. UNGEMACH 2006).

2.2 Thermographie

2.2.1 Allgemeine Grundlagen

Die Methode der bildlichen Darstellung von Oberflächentemperaturen wird Thermographie genannt (PUROHIT u. MCCOY 1980; TURNER et al. 1986; AUER et al. 1993). Die Basis für die medizinische Thermographie bildet die Abgabe von Wärme eines Körpers in Form infraroter Strahlung (GREEN 1999). Dabei empfängt ein entsprechender Scanner die von der Hautoberfläche emittierte Strahlung und wandelt diese in elektrische Impulse um, die auf einem Monitor als sogenanntes Thermogramm sichtbar gemacht werden (PARK u. LEBEL 1989). Ihren ersten Einsatz in der Veterinärmedizin erfuhr die Thermographie im Jahr 1965 durch DELHANTY und GEORGI.

Da die Hauttemperatur die darunter liegende Blutzirkulation und den Gewebemetabolismus reflektiert, können physiologische und pathologische Temperaturmuster etwaiger Körper erstellt werden (PUROHIT u. MCCOY 1980; TURNER 2001). So können sich beispielsweise Entzündungen im subkutanen und tiefer liegendem Gewebe als Temperaturveränderungen der Haut zeigen (WALDSMITH u. OLTSMANN 1994; TURNER 2001).

Grundsätzlich werden zwei verschiedene Arten der thermographischen Messmethode unterschieden, die Kontaktthermographie und die Thermographie ohne Berührung (WIELAND 1992).

Bei der Kontaktthermographie werden verformbare, mit Cholesterinkristallen in einer flüssigen Matrix gefüllte Kassetten an das zu untersuchende Objekt angedrückt (TURNER et al. 1986; HALL et al. 1987; WIELAND 1992). Die Kristalle reflektieren polarisiertes Licht eines engen Wellenlängespektrums und ändern ihre Gestalt und reflektierende Farbe in Anpassung an die wechselnde Temperatur des zu untersuchenden Körpers (TURNER 2001).

Die Messmethode der berührungslosen Thermographie wird zusätzlich in die gekühlte und die ungekühlte Form untergliedert (TURNER 2001). Anders als bei der ungekühlten dient bei der gekühlten Form eine spezielle Infrarotkamera als Wärmedetektor, deren erforderliche Arbeitstemperatur von 77 K durch die Kühlung mit flüssigem Stickstoff erreicht wird (WIELAND 1992).

Das Thermogramm wird anschließend auf einem Monitor dargestellt. Die einzelnen Farben werden bestimmten Isothermen zugeordnet (LEBEL u. PARK 1989). Farbmustervariationen spiegeln dabei Temperaturgradienten wider. Die wärmsten Areale sind weiss und rot, die kältesten blau und schwarz (EDDY et al. 2001). Die gängigen Infrarotdetektoren messen Temperaturunterschiede von 0,1°C, somit sind sie zehnmals sensibler als die menschliche Hand (TURNER 2001; HOLMES et al. 2003).

Berührungslos erfolgt auch die Mikrowellenthermographie. Bei dieser Messmethode wird die von tief liegendem Gewebe ausgehende emittierte Strahlung im Mikrowellenbereich erfasst (MARR 1992).

2.2.2 Thermophysiologische Grundlagen

2.2.2.1 Allgemein

Pferde gehören zu den homoiothermen Tieren, d. h. ihre Körperinnentemperatur bleibt auch dann in Grenzen konstant, wenn sie Kälte- oder Wärmebelastungen ausgesetzt sind. Thermophysiologisch ist der Körper in einen „Kern“ und eine „Schale“ einzuteilen. Die Konstanzhaltung der Temperatur bezieht sich auf den Körperkern. Die Schale verändert in Anpassung an die Umgebung ihre Temperatur (BRÜCK 1983).

2.2.2.2 Bildung von Wärme

Hauptsächlich findet die Bildung von Wärme bei einem ruhenden Organismus in den Organen des Körperkerns statt. Zusätzlich kann die Körpertemperatur durch gesteigerten Zellstoffwechsel im Fettgewebe und gegebenenfalls in Muskulatur und Leber (zitterfreie Thermogenese) sowie durch unwillkürliche tonische Muskelaktivität (Kältezittern) konstant gehalten werden (HÖRNICKE 1989).

2.2.2.3 Abgabe von Wärme

Unterschieden wird ein innerer von einem äußeren Wärmestrom. Die im Körperinneren gebildete Wärmeenergie wird zu einem geringeren Teil über Konduktion und zu einem größeren Teil durch den Transport über den Blutweg, die Konvektion, zur Körperoberfläche befördert. Der Wärmeaustausch zwischen Körper und Umgebung geschieht durch Konduktion, Konvektion, Strahlung und Verdunstung (HÖRNICKE 1989; EDDY et al. 2001). Der Wärmeverlust bei Lebewesen kann thermographisch und über die indirekte Kalorimetrie gemessen werden.

Die Hauttemperatur bei Pferden ist aufgrund von Wärmestrahlung, Konvektion und Verdunstung um 5°C niedriger als die Körperinnentemperatur (TURNER 2001). Dabei ist die Haut der Extremitäten immer kühler als die Haut des Rumpfes. Die niedrigsten Temperaturen haben verhornte Körperpartien (FLORES 1978; HÖRNICKE 1989; JAKSCH

u. GLAWISCHNIG 1990). Dieser Temperaturunterschied kommt zustande, da die Extremitäten und andere exponierte Teile des Körpers über die den Kapillaren vorgeschalteten arterio-venösen Anastomosen verfügen. Diese werden thermoregulatorisch wirksam, indem sie die der Außentemperatur im höheren Maße ausgesetzten Körperteile mit einer kontrollierten und steuerbaren Blutmenge versorgen (JESSEN 1999).

Die Durchblutung der Haut wird hauptsächlich durch das sympathische Nervensystem gesteuert (HABERMEHL 1984; FELDMANN 1991). Eine Stimulation der peripheren Nerven führt zu einer aktiven Vasokonstriktion und somit zu einer herabgesetzten Hauttemperatur. Eine Schädigung bzw. eine Durchtrennung der Nerven führt vorerst zu einer Vasodilatation (FELDMANN 1991).

Horn ist ein schlechter Wärmeleiter, so dass eine Wärmeabgabe in Form von Konduktion z. B. am Pferdehuf eine sehr geringe Rolle spielt (RUTHE 1988). Die Bodentemperatur stellt somit während der thermographischen Untersuchung keinen beeinflussenden Faktor dar.

2.2.3 Physikalische Grundlagen

Eine für die thermographische Messung genutzte Form der Wärmeabgabe eines jeden Körpers, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt (-273°C bzw. 0°K) liegt, ist die Abgabe infraroter Energie in Form elektromagnetischer Strahlung (PUROHIT u. MCCOY 1980; PALMER 1981; EDDY et al. 2001). Dabei ist die emittierte infrarote Strahlung eines Körpers proportional seiner Temperatur (HELLENTHAL 1997) und liegt in einem Wellenlängenbereich von 780nm bis 1mm. Diese Form des Wärmetransportes benötigt keine Materie. Die berührungslose Temperaturbestimmung an Oberflächen von Objekten beruht auf diesen Prinzipien (PUROHIT u. MCCOY 1980; TURNER et al. 1986).

Umso höher die Temperatur eines Körpers ist, desto kurzwelliger ist dessen Strahlung. So beginnt erst in einem Temperaturbereich von 700°C ein heißer Körper für das menschliche Auge zu glühen (HARTEN et al. 1987). TURNER (2001) befindet den Spektralbereich von 8-14 μm als optimal für die Bedürfnisse der medizinischen Thermographie. Das Abstrahlvermögen eines Körpers wird über den Emissionsfaktor angegeben. Maximales Emissionsvermögen besitzt nur der „schwarze Körper“, dessen Emissionsfaktor gleich 1 ist (HARTEN et al. 1987). Für das Haarkleid des Tieres liegt er nahe bei 1 und wurde von FLORES (1978), TURNER et al. (1986) und WIELAND (1992) beschrieben.

Das Fell bildet eine isolierende Schicht zwischen Strahlung abgebender Haut und auf dem Thermogramm sichtbar gemachter Strahlungsoberfläche. Dies kann bedeuten, dass Verschmutzungen des Haarkleides und Areale mit unterschiedlichen Felllängen das Temperaturmuster eines Thermogramms beeinflussen (CENA u. CLARK 1977).

2.2.4 Einflussfaktoren auf die thermographische Untersuchung

Da die Thermographie eine sensitive Methode zur Darstellung von Wärmemustern ist, ist sie ebenso empfindlich gegenüber äußeren, die Temperatur beeinflussenden Faktoren. Es besteht die Gefahr, dass Artefakte und verzerrte Ergebnisse hervorgerufen werden. Um individuelle Variationen zu erfassen, wird die Anfertigung einer zusätzlichen Aufnahme der nicht betroffenen Seite des zu untersuchenden Objektes empfohlen (VAN HOOGMOED u. SNYDER 2002). Folgende Umstände sind während einer thermographischen Untersuchung zu berücksichtigen:

- Umgebungstemperatur

Mehrere Autoren beobachteten eine symmetrische Temperaturverteilung an gesunden Pferdebeinen (FLORES 1978; STASHEK 1989; TURNER 1991). PALMER (1981) setzte ein portables Infrarotthermometer zur Temperaturmessung an der distalen Pferdegliedmaße ein. Er stellte fest, dass die Oberflächentemperatur proportional zur Raumtemperatur variiert.

Außerdem maß er bei unterschiedlichen Raumtemperaturen beträchtliche Temperaturunterschiede innerhalb der Gliedmaßenpaare eines Pferdes, insbesondere bei niedriger Umgebungstemperatur. MOGG und POLLITT (1992) bestätigten dieses Phänomen, allerdings vor allem bei Messungen während hoher Umgebungstemperaturen. Sie machten darauf aufmerksam, dass somit ein fehlendes symmetrisches Temperaturverhalten an Pferdebeinen nicht zwangsläufig einen pathologischen Prozess anzeigen muss.

WEIL (1997) stellte ebenfalls eine Abhängigkeit zwischen den Oberflächentemperaturwerten einer bestimmten Gliedmaßenregion und der Umgebungstemperatur fest. Jedoch beobachtete er eine Unabhängigkeit der absoluten Temperaturdifferenzwerte verschiedener Regionen gegenüber wechselnder Raumtemperaturen.

➤ Tagesrhythmus

REINBERG (1975) und HÖRNICKE (1989) untersuchten den Einfluss des circadianen Rhythmus auf die Körperinnen- und die Hauttemperatur bei Menschen. Sie stellten eine Temperaturschwankung über den Tag hinweg fest. MOGG und POLLITT (1992) beobachteten hingegen bei Messungen der Rektal- und der Oberflächentemperatur bei Pferden keine inneren täglichen Temperaturmuster.

➤ Zugluft

CENA und CLARK (1972) erklärten die erzwungene Konvektion durch Zugluft und die damit einhergehende Abkühlung der Körperoberfläche. Aufgrund dieses Phänomens wird empfohlen, thermographische Untersuchungen nur in zugfreien Untersuchungsräumen stattfinden zu lassen (CENA u. CLARK 1972; TURNER 1991; WIELAND 1992).

➤ Fellbeschaffenheit

CENA und CLARK (1977) untersuchten den Einfluss der Felldichte bei Schafen auf deren Temperaturverteilungsmuster an der Körperoberfläche. Sie stellten fest, dass es ausschließlich durch veränderte Felldichte zu Verwechslungen zwischen krankhaften und unauffälligen Thermogrammen kommen kann, da sich Körperregionen mit einer dichteren Fellbeschaffenheit auf dem Thermogramm kühler darstellen als weniger behaarte Areale.

MOGG und POLLITT (1992) kamen ebenfalls zu der Erkenntnis, dass das Fell einen thermalen Widerstand darstellt. Geschorene oder rasierte Körperregionen zeigen sich im Thermogramm in höheren Temperaturarealen.

TURNER (1991) hält ein Entfernen des Haarkleides bei Pferden jedoch nicht für notwendig, wenn das Fell einheitlich lang, anliegend und sauber ist.

➤ Bewegung

VADEN et al. (1980) und PUROHIT u. MCCOY (1980) thermographierten Sprunggelenke von Rennpferden vor und nach dem Training. Die Temperaturverteilungsmuster an den Gelenken nach einem Rennen stimmten mit denen vor der Belastung überein. Die Durchschnittstemperatur erhöhte sich allerdings um 1-2°C.

2.2.5 Anwendungsgebiet Humanmedizin

WEIL (1997) erläuterte bereits ausführlich etliche Einsatzgebiete der thermographischen Messmethode in der Humanmedizin. Im folgenden Text sollen lediglich erwähnt werden, dass bereits MAXWELL-CADE (1968) in einer sehr frühen Studie thermographisch die Veränderung der Hauttemperatur bei einem Verlust der sympathischen Innervation untersuchte. Er stellte eine erhöhte Temperatur an den Hautarealen fest, die nicht mehr

sympathisch innerviert wurden. Er führte dies damals schon auf den Verlust der Innervation der Hautgefäße und die daraus resultierende Vasodilatation zurück.

FELDMANN (1991) hingegen erstellte Thermogramme von Hautpartien, deren Durchblutung durch eine Reizung sympathischer Nervenfasern herabgesetzt war und sich somit durch resultierende Vasokonstriktion im Thermogramm kühler darstellten.

LIAO und LIAO (1985) untersuchten Patienten mit chronischen Schmerzen und maßen eine verringerte Hauttemperatur in den schmerzhaften Körperregionen. Dies wurde auf eine Überaktivität der sympathischen Nervenfasern zurückgeführt.

2.2.6 Anwendungsgebiet Pferdeheilkunde

DELAHANTY und GEORGI (1965) veröffentlichten erstmals Ergebnisse thermographischer Messdaten. Seitdem wurde die Thermographie vor allem in der Pferdeheilkunde im Bereich der Orthopädie eingesetzt.

Die Entwicklung klinischer Befunde während der Hufrehe, dem Hufrollensyndrom, Hufabszessen (TURNER 1989; SCHULZE 2004; CORNELISSEN et al. 2006) sowie Rückenbeschwerden (TURNER et al. 1986; VON SCHWEINITZ 1999) wurden von einigen Autoren thermographisch verfolgt. Die bildliche Darstellung des Wärmemusters von Knochen nach periostalen Reizungen (STRÖMBERG 1974) oder nach Schädigungen wie Haarrissen und Frakturen (STRÖMBERG 1974; PUROHIT u. MCCOY 1980) wurde ebenfalls untersucht. VADEN et al. (1980) setzten die Thermographie erfolgreich für die Früherkennung von Sehnendefekten, bevor diese sich durch klinische Symptome manifestierten, ein.

RINGER et al (2005) untersuchten den Einfluss der extracorporalen Stoßwellentherapie im Bereich des Fesselträgerursprungs und des Os metatarsale IV auf die Thermographie sowie auf die Szintigraphie bei lahmfreien Pferden. Sie stellten fest, dass nach einer Therapie mit der extrakorporalen Stoßwelle keine signifikanten Temperaturunterschiede im Thermogramm ausfindig zu machen sind.

2.2.6.1 Physiologisches Temperaturverteilungsmuster an der Pferdegliedmaße

Das Temperaturverteilungsmuster eines geometrisch nicht einheitlich geformten Körpers ist trotz seiner ungleichmäßigen Oberfläche weitgehend kontralateral symmetrisch (PUROHIT u. MCCOY 1980; BRÜCK 1983). Thermogramme gesunder Pferdegliedmaßen wurden erstmals von PUROHIT (1980) und PUROHIT u. MCCOY (1980) objektiv interpretiert und veröffentlicht. Bei über 90% der Thermogramme gesunder Pferde lag der Temperaturunterschied zwischen rechter und linker Gliedmaße unter einem Grad.

Der Temperaturunterschied zwischen rechter und linker Gliedmaße bei 36 gesunden Kontrollpferden in der Studie von WEIL (1997) lag bei maximal 0,5°C.

An den Extremitäten entsprechen die wärmeren Regionen dem Verlauf von größeren Blutgefäßen (STRÖMBERG 1971; PUROHIT u. MCCOY 1980; VADEN et al. 1980; TURNER et al. 1983). Es existiert ein axiales und ein radiales Temperaturgefälle. Wobei der wärmste Bereich der distalen Pferdegliedmaße der Kronsaum ist. Dies kommt durch das sich dort befindende ausgeprägte arterio-venöse Gefäßnetz zustande (FLORES 1978; PUROHIT u. MCCOY 1980; TURNER 1983). Vom Kronsaum bis zum Tragrand nimmt die Temperatur des Hufes ab. Generell stellen verhornte Körperregionen die kältesten Bereiche dar (FLORES 1978; HÖRNICKE 1989; JAKSCH u. GLAWISCHNIG 1990). Das Kron gelenk ist im Durchschnitt 3-5°C, das Fesselgelenk und der Mittelfuß 3-4°C kühler als der Kronsaum (PUROHIT u. MCCOY 1980).

Aus der palmaren bzw. plantaren Ansicht der Gliedmaße zeigen sich die Beugesehnen eher kühl und der Bereich zwischen den Ballen gibt die meiste Wärme ab. Dies kommt durch die zahlreichen arterio-venösen Anastomosen und die konkave Fläche der Ballengrube zustande. Beide Faktoren führen zu einem additiven Temperatureffekt (TURNER et al. 1986). Das mittlere Drittel der oberflächlichen Beugesehne ist hingegen relativ avaskulär, so dass dieser Bereich der kühlste der palmaren/plantaren Metakarpal-/Metatarsalregion ist (STRÖMBERG 1971; WEBBON 1978).

PUROHIT und MCCOY (1980) betonen, dass Thermogramme verschiedener Pferdegliedmaßen einander sehr ähnlich sein können, jedoch nie identisch aussehen. Der Grund für die Individualität der Wärmemuster liegt in der stets individuellen Gewebedurchblutung.

2.2.6.2 Hyperämisierende Einreibungen

NELSON und OSHEIM (1975) erstellten von der Norm abweichende Thermogramme von Showpferden, die einem „Soring“ unterzogen wurden. Den vorgestellten Pferden der Rasse Tennessee-Walking-Horse wurden irritierende Substanzen auf den Bereich der Krone aufgebracht, um den rassetypischen Gang zu provozieren. Die Kronregion stellte sich nach der Manipulation im Thermogramm deutlich wärmer dar, was auf den durchblutungssteigernden Effekt der Einreibung zurückzuführen ist.

Eine frühe Studie von TURNER und SCROGGINGS (1989) bestätigt den erfolgreichen Einsatz der Thermographie für den Nachweis von Irritationen, die auf die Haut aufgebracht wurden. Sie erstellten Thermogramme von arabischen Vollblütern, bei denen hyperämisierende Salben auf die perineale Region aufgetragen wurden. Eingeriebene Hautareale reagierten ebenfalls mit einer thermographisch erfassbaren Temperaturerhöhung.

2.2.6.3 Touchieren

AUER et al. (1993) untersuchten den Einfluss instrumentierter Touchierstangen auf die distalen Abschnitte von Pferdegliedmaßen thermographisch. Auffällig war eine wiederkehrende charakteristische Temperaturverlaufskurve, sowohl an den touchierten als auch an den nichttouchierten Gliedmaßen. Es wurde sowohl geschlussfolgert, dass die thermographische Messmethode zuverlässig ist, als auch dass das Touchieren keine signifikanten Erwärmungen und demzufolge wahrscheinlich keine erwähnenswerten Schmerzzustände an den Gliedmaßen hervorruft.

2.2.6.4 Medikamente

ROSE et al. (1983) testeten die Wirkung von Isoxsuprin-Hydrochlorid Gaben während der Behandlung des Podotrochlosesyndroms. Sie thermographierten die Probanden nach der

Verabreichung des Medikaments und stellten 90-480 Minuten nach der Applikation eine Temperaturerhöhung um maximal 3,1°C fest. Sie schlossen daraus, dass der erkrankte Bereich durch die Verabreichung der vasodilatorisch wirkenden Substanz eine vermehrte Durchblutung erfährt.

SKARDA et al. (1986) stellten eine steigende Hauttemperatur nach einer Blockade des cervicothorakalen Ganglions mit Lidocain fest.

VAN HOOGMOED et al. (2000) untersuchten in ihrer Studie die Möglichkeit, mit der Thermographie auf die Gliedmaßen von Pferden aufgetragene und/oder subkutan eingebrachte Wirkstoffe nachzuweisen. Außerdem fertigten sie Thermogramme von Pferden an, die um ihre distalen Gliedmaßenabschnitte Bandagen mit metallischem Inhalt trugen. Sie stellten fest, dass die Wärmebilder inform einer Temperaturerhöhung von den physiologischen Temperaturmustern abwichen.

Weiterhin untersuchten VAN HOOGMOED und SNYDER (2002) die Möglichkeit, mit einer Thermographiekamera entzündungshemmende und analgetisch wirksame Injektionen an für Lahmheiten typischerweise ursächlichen anatomischen Regionen nachzuweisen. Nach der Leitungsanästhesie der medialen und lateralen Palmarnerven mit Bupivacain und Ammonium-Chlorid konnten sie thermographisch eine zunehmende Wärmebildung für 24 Stunden bzw. fünf Tage infolge einer Vasodilatation messen.

HOLMES et al. (2003) untersuchten den thermographischen Effekt perineuraler Anästhesien mit Mepivacain an den Vorderextremitäten sechs lahmfreier Pferde. Anders als VAN HOOGMOED und SNYDER (2002) stellten sie keine signifikante Temperaturerhöhung an den Gliedmaßen nach der Injektion fest.

CORNELISSEN et al. (2006) überprüften die Wirkung von Dexamethasoninjektionen auf das Wärmebild der Haut von neun Pferden. Sie stellten nach der Injektion eine deutliche Temperatursenkung fest, insbesondere nach der gleichzeitigen experimentellen Verabreichung eines vasokonstriktorisch wirkenden Sympathomimetikums. Daraus schlossen sie, dass bei Pferden, bei denen aufgrund unterschiedlicher Umstände eine erhöhte Konzentration eines Sympathomimetikums im Blut vorliegt, nach einer Dexamethasoninjektion aufgrund einer andauernden Durchblutungsreduktion das klinische Bild einer Hufrehe ausgelöst werden könne.

2.2.6.5 Neurektomie

PUROHIT (1980) thermographierte Pferde mit Neurektomien der Nn. digitales palmares/plantares lat./med. Er stellte fest, dass sich die kurze Zeit nach dem Eingriff eintretende Temperaturerhöhung innerhalb von drei bis sechs Wochen wieder normalisiert.

VAN HOOGMOED und SNYDER (2002) führten thermographische Messungen an sechs Pferden durch, die an einer Vordergliedmaße neurektomiert wurden und an deren kontralateraler Extremität lediglich ein Hautschnitt, in Länge und Tiefe identisch mit der Inzision des neurektomierten Beines, durchgeführt wurde. Sie maßen keine signifikanten Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Gliedmaßen bis zum 23. Tag nach der Operation.

2.2.6.6 Horner's Syndrom

Pferde mit Horner's Syndrom und Pferde, bei denen der Truncus vagosympathicus experimentell durchtrennt wurde, zeigen gegenüber gesunden Pferden deutliche Temperaturerhöhungen an der betroffenen Seite des Kopfes. Es handelt sich um Differenzwerte von 2° bis 3° Celsius. PUROHIT et al. (1980) führten diese thermographisch dargestellte Situation auf die Dysfunktion des Sympathicus und eine daraus resultierenden Vasodilatation zurück.

2.3 Diagnostische Anästhesien

Im Allgemeinen wird die lokale, diagnostische Anästhesie während der Lahmheitsuntersuchung des Pferdes eingesetzt, um die schmerzhafte Region an der betroffenen Gliedmaße zu lokalisieren (STASHAK 1989). Neben der klinischen Lahmheitsuntersuchung mit Anamnese, Adspektion in Ruhe und Bewegung, Palpation und den Provokationsproben gehört die diagnostische Anästhesie zu den ergänzenden Untersuchungsmethoden (GERWECK et al. 1994).

Die diagnostische Anästhesie kann als Leitungsanästhesie (perineurale Infiltrationsanästhesie), als Ringblock (zirkuläre Umspritzung), als Infiltrationsanästhesie eines empfindlichen Bereiches oder als Anästhesie synovialer Strukturen erfolgen (STASHAK 1989; GERWECK et. al. 1994; RIJKENHUIZEN 2001). Schon 1928 prüfte BOLZ die Anästhesiegebiete distal des Karpus und deren Relevanz in der Praxis und betonte, dass um das Ergebnis einer diagnostischen Anästhesie interpretieren zu können, eine genaue Kenntnis über die Innervationsgebiete der Nerven erforderlich ist. Die Ausschaltung des lahmheitsverursachenden Schmerzes aus den Strukturen distal der Injektionsstelle ist das Ziel der Leitungsanästhesie (RIJKENHUIZEN 2001).

Einen Hinweis, ob die Anästhesie gut platziert ist, geben das Ausbleiben der zu untersuchenden Lahmheit und die Reduktion der Hautsensibilität (RIJKENHUIZEN 2001). Der Verlust der Oberflächensensibilität ist allerdings nicht in jedem Fall ein Hinweis auf die Elimination der Tiefenempfindlichkeit (STASHAK 1989). Aufgrund dessen kann es nötig sein, zwischen der Injektion und einer erneuten Begutachtung des Patienten bis zu 20 Minuten zu warten (DYSON 1984). In der Regel tritt die Wirkung der Anästhesie allerdings schon nach drei bis zehn Minuten ein (RIJKENHUIZEN 2001).

DYSON (1984) weist darauf hin, dass bei der Integration der Leitungsanästhesie in die Lahmheitsuntersuchung immer berücksichtigt werden sollte, dass anatomische Varianten bestehen können und somit eine diagnostische Schlussfolgerung nicht auf jeden Patienten passt.

Die Nervenblockaden sollten in einer logischen Sequenz, in distoproximaler Reihenfolge entlang der Gliedmaße gesetzt werden (DYSON 1984; RIJKENHUIZEN 2001). Dabei ist die Anästhesie umso spezifischer, desto weiter distal sie gesetzt wird (DERKSEN 1980).

Zu den Vorbereitungen einer perineuralen Leitungsanästhesie gehört die Desinfektion der Injektionsstelle mit Alkohol. Dieser folgt die sterile Applikation des Anästhetikums (RIJKENHUIZEN 2001). Der ideale Untergrund zur Durchführung einer Lahmheitsuntersuchung, insbesondere zur Beurteilung des Patienten nach einer diagnostischen Anästhesie, sollte eben und hart sein (DYSON 1984).

2.3.1 Anatomie und Klassifizierung der Nervenfasern

Nerven werden anhand ihrer Funktion, ihrer Größe und nach dem Grad ihrer Myelinisierung in A-, B- und C-Fasern unterteilt.

Die myelinisierten A-Fasern werden nochmals in α - (motorische Neuronen und Propiozeptoren), β - (Mechanoafferenzen der Haut), γ - (Muskelspindeln) und δ -Fasern (Schmerz, Temperatur) klassifiziert. Sie sind zuständig für Motorik, Propiozeption, Reflexaktivität, Druck- und Berührungsimpulse, Muskeltonus und Temperaturempfinden (DAY u. SKARDA 1991; GRASTHUYS u. DE MOOR 2006).

B-Fasern sind ebenfalls myelinisiert und verlaufen präganglionär. Sie kontrollieren die glatte Muskulatur der Gefäße. Ihre Stimulation bedeutet Vasokonstriktion. Sie werden dem sympathischen Nervensystem zugeordnet (GRASTHUYS u. DE MOOR 2006).

C-Fasern sind nicht myelinisiert, verlaufen postganglionär und sind verantwortlich für Schmerz- und Temperaturempfinden (DAY u. SKARDA 1991).

Die Myelinscheide eines Nerven ist sowohl ein elektrischer, als auch ein pharmakologischer Isolator. Der Zugang für das Lokalanästhetikum an einem myelinisierten Nerv ist auf die Ranvierschen Schnürringe beschränkt. Aufgrund dessen ist für die Anästhesie eines

myelinisierten Nerven eine höhere Konzentration an Lokalanästhetikum notwendig als für nicht myelinisierte Nervenfasern (LUMB u. JONES 1984). Nach der Applikation eines Lokalanästhetikums werden die Nerven in der Reihenfolge B, C > A_γ > A_α, A_β deaktiviert (GRASTHUYS u. DE MOOR 2006).

2.3.2 Physiologie der Nervenfaser

Die Entstehung eines Impulses in Nervenzellmembranen erfolgt aufgrund eines Natriumionen-Einstromes in die Nervenzelle und die daraufhin eintretende Depolarisation der Zellmembran (HODGKIN u. HUXLEY 1952).

In Ruhe ist die Konzentration der Natriumionen außerhalb der Nervenzelle höher als innerhalb und es existiert ein Ruhemembranpotential von -70 mV. Bei Stimulation der Nervenfasern kommt es zu einem Natriumionen-Einstrom durch spannungsgesteuerte Natriumkanäle (STICHARTZ 1976). Dieser wird von einem schnellen Kaliumionen-Ausstrom gefolgt, der Repolarisationsphase. Der gesamte Vorgang wird „Aktionspotential“ genannt und dauert 1-2 msec (DAY u. SKARDA 1991).

Im Hinblick auf die Untersuchungen dieser Studie werden im Folgenden kurz die Leitungsstrukturen an der distalen Vordergliedmaße des Pferdes dargestellt. Außerdem wird sich auf die Erläuterung der Leitungsanästhesie in der Lahmheitsuntersuchung beschränkt. Zum genaueren Studium der diagnostischen Anästhesien wird auf die einschlägige Literatur verwiesen.

2.3.2.1 Leitungsstrukturen der distalen Vordergliedmaße des Pferdes

Im Wesentlichen wird die Pferdezehe der Schultergliedmaße durch den N. medianus und seine Hauptäste, den Nn. digitalis palmaris communis II und III innerviert (GERWECK 1994). Zwischen den lateral und medial verlaufenden Nerven existiert ein nervöser R. communicans (BUDRAS 1997). An der Mittelhand liegen V., A. und N. digitalis palmaris communis II und III zwischen den Beugesehnen und dem M. interosseus medius. Weiter distal am Fesselkopf gehen diese Leitungsstrukturen in A., V. und N. digitalis palmaris medialis und lateralis über. Sie geben mehrere Rami dorsales ab und etwa auf Höhe des Krongelenkes einen Ramus tori (BUDRAS 1997). Dieser innerviert die Bursa podotrochlearis, die Umgebung des Strahlbeines und die Ballen (GERWECK 1994).

Zusätzlich entlässt der N. ulnaris lateralis über dem Karpalgelenk einen Ramus dorsalis und medial einen Ramus palmaris, dessen oberflächlichen Anteile dem medial verlaufenden N. digitalis communis III zulaufen. Seine tiefen Anteile sind für die Innervation des M. interosseus medius zuständig und gehen weiter distal in die Nn. metacarpeus II (medial) und III (lateral) über (BUDRAS 1997).

2.3.3 Lokalanästhetika

Lokalanästhetika blockieren nach Applikation in die Umgebung von Nervenfasern den Einstrom von Natriumionen in die Nervenzelle. In höheren Konzentrationen wird zusätzlich die Permeabilität der Nervenzellmembran für Kaliumionen herabgesetzt. Die Entstehung des Aktionspotentials ist durch die Unterbrechung der Ionenströme nicht mehr möglich, somit findet keine Reizfortleitung statt und das Schmerzempfinden ist lokal aufgehoben (LÖSCHER 2006).

Definiert nach ihrer chemischen Struktur unterscheidet man zwischen Lokalanästhetika vom Ester-Typ und solchen vom Amid-Typ (DAY u. SKARDA 1991; LÖSCHER 2006).

Lokalanästhetika vom Ester-Typ wie das Cocain, das Procain und das Tetracain werden bereits im Blut von Esterasen abgebaut. Die Lokalanästhetika Lidocain, Bupivacain und Mepivacain sind solche vom Amid-Typ. Sie werden erst in der Leber metabolisiert und sind somit stabiler und länger wirksam (LÖSCHER 2006).

Lokalanästhetika besitzen eine lipophile und eine hydrophile Gruppe, mit denen sie sich in der axonalen Bilayermembran orientieren. Der lipophile Anteil ist für die Penetration und Diffusion in der Membran zuständig (DAY u. SKARDA 1991).

2.3.3.1 Pharmakologische Aktivität

Die Wirkungsstärke eines Lokalanästhetikums ist hauptsächlich von seiner Fettlöslichkeit abhängig, d.h. je höher die Fettlöslichkeit, desto stärker die anästhetische Potenz (GRASTHUYS u. DE MOOR 2006).

Der Wirkungseintritt wird durch den pK_a -Wert der Substanz bestimmt (pK_a -Wert = pH -Wert, bei dem die Substanz zur Hälfte in geladener und zur Hälfte in ungeladener Form vorliegt). Lokalanästhetika mit einem pK_a -Wert $> 7,4$, wie z.B. Procain, haben einen langsamen Wirkungseintritt (GRASTHUYS u. DE MOOR 2006).

Die Dauer der Wirkung eines Lokalanästhetikums hängt von seiner Proteinbindung und von der Geschwindigkeit seiner Resorption vom Applikationsort ab. Alle Lokalanästhetika, mit Ausnahme des Cocains, wirken gefäßerweiternd und werden daher in kurzer Zeit in die Blutbahn aufgenommen. Um dem entgegenzuwirken, werden sogenannte vasokonstriktorisch wirkende Sperrkörper wie Adrenalin und Noradrenalin eingesetzt (LUMB u. JONES 1984; DAY u. SKARDA 1991; LÖSCHER 2006).

2.3.3.2 Zusatz von anderer Wirkstoffen

➤ Vasokonstriktorisch wirkende Pharmaka

1903 entdeckte BRAUN, dass sich die Wirkungszeit eines Lokalanästhetikums bedeutend verlängert, wenn ihm Epinephrin-Hydrochlorid hinzugesetzt wird. Um der schnellen Resorption durch den gefäßerweiternden Effekt der meisten Lokalanästhetika entgegenzutreten und somit deren Wirkungsdauer zu verlängern sowie eine eventuelle Toxizität abzuschwächen, werden vasokonstriktorisch wirkende Stoffe (Adrenalin, Noradrenalin, Ornithin-Vasopressin), sogenannte Sperrkörper, eingesetzt (GRASTHUYS u. DE MOOR 2006). Durch den Zusatz eines Sperrkörpers wird zusätzlich die Gefahr systemischer Nebenwirkungen sowie einer Blutungsneigung reduziert. Allerdings ist zum einen die Toxizität des Lokalanästhetikums bei versehentlich intravasaler Injektion erhöht, zum anderen verlängert sich die Wundheilung im Operationsfeld (DYSON 1984; GRASTHUYS u. DE MOOR 2006; LÖSCHER 2006).

➤ Hyperbare Lösungen

Dextran (6-8,25%ig), Ammoniumsulfat (20%ig), Glukose (90%ig) oder die Verwendung öligiger Suspensionen können die Wirkungsdauer des Lokalanästhetikums deutlich erhöhen, indem die Resorption des Wirkstoffes erschwert wird (GRASTHUYS u. DE MOOR 2006).

➤ Hyaluronidase

Der Zusatz des Enzyms Hyaluronidase (5 U/ml) erhöht das Penetrationsvermögen des Lokalanästhetikums. Bei der Leitungsanästhesie von Nerven, die schwer erreichbar sind sowie bei Infiltrationsanästhesien von fibrösem Bindegewebe, kann der Zusatz von Hyaluronidase angeraten sein (GRASTHUYS u. DE MOOR 2006).

2.3.4 Leitungsanästhesien an der Vordergliedmaße

An der distalen Gliedmaße erfolgen Leitungsanästhesien meist am aufgehobenen Bein. In englisch sprachigen Regionen erfolgt die Injektion des Anästhetikums auch an der belasteten Gliedmaße. Hier wird die kontralaterale Extremität während der Applikation des Lokalanästhetikums hochgenommen (DYSON 1984).

2.3.4.1 Ramus pulvinus Anästhesie

Zu anästhesieren ist der Ramus pulvinus (Rr. tori der Nn. dig. med./lat.) beidseits axial des Hufknorpels (BUDRAS 1997). Eingestochen wird dabei parallel zur tiefen Beugesehne (TBS), ca. 4 cm tief. Lateral und medial werden ca. 3-4 ml 2%iges Anästhetikum injiziert (HERTSCH u. LANGFELDT 1988; STANEK u. GIRTNER 2002). Desensibilisiert sind folgende Strukturen:

Hufballen, palmarer Anteil des Hufgelenkes, Bursa podotrochlearis, Lig. sesamoideum impar, proximale Strahlbeinbänder, Strahl-, Sohlen-, Wandlerhaut, hinterer Abschnitt des Hufknorpels, palmarer Anteil des Hufbeins und distaler Teil der tiefen Beugesehne (LANGFELDT u. HERTSCH 1988; WISSDORF et al. 1998). LANGFELDT und HERTSCH (1988) empfehlen mit der Ramus pulvinus Anästhesie aufgrund ihrer Bedeutung in der Diagnostik des Podotrochlose-Syndroms zu beginnen.

2.3.4.2 Tiefe Palmarnerven-anästhesie (TPA ; Palmar Digital Nerve Block)

Die Injektion erfolgt mit 3-5 ml 2%igem Anästhetikum am inneren und äusseren Rand der oberflächlichen Beugesehne, im proximalen Drittel der Fesselbeuge. Hier lassen sich Vene, Arterie und Nerv palpieren (STASHAK 1989; WISSDORF et al. 1998).

Zu den desensibilisierten Strukturen der R. pulvinus Anästhesie kommen der dorsale Anteil des Hufbeins, der palmare Teil des Krongelenks, das Lig. sesamoideum rectum, die Ligg. sesamoidea obliqua, der distale Anteil der oberflächlichen Beugesehne, die vierzipflige Fesselplatte und der distale Teil der Fesselbeugesehnenscheide hinzu (WISSDORF et al. 1998; RIJKENHUIZEN 2001).

2.3.4.3 Mittlere Palmarnerven-anästhesie (MPA; Abaxial Sesamoid Nerve Block)

Die Anästhesie der Nn. dig. palm. lat. und med. erfolgt am proximalen Rand der Gleichbeine mit 5-8 ml Lokalanästhetikum. Anästhesierte anatomische Strukturen sind die distal des Fesselgelenkspaltes und evt. die distalen Anteile des Fesselgelenkes (ZELLER 1978).

Der Abaxial Sesamoid Nerve Block, wie er in den Vereinigten Staaten durchgeführt wird, erfolgt am basalen Rand der Gleichbeine. Pro Seite werden 2 ml Anästhetikum injiziert (DYSON 1984; STASHAK 1989).

2.3.4.4 Interosseusanästhesie (IOA)

Die Injektionsstelle der IOA liegt etwa handbreit über dem Fesselgelenk, zwischen M. interosseus medius und Griffelbein. Injiziert werden etwa 4 ml Lokalanästhetikum. Blockiert werden die Nn. dig. palm. lat. und med. und der N. metacarpeus lat. und med.. Durch die Interosseusanästhesie werden die palmaren Fesselgelenkanteile und die Gleichbeine anästhesiert (GERWECK 1994; WISSDORF u. HERTSCH 1998).

2.3.4.54-Punkt-Block

Diese Anästhesie wird vor allem im englischsprachigen Raum anstelle der IOA ausgeführt. Anästhesiert werden die Nn. palmares und die Nn. metacarpei palmares (STASHAK 1989). An den Griffelbeinknöpfchen werden die Nn. metacarpei palmares mit 2-3 ml Anästhetikum betäubt und die Nn. palmares anästhesiert man fingerbreit oberhalb der Gleichbeine mit 3 ml Lokalanästhetikum (LUMB u. JONES 1984).

Zu den anästhesierten Strukturen gehören:

Tiefe Beugesehne, oberflächliche Beugesehne, distaler Teil des M. interosseus medius, der distale Anteil des Metakarpus sowie alle Strukturen distal von diesem (STASHAK 1989; SCHMOTZER u. TIMM 1990).

2.3.4.6 Hohe Palmarnervenästhesie (HPA)

Eingestochen wird lateral im proximalen Drittel des Röhrlbeins oberhalb des R. communicans zwischen tiefer Beugesehne und M. interosseus medius. Das erste 2 ml Depot wird medial subkutan gesetzt. Danach wird die Nadel zurückgezogen und das zweite Depot subfaszial gespritzt. Nach einem erneuten Zurückziehen nach lateral wird ein drittes 2 ml Depot subfaszial gesetzt und das letzte subkutan lateral.

Die desensibilisierten Strukturen entsprechen denen der IOA, hinzukommen der proximale Teil des M. interosseus medius, der oberflächlichen Beugesehne sowie der tiefen Beugesehne außerdem Anteile der Karpalbeugesehnenscheide (DERKSEN 1980; KEG et al. 1996; RIJKENHUIZEN 2001).

2.3.4.7 Anästhesie des Nervus palmaris lateralis

Diese diagnostische Leitungsanästhesie wird v.a. bei Pferden, bei denen die Vermutung auf einen Schaden am Ursprung des Musculus interosseus medius vorliegt und bei denen die Hohe Palmarnervenästhesie keine komplette Lahmheitsfreiheit erbracht hat, angewendet. Dazu werden 5ml Anästhetikum zwischen den distalen Rand des Os carpi accessorium und das laterale Griffelbeinköpfchen an den palmaren Rand des Ligamentum accessoriummetacarpeum injiziert. In Zusammenhang mit der HPA werden die tiefen und oberflächlich liegenden Strukturen distal der Injektionsstelle anästhesiert (STASHAK 1989).

2.3.4.8 N. Medianusanästhesie

Die Anästhesiestelle des N. medianus liegt an der Palmarfläche des Radius, 5 cm distal des Ellenbogengelenkes (GERWECK et al. 1994). Der Nerv verläuft zwischen dem M. flexor carpi radialis und der tiefen Beugesehne nach distal. Die Kanüle wird in Richtung des Radius

nach dorsomedial geführt, um 10 ml Lokalanästhetikum zu platzieren (SCHMOTZER u. TIMM 1990).

Über das Anästhesiegebiet ist in der Literatur keine genaue Angabe zu finden. Jedoch ist es mit dem anästhesierten Gebiet der HPA zu vergleichen. Selten ist eine Indikation für diese Anästhesie gegeben (RIJKENHUIZEN 2001).

2.3.4.9 N. Ulnarisanästhesie

Die Anästhesie des N. ulnaris erfolgt am belasteten Bein, in Höhe der Kastanie zwischen M. extensor carpi ulnaris und M. flexor carpi ulnaris. In ca. 1 cm Tiefe werden 10 ml Anästhetikum deponiert (WISSDORF et al. 1998).

Anästhesiert sind das Vorderfußwurzelgelenk, Teile der Karpalbeugesehnsenscheide, das Os carpi accessorium, der M. interosseus medius, die lateralen Hautpartien der Vordergliedmaße sowie alle distal liegenden Strukturen (STASHAK 1989; STANEK u. GIRTNER 2002).

2.3.4.10 Anästhesie des N. cutaneus antebrachii

An der medialen Fläche des Unterarms auf halber Strecke zwischen Ellenbogen- und Vorderfußwurzelgelenk, kranial der V. cephalica und der V. cephalica accessoria werden die beiden Äste des N. cutaneus antebrachii medialis anästhesiert. Da der Verlauf des Nervs variieren kann, bietet es sich an, das subkutane Gewebe kranial und kaudal der V. cephalica mit etwa 5 ml Anästhetikum zu unterspritzen (STASHAK 1989).

2.3.5 Leitungsanästhesien an der Hintergliedmaße

Prinzipiell wird an der Hinterextremität distal des Sprunggelenkes analog der Vordergliedmaße distal des Vorderfußwurzelgelenkes anästhesiert. Berücksichtigt werden muss allerdings, dass zusätzliche Äste des N. peroneus (fibularis) das Kron-, das Huf- und das Fesselgelenk innervieren. Hier müssen ergänzende Anästhesien gesetzt werden (GERWECK et al. 1994). Proximal des Sprunggelenkes werden der Nervus Fibularis und der Nervus anästhesiert. Zum Studium der Indikation und Durchführung dieser Leitungsanästhesien wird auf die einschlägige Literatur verwiesen.

2.4 Neurektomie

Die Neurektomie wird als eine der ältesten chirurgischen Eingriffe am Pferd beschrieben. Die Durchtrennung insbesondere der palmaren bzw. der plantaren digitalen Nerven ist eine palliative Methode zur Behandlung chronischer Lahmheiten, die ihren Ursprung im distalen Gliedmaßenabschnitt haben (HARDY 2006).

Zum Erlangen der Nervendesensibilisierung wurden bereits einige Methoden, wie die Kryotherapie (SCHNEIDER 1985), die lokale Injektion langwirksamer Anästhetika (HARDY 2006), die Verabreichung von Zytostatika sowie die Nervenblockaden mittels Alkohol und Ammonium-Chlorid (FUBINI 1988; VAN HOOGLMOED u. SNYDER 2002) untersucht. Die Dauer der Desensibilisierung nach der lokalen Verabreichung langwirksamer Anästhetika oder Alkohol hält HARDY (2006) mit Zeiträumen um die drei Monate für unzureichend. Die Methode der Wahl zur dauerhaften Desensibilisierung der distalen Gliedmaße ist für HARDY (2006) das chirurgische Abtrennen eines Nervenstücks.

2.4.1 Indikationen

Die präoperative Untersuchung muss eine korrekte Einschätzung des Ursprungs der Lahmheit zum Ziel haben. Die Anästhesie des Ramus pulvinus bzw. die Tiefe Palmarnervenanaästhesie sollte positiv ausfallen (LANGFELDT u. HERTSCH 1988; HARDY 2006). Die röntgenologische, sonographische und ggf. die magnetresonanztomographische Untersuchung sollten die Diagnose so präzise wie möglich ausfallen lassen um die Komplikationen, die nach einem Nervenschnitt auftreten können so gering wie möglich zu halten.

FUBINI et al. (1988) neurektomierten 28 Pferde, die eine dauerhaft bestehende Lahmheit aus den distalen Abschnitten der Gliedmaße aufwiesen. Ursächlich hierfür waren das Podotrochlose-Syndrom, degenerative Veränderungen des Hufgelenkes und Neurom-Zubildungen nach vorangehenden Neurektomien. Krankheitszustände wie das Podotrochlose-Syndrom verursachen nach Meinung von FUBINI et al. (1988) in einem ausreichenden Maß Schmerz und Lahmheit, so dass eine Neurektomie der digitalen palmaren bzw. plantaren Nerven erforderlich werden kann.

2.4.2 Chirurgische Techniken und Alternativen

Im Laufe der Zeit wurden unterschiedliche Techniken zur Neurektomie der palmaren und plantaren digitalen Nerven beim Pferd beschrieben. Grundsätzlich ist es möglich, die Operation sowohl am stehenden, sedierten Patienten, als auch am in Seiten- oder Rückenlage gelagerten Pferd in Vollnarkose durchzuführen (HARDY 2006).

Der Eingriff am stehenden Patienten ist mit einem geringen Zeitaufwand durchzuführen und Komplikationen im Zusammenhang mit einer allgemeinen Anästhesie werden ausgeschlossen. Bei der Durchführung der Operation am narkotisierten Pferd hat die Lagerung des Pferdes in Rückenlage gegenüber der Seitenlage den Vorteil, dass der Patient, um die lateral und die medial verlaufenden Nerven zu resezieren, nicht während des Eingriffs umgelagert werden muss. Zusätzlich ist die Blutungsneigung verringert (HARDY 2006).

Die Guillotine Technik ist die gebräuchlichste chirurgische Methode, eine Neurektomie durchzuführen. Die Elektrokoagulation, das Einsetzen elastischer Schläuche, das Umhüllen des Nervenstumpfes mit Epineurium sowie das Ligieren des Nervs sind Methoden, um die Gefahr einer Reinnervation oder einer Neurombildung zu reduzieren (LOSE u. HOPKINS 1976; HARDY 2006).

Als eine erwähnenswerte Alternative zur klassischen Neurektomie befinden SCHNEIDER et al. (1985) die Kryoneurektomie. Hier werden die digitalen Nerven entweder direkt nach der chirurgischen Präparation mit der Kryode in Kontakt gebracht oder die Kryode wird auf die intakte Haut gedrückt, bis der Nerv an der Haut fixiert ist und die umliegenden Strukturen nicht mehr verschieblich sind. STASHAK (1989) hält die Kryoneurektomie lediglich für eine geeignete Maßnahme um Zeit für sachgemäße Versorgung des Hufes zu gewähren. Als Grund nennt er den ungewissen Erfolg, da Nachwachsen weißer Haare sowie die kurze Wirkungskundauer von 2 bis 4 Monaten. Die direkte chirurgische Unterkühlung der Nerven zeigt einen wesentlich länger andauernden Effekt als die perkutane Methode (SCHNEIDER et al. 1985).

Eine weitere Alternative bietet die perineurale Injektion von Neurotoxinen sowie Chemikalien (VAN HOOGLMOED u. SNYDER 2002). Die Behandlung des proximalen Nervenstumpfen mit einem CO₂ Laser wird angewendet, um das Risiko von Neurombildungen zu minimieren (HAUGLAND et al. 1992).

Im folgenden Text wird nur die gebräuchlichste chirurgische Methode, die Guillotine Technik, genauer erläutert. Diese kann grundsätzlich sowohl über zwei kleine Hautschnitte als auch über eine große Inzision, in der Region des Fesselbeins oder am Metakarpus bzw. Metatarsus durchgeführt werden (HARDY 2006). Zur Erläuterung alternativer chirurgischer Techniken wird auf die einschlägige Literatur verwiesen.

2.4.3 Guillotine Technik

2.4.3.1 Neurektomie über einen Hautschnitt

Bei einem chirurgischen Eingriff in allgemeiner Anästhesie wird das Pferd entweder in Rücken- oder in Seitenlage auf dem Operationstisch gelagert und das Operationsfeld wird nach chirurgischen Kautelen gesäubert und desinfiziert (HARDY 2006). STASHAK (1989) beschreibt den Eingriff am stehenden Pferd unter Sedation und lokaler Anästhesie.

Der Nerv ist palmar bzw. plantar der Arterie, medial und lateral in der Fesselregion durch die Haut zu palpieren. Am dorsalen Rand der oberflächlichen Beugesehne wird ein 4 cm (STASHAK 1989) oder 6-8 cm (HARDY 2006) langer Schnitt durch Haut und subkutanes Gewebe gesetzt. Der Nerv wird aus dem neurovaskulären Bündel stumpf freipräpariert. Die subkutan liegende Spornsehne kann zur Seite geschoben werden. Es muss sorgfältig nach akzessorischen Ästen des N. digitalis palmaris gesucht werden (STASHAK 1989). Der Nerv selbst befindet sich in einer Tiefe von etwa 1 cm. Nach der sicheren Identifikation des Nervs kann dieser durchtrennt werden. Der Nerv wird erst angezogen, um dann proximal durchtrennt zu werden. Mit der Durchtrennung wird ein ca. 2 cm langes Segment entfernt. Danach wird die Unterhaut mit resorbierbarem Nahtmaterial und die Haut mit einem nichtresorbierbaren Faden und mittels Einzelheften verschlossen (STASHAK 1989; HARDY 2006).

2.4.3.2 Neurektomie über zwei Hautschnitte

HARDY (2006) beschreibt den Eingriff wie folgt:

Der distale Hautschnitt erfolgt in der distalen Fesselregion, am Übergang zum Kronrand. Der proximale Hautschnitt wird am oberen Ende der Fessel, an der Grenze zum Fesselgelenk gesetzt. Die Inzisionen sollten eine Länge von 1,5 cm haben. Der Nerv wird stumpf von Unterhautgewebe, Blutgefäßen und Spornsehne getrennt. Durch die distale und die proximale Hautöffnung wird er scharf durchtrennt und das entstandene Nervensegment wird herausgenommen. Nachdem sämtliches neuronales Gewebe entfernt ist, wird die Unterhaut mit einer fortlaufenden Naht und die Haut mit Einzelheften verschlossen (HARDY 2006).

2.4.3.3 Hohe laterale und mediale palmare Neurektomie

Da die Strukturen, die von den dorsalen und palmaren/plantaren Ästen der Nn. digitales palmares lat./med. innerviert werden, bei den betroffenen Patienten chronische Krankheitsprozesse aufweisen, sollten bei der hohen Neurektomie afferente und efferente Nerven proximal der Aufspaltung in dorsal und palmar/plantar verlaufende Nervenäste durchtrennt werden. Die Nervenäste sind proximal der Beugesehnenscheide gut zu lokalisieren. In der betroffenen Region herrscht ein relativ geringes Maß an Bewegung, so dass die Gefahr einer Traumatisierung des Nervenstumpfs gering ist. Präparation, Durchtrennung, Segmentgröße sowie Hautverschluss und Nachsorge erfolgen analog der tiefen Neurektomie (HARDY 2006).

STASHAK (1989) hält eine hohe Neurektomie der Nn. digitales palmares lat./med. für nicht empfehlenswert, da es nach dem Eingriff zum Ausschlagen kommen kann. Er macht jedoch nicht die fehlende Innervation des distalen Gliedmaßenabschnittes für diese Komplikation verantwortlich, sondern die Einengung der palmaren Arterie durch exzessive Narben- und/oder Neurombildung und die daraus resultierende Mangelversorgung des distalen Gliedmaßenabschnitts.

2.4.4 Nachsorge

Die postoperative Betreuung neurektomierter Patienten beinhaltet das Anlegen eines Verbandes für 10 bis 12 Tage, bis das Nahtmaterial entfernt werden kann. Die Pferde sollten vier (HARDY 2006) bis sechs Wochen (STASHAK 1989) Arbeitsruhe erhalten und innerhalb weiterer vier Wochen systematisch rekonditioniert werden.

2.4.5 Komplikationen nach Neurektomien

Typische Komplikationen im Zusammenhang mit Neurektomien der palmaren/plantaren digitalen Nerven sind die Neuombildung, die Reinnervation durch die Nn. digitales palmares/plantares, die unvollständige Schmerzausschaltung im Trachtenbereich und das Ausschühen aufgrund exzessiver Narbenbildung im Bereich der digitalen Arterie (STASHAK 1989). Weitere unerwünschte Folgen der Hufdesensibilisierung sind nicht diagnostizierte Hufabszesse, Rupturen der tiefen Beugesehne und Luxationen des Hufgelenkes (HARDY 2006).

Die Desensibilisierung des gesamten Akropodiums durch eine hohe Neurektomie kann zu einer signifikanten Osteolyse des Hufbeins führen und Frakturen zur Folge haben. TAYLOR und VAUGHAN (1980) untersuchten die Ursachen für nach Neurektomien auftretende Nekrosen in der Pferdezehe. Sie verzeichneten ein verändertes arterielles Muster und eine aus der verringerten Durchblutung resultierende verschlechterte Knochenqualität bei neurektomierten Pferden. Die Hauptgründe auftretender Nekrosen seien nicht diagnostizierte Traumata und/oder Infektionen.

MURRAY et al. (1994) überprüften aufgrund etwaiger Komplikation nach Neurektomien die Wirkung von Hyaluronsäureapplikationen an die Nervenstümpfe. Sie stellten keine signifikante Verbesserung der postoperativen Zustände fest. Weitere Behandlungsmethoden von Neuomen sind systemisch verabreichte Entzündungshemmer und lokale Glukokortikoidinjektionen. Einige Erfolge waren nach äußerlichen Anwendungen mit Dimethylsulfoxid zu verzeichnen. FUBINI et al. (1988) untersuchten den Langzeiterfolg von Neurektomien mit begleitenden Doxorubicin-Injektionen in die Nervenstümpfe. Die meisten Probanden waren von Wundheilungsstörungen betroffen, so dass FUBINI die Doxorubicin-Injektion nicht als Begleitmaßnahme der Wahl befand.

MAHER et al (2008) veröffentlichte die Ergebnisse über eine retrospektive Studie über 41 Pferde an denen mittels der „Pull through“ Technik die palmaren digitalen Nerven chirurgisch durchtrennt wurden. 88% der Probanden waren spätestens ein Jahr nach dem Eingriff lahmheitsfrei.

3 Material

Diese Studie wurde im Zeitraum von Mai 2005 bis Juni 2006 in der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der Freien Universität Berlin, Oertzenweg 19 B 14163 Berlin durchgeführt.

Im Rahmen der Untersuchung wurden 32 Wallache, 25 Stuten und vier Hengste thermographisch untersucht, die sowohl poliklinische als auch stationäre Patienten bzw. Eigentum der Pferdeklinik waren. Von den insgesamt 61 Pferden wurden 32 Probanden im Rahmen einer Lahmheitsuntersuchung diagnostisch anästhesiert. Bei weiteren 20 thermographisch untersuchten Pferden wurde unterschiedlich lange Zeit vor den Untersuchungen eine Neurektomie der digitalen Palmarnerven durchgeführt. Neun Probanden dienten als Kontrollpferde.

Es handelte sich um 54 Warmblüter, einen Vollblüter, ein Pony, vier Traber und einen Haflinger in einem Alter zwischen vier und 20 Jahren. Überwiegend wurden die Pferde im Freizeitbereich eingesetzt, einige wurden in Dressur- bzw. Springprüfungen vorgestellt.

Dabei wurden nur Pferde in die vorliegende Untersuchung mit aufgenommen, deren Lahmheitsursache im distalen Bereich der Vordergliedmaßen, inklusive Huf exklusive Vorderfußwurzelgelenk, lag. Neurektomierte Patienten, die aufgrund einer erneuten Lahmheit vorgestellt wurden und ebenso Pferde, die für die weiterführende Diagnostik medikamentell ruhiggestellt werden mussten, wurden nicht in die Untersuchung mit aufgenommen. Pferde, die mit Zehenverbänden behandelt wurden oder eine Salbeneinreibung der Haut erfahren hatten und bei denen es nicht möglich war, diese mindestens zwei Stunden vor der thermographischen Untersuchung zu entfernen, wurden ebenfalls aus der Studie ausgeschlossen. Ebenso wurden Pferde, die einseitig geschoren waren, deren Beine starke Verschmutzungen aufwiesen oder bei denen der aufgeführte Untersuchungsgang aus unterschiedlichen Gründen nicht eingehalten werden konnte, nicht in die Studie mit einbezogen. Ausgeschlossen wurden außerdem Pferde, an denen eine Gelenkanästhesie durchgeführt wurde.

3.1 Untersuchungsgruppen

Die 61 Pferde dieser Studie wurden in folgende Gruppen eingeteilt:

1. Gruppe 1A
Pferde, die im Rahmen einer Lahmheitsuntersuchung ausschließlich eine Tiefe Palmarnervenanästhesie an einer Vorderextremität erhielten (n=16)
2. Gruppe 1B
Pferde, die im Rahmen einer Lahmheitsuntersuchung verschiedene diagnostische Anästhesien an einer Vorderextremität erhielten (n=14)
3. Gruppe 1C
Pferde, die im Rahmen einer Lahmheitsuntersuchung an beiden Vordergliedmaßen unterschiedliche diagnostische Anästhesien erhielten (n=2)
4. Gruppe 2A
Pferde, die an einer Vordergliedmaßen neurektomiert wurden (n=15)
5. Gruppe 2B
Pferde, die an beiden Vordergliedmaßen neurektomiert wurden (n=5)

6. Gruppe 3
Kontrollpferde

(n=9)

3.1.1 Gruppe 1A

Gruppe 1A umfasst 16 Pferde, die aufgrund einer Lahmheit aus dem distalen Vordergliedmaßenabschnitt einer Vorderextremität an der Klinik für Pferde der Freien Universität Berlin vorgestellt wurden. Im Rahmen der Lahmheitsuntersuchung wurden diese Patienten ausschließlich mit einer TPA diagnostisch anästhesiert.

15 Pferde dieser Gruppe gehörten verschiedenen Warmblutrassen an und eines war ein Islandpferd. Dabei lag das Alter der Pferde zwischen vier und 18 Jahren. Es handelte sich um sechs Stuten, acht Wallache und zwei Hengste.

Von den insgesamt 16 Pferden zeigten zehn Probanden eine Lahmheit auf dem linken und sechs auf dem rechten Vorderbein.

3.1.2 Gruppe 1B

Die 14 Pferde der Gruppe 1B wurden ebenfalls aufgrund einer Lahmheit aus dem distalen Gliedmaßenabschnitt einer Vorderextremität in der Klinik für Pferde vorgestellt. Während der Lahmheitsuntersuchung erhielten die Probanden dieser Gruppe verschiedene diagnostische Leitungsanästhesien.

Unter den insgesamt 14 Pferden dieser Gruppe waren zwei Traber und die restlichen zwölf teilten sich auf die üblichen Warmblutrassen auf. Es handelte sich um sieben Stuten und sieben Wallache, in einem Alter zwischen vier und 20 Jahren.

Acht Pferde zeigten eine Lahmheit auf der linken und sechs auf der rechten Vorderextremität.

3.1.3 Gruppe 1C

Gruppe 1C umfasst zwei Pferde, die aufgrund einer Lahmheit auf beiden Vordergliedmaßen in der Klinik für Pferde vorgestellt wurden. Im Rahmen der Lahmheitsuntersuchung sind verschiedene diagnostische Anästhesien an beiden Vorderbeinen durchgeführt worden.

Es handelte sich um eine Stute und einen Wallach, die den gängigen Warmblutrassen angehörten und deren Alter zwischen zehn und zwölf Jahren lag.

3.1.4 Gruppe 2A

Gruppe 2A umfasst 15 Pferde, an denen aufgrund einer einseitigen chronischen Lahmheit aus dem distalen Vordergliedmaßenabschnitt eine Neurektomie der Nervi digitales palmares med./lat. durchgeführt wurde. Am Tag der thermographischen Untersuchung waren alle Probanden dieser Gruppe lahmheitsfrei.

13 Pferde gehörten verschiedenen Warmblutrassen an, die übrigen zwei teilten sich auf die Rassen „Englisches Vollblut“ und „Haflinger“ auf. Das Alter der Pferde lag zwischen fünf und 20 Jahren. Es handelte sich um sechs Stuten, acht Wallache und einen Hengst. Zehn Pferde waren an der linken, und fünf an der rechten Vorderextremität neurektomiert.

Zum Datum der thermographischen Untersuchung lagen die Operationen 14 Tage bis fünf Jahre zurück. In Tabelle 3.1 sind die Zeitabstände, die zwischen Operation und thermographischer Untersuchung der Pferde der Gruppe 2A lagen aufgeführt.

Tabelle 3.1 Operationszeitpunkte Gruppe 2A

Thermographie	Lfd. Nummer des Pferdes
14 Tage bis acht Wochen nach der Neurektomie	36, 40, 41, 42, 48
Sechs bis elf Monate nach der Neurektomie	34, 35, 38, 39, 43
Über 12 Monate bis maximal fünf Jahre nach der Neurektomie	45, 46, 47, 51, 53
Anzahl Pferde gesamt	15

3.1.5 Gruppe 2B

Die Gruppe 2B umfasst fünf Pferde, die aufgrund einer chronischen Lahmheit aus dem distalen Vordergliedmaßenabschnitt an beiden Vorderextremitäten neurektomiert wurden. Am Tag der thermographischen Untersuchung waren alle Probanden dieser Gruppe lahmheitsfrei.

Die Pferde dieser Gruppe gehörten den üblichen Warmblutrassen an. Ihr Alter lag zwischen 14 und 20 Jahren. Dabei handelte es sich um drei Stuten und zwei Wallache.

Die zeitlichen Abstände zwischen Operation und thermographischer Untersuchung der Probanden der Gruppe 2B variierten von 12 Monaten bis zu vier Jahren. Die Neurektomien beider Vorderextremitäten wurden dabei bei allen Pferden in einer Sitzung durchgeführt. In Tabelle 3.2 sind die unterschiedlichen Zeitabstände zwischen Neurektomie der jeweiligen Gliedmaße und thermographischer Untersuchung aufgeführt.

Tabelle 3.2 Operationszeitpunkte Gruppe 2B

Thermographie	Lfd. Nummer des Pferdes
Sechs bis elf Monate nach der Neurektomie	44, 50, 52
Über 12 Monate bis maximal fünf Jahre nach der Neurektomie	37, 49
Anzahl Pferde gesamt	5

3.1.6 Gruppe 3

Die Pferde der Gruppe 3 bilden die Kontrollgruppe. Sie umfasst neun Pferde, die sich zur ambulanten Behandlung in der Klinik für Pferde befanden oder Eigentum dieser waren und bei denen keine Erkrankung der Gliedmaßen festgestellt werden konnte.

Die Gruppe setzt sich aus zwei Stuten, sechs Wallachen und einem Hengst zusammen. Die Pferde waren zwischen fünf und 20 Jahren alt. Sieben Pferde gehörten einer üblichen Warmblutrasse an, die anderen beiden waren Traber.

4 Methode

4.1 Thermographische Untersuchung

4.1.1 Kamera Varioscans Compact 3011

Für die thermographischen Untersuchungen dieser Studie wurde die Infrarot-Thermographiekamera „Varioscans Compact 3011“ der Firma JENOPTIK¹ verwendet. Das Gerät wurde mir für diese Studie von der Klinik für Pferde der Freien Universität Berlin zur Verfügung gestellt.

Betrieben wird die Kamera mit einem 12 V Internakku oder mit einem 230 V Netzteil. Am Boden des Gerätes kann ein Stativ befestigt werden. Das Gerät arbeitet in einem Wellenlängenbereich von 8-12 µm. Ein zweidimensionaler Spiegelscanner tastet das zu untersuchende Objekt ab. Das Wärmebildsystem arbeitet nach dem Prinzip des objektseitigen Scannings.

Der Horizontalscanner tastet das Objekt zeilenweise ab, wobei mit einer Abtastfrequenz von 135 Hz je 300 Pixel in Vor- und Rücklauf aufgenommen werden. Dieser Scanner arbeitet als sogenannter Resonanzschwinger und wird von einem Gleichstrommotor angetrieben.

Der Vertikalscanner ist für den Aufbau des Bildes aus 200 Zeilen verantwortlich. Die Bildinformation wird durch eine Abbildungsoptik auf den Detektor fokussiert. Damit das Objekt in unterschiedlichen Abständen fokussiert werden kann, wird die Abbildungsoptik axial verschoben. Dabei kann ein Kamera-Objekt-Abstand zwischen 0,2 m und unendlich gewählt werden.

Nachdem jeweils ein Bild aufgenommen wurde wird ein Referenzstrahler (Syn. Chopper) in den Strahlengang eingebracht. Seine Temperatur wird durch ein Thermoelement gemessen. Durch den Vergleich der Temperatur des Referenzstrahlers mit der Strahlungsintensität des Objektes ist eine online-Temperaturmessung möglich.

Mit 16 Bit wird das verstärkte Detektorsignal digitalisiert, um mit einer Auflösung von 8 Bit visualisiert zu werden. Zur Darstellung der Thermogramme stehen 256 verschiedene Farben zur Verfügung, von denen jede einer bestimmten Temperatur entspricht.

Der Empfänger des genutzten Messsystems wird mit flüssigem Stickstoff gekühlt. Der Temperaturbereich, in dem gemessen werden kann liegt zwischen -40°C und +1200°C, bei einer Temporaufauflösung von +/- 0,03°K. Das entstandene Bild besteht aus 200 Zeilen und 300 Pixeln pro Zeile. Alle 0,8 Sekunden kann ein Bild aufgebaut werden. Die Kamera hat ein Objektfeld von 30° horizontal und 20° vertikal. Sie verfügt über einen Autofokus und sechs Zoomstufen (Anonymus 1989).

4.1.2 Datenerfassung und Datenspeicherung

Die Patientendaten und die Ergebnisse der Lahmheitsuntersuchung wurden anhand eines „Krankenblattes“ protokolliert.

Bei den insgesamt 32 Pferden, die aufgrund einer Lahmheit in der Klinik für Pferde der FU Berlin vorgestellt wurden, notierte der Untersuchende Anamnese, Dauer, Art und Grad der Lahmheit. Außerdem verzeichnete er Lokalisation, Art und Menge des für die diagnostische Leitungsanästhesie angewandten Lokalanästhetikums. Zusätzlich wurden Besonderheiten, wie auffällige Hufformen, Narbenbildungen etc. aufgenommen.

¹ InfraTec GmbH, Infrarotsensorik und Messtechnik, Gostritzer Straße 61- 63, 01217 Dresden

Für die 20 neurektomierten Pferde sowie für die neun Pferde der Kontrollgruppe wurden ebenfalls Krankenblätter der Klinik erstellt, auf denen Anamnese sowie Befunde und Therapie verzeichnet waren.

Zusätzlich wurde für jede Untersuchungsgruppe ein Befunderhebungsbogen entworfen. Hier wurden die für die thermographische Untersuchung relevanten Umstände festgehalten. Hierzu gehörten u. a. die Außentemperatur, die Dauer des Transportes, der Zeitpunkt der Neurektomie und die Ausprägung des Fesselbehanges.

Bei der Thermographiekamera „Varioscan Compact 3011“ besteht die Möglichkeit, die Thermogramme auf einem internen Bildspeicher abzulegen oder diese auf einer PC/MIA-Memory-Card zu sichern. Es ist möglich, jeder Aufnahme während der Untersuchung einen Namen, in einem Umfang von fünf Buchstaben zu zuordnen. Die folgenden Bilder erhalten dann vom System eine fortlaufende Nummer. Jedes Bild führt zudem das Datum und die Uhrzeit der Untersuchung mit. Dadurch wird die Archivierung der Thermogramme vereinfacht. Anschließend werden die Thermogramme auf einem universitätsinternen Computer abgelegt. Hier können die Daten der Patienten vervollständigt werden.

4.1.3 Datenverarbeitung

Die auf der PC/MIA-Memory-Card gespeicherten Thermogramme wurden über ein Laufwerk auf einen Computer übernommen. Dort war es möglich, die Bilder mit einer Thermographiesoftware² zu bearbeiten. Die Bilder konnten hier mit den wichtigsten Daten des Patienten und gegebenenfalls mit einem Kommentar abgelegt werden.

Mit dem Infrarot-Thermographie-Bearbeitungsprogramm IBRIS[®] können zehn Messpunkte definiert und in einer nebenstehenden Tabelle aufgeführt werden. Außerdem ist es möglich, die Durchschnittstemperatur ganzer Bildausschnitte berechnen zu lassen. Die Maximal- und die Minimaltemperatur können mittels Cursor bestimmt und/oder in einer Tabelle oder am unteren Bildrand angezeigt werden. Das Programm kann zusätzlich die Durchschnittstemperaturen und deren Standardabweichungen ermitteln. Bei der Beurteilung der Aufnahmen ist es möglich, sich die gemessenen Temperaturen in Grad Celsius, Grad Fahrenheit oder in Kelvin angeben zu lassen. Neben der Möglichkeit, die Thermogramme mit Farben der üblichen Farbpalette darzustellen, können die Bilder in schwarz/weiß, weiß/schwarz und in der farblichen Darstellung „Eisen“ beurteilt werden.

Um gegebenenfalls Kontraste besser darzustellen, können über eine Extrafunktion des Programms manuell Temperaturbereiche eingegeben werden. Die erstellten Thermogramme können bei Bedarf ausgedruckt werden.

4.1.4 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum hatte eine Größe von etwa 35 m². Er war frei von Zugluft und seine Fenster waren abdunkelbar, so dass die Pferde vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt waren. Alle Pferde dieser Studie erhielten vor Beginn der thermographischen Untersuchung zehn bis 15 Minuten Zeit, sich im Untersuchungsraum zu akklimatisieren. Die Raumtemperatur lag während der thermographischen Messungen zwischen 15°C und 22°C. Die Thermogramme wurden ausschließlich in den Vormittagsstunden angefertigt.

² IBRIS[®] V2.0, VarioScan1

4.1.5 Aufnahmetechnik

Vor der thermographischen Untersuchung wurde darauf geachtet, dass die Gliedmaßen der Probanden sauber und deren Fell, insbesondere der Behang in einer einheitlichen Länge vorgefunden wurde. Leichte Verschmutzungen wurden mit einer Bürste entfernt. Patienten, die nicht den Untersuchungskriterien entsprachen, wurden von der Studie ausgeschlossen (vgl. Kapitel 4).

Die thermographischen Aufnahmen wurden mit einem eingestellten Emissionsfaktor von 0,98 und einem Kamera-Objektstand von 1,5 m erstellt. Der Abstand der Kamera zum Objekt richtete sich nach der Größe des zu untersuchenden Pferdes. Die Thermogramme wurden in einem Temperaturbereich von 18°C bis 35°C angefertigt.

Thermogramme beider Vordergliedmaßen aus folgenden Ansichten wurden erstellt und zur Auswertung herangezogen:

- dorsale Ansicht 0°, beide Gliedmaßen auf einem Thermogramm
- palmare Ansicht 0°, beide Gliedmaßen auf einem Thermogramm
- laterale Ansicht 90°, rechte Vordergliedmaße
- mediale Ansicht 90°, rechte Vordergliedmaße
- laterale Ansicht 90°, linke Vordergliedmaße
- mediale Ansicht 90°, linke Vordergliedmaße

Die Kamera wurde möglichst genau auf die zu untersuchende Extremität ausgerichtet, teils auf einem Stativ befestigt, teils frei aus der Hand des Untersuchers.

Bei den Pferden der Gruppen 1A, 1B und 1C wurden die thermographischen Messungen bis zum Ende der Lahmheitsuntersuchung in zehnmütigen Intervallen wiederholt.

Von den Gliedmaßen der Pferde aus den Gruppen 2A, 2B sowie der Gruppe 3 wurden insgesamt sechs Thermogramme pro Pferd erstellt.

4.1.6 Ablauf der Untersuchung Gruppe 1A, 1B und 1C

Bei den insgesamt 32 Pferden der Gruppen 1A, 1B und 1C wurde eine klinische Lahmheitsuntersuchung durchgeführt, die durch ein weiteres diagnostisches Verfahren, die diagnostische Leitungsanästhesie, ergänzt wurde. Die thermographischen Aufnahmen wurden sowohl vor den diagnostischen Anästhesien, im Rahmen der klinischen Untersuchung, als auch nach der Applikation des Anästhetikums, in zehnmütigen Intervallen erstellt. Es wurden jeweils Aufnahmen von beiden Vorderextremitäten gemacht (vgl. Kapitel 5.1.5).

Die Anzahl der thermographischen Untersuchungsdurchgänge richtete sich nach der Dauer der Lahmheitsuntersuchung. Zwischen den thermographische Untersuchungen und den einzelnen Abschnitten der klinischen Lahmheitsuntersuchung hielten sich die Pferde im einem Untersuchungsraum auf, in dem die äusseren Umstände möglichst konstant gehalten wurden. Im Anschluss an die thermographischen Untersuchungen wurden die Pferde meist zusätzlich röntgenologisch³ und/oder sonographisch⁴ untersucht.

³ „Super 100 CP“, Firma Phillips

⁴ Ultrasound Scanner HS 3000, Honda Electronics Co., Ltd.

4.1.6.1 Diagnostische Leitungsanästhesien

Für die diagnostischen Anästhesien wurde 2%iges Lidocain-Hydrochlorid⁵ mit Adrenalin in einem Mischungsverhältnis von 1:200.000 verwendet. Die Dosierung des Lokalanästhetikums variierte je nach Lokalisation der Anästhesie und Gewicht des Patienten. Für die Injektion wurden sterile Einmalkanülen der Größe 23 G (0,60 x 30mm)⁶ verwendet. Die diagnostischen Leitungsanästhesien wurden in distoproximale Reihenfolge entlang der betroffenen Gliedmaße gesetzt. In Kapitel 3.3.4.1 bis 3.3.4.10 sind die diagnostischen Leitungsanästhesien sowie die durch die jeweilige Anästhesie betäubten Strukturen genau erläutert.

In Tabelle 4.1 ist die Anzahl der durchgeführten Anästhesien aufgeführt. So wurden im Rahmen der 32 Lahmheitsuntersuchungen insgesamt 22 Tiefe Palmarnerven-anästhesien (TPA), 15 Mittlere Palmarnerven-anästhesien (MPA), neun Interosseus Anästhesien (IOA) und drei Hohe Palmarnerven-anästhesien (HPA) durchgeführt.

Tabelle 4.1 Anzahl und Art der durchgeführten Anästhesien Gruppe 1A, 1B und 1C

Anästhesie	TPA	MPA	IOA	HPA
Anzahl (N)	22	15	9	3

4.1.7 Ablauf der Untersuchung Gruppe 2A und 2B

Thermographisch untersucht wurden 20 Pferde, deren Nn. digitales palmares laterales/mediales aufgrund einer chronischen Lahmheit aus dem distalen Bereich der Vordergliedmaßen neurektomiert wurden. Der Zeitpunkt des operativen Eingriffes lag zum Datum der thermographischen Untersuchung 14 Tage bis fünf Jahre zurück (vgl. Tabelle 4.1 u. 4.2).

Alle Patienten der Gruppen 2A und 2B waren am Tag der thermographischen Untersuchung lahmheitsfrei. Die Thermogramme wurden vor der klinische Untersuchung, nach einer 15 minütigen Akklimatisationszeit an den Untersuchungsraum, angefertigt.

4.1.8 Ablauf der Untersuchung Gruppe 3

Thermographisch untersucht wurden neun lahmheitsfreie Pferde. Fünf Probanden der Gruppe 3 waren Eigentum der Pferdeklinik. Die restlichen vier Pferde wurden aufgrund routinemäßiger Kontrollen poliklinisch in der Klinik vorgestellt. Nach einer zehn bis 15 minütigen Akklimatisationszeit wurden die thermographischen Messungen durchgeführt.

4.1.9 Auswertung

In dieser Arbeit wurden die erstellten Thermogramme ausschließlich quantitativ ausgewertet. Auf die subjektive Beurteilung bezogen auf das Temperaturverteilungsmuster wurde verzichtet.

⁵ Xylocain® Astra Zeneca-GmbH Wedel, Deutschland

⁶ BRAUN Vetcare-Melsungen AG–Melsungen, Deutschland

Um die Thermogramme auszuwerten, wurden diese anhand anatomischer Gegebenheiten aus der dorsalen, lateralen und medialen Ansicht in fünf Regionen und aus der palmaren Ansicht in drei Regionen unterteilt. Die Regionen wurden folgendermaßen benannt:

Huf (Region 1), Kronsaum/Ballen (Region 2), Fessel (Region 3), Fesselkopf (Region 4) und Mittelfuß (Region 5).

Aus der palmaren Ansicht war von dem Bereich Huf (Region 1) lediglich die Ballengrube zu sehen. Außerdem wurde der Bereich der Fessel (Region 3) vom Kötenzopf überlagert. Diese anatomischen Abschnitte blieben somit aus dieser Ansicht unberücksichtigt. Demzufolge wurden aus der palmaren Ansicht nur die gemessenen Temperaturen der drei Regionen Ballengrube (Region 2), Fesselkopf (Region 4) und Mittelfuß (Region 5) zur Auswertung herangezogen.

Somit ergaben sich pro Gliedmaße 18 Messbereiche und pro Pferd 36 Messpunkte.

4.1.9.1 Parameter

Mittels des IBRIS[®]-Thermographie-Softwareprogrammes wurde von den fünf Regionen der jeweiligen Gliedmaße aus den beschriebenen vier Ansichten die Temperatur der erstellten Thermogramme ermittelt. Um mögliche Ungenauigkeiten auszuschliessen, wurden pro Gliedmaße drei Messdurchgänge durchgeführt.

Aus den drei Messungen wurde mittels eines Excel-Softwareprogrammes⁷ der mittlere Temperaturwert pro Region und Ansicht errechnet (Parameter $T_{R\ 1-5}$ frontal, lateral, medial, palmar).

Die Werte des Parameters T_{R1-5} frontal, lateral, medial und palmar wurden zu einem Wert pro Gliedmaßenregion zusammengefasst (Parameter T_{R1-5}).

Zwischen den T_{R1-5} -Werten beider Gliedmaßen wurde die Differenz ermittelt (Parameter ΔT_{R1-5}).

Weiterhin wurden die ermittelten T_{R1-5} -Werte einer jeden Gliedmaße addiert und gemittelt (Parameter T_{GM}).

Zwischen dem T_{GM} -Wert der rechten und der linken Extremität eines Gliedmaßenpaares wurden ebenfalls die Differenz berechnet (Parameter ΔT_{GM}).

In Tabelle 4.2 sind die Parameter, die für die Auswertung der thermographisch gewonnen Messdaten ermittelt wurden, aufgeführt:

⁷ Microsoft Office Excel 2003

Tabelle 4.2 Parameter für die Auswertung der thermographischen Daten

Parameter (C°)	Beschreibung der Parameter
T_{R1-5} frontal, lateral, medial, palmar	Temperatur der fünf Regionen aus vier verschiedenen Ansichten
T_{R1-5}	Mittelwert aus T_{R1-5} frontal, lateral, medial, palmar
ΔT_{R1-5}	Differenzwert zwischen T_{R1-5} vorne rechts und vorne links
T_{GM}	Mittelwert aus T_{R1-5} vorne rechts bzw. vorne links
ΔT_{GM}	Differenzwert zwischen T_{GM} vorne rechts und vorne links

5 Ergebnisse

5.1 Gruppe 1 A

Die Gruppe 1A dieser Studie umfasst 16 Pferde, die im Rahmen einer Lahmheitsuntersuchung eine TPA erhielten. Die thermographischen Untersuchungen wurden in 10 minütigen Abständen durchgeführt. Die Anzahl der thermographischen Messungen richtete sich nach der Dauer der Lahmheitsuntersuchung. Aufgrund dessen kamen Untersuchungszeiträume zwischen zehn und 80 Minuten zustande.

5.1.1 Untersuchungsintervalle

Vor Beginn der Lahmheitsuntersuchung wurden thermographische Aufnahmen von allen 16 Pferden der Gruppe 1A angefertigt. Zehn Minuten nach der Injektion des Lokalanästhetikums wurden 15, nach 20 Minuten 14, nach 30 Minuten zehn, nach 40 Minuten sieben, nach 50 Minuten drei, nach 60 und 70 Minuten zwei Pferde und 80 Minuten nach der Anästhesie ein Pferd thermographisch untersucht (s. Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1 Untersuchungsintervalle Gruppe 1A

Anästhesie	Untersuchungsintervall	Anzahl (N)
TPA	Vor der Anästhesie	16
TPA	10 Minuten nach Anästhesie	15
TPA	20 Minuten nach Anästhesie	14
TPA	30 Minuten nach Anästhesie	10
TPA	40 Minuten nach Anästhesie	7
TPA	50 Minuten nach Anästhesie	3
TPA	60 Minuten nach Anästhesie	2
TPA	70 Minuten nach Anästhesie	2
TPA	80 Minuten nach Anästhesie	1

5.1.2 Parameter ΔT_{R1-5}

Im folgenden Text werden die Temperaturdifferenzwerte, die zwischen den Gliedmaßenregionen der Pferde der Gruppe 1A zu neun unterschiedlichen Messzeitpunkten berechnet wurden, vorgestellt.

In den vorliegenden Abbildungen beschreiben die farblichen Kurven die ΔT_{R1-5} -Werte (in °C) der fünf Gliedmaßenregionen Huf (Region1), Kronsaum/Ballen (Region 2), Fessel (Region 3), Fesselkopf (Region4) und Mittelfuß (Region 5). Bei 0°C wurde eine Bezugslinie zur Y-Achse eingefügt. Bei den ΔT_{R1-5} -Werten, die oberhalb der 0°C liegen war die anästhesierte Gliedmaße wärmer als das kontralaterale, nicht betäubte Bein. Bei ΔT_R -Werten die sich unter 0°C aufhalten war das lahmeitsfreie Bein wärmer als die lahme Extremität.

Aus den einzelnen ΔT_{R1-5} -Werten zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten wurde der Medianwert (Zentralwert, x) und der Mittelwert gebildet. Der Median entspricht dem 2. Quartil oder dem 50. Zentil und gibt die zentrale Tendenz der Verteilung der Werte an (WISNER u. RIBBECK 2000). Bei aufsteigender Sortierung der Messwerte halbiert der Median die Messreihe. Bei gerader Anzahl von Messwerten ist der Wert zwischen den beiden mittleren Werten der Median. Bei einer ungeraden Anzahl an Messwerten ist der mittlere Wert der Median. Gegenüber Ausreißern ist der Median unempfindlicher als der Mittelwert. Zusätzlich werden der Minimal- sowie der Maximalwert der Datengruppe angegeben. Die im Folgenden beschriebenen Parameter sind der Tabelle 5.2 zu entnehmen.

Tabelle 5.2 statistische Parameter ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 1A

Messung (Minuten)	Anzahl (N)	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
0	16	0,35	- 0,07	- 4,73	11,50
10	15	1,73	0,93	- 1,77	12,08
20	14	2,66	1,88	- 1,07	12,39
30	10	3,72	3,51	- 0,42	11,33
40	7	3,29	2,64	0,20	10,13
50	3	1,07	1,31	- 0,65	2,27
60	2	1,43	0,98	- 1,24	5,11
70	2	1,25	1,14	-1,3	2,67
80	1	0,97	1,15	0,36	1,43

5.1.2.1 Vor der TPA

Vor Beginn der Lahmheitsuntersuchung liegen 80 ΔT_{R1-5} -Werte von insgesamt 16 thermographierten Pferden vor. Der Median der 80 ΔT_{R1-5} -Werte beträgt $-0,075^{\circ}\text{C}$, der Mittelwert $0,348^{\circ}\text{C}$. Der Maximalwert beträgt $11,59^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R2} , Pferd Nr. 5), der Minimalwert $-4,73^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , Pferd Nr. 19).

In Abbildung 5.1 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der 16 Pferde der Gruppe 1A vor dem Beginn der Lahmheitsuntersuchung graphisch dargestellt. Bei Pferd Nr. 5 und 26 liegen alle fünf ΔT_R -Werte über, bei Pferd Nr. 11, 15 und 24 unter 0°C . Bei den übrigen elf untersuchten Pferden liegen einige Werte über 0°C und andere darunter (s. Kap. 5.1.2.10).

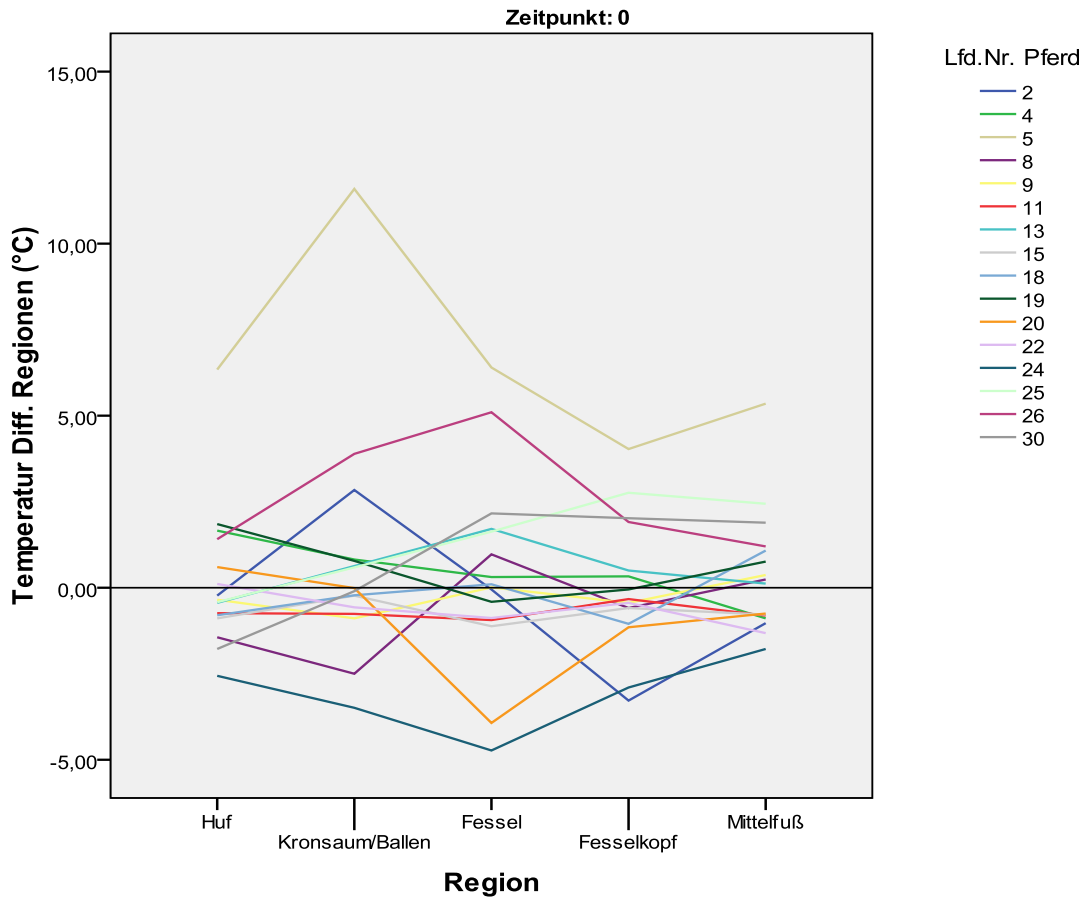


Abbildung 5.1 Parameter ΔT_{R1-5} Gruppe 1A vor der TPA

5.1.2.2 Zehn Minuten nach der TPA

Zehn Minuten nach der TPA liegen insgesamt 75 ΔT_{R1-5} -Werte von 15 thermographierten Pferden vor. Der Median der 75 ΔT_{R1-5} -Werte beträgt $0,93^{\circ}\text{C}$, der Mittelwert $1,73^{\circ}\text{C}$. Der Maximalwert beträgt $12,08^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R2} , Pferd Nr. 5) und der Minimalwert $-1,77^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , Pferd Nr. 8).

In Abbildung 5.2 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der 15 thermographierten Pferde zehn Minuten nach der TPA graphisch dargestellt. Bei Pferd Nr. 2, 4, 5, 9, 13, 18, 25 und 30 liegen alle fünf ΔT_{R1-5} -Werte über 0°C . Bei Pferd Nr. 8 halten sich alle ΔT_{R1-5} -Werte unter 0°C auf. Bei den Pferden Nr. 11, 15, 19, 20, 22 und 24 liegen einige ΔT_{R1-5} -Werte über und andere unter 0°C (s. Kap. 5.1.2.10).

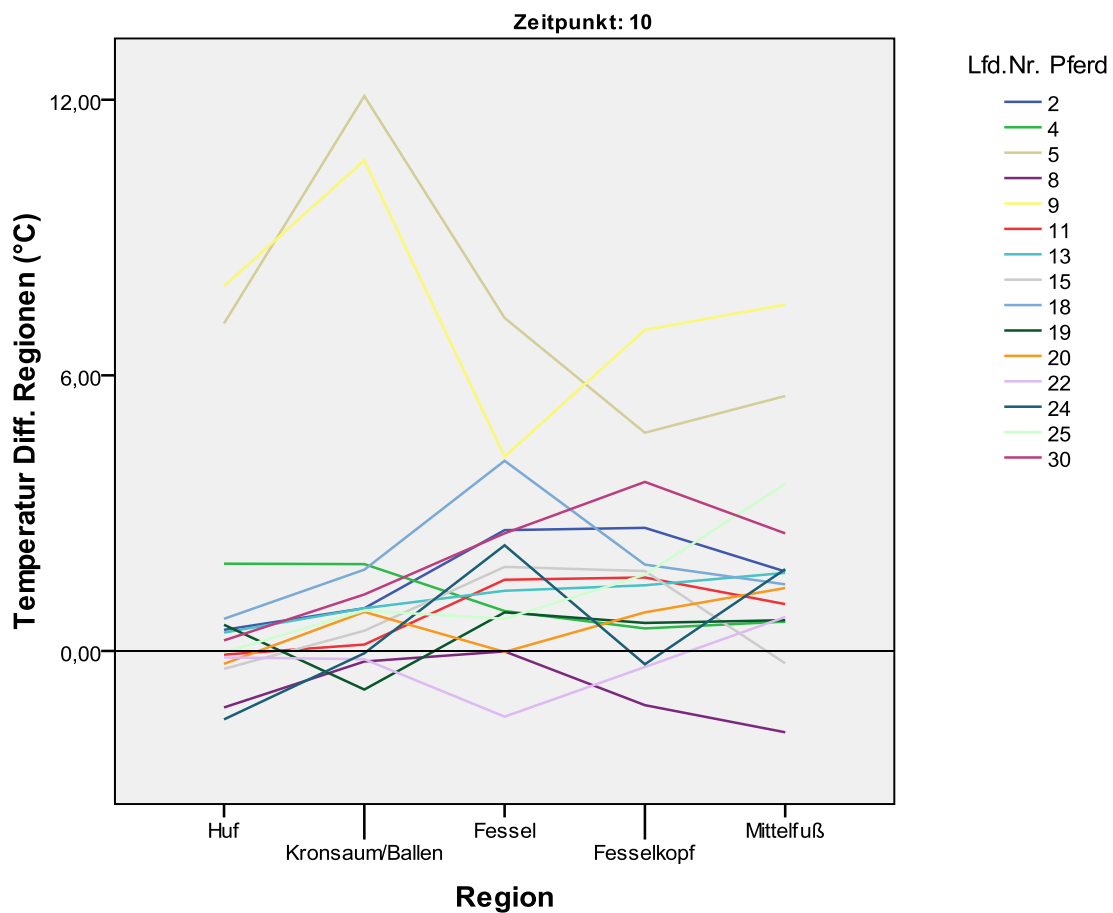


Abbildung 5.2 Parameter ΔT_{R1-5} Gruppe 1A 10 Minuten nach der TPA

5.1.2.3 20 Minuten nach der TPA

20 Minuten nach der TPA liegen insgesamt 70 ΔT_R -Werte von 14 thermographierten Pferden vor. Der Median der 70 ΔT_R -Werte beträgt $1,88^\circ\text{C}$, der Mittelwert $2,66^\circ\text{C}$. Der Maximalwert beträgt $12,39^\circ\text{C}$ (ΔT_{R2} , Pferd Nr. 5), der Minimalwert $-1,07^\circ\text{C}$ (ΔT_{R1} , Pferd Nr. 26).

In Abbildung 5.3 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der 14 thermographierten Pferde 20 Minuten nach der TPA graphisch dargestellt. Bei Pferd Nr. 2, 4, 5, 8, 9, 11, 13, 20, 22, 24 und 25 liegen alle ΔT_{R1-5} -Werte über 0°C . Der ΔT_{R1} -Wert des Pferdes Nr. 30 und 26 sowie der ΔT_{R4} -Wert des Pferdes Nr. 19 liegen unter 0°C (s. Kap. 5.1.2.10).

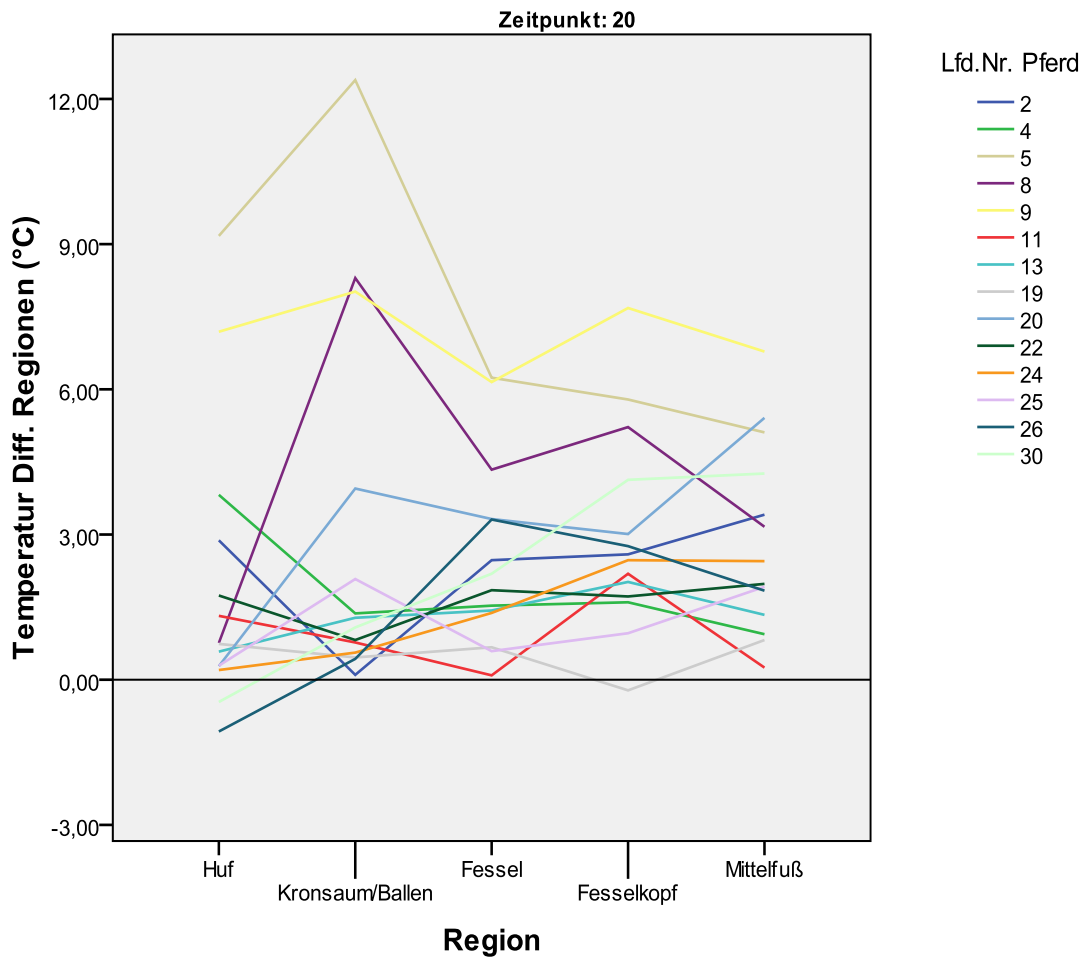


Abbildung 5.3 Parameter ΔT_{R1-5} Gruppe 1A 20 Minuten nach der TPA

5.1.2.4 30 Minuten nach der TPA

30 Minuten nach der TPA liegen insgesamt 50 ΔT_R -Werte von zehn thermographierten Pferden vor. Der Median der 50 ΔT_R -Werte beträgt $3,51^\circ\text{C}$, der Mittelwert $3,72^\circ\text{C}$. Der Maximalwert beträgt $11,33^\circ\text{C}$ (ΔT_{R2} , Pferd Nr. 20), der Minimalwert $-0,42^\circ\text{C}$ (ΔT_{R3} , Pferd Nr. 19).

In Abbildung 5.4 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der zehn thermographierten Pferde 30 Minuten nach der TPA graphisch dargestellt. Bei Pferd Nr. 2, 5, 8, 9, 11, 20, 24, 25 und 26 liegen alle ΔT_R -Werte über 0°C . Die $\Delta T_{R1,3}$ -Werte des Pferdes Nr. 19 liegen unterhalb von 0°C (s. Kap. 5.1.2.10).

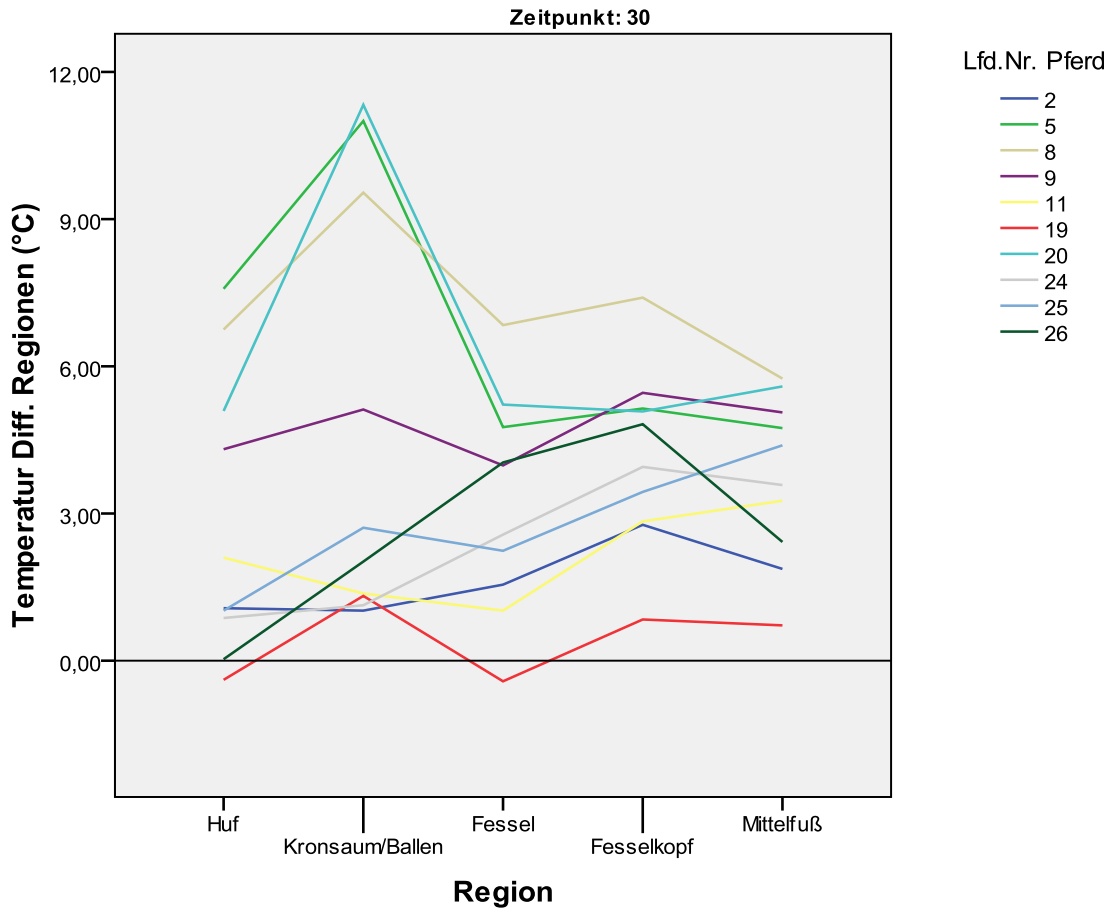


Abbildung 5.4 Parameter ΔT_{R1-5} Gruppe 1A 30 Minuten nach der TPA

5.1.2.5 40 Minuten nach der TPA

40 Minuten nach der TPA liegen insgesamt 35 ΔT_R -Werte von sieben thermographierten Pferden vor. Der Median der 35 ΔT_R -Werte beträgt 2,64°C, der Mittelwert 3,29°C. Der Maximalwert beträgt 10,13°C (ΔT_{R2} , Pferd Nr. 5), der Minimalwert -0,20°C (ΔT_{R1} , Pferd Nr. 26).

In Abbildung 5.5 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der sieben thermographierten Pferde 40 Minuten nach der TPA graphisch dargestellt. Alle ΔT_R -Werte liegen über 0°C (s. Kap. 5.1.2.10).

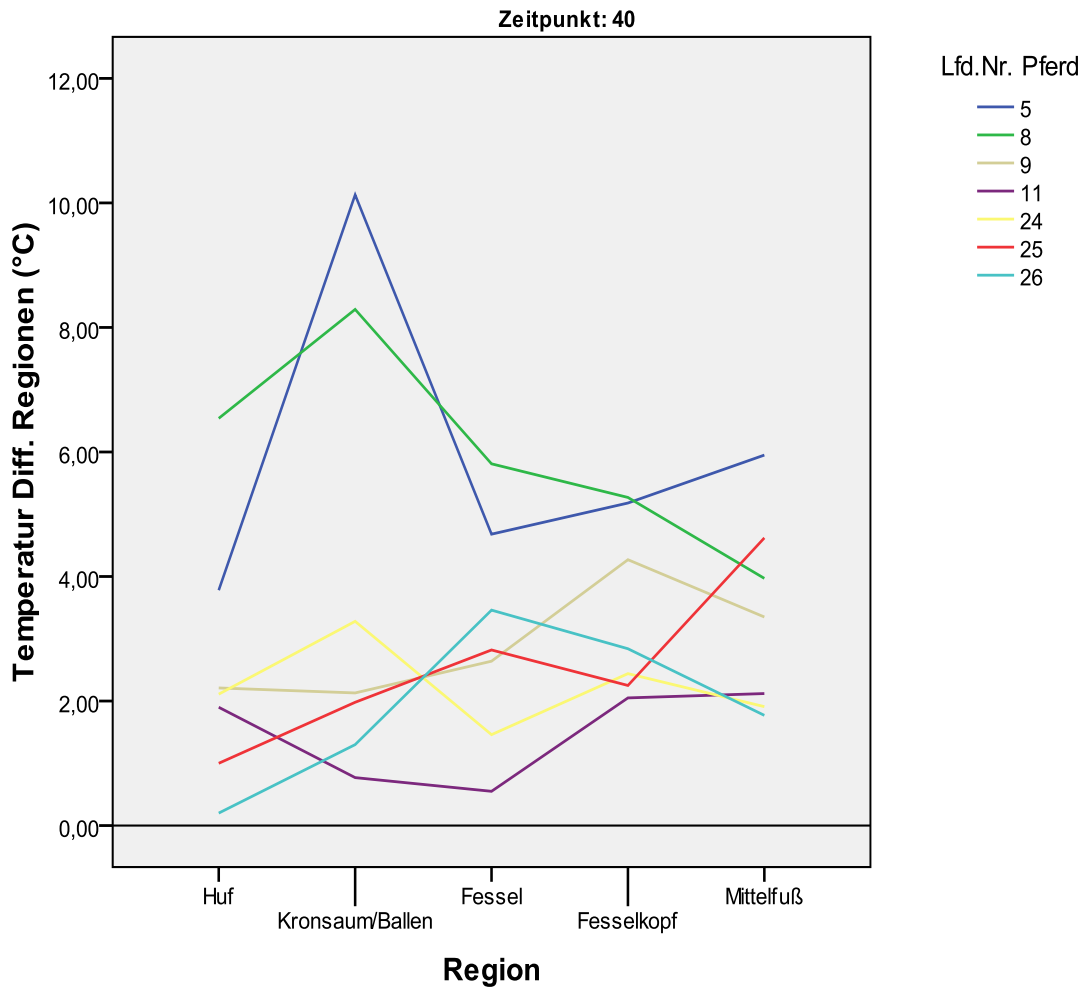


Abbildung 5.5 Parameter ΔT_{R1-5} Gruppe 1A 40 Minuten nach der TPA

5.1.2.6 50 Minuten nach der TPA

50 Minuten nach der TPA liegen insgesamt 15 ΔT_R -Werte von drei thermographierten Pferden vor. Der Median der 15 ΔT_R -Werte beträgt 1,31°C, der Mittelwert 1,07°C. Der Maximalwert beträgt 2,27°C (ΔT_{R5} , Pferd Nr. 2), der Minimalwert -0,65°C (ΔT_{R3} , Pferd Nr. 25). In Abbildung 5.6 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der drei thermographierten Pferde 50 Minuten nach der TPA graphisch dargestellt. Die ΔT_{R3} -Werte der Pferde Nr. 11 und 25 sowie der ΔT_{R2} -Wert des Pferdes Nr. 2 liegen unter 0°C. Die restlichen zwölf ΔT_R -Werte liegen über 0°C (s. Kap. 5.1.2.10)

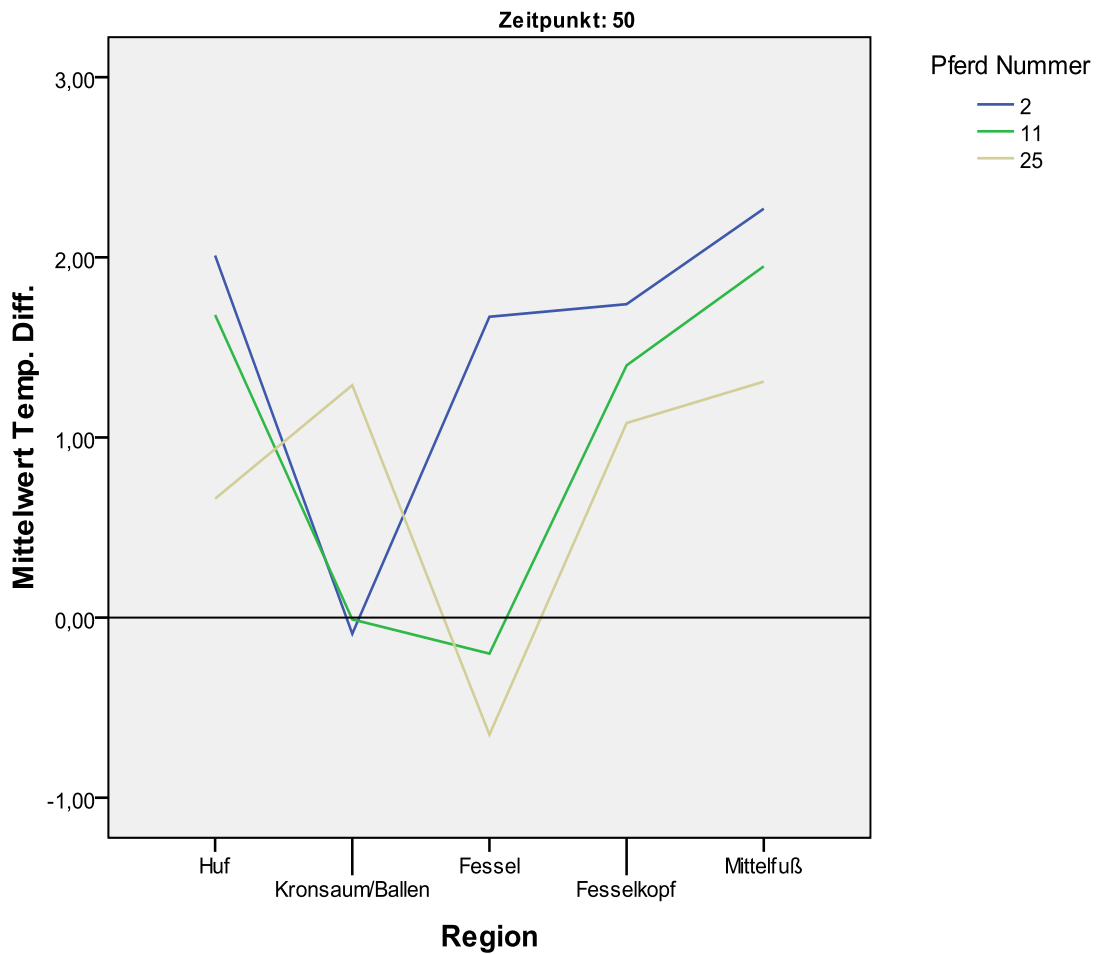


Abbildung 5.6 Parameter ΔT_{R1-5} Gruppe 1A 50 Minuten nach der TPA

5.1.2.7 60 Minuten nach der TPA

60 Minuten nach der TPA liegen zehn ΔT_R -Werte von zwei thermographierten Pferden vor. Der Median der 10 ΔT_R -Werte beträgt $0,98^\circ\text{C}$, der Mittelwert $1,43^\circ\text{C}$. Der Maximalwert beträgt $5,11^\circ\text{C}$ (ΔT_{R3} , Pferd Nr. 26), der Minimalwert $-1,24^\circ\text{C}$ (ΔT_{R1} , Pferd Nr. 26).

In Abbildung 5.7 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der zwei thermographierten Pferde 60 Minuten nach der TPA graphisch dargestellt. Der ΔT_{R1} -Wert des Pferdes Nr. 11 sowie der ΔT_{R3} -Wert des Pferdes Nr. 26 liegen unterhalb von 0°C . Die restlichen acht ΔT_R -Werte halten sich über 0°C auf (s. Kap. 5.1.2.10).

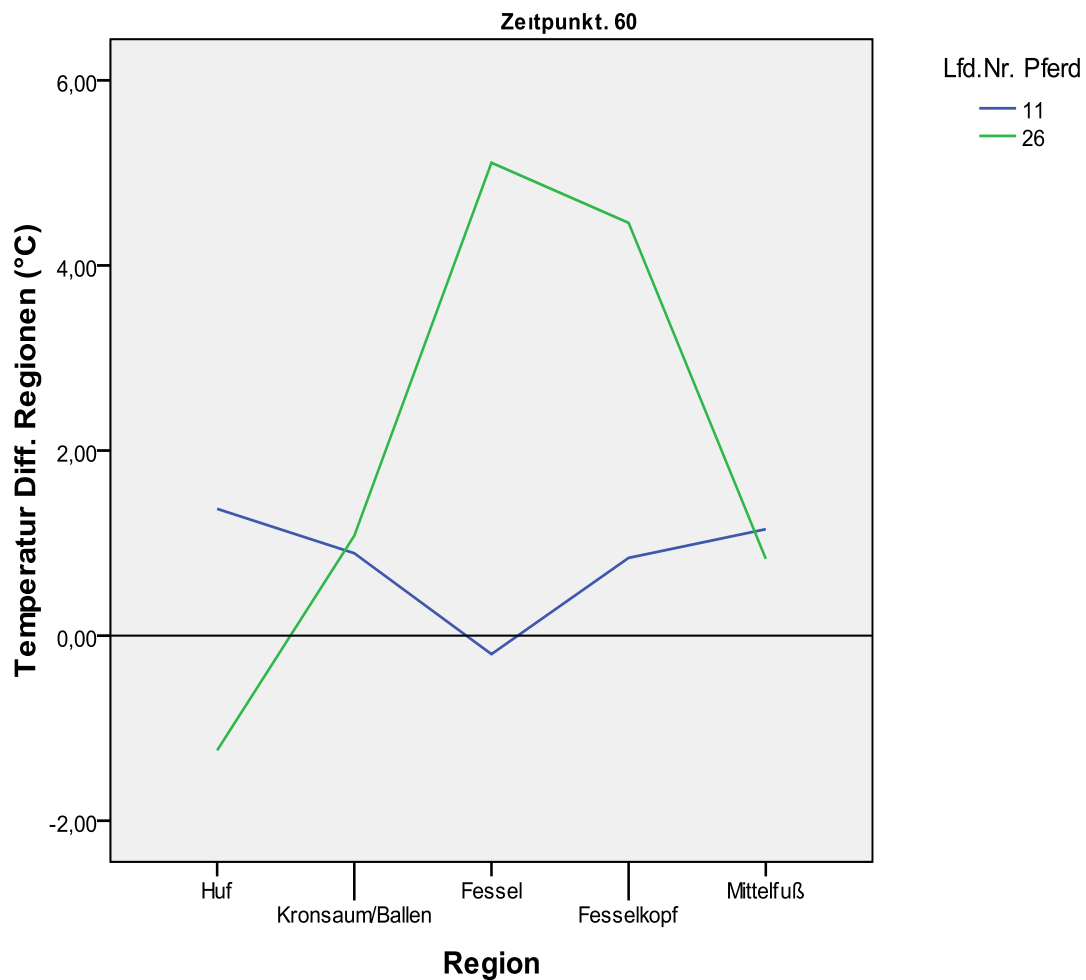


Abbildung 5.7 Parameter ΔT_{R1-5} Gruppe 1A 60 Minuten nach der TPA

5.1.2.8 70 Minuten nach der TPA

70 Minuten nach der TPA liegen zehn ΔT_R -Werte von zwei thermographierten Pferden vor. Der Median der zehn ΔT_R -Werte beträgt $1,14^\circ\text{C}$, der Mittelwert $1,25^\circ\text{C}$, der Maximalwert $2,67^\circ\text{C}$ (ΔT_{R2} , Pferd Nr. 26) und der Minimalwert $-0,13^\circ\text{C}$ (ΔT_{R1} , Pferd Nr. 26).

In Abbildung 5.8 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der zwei thermographierten Pferde graphisch dargestellt. Der ΔT_{R1} -Wert des Pferdes Nr. 26 liegt unterhalb der Nulllinie, die restlichen ΔT_{R1-5} -Werte halten sich über 0°C auf.

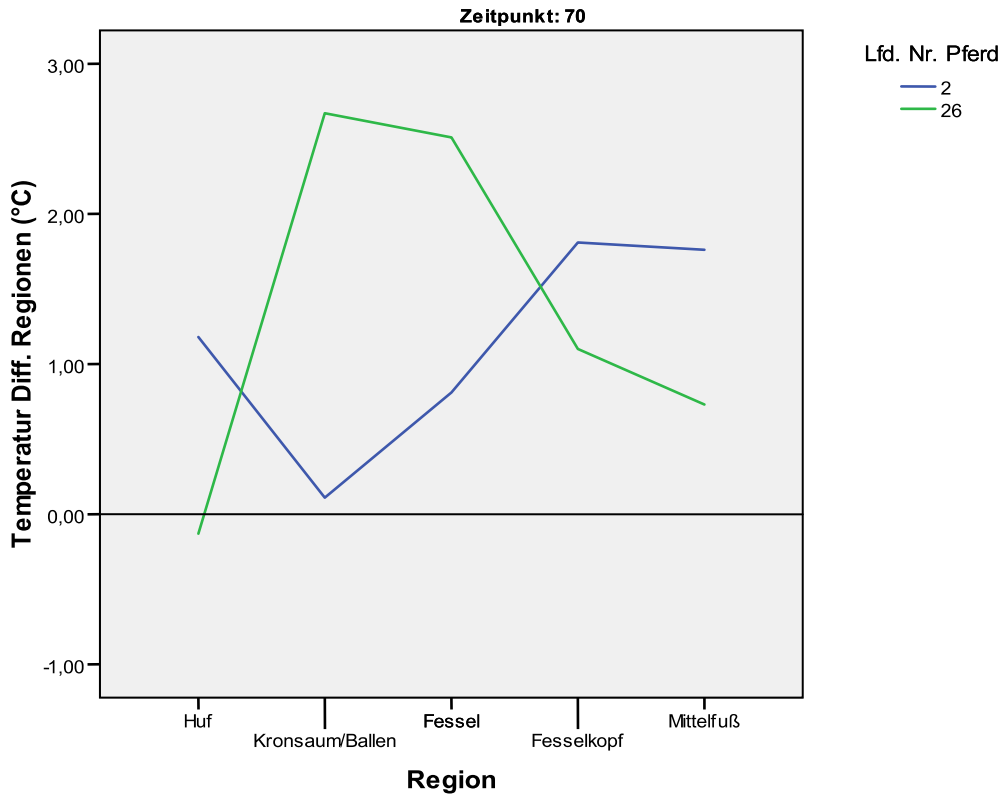


Abbildung 5.8 Parameter ΔT_{R1-5} 70 Minuten nach Anästhesie

5.1.2.9 80 Minuten nach Anästhesie

80 Minuten nach der TPA liegen fünf ΔT_{R1-5} -Werte eines thermographierten Pferdes vor. Der Median der fünf ΔT_R -Werte beträgt $1,15^\circ\text{C}$. Der Minimalwert beträgt $0,36^\circ\text{C}$ (ΔT_{R1}) und der Maximalwert $1,43$ (ΔT_{R4}).

In Abbildung 5.9 sind die ΔT_{R1-5} -Werte des einen thermographierten Pferde graphisch dargestellt. Alle ΔT_{R1-5} -Werte liegen über 0°C .

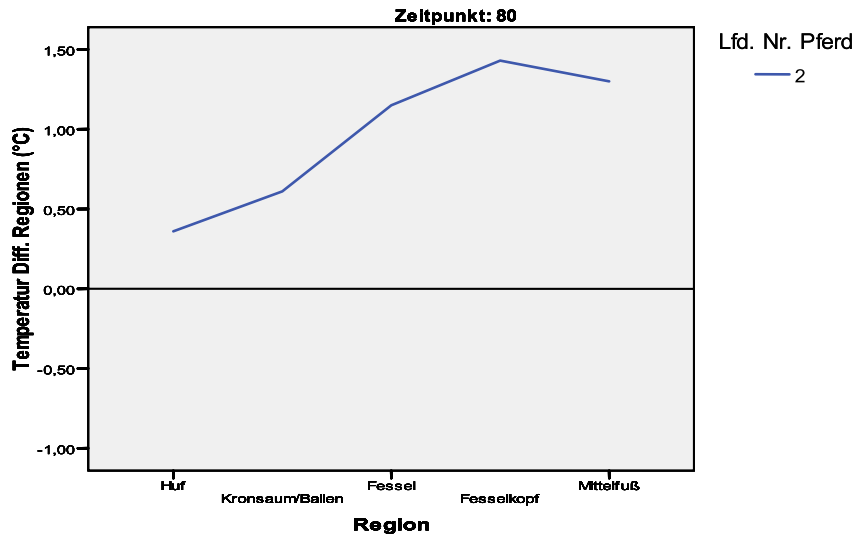


Abbildung 5.9 Parameter ΔT_{R1-5} 80 Minuten nach Anästhesie

5.1.2.10 Einzelpräsentation

Im folgenden Text werden die Temperaturverläufe ($^{\circ}\text{C}$) an den anatomischen Regionen der Vordergliedmaßenpaare der 16 mit einer TPA anästhesierten Pferde dieser Studie einzeln vorgestellt. Besondere Aufmerksamkeit erhalten die Temperaturdifferenzwerte ΔT_{R1-5} und ΔT_{GM} . Wobei der T_{R1-5} -Wert/ T_{GM} -Wert der nicht anästhesierten Gliedmaße von dem der anästhesierten abgezogen wurde.

Pferd Nummer 2:

Bei Pferd Nr. 2 wurden sieben thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 Min.). Vor der TPA liegt nur der ΔT_{R2} -Wert mit $2,84^{\circ}\text{C}$ über 0°C . Die restlichen Werte liegen unter 0°C . Nach der TPA liegen 34 der insgesamt 35 ΔT_R -Werte über 0°C . Eine Ausnahme bildet der ΔT_{R2} -Wert 50 Minuten nach der TPA mit $-0,09^{\circ}\text{C}$. Der Maximalwert der Untersuchung beträgt $3,41^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , MZ 20 Min), der Minimalwert $-3,28^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 0 Min).

Pferd Nummer 4:

Bei Pferd Nr. 4 wurden drei thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20 Min.). Vor der TPA liegt nur der ΔT_{R5} -Wert mit $-0,89^{\circ}\text{C}$ unter 0°C . Die weiteren 14 von insgesamt 15 ΔT_R -Werte liegen über 0°C . Der Maximalwert beträgt $3,82^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R1} , MZ 20 Min.), der Minimalwert $-0,89^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , MZ 0 Min.).

Pferd Nummer 5:

Bei Pferd Nr. 5 wurden fünf thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40 Min.). Alle ΔT_R -Werte der Untersuchung liegen über 0°C . Der Maximalwert beträgt $12,39^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 20 Min.), der Minimalwert $3,78^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R1} , MZ 40 Min.).

Pferd Nummer 8:

Bei Pferd Nr. 8 wurden fünf thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40 Min.). Vor der TPA liegen die $\Delta T_{R1,2,3}$ -Werte, 10 Minuten nach der TPA alle ΔT_{R1-5} -Werte unter 0°C . Zu den Messzeitpunkten 20, 30 und 40 Minuten nach der Anästhesie liegen alle ΔT_{R1-5} -Werte über 0°C . Der Maximalwert beträgt $9,54^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R2} , MZ 30 Min.), der Minimalwert $-1,77^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , MZ 10 Min.).

Pferd Nummer 9:

Bei Pferd Nr. 9 wurden fünf thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40 Min.). Vor der TPA liegen die $\Delta T_{R1,2,3}$ -Werte über 0°C und die $\Delta T_{R4,5}$ -Werte unter 0°C . Nach der TPA liegen alle ΔT_R -Werte über 0°C . Der Maximalwert beträgt $10,68^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R2} , MZ 10 Min.), der Minimalwert $-0,89^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R2} , MZ 0 Min.).

Pferd Nummer 11:

Bei Pferd Nr. 11 wurden sieben thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 Min.). Vor der TPA liegen alle ΔT_R -Werte unter 0°C . Im Laufe der weiteren Untersuchung liegen vier Werte unter 0°C (ΔT_{R1} , MZ 10 Min.; $\Delta T_{R2,4}$, MZ 50 Min.; ΔT_{R3} , MZ 60 Min.). Der Maximalwert beträgt $3,26^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , MZ 30 Min.), der Minimalwert $-0,94^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R4} , MZ 0 Min.).

Pferd Nummer 13:

Bei Pferd Nr. 13 wurden drei thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20 Min.). Der ΔT_{R1} -Wert liegt vor der Anästhesie unter 0°C , die weiteren ΔT_R -Werte liegen über 0°C . Der Maximalwert beträgt $2,02^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R4} , MZ 20 Min.), der Minimalwert $-0,44^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R1} , MZ 0 Min.).

Pferd Nummer 15:

Bei Pferd Nr. 15 wurden zwei thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10 Min.). Vor der TPA liegen alle ΔT_R -Werte unter 0°C . Nach der TPA liegen die $\Delta T_{R1,5}$ -Werte unter 0°C . Die $\Delta T_{R2,3,4}$ -Werte liegen über 0°C . Der Maximalwert beträgt $1,83^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 10 Min.), der Minimalwert $-1,12^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 0 Min.).

Pferd Nummer 18:

Bei Pferd Nr. 18 wurden zwei thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10 Min.). Vor der TPA liegen die $\Delta T_{R1,2,3}$ -Werte unter 0°C , die $\Delta T_{R4,5}$ -Werte liegen über 0°C . Zehn Minuten nach der TPA liegen alle ΔT_R -Werte über 0°C . Der Maximalwert beträgt $4,14^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 10 Min.), der Minimalwert $-1,05^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R4} , MZ 0 Min.).

Pferd Nummer 19:

Bei Pferd Nr. 19 wurden vier thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30 Min.). Vor der TPA liegen die $\Delta T_{R3,4}$ -Werte unter 0°C , die $\Delta T_{R1,2,5}$ -Werte liegen über 0°C . Nach der TPA liegen vier der ΔT_R -Werte unter 0°C (ΔT_{R2} MZ 10 Min.; ΔT_{R4} , MZ 20 Min.; $\Delta T_{R1,3}$, MZ 30 Min.), die restlichen ΔT_R -Werte halten sich über 0°C auf. Der Maximalwert beträgt $1,85^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R1} , MZ 0 Min.), der Minimalwert $-0,84^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R2} , MZ 10 Min.).

Pferd Nummer 20:

Bei Pferd Nr. 20 wurden vier thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30 Min.). Vor der TPA liegt der ΔT_{R1} -Wert unter 0°C , die $\Delta T_{R2,3,4,5}$ -Werte liegen über 0°C . Zehn Minuten nach der TPA liegen die $\Delta T_{R1,3}$ -Werte unter 0°C . Die weiteren ΔT_R -Werte liegen über 0°C . Der Maximalwert beträgt $11,33^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R2} , MZ 30 Min.), der Minimalwert $-3,93^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 0 Min.).

Pferd Nummer 22:

Bei Pferd Nr. 22 wurden drei thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20 Min.). Vor der TPA liegt der ΔT_{R1} -Wert über 0°C , die anderen $\Delta T_{R2,3,4,5}$ -Werte liegen darunter. Zehn Minuten nach der Anästhesie liegt der ΔT_{R5} -Wert über 0°C , die ΔT_{R1-4} -Werte liegen unter 0°C . 20 Minuten nach der TPA liegen alle ΔT_R -Werte über 0°C . Der Maximalwert beträgt $1,98^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , MZ 20 Min.), der Minimalwert $-1,43^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 10 Min.).

Pferd Nummer 24:

Bei Pferd Nr. 24 wurden fünf thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40 Min.). Vor der TPA liegen alle ΔT_R -Werte unter 0°C . 10 Minuten nach der TPA liegen die $\Delta T_{R1,2,4}$ -Werte unter 0°C . Die restlichen ΔT_R -Werte der Untersuchung halten sich über 0°C auf. Der Maximalwert beträgt $3,95^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R4} , MZ 30 Min.), der Minimalwert $-4,73^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 0 Min.).

Pferd Nummer 25:

Bei Pferd Nr. 25 wurden sechs thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40, 50 Min.). Während der Untersuchung liegen drei ΔT_R -Werte unter 0°C (ΔT_{R1} MZ 0 und 10 Min., ΔT_{R3} , MZ 50 Min.). Die übrigen ΔT_R -Werte liegen über 0°C . Der Maximalwert beträgt $4,39^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , MZ 30 Min.), der Minimalwert $-0,65^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 50 Min.).

Pferd Nummer 26:

Bei Pferd Nr. 26 wurden sieben thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 20, 30, 40, 50, 60, 70 Min.). Während der Untersuchung liegen drei ΔT_{R1} -Werte unter 0°C (MZ 20, 60, 70 Min.). Die anderen ΔT_R -Werte liegen über 0°C . Der Maximalwert beträgt $5,11^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , MZ 60 Min.), der Minimalwert $-1,24^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R1} , MZ 60 Min.).

Pferd Nummer 30:

Bei Pferd Nr. 30 wurden drei thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20 Min.). Während der Untersuchung liegen drei ΔT_R -Werte unter 0°C (ΔT_{R1} , MZ 0 und 20 Min.; ΔT_{R2} , MZ 0 Min.). Die weiteren 12 ermittelten ΔT_R -Werte halten sich über 0°C auf. Der Maximalwert beträgt $4,26^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , MZ 20 Min.), der Minimalwert $-1,78^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R1} , MZ 0 Min.).

5.1.3 Parameter ΔT_{GM}

Im folgenden Text werden die ΔT_{GM} -Werte der 16 Pferde der Gruppe 1A vorgestellt. Die aufgeführten Parameter sind der Tabelle 5.3 zu entnehmen.

In Abbildung 5.10 sind die ΔT_{GM} -Werte aller Pferde dieser Gruppe über die unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkte graphisch dargestellt. Bei 0°C befindet sich eine Bezugslinie. Bei ΔT_{GM} -Werten, die sich oberhalb dieser Linie aufhalten liegt der T_{GM} -Wert der anästhesierten Gliedmaße höher als der des kontralateralen Beines. Bei den ΔT_{GM} -Werten, die unterhalb der 0°C liegen ist der T_{GM} -Wert des kontralateralen Beines höher.

Der Minimalwert der 70 ΔT_{GM} -Wert beträgt $-4,48^\circ\text{C}$ (Pferd Nr. 18, MZ 0 Min.), der Maximalwert $7,74^\circ\text{C}$ (Pferd Nr. 5, MZ 20 Min.). Insgesamt liegen zehn ΔT_{GM} -Werte unter 0°C . Davon wurden acht vor der TPA gemessen (Pferd Nr. 2, 8, 11, 15, 18, 20, 22, 24) und zwei zehn Minuten nach der Anästhesie (Pferd Nr. 8 und 22). Der höchste Median wurde mit $2,71^\circ\text{C}$ 30 Minuten nach der TPA errechnet, der niedrigste mit $-0,3^\circ\text{C}$ vorher.

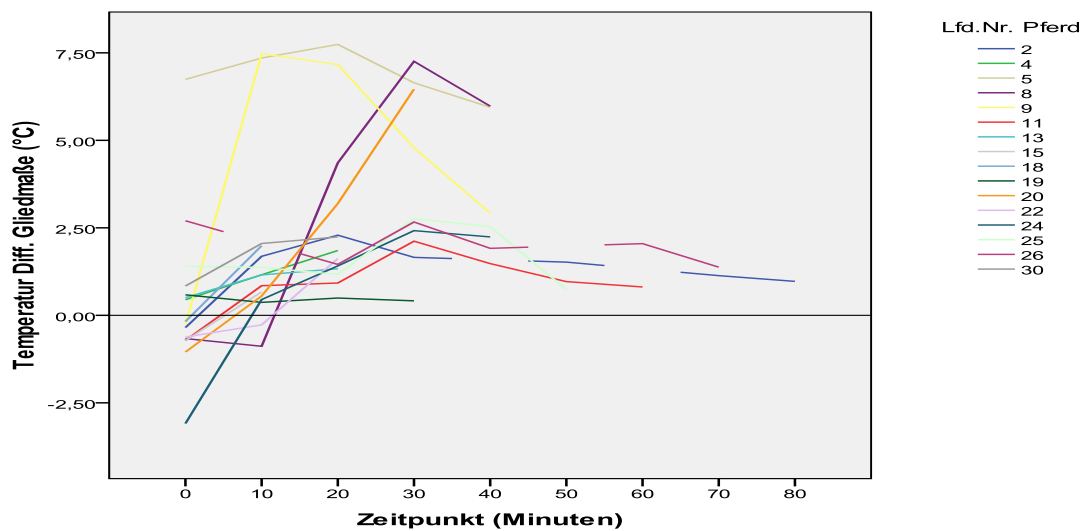


Abbildung 5.10 ΔT_{GM} – Werte Gruppe 1A

Tabelle 5.3 statistische Parameter ΔT_{GM} -Werte Gruppe 1A

Messung (Min.)	Anzahl (N)	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Min. (°C)	Max. (°C)
0	16	-0,3	- 0,305	- 4,48	2,70
10	15	1,731	1,154	- 0,88	7,48
20	14	2,66	1,737	0,49	7,74
30	10	3,718	2,713	0,41	7,26
40	7	3,286	2,534	1,48	5,98
50	3	1,074	0,964	0,74	1,52
60	2	1,429	1,429	0,81	2,05
70	2	1,255	1,255	1,13	1,38
80	1	0,97	0,97	0,47	0,97

5.2 Gruppe 1B

Im Weiteren werden die Parameter ΔT_{R1-5} und ΔT_{GM} der 14 Pferde der Gruppe 1B vorgestellt. Die Anzahl der durchgeführten thermographischen Messungen richtet sich nach der Dauer der Lahmheitsuntersuchung. Aufgrund dessen kommen Untersuchungszeiträume zwischen zehn und 130 Minuten zustande.

Sowohl die Anzahl als auch die Kombination der Anästhesien unterscheidet sich von Pferd zu Pferd. In Tabelle 5.4 sind die Anzahl der thermographierten Pferde, die Art der Anästhesien sowie die Anzahl der durchgeführten thermographischen Messungen zusammengefasst aufgeführt.

Vor der ersten diagnostischen Anästhesie sowie zehn und 20 Minuten danach wurden alle 14 Pferde thermographisch untersucht. Nach 30 Minuten wurden Aufnahmen von 13, nach 40 Minuten von acht Pferden angefertigt. Nach 50 Minuten wurden sieben, nach 60 Minuten zwei und nach 70 Minuten drei Pferde thermographisch untersucht. 80, 100, 115 und 130 Minuten nach der ersten diagnostischen Anästhesie ist jeweils nur ein Pferd thermographiert worden. Insgesamt sind 79 thermographische Messungen durchgeführt worden.

Tabelle 5.4 diagnostische Anästhesien Gruppe 1B

Messung (Minuten)	Diagnostische Anästhesie					
	ohne	TPA	MPA	IOA	HPA	Anzahl (N)
0	14	0	0	0	0	14
10	0	8	6	0	0	14
20	0	1	11	2	0	14
30	0	0	8	4	1	13
40	0	0	4	4	0	8
50	0	0	4	3	0	7
60	0	0	1	1	0	2
70	0	0	2	1	0	3
80	0	0	0	0	1	1
100	0	0	1	0	0	1
115	0	0	0	0	1	1
130	0	0	0	0	1	1
US gesamt	14	9	37	15	4	79

5.2.1 Parameter ΔT_{R1-5}

Im folgenden Text werden die ΔT_{R1-5} -Werte der 14 Pferde der Gruppe 1B einzeln vorgestellt. Die Pferde werden dafür in gemeinsame Anästhesiegruppen untergliedert. Anästhesiegruppe MPA, IOA:

Pferd Nummer 3:

Bei Pferd Nr. 3 wurden sechs thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40, 50 Min.). Das Pferd wurde mit einer MPA (MZ 10 Min) und einer IOA (MZ 20 Min.) betäubt. Vor der MPA liegen die $\Delta T_{R1,2,3}$ -Werte unter 0°C , die $\Delta T_{R4,5}$ -Werte liegen über 0°C . Im Laufe der Untersuchung liegen insgesamt fünf ΔT_R -Werte unter 0°C (MZ 10 Min, ΔT_{R2} ; MZ 20 Min., ΔT_{R1} ; MZ 50 Min, $\Delta T_{R3,4,5}$). Der Minimalwert der Untersuchung beträgt $-3,16^{\circ}\text{C}$ (MZ 0 Min., ΔT_{R1}), der Maximalwert $4,88^{\circ}\text{C}$ (MZ 20 Min., ΔT_{R4}).

Pferd Nummer 12:

Bei Pferd Nr. 12 wurden acht thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 Min.). Das Pferd wurde mit einer MPA und einer IOA (MZ 10 Min.) betäubt. Vor den Anästhesien liegen alle ΔT_R -Werte unter 0°C . Im Laufe der weiteren Untersuchung liegen drei Werte unter 0°C (MZ 10 Min., $\Delta T_{R1,2,3}$). Die übrigen 32 ΔT_R -Werte liegen über 0°C . Der Minimalwert beträgt $-1,51^{\circ}\text{C}$ (MZ 0 Min., ΔT_{R1}) und der Maximalwert $4,74^{\circ}\text{C}$ (MZ 40 Min., ΔT_{R2}).

Pferd Nummer 17:

Bei Pferd Nr. 17 wurden fünf thermographische Untersuchungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40 Min.). Das Pferd wurde mit einer MPA und einer IOA betäubt (MZ 10 Min.). Vor den Anästhesien liegt der ΔT_{R2} -Wert unter 0°C . Im Laufe der weiteren Untersuchung liegt ein ΔT_{R3} -Wert unter 0° (MZ 10 Min.). Die übrigen 23 ΔT_R -Werte liegen über 0°C . Der Minimalwert beträgt $-0,52^{\circ}\text{C}$ (MZ 0 Min., ΔT_{R2}) und der Maximalwert $3,68^{\circ}\text{C}$ (MZ 40 Min., ΔT_{R1}).

Pferd Nummer 23:

Bei Pferd Nr. 23 wurden fünf thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40 Min.). Das Pferd wurde mit einer MPA (MZ 10 Min.) und einer IOA (MZ 40 Min.) betäubt. Alle ΔT_R -Werte liegen über 0°C . Der Minimalwert beträgt $0,43^{\circ}\text{C}$ (MZ 0 Min., ΔT_{R1}), der Maximalwert $3,61^{\circ}\text{C}$ (MZ 20 Min., ΔT_{R4}).

Pferd Nummer 31:

Bei Pferd Nr. 31 wurden sechs thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40, 50 Min.). Das Pferd wurde mit einer MPA (MZ 10 Min.) und einer IOA (MZ 30 Min.) betäubt. Vor den Anästhesien liegen die $\Delta T_{R3,4,5}$ -Werte unter 0°C . Im Laufe der weiteren Untersuchung liegen fünf ΔT_R -Werte unter 0°C (MZ 10 Min., ΔT_{R4} ; MZ 40 Min., ΔT_{R3} ; MZ 50 Min., $\Delta T_{R3,4,5}$). Der Minimalwert beträgt $-0,44^{\circ}\text{C}$ (MZ 50 Min., ΔT_{R3}) und der Maximalwert $3,19^{\circ}\text{C}$ (MZ 30, ΔT_{R1}).

In Tabelle 5.5 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 150 ΔT_{R1-5} -Werte der fünf thermographierten Pferde, die eine MPA und eine IOA erhalten haben aufgeführt. Der höchste Median beträgt 2,65°C 30 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste 0,05°C vor den Anästhesien. Der niedrigste ΔT_R -Wert beträgt -2,35°C und wurde vor den Anästhesien ermittelt, der höchste 4,74°C, 40 Minuten nach Untersuchungsbeginn.

Tabelle 5.5 statistische Parameter ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 1B, MPA/IOA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
0	3, 12, 17, 23, 31	-0,16	0,05	-2,35	1,62
10	3, 12, 17, 23, 31	0,74	0,83	-6,1	3,4
20	3, 12, 17, 23, 31	2,01	2,01	-4,12	4,88
30	3, 12, 17, 23, 31	2,45	2,65	0,59	3,94
40	3, 12, 17, 23, 31	2,43	2,45	-0,37	4,74
50	3, 12, 31	0,89	0,91	-1,07	3,02
60	12	2,12	2,18	1,5	2,64
70	12	1,42	1,42	0,82	2,2

5.2.1.1 Anästhesiegruppe TPA, MPA

Pferd Nummer 1:

Bei Pferd Nr. 1 wurden vier thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30 Min). Das Pferd wurde mit einer TPA (MZ 10 Min.) und einer MPA (MZ 20 Min.) betäubt. Vor der TPA beträgt der ΔT_{R2} -Wert -0,1°C. Die $\Delta T_{R1,3,4,5}$ -Werte liegen über 0°C. Im Laufe der weiteren Untersuchung liegen alle ΔT_R -Werte über 0°C. Der ΔT_{R2} -Wert vor der TPA beträgt -0,1°C und ist damit der Minimalwert. Der Maximalwert ist der ΔT_{R4} -Wert mit 5,45°C 20 Minuten nach Beginn der Untersuchung.

Pferd Nummer 6:

Bei Pferd Nr. 6 wurden vier thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30 Min.). Das Pferd wurde mit einer TPA (MZ 10 Min.) und einer MPA (MZ 20 Min.) betäubt. Vor den Anästhesien liegen die $\Delta T_{R1,2,3}$ -Werte unter 0°C, die $\Delta T_{R4,5}$ -Werte halten sich über 0°C auf. Im Laufe der weiteren Untersuchung liegen fünf ΔT_R -Werte (MZ 10 Min., Region $\Delta T_{R2,3,4,5}$, MZ 20 Min., ΔT_{R5}) unter 0°C, die übrigen 12 ΔT_R -Werte liegen über 0°C. Der Minimalwert beträgt -0,43°C (MZ 10 Min., ΔT_{R4}), der Maximalwert 2,03°C (MZ 30 Min., ΔT_{R3}).

Pferd Nummer 16:

Bei Pferd Nr. 16 wurden vier thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30 Min.). Das Pferd wurde mit einer TPA und einer MPA betäubt. Vor den Anästhesien liegt der ΔT_{R1} -Wert unter 0°C. Die restlichen 19 ΔT_R -Werte liegen über 0°C. Der Minimalwert beträgt -0,38°C (MZ 0 Min., ΔT_{R1}), der Maximalwert 8,99°C (MZ 10 Min., ΔT_{R3}).

Pferd Nummer 29:

Bei Pferd Nr. 29 wurden sechs thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40, 50 Min.). Das Pferd wurde mit einer TPA (MZ 10 Min.) und einer MPA (MZ 20 Min.) betäubt. Vor den Anästhesien liegen die $\Delta T_{R2,3}$ -Werte unter 0°C . Im Laufe der weiteren Untersuchung liegt der ΔT_{R3} -Wert 40 Minuten nach der ersten Anästhesie unter 0°C , die übrigen ΔT_R -Werte liegen über 0°C . Der Minimalwert beträgt $-0,82^{\circ}\text{C}$ (MZ 0 Min., ΔT_{R1}) und der Maximalwert $2,42^{\circ}\text{C}$ (MZ 10 Min., ΔT_{R3}).

In Tabelle 5.6 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 90 ΔT_{R1-5} -Werte der vier thermographierten Pferde, die eine TPA und eine MPA erhalten haben aufgeführt. Der höchste Median beträgt $2,29^{\circ}\text{C}$ 30 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste $0,34^{\circ}\text{C}$ vor den Anästhesien. Der niedrigste ΔT_R -Wert beträgt $-0,43^{\circ}\text{C}$ und wurde vor den Anästhesien ermittelt, der höchste $8,99^{\circ}\text{C}$, 20 Minuten nach Untersuchungsbeginn.

Tabelle 5.6 statistische Parameter ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 1B, TPA/MPA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert ($^{\circ}\text{C}$)	Median ($^{\circ}\text{C}$)	Minimum ($^{\circ}\text{C}$)	Maximum ($^{\circ}\text{C}$)
0	1, 6, 16, 29	0,59	0,34	-0,01	1,71
10	1, 6, 16, 29	2,05	1,55	-0,43	8,99
20	1, 6, 16, 29	2,62	1,78	-0,31	7,02
30	1, 6, 16, 29	3,1	2,29	0,5	8,55
40	29	1,28	1,14	-0,09	3,1
50	29	1,20	0,77	0,32	2,14

5.2.1.2 Anästhesiegruppe TPA, MPA, IOA

Pferd Nummer 27:

Bei Pferd Nr. 27 werden sechs thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40, 50 Min.). Das Pferd wurde mit einer TPA (MZ 10 Min.), einer MPA (MZ 20 Min.) und einer IOA (MZ 30 Min.) betäubt. Vor den Anästhesien liegen die $\Delta T_{R1,2}$ -Werte unter 0°C . Im Laufe der weiteren Untersuchung liegen vier Werte unter 0°C (MZ 10 Min., ΔT_{R1} ; MZ 30 und 40 Min., ΔT_{R2} ; MZ 50 Min., ΔT_{R1}). Der Minimalwert beträgt $-1,57^{\circ}\text{C}$ (MZ 0 Min., ΔT_{R1}), der Maximalwert $3,93^{\circ}\text{C}$ (MZ 20 Min., ΔT_{R5}).

Pferd Nummer 28:

Bei Pferd Nr. 28 wurden vier thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30 Min.). Das Pferd wurde mit einer TPA (MZ 10 Min.), einer MPA (MZ 20 Min.) und einer IOA (MZ 30 Min.) betäubt. Zwei ΔT_R -Werte der Untersuchung liegen unter 0°C (MZ 10 Min., ΔT_{R1} ; MZ 20 Min., ΔT_{R2}). Die restlichen ΔT_R -Werte halten sich über 0°C auf. Der Minimalwert beträgt $-0,4^{\circ}\text{C}$ (MZ 10 Min., ΔT_{R1}) und der Maximalwert $5,41^{\circ}\text{C}$ (MZ 30 Min., ΔT_{R4}).

In Tabelle 5.7 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 50 ΔT_{R1-5} -Werte der zwei thermographierten Pferde, die eine TPA, eine MPA und eine IOA erhalten haben aufgeführt. Der höchste Median beträgt $2,5^{\circ}\text{C}$ 20 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste $1,19^{\circ}\text{C}$ vor den Anästhesien. Der niedrigste ΔT_{R-} -Wert beträgt $-0,76^{\circ}\text{C}$ und wurde vor den Anästhesien ermittelt, der höchste $5,75^{\circ}\text{C}$, 10 Minuten nach Untersuchungsbeginn.

Tabelle 5.7 statistische Parameter Gruppe 1B, TPA/MPA/IOA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert ($^{\circ}\text{C}$)	Median ($^{\circ}\text{C}$)	Minimum ($^{\circ}\text{C}$)	Maximum ($^{\circ}\text{C}$)
0	27, 28	1,19	1,19	0,05	2,34
10	27, 28	2,05	1,97	-0,76	5,75
20	27, 28	2,27	2,5	-0,31	4,7
30	27, 28	2,29	2,3	-0,35	5,41
40	27	1,14	1,58	-0,13	2,42
50	27	1,52	1,94	-0,23	3,02

5.2.1.3 Anästhesiegruppe TPA, MPA, HPA

Pferd Nummer 7:

Bei Pferd Nr. 7 wurden acht thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 50, 70, 100, 115, 130 Min.). Das Pferd wurde mit einer TPA, einer MPA und einer HPA betäubt. Vor den Anästhesien liegt der ΔT_{R1} -Wert unter 0°C . Im Laufe der weiteren Untersuchung liegen sechs ΔT_{R-} -Werte unter 0°C (MZ 10 Min., ΔT_{R1} ; MZ 70 Min., $\Delta T_{R3,5}$; MZ 115, Region ΔT_{R3} ; MZ 130, $\Delta T_{R3,4}$). Die weiteren 33 ΔT_{R-} -Werte liegen über 0°C . Der Minimalwert beträgt $-1,17^{\circ}\text{C}$ (MZ 130 Min., ΔT_{R3}), der Maximalwert $4,67^{\circ}\text{C}$ (MZ 115 Min., ΔT_{R5}).

In Tabelle 5.8 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 40 ΔT_{R1-5} -Werte des einen thermographierten Pferdes, das eine TPA, eine MPA und eine HPA erhalten hat aufgeführt. Der höchste Median beträgt 2,92°C 100 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste 0,16°C 130 Minuten nach der ersten Anästhesie. Der niedrigste ΔT_R -Wert beträgt -1,17°C und wurde 130 Minuten nach der ersten Anästhesie ermittelt, der höchste 4,67°C, 115 Minuten nach Untersuchungsbeginn.

Tabelle 5.8 statistische Parameter ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 1B, TPA/MPA/HPA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
0	7	1,25	1,51	-0,61	2,33
10	7	1,15	1,2	-0,03	2,93
20	7	2,05	2,38	0,16	3,84
50	7	2,12	2,34	0,41	4,25
70	7	0,35	0,44	-0,84	1,11
100	7	2,77	2,92	1,78	3,93
115	7	2,42	2,41	-0,13	4,67
130	7	0,03	0,16	-1,17	0,94

5.2.1.4 Anästhesiegruppe MPA, IOA, HPA

Pferd Nummer 10:

Bei Pferd Nr. 10 wurden vier thermographische Messungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30 Min). Das Pferd wurde mit einer MPA (MZ 10 Min.), einer IOA (MZ 20 Min.) und einer HPA (MZ 30 Min.) betäubt. Vor den Anästhesien liegen die $\Delta T_{R4,5}$ -Werte unter 0°C. Im Laufe der weiteren Untersuchung liegen vier Werte unter 0°C (MZ 10 Min., $\Delta T_{R4,5}$; MZ 20 Min., ΔT_{R5} ; MZ 30 Min., ΔT_{R2}). Die übrigen 14 ΔT_R -Werte liegen über 0°C. Der Minimalwert beträgt -2,28°C (MZ 10 Min., ΔT_{R5}), der Maximalwert 2,96°C (MZ 0 Minuten, ΔT_{R2}).

In Tabelle 5.9 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 20 ΔT_{R1-5} -Werte des einen thermographierten Pferdes, das eine MPA, eine IOA und eine HPA erhalten hat aufgeführt. Der höchste Median beträgt $0,92^{\circ}\text{C}$ vor der ersten Anästhesie, der niedrigste $0,43^{\circ}\text{C}$ 30 Minuten nach der ersten Anästhesie. Der niedrigste ΔT_R -Wert beträgt $-0,76^{\circ}\text{C}$ und wurde vor den Anästhesien ermittelt, der höchste $5,75^{\circ}\text{C}$, 10 Minuten nach Untersuchungsbeginn

Tabelle 5.9 statistische Parameter ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 1B, MPA/IOA/HPA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert ($^{\circ}\text{C}$)	Median ($^{\circ}\text{C}$)	Minimum ($^{\circ}\text{C}$)	Maximum ($^{\circ}\text{C}$)
0	10	0,29	0,92	-1,9	2,96
10	10	0,23	0,82	-2,28	1,72
20	10	0,83	0,72	-0,22	2,02
30	10	0,39	0,43	-0,54	0,89

5.2.1.5 Anästhesiegruppe TPA, MPA, IOA, HPA

Pferd Nummer 21:

Bei Pferd Nr. 21 wurden neun thermographische Untersuchungen durchgeführt (MZ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 Min.). Das Pferd wurde mit einer TPA (MZ 10 Min.), einer MPA (MZ 30 Min.), einer IOA (MZ 60 Min.) und einer HPA (MZ 80 Min.) betäubt. Während der gesamten Untersuchung liegt ausschließlich der ΔT_{R2} -Wert vor den Anästhesien unter 0°C . Dieser ist mit $-0,03^{\circ}\text{C}$ der Minimalwert, der Maximalwert beträgt $12,88^{\circ}\text{C}$ (MZ 80 Min., ΔT_{R2}).

In Tabelle 5.10 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 35 ΔT_{R1-5} -Werte des einen thermographierten Pferdes, das eine TPA, eine MPA, eine IOA und eine HPA erhalten hat aufgeführt. Der höchste Median beträgt $9,32^{\circ}\text{C}$, 80 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste $0,82^{\circ}\text{C}$ vor den Anästhesien. Der niedrigste ΔT_R -Wert beträgt $-0,03^{\circ}\text{C}$ und wurde vor den Anästhesien ermittelt, der höchste $12,88^{\circ}\text{C}$, 80 Minuten nach Untersuchungsbeginn.

Tabelle 5.10 statistische Parameter ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 1B, TPA/MPA/IOA/HPA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
0	21	0,57	0,82	-0,03	0,88
10	21	2,42	2,1	0,93	4,69
20	21	4,18	3,1	1,03	8,96
30	21	5,54	5,16	2,98	9,72
40	21	7,29	7,38	4,73	10,9
50	21	7,15	7,18	5,25	10,66
60	21	9,69	9,09	7,57	11,61
70	21	8,12	7,6	6,04	10,93
80	21	10,02	9,32	8,22	12,88

5.2.2 Parameter ΔT_{GM}

In Abbildung 5.11 sind die ΔT_{GM} -Werte der 14 Pferde der Gruppe 1B graphisch dargestellt. Die Werte der Pferde, die im Laufe der Untersuchung die gleichen diagnostischen Anästhesien erhalten haben sind in einer Kurve zusammengefasst abgebildet. Die Pferde Nr. 3, 12, 17, 23 und 31 sind mit einer MPA und eine IOA anästhesiert worden, ihre ΔT_{GM} -Werte sind in der **grünen** Kurve abgebildet. Die Pferde Nr. 1, 6, 16 und 29 haben im Rahmen der Lahmheitsuntersuchung eine TPA und eine MPA erhalten und sind in der **blauen** Kurve dargestellt. Die Pferde Nr. 27 und 28 erhielten eine TPA, eine MPA und eine IOA, die ΔT_{GM} -Werte sind in der **violetten** Kurve zusammengefasst. Pferd Nr. 7 wurde mit einer TPA, einer MPA und einer HPA betäubt, die ΔT_{GM} -Werte entsprechen der **lila** Kurve. Pferd Nr. 10 erhielt eine MPA, eine IOA und einer HPA (**gelbe** Kurve). Pferd Nr. 21 bekamen eine TPA, eine MPA, eine IOA und eine HPA (**rote** Kurve).

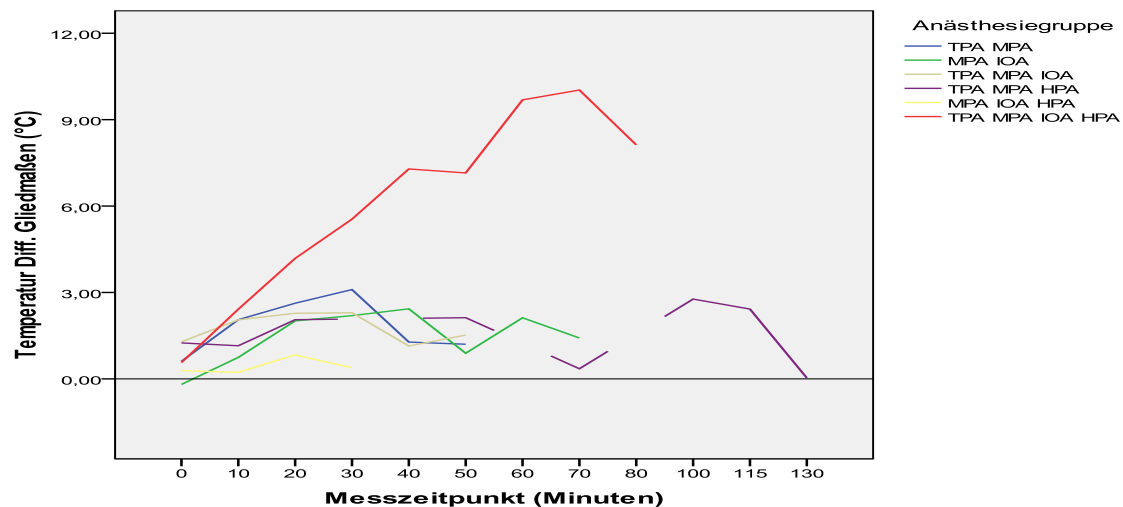


Abbildung 5.11 Parameter ΔT_{GM} , zusammengefasst in Anästhesiegruppen, Gruppe 1B

Im Folgenden sind die statistischen Parameter Median, Mittelwert, Minimal- sowie Maximalwert der ΔT_{GM} -Werte der Pferde der Gruppe 1B, zusammengefasst in die jeweiligen Anästhesiegruppen, beschrieben.

5.2.2.1 Anästhesiegruppe MPA, IOA

In Tabelle 5.11 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 30 ΔT_{GM} -Werte der fünf thermographierten Pferde, die eine MPA und eine IOA erhalten haben aufgeführt. Der höchste Median beträgt 2,55°C, 40 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste 0,17°C, vor den Anästhesien. Der niedrigste ΔT_{GM} -Wert beträgt -2,04°C und wurde vor den Anästhesien ermittelt, der höchste 3,66°C, 40 Minuten nach Untersuchungsbeginn. Zu den Untersuchungsintervallen 40 und 50 Minuten nach der ersten Anästhesie wurde lediglich Pferd Nr. 12 thermographiert. Hier entspricht der Median dem Minimal- und dem Maximalwert.

Tabelle 5.11 statistische Parameter ΔT_{GM} -Werte Gruppe 1B, MPA/IOA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
0	3, 12, 17, 23, 31	-0,19	0,17	-2,04	1,35
10	3, 12, 17, 23, 31	0,74	0,54	0,04	1,82
20	3, 12, 17, 23, 31	2,01	1,91	1,56	2,54
30	3, 12, 17, 23, 31	2,19	2,17	1,16	3,25
40	3, 12, 17, 23, 31	2,43	2,55	0,95	3,66
50	3, 12, 31	0,91	0,48	-0,07	2,32
60	12	2,12	2,12	2,12	2,12
70	12	1,42	1,42	1,42	1,42

5.2.2.2 Anästhesiegruppe TPA, MPA

In Tabelle 5.12 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 18 ΔT_{GM} -Werte der vier thermographierten Pferde, die eine TPA und eine MPA erhalten haben aufgeführt. Der höchste Median beträgt 2,48°C, 20 und 30 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste 0,41°C, vor den Anästhesien. Der niedrigste ΔT_{GM} -Wert beträgt -0,12°C und wurde vor den Anästhesien ermittelt, der höchste 6,28°C, 30 Minuten nach Untersuchungsbeginn. Zu den Untersuchungsintervallen 40 und 50 Minuten nach der ersten Anästhesie wurde lediglich Pferd Nr. 29 thermographiert. Hier entspricht der Median dem Minimal- und dem Maximalwert.

Tabelle 5.12 statistische Parameter ΔT_{GM} -Werte Gruppe 1B, TPA/MPA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
0	1, 6, 16, 29	0,55	0,41	-0,12	1,49
10	1, 6, 16, 29	1,34	1,68	-0,1	2,1
20	1, 6, 16, 29	2,63	2,48	0,26	5,28
30	1, 6, 16, 29	3,23	2,48	1,7	6,28
40	29	1,28	1,28	1,28	1,28
50	29	1,2	1,2	1,2	1,2

5.2.2.3 Anästhesiegruppe TPA, MPA, IOA

In Tabelle 5.13 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 10 ΔT_{GM} -Werte der zwei thermographierten Pferde, die eine TPA, eine MPA und eine IOA erhalten haben aufgeführt. Der höchste Median beträgt 2,3°C, 30 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste 1,14°C, 40 Minuten nach den Anästhesien. Der niedrigste ΔT_{GM} -Wert beträgt 0,08°C und wurde vor den Anästhesien ermittelt, der höchste 2,89°C, 20 Minuten nach Untersuchungsbeginn. Zu den Untersuchungsintervallen 40 und 50 Minuten nach der ersten Anästhesie wurde lediglich Pferd Nr. 27 thermographiert. Hier entspricht der Median dem Minimal- und dem Maximalwert.

Tabelle 5.13 statistische Parameter ΔT_{GM} – Werte Gruppe 1B, TPA/MPA/IOA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
0	27, 28	1,36	1,36	0,08	2,65
10	27, 28	2,05	2,05	1,23	2,87
20	27, 28	2,27	2,27	1,66	2,89
30	27, 28	2,3	2,3	1,84	2,76
40	27	1,14	1,14	1,14	1,14
50	27	1,52	1,52	1,52	1,52

5.2.2.4 Anästhesiegruppe TPA, MPA, HPA

In Tabelle 5.14 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 8 ΔT_{GM} -Werte des einen thermographierten Pferde, das eine TPA, eine MPA und eine HPA erhalten hat aufgeführt. Der höchste ΔT_{GM} -Wert beträgt 2,77°C, 100 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste 0,35°C, 70 Minuten nach den Anästhesien. Das Minimum und das Maximum der Untersuchung entsprechen, da nur ein Pferd mit der entsprechenden Anästhesiekombination untersucht wurde, dem niedrigsten bzw. höchsten Median.

Tabelle 5.14 statistische Parameter ΔT_{GM} – Werte Gruppe 1B, TPA/MPA/HPA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
0	7	1,25	1,25	1,25	1,25
10	7	1,55	1,55	1,55	1,55
20	7	2,05	2,05	2,05	2,05
50	7	2,12	2,12	2,12	2,12
70	7	0,35	0,35	0,35	0,35
100	7	2,77	2,77	2,77	2,77
115	7	2,42	2,42	2,42	2,42
130	7	0,03	0,03	0,03	0,03

5.2.2.5 Anästhesiegruppe MPA, IOA, HPA

In Tabelle 5.15 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 4 ΔT_{GM} -Werte des einen thermographierten Pferde, das eine MPA, eine IOA und eine HPA erhalten hat aufgeführt. Der höchste ΔT_{GM} -Wert beträgt $0,83^{\circ}\text{C}$, 20 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste $0,23^{\circ}\text{C}$, 10 Minuten nach der ersten Anästhesie. Das Minimum und das Maximum der Untersuchung entsprechen, da nur ein Pferd mit der entsprechenden Anästhesiekombination untersucht wurde, dem niedrigsten bzw. höchsten Median.

Tabelle 5.15 statistische Parameter ΔT_{GM} – Werte Gruppe 1B, MPA/IOA/HPA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert ($^{\circ}\text{C}$)	Median ($^{\circ}\text{C}$)	Minimum ($^{\circ}\text{C}$)	Maximum ($^{\circ}\text{C}$)
0	10	0,29	0,29	0,29	0,29
10	10	0,23	0,23	0,23	0,23
20	10	0,83	0,83	0,83	0,83
30	10	0,39	0,39	0,39	0,39

5.2.2.6 Anästhesiegruppe TPA, MPA, IOA, HPA

In Tabelle 5.16 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 10 ΔT_{GM} -Werte des einen thermographierten Pferde, das eine TPA, eine MPA, eine IOA und eine HPA erhalten hat aufgeführt. Der höchste ΔT_{GM} -Wert beträgt 10,03°C, 70 Minuten nach der ersten Anästhesie, der niedrigste 0,57°C, vor den Anästhesien. Das Minimum und das Maximum der Untersuchung entsprechen, da nur ein Pferd mit der entsprechenden Anästhesiekombination untersucht wurde, dem niedrigsten bzw. höchsten Median.

Tabelle 5.16 statistische Parameter ΔT_{GM} – Werte Gruppe 1B, TPA/MPA/IOA/HPA

Messung (Minuten)	Lfd. Nr. Pferd	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
0	21	0,57	0,57	0,57	0,57
10	21	2,42	2,42	2,42	2,42
20	21	4,18	4,18	4,18	4,18
30	21	5,55	5,55	5,55	5,55
40	21	7,29	7,29	7,29	7,29
50	21	7,15	7,15	7,15	7,15
60	21	9,69	9,69	9,69	9,69
70	21	10,03	10,03	10,03	10,03
80	21	8,12	8,12	8,12	8,12

5.3 Gruppe 1C

5.3.1 Parameter ΔT_{R1-5}

Zwei der 32 diagnostisch anästhesierten Pferde dieser Studie sind an beiden Vorderextremitäten anästhesiert worden (Pferd Nr. 14 und 32). Zur Berechnung der Parameter ΔT_{R1-5} und ΔT_{GM} wurden jeweils die Temperaturwerte der linken Vordergliedmaße von der kontralateralen rechten Vorderextremität abgezogen. In den Abbildungen 5.12 bis 5.25 sind die ΔT_{R1-5} -Werte zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten graphisch dargestellt. Bei 0°C wurde eine Bezugslinie zur Y-Achse gezogen.

Pferd Nummer 14:

Bei Pferd Nr. 14 wurden insgesamt sieben thermographische Messungen durchgeführt (s. Abb. 5.12 bis 5.18). Das Pferd wurde mit einer TPA vorne links (MZ 10 Min.) und einer TPA vorne rechts (MZ 40 Min.) betäubt.

Vor den Anästhesien liegen die $\Delta T_{R1,2,3,5}$ -Werte unter 0°C. Während der weiteren Untersuchung liegen alle ΔT_{R1-5} -Werte bis zum Messzeitpunkt 40 Minuten über 0°C. 40 Minuten nach der ersten Anästhesie ist an beiden Vorderbeinen eine TPA gesetzt worden. Der ΔT_{R5} -Wert liegt über 0°C, die $\Delta T_{R1,2,3,4}$ -Werte halten sich unter 0°C auf. 50 Minuten nach der ersten Anästhesie liegen alle ΔT_{R1-5} -Werte unter 0°C. Das bedeutet, dass das rechte Bein das wärmere ist. 60 Minuten nach der ersten Anästhesie halten sich die $\Delta T_{R3,5}$ -Werte

unter 0°C auf, die $\Delta T_{R1,2,4}$ -Werte liegen über 0°C. Der niedrigste ΔT_R -Wert der insgesamt 35 Werte beträgt -4,71°C (MZ 0 Min., ΔT_{R1}) und der höchste 5,66°C (MZ 20 Min., ΔT_{R3}).

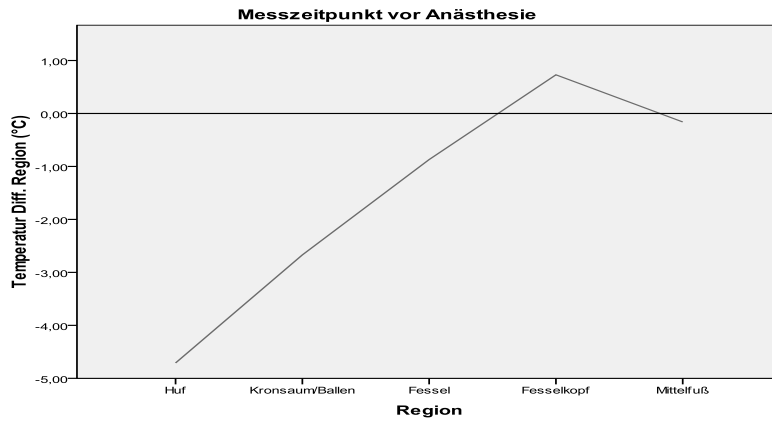


Abbildung 5.12 Pfd. Nr. 14, ΔT_{R1-5} vor der TPA

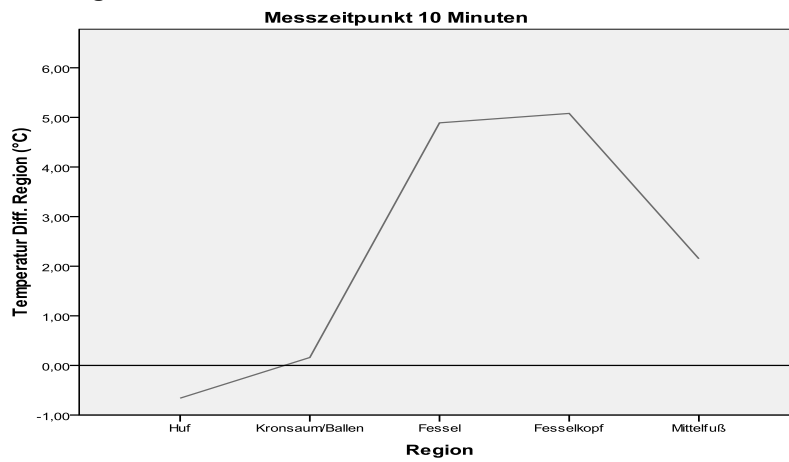


Abbildung 5.13 Pfd. Nr. 14 ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 10 Minuten, TPA vo.li.

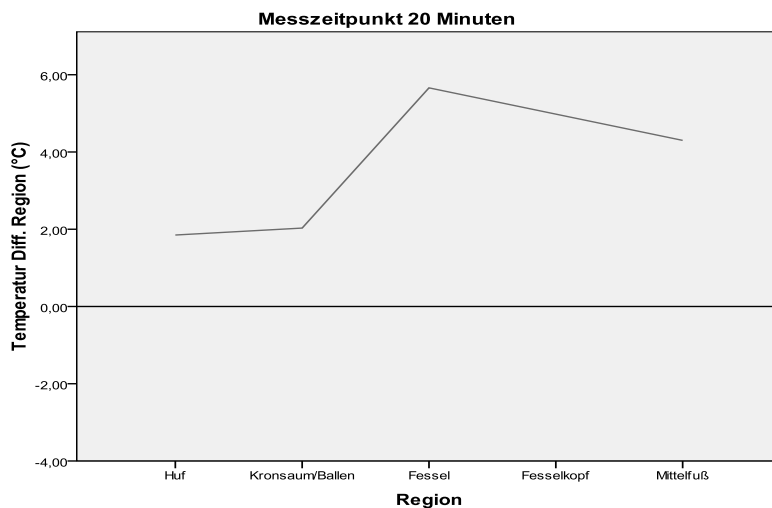


Abbildung 5.14 Pfd. Nr. 14 ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 20 Minuten, TPA vo.li.

Ergebnisse

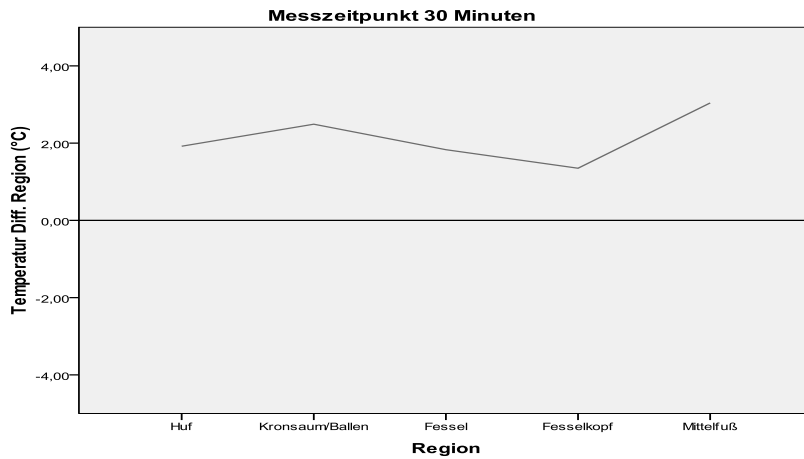


Abbildung 5.15 Pfd. Nr. 14 ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 30 Min., TPA vo.li.

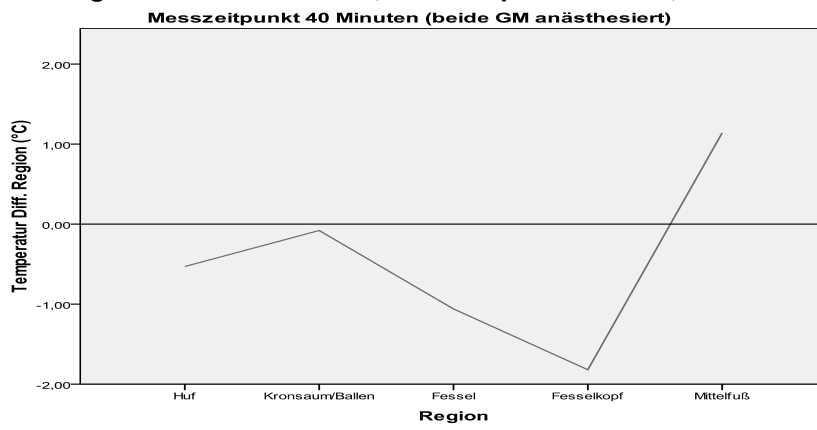


Abbildung 5.16 Pfd. Nr. 14 ΔT_{R1-5} , Messzeitpunkt 40 Min., TPA vo.bds.

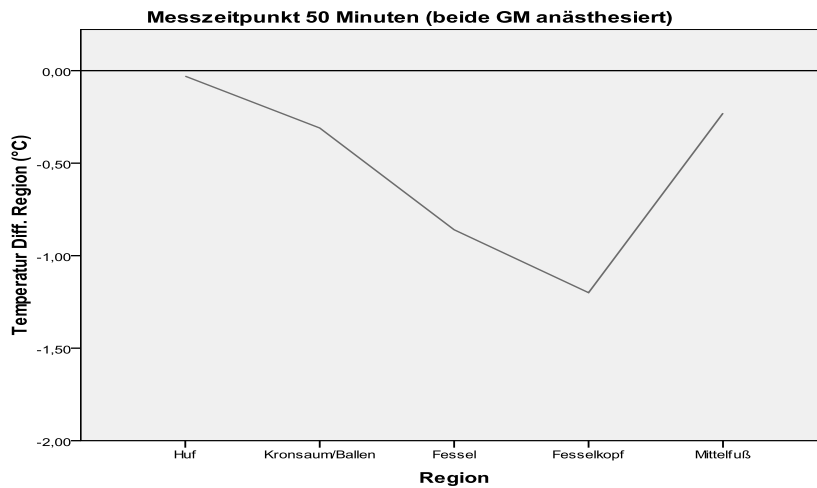


Abbildung 5.17 Pfd. Nr. 14 ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 50 Minuten, TPA vo.bds.

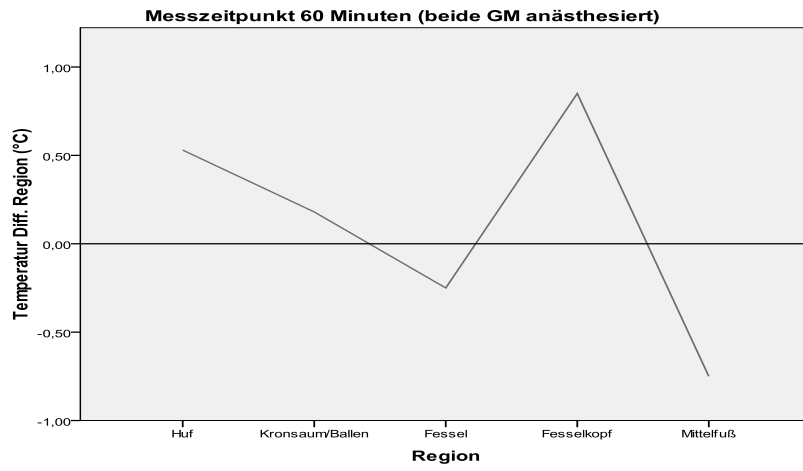


Abbildung 5.18 Pfd. Nr. 14 ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 60 Min., TPA vo.bds.

Pferd Nummer 32:

Bei Pferd Nr. 32 wurden insgesamt sieben thermographische Messungen durchgeführt (s. Abb. 5.19 bis 5.25). Das Pferd wurde mit einer TPA vorne rechts (MZ 10 Min.), einer MPA vorne links (MZ 20 Min.) und einer IOA vorne links (MZ 40 Min.) betäubt. Vor den Anästhesien liegen die $\Delta T_{R2,3,4}$ -Werte unter 0°C , der ΔT_{R1} -Wert liegt über 0°C . Zehn Minuten nach der ersten Anästhesie beträgt der ΔT_{R5} -Wert 0°C , die $\Delta T_{R1,2,3,4}$ -Werte liegen unter 0°C . 20 Minuten nach der ersten Anästhesie liegt der ΔT_{R1} -Wert der unter 0°C , die anderen vier Werte liegen darüber. 30 Minuten nach der ersten Anästhesie liegen die $\Delta T_{R1,3,4,5}$ -Werte unter 0°C , der ΔT_{R2} -Wert beträgt $0,6^{\circ}\text{C}$. 40 Minuten nach der ersten Anästhesie liegen die $\Delta T_{R1,2,3}$ -Werte unter, die der Regionen $\Delta T_{R4,5}$ -Werte über 0°C . Im Laufe der weiteren Untersuchung liegen alle ΔT_R -Werte unter 0°C . Der niedrigste ΔT_R -Wert der insgesamt 35 Werte beträgt $-1,59^{\circ}\text{C}$ und der Maximalwert $1,72^{\circ}\text{C}$.

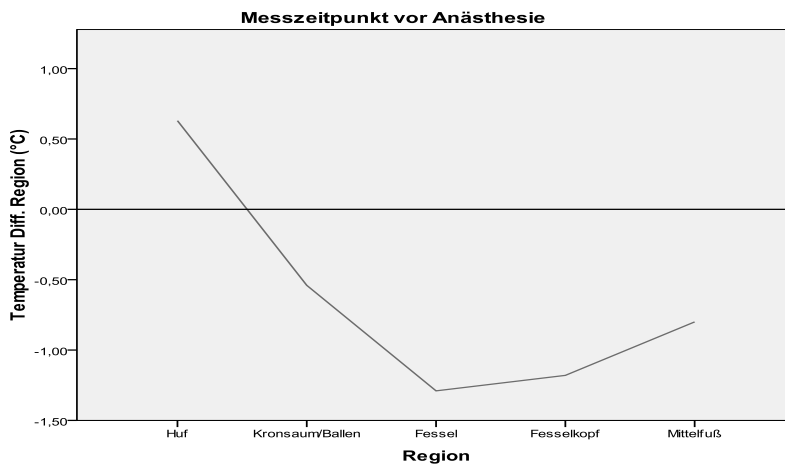


Abbildung 5.19 Pfd. Nr.32, ΔT_{R1-5} ohne Anästhesie

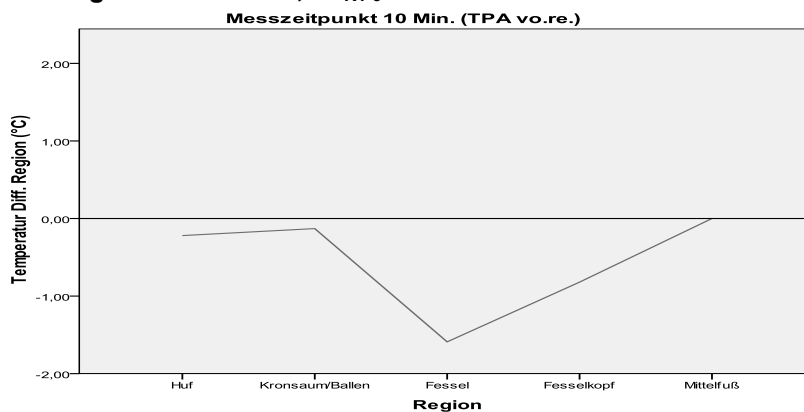


Abbildung 5.20 Pfd. Nr.32, ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 10 Min., TPA vo.re.

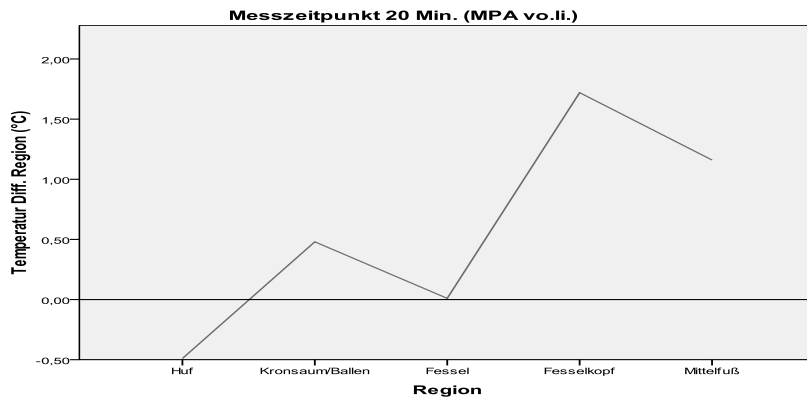


Abbildung 5.21 Pfd. Nr.32, ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 20 Min., TPA vo.re. u. MPA vo.li.

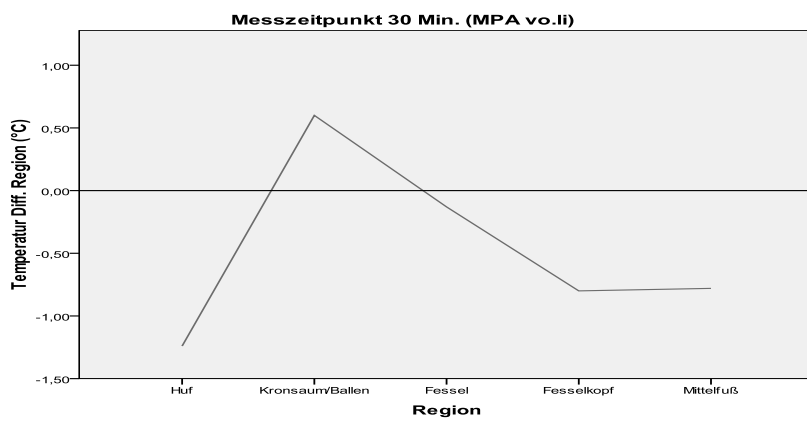


Abbildung 5.22 Pfd. Nr.32, ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 30 Min., TPA vo.re. u. MPA vo.li.

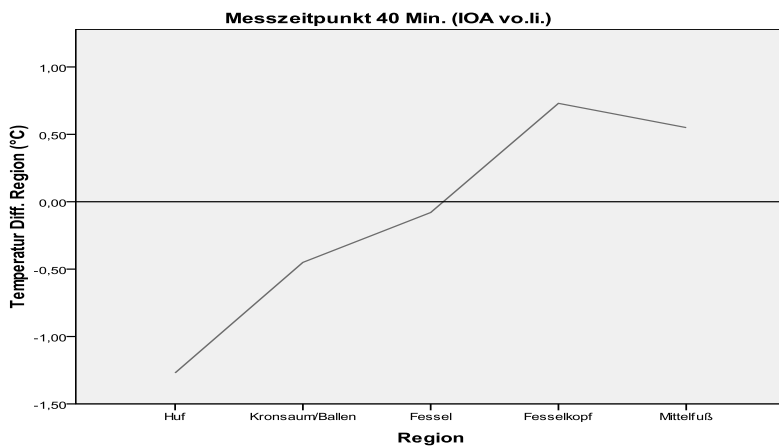


Abbildung 5.23 Pfd. Nr.32, ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 40 Min., TPA vo.re., MPA u. IOA vo.li.

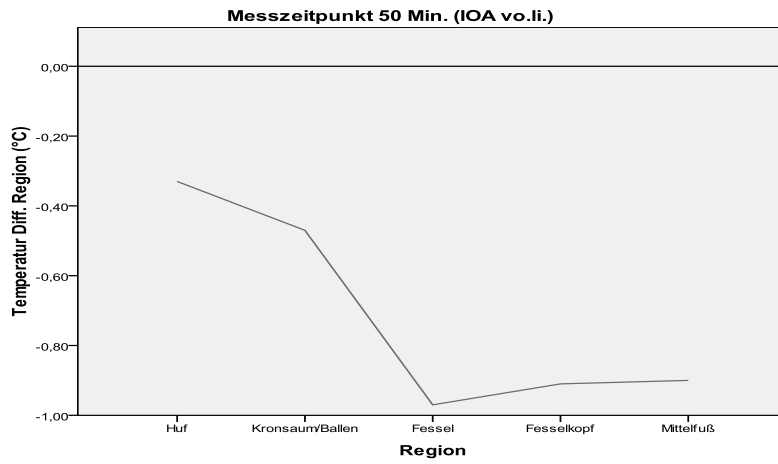


Abbildung 5.24 Pfd. Nr.32, ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 50 Min., TPA vo.re., MPA u. IOA vo.li.

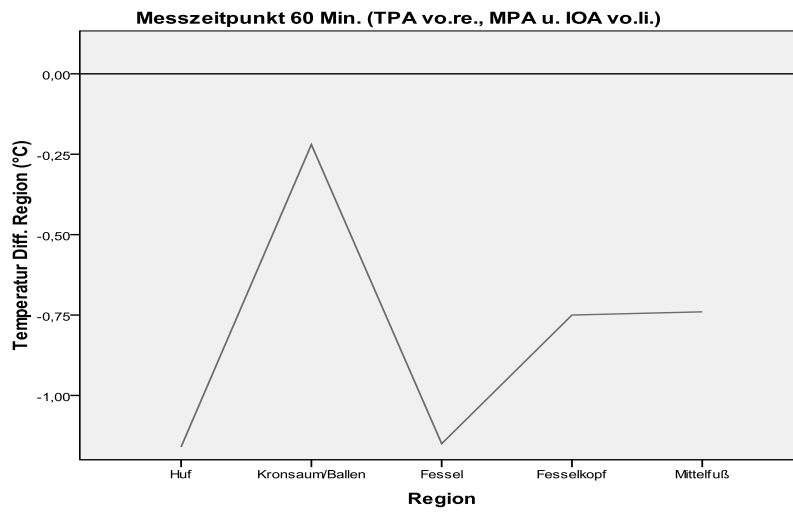


Abbildung 5.25 Pfd. Nr.32, ΔT_{R1-5} Messzeitpunkt 60 Min., TPA vo.re., MPA u. IOA vo.li.

5.3.2 Parameter ΔT_{GM}

In Abbildung 5.26 sind die ΔT_{GM} -Werte der Pferde der Gruppe 1C graphisch dargestellt. Die rote Kurve beschreibt den Temperaturverlauf des Pferdes Nr. 32 (blau), die blaue die des Pferdes Nr. 14 (rot). Bei 30 und 40 Minuten wurde jeweils in der dem Pferd zugeordneten Farbe eine vertikale Linie eingezeichnet. Sie markieren den Zeitpunkt an dem die zweite Vordergliedmaße anästhesiert wurde. Zur Orientierung befindet sich bei 0°C eine Bezugslinie zur Y-Achse. Da bei der Berechnung der ΔT_{GM} -Werte der vorne beidseitig anästhesierten Pferde die Temperaturwerte der linken Gliedmaße von denen der rechten abgezogen wurden, war bei Werten, die über 0°C liegen die linke Vordergliedmaße die Wärmere und bei Werten, die sich unter 0°C aufhalten war das rechte Vorderbein das Wärmere. Bei Pferd Nr. 14 liegen drei ΔT_{GM} -Werte unter 0°C (MZ 0, 40 und 50 Min.). Vor den Anästhesien war das rechte Vorderbein das wärmere. Nach der TPA vorne links ist das linke Bein bis zu dem Zeitpunkt, an dem das rechte Bein auch mit einer TPA anästhesiert wurde wärmer (MZ 40 Min.). 40 und 50 Minuten nach Beginn der Untersuchung liegen die T_{GM} -Werte unter der Nulllinie. Nach einer Stunde ist die linke Vorderextremität wieder die Wärmere.

Bei Pferd Nr. 32 liegen sechs von sieben ΔT_{GM} -Werte unter 0°C . Hier ist anfangs am rechten Vorderbein eine TPA durchgeführt worden. Nach 20 Minuten wurde am linken Bein eine MPA gesetzt und nach 40 Minuten eine IOA. Ausschließlich 20 Minuten nach Beginn der Untersuchung liegt der T_{GM} -Wert über 0°C .

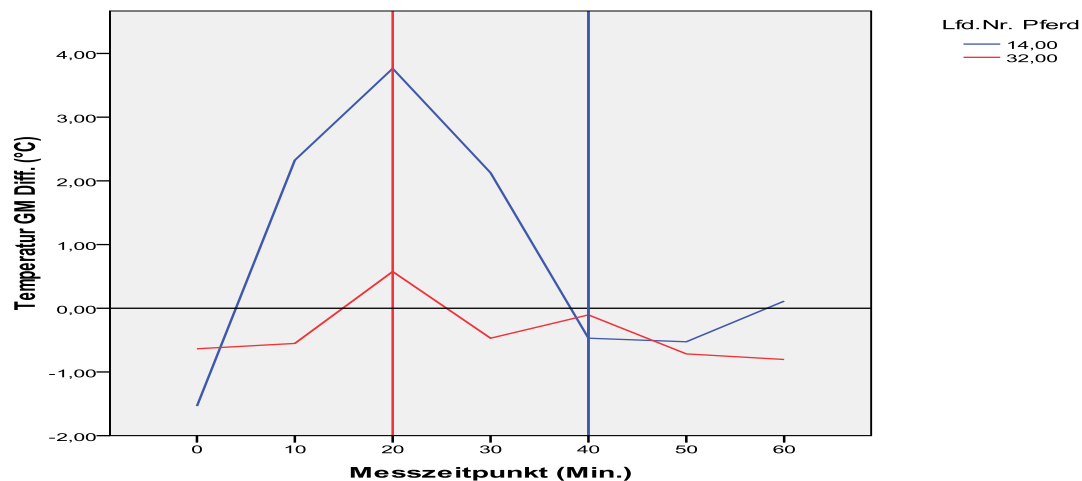


Abbildung 5.26 ΔT_{GM} -Werte Pferd Nr. 14 und 32

5.4 Gruppe 2A

Im folgenden Text werden die thermographisch erfassten Temperaturparameter der 15 einseitig neurektomierten Pferde dieser Studie, aufgeteilt auf drei unterschiedliche Zeitspannen zwischen Operation und thermographischer Untersuchung, vorgestellt. Tabelle 3.1 sind die unterschiedlichen Zeitspannen zwischen Operation und thermographischer Untersuchung zu entnehmen.

5.4.1 Zwei bis acht Wochen nach Neurektomie

5.4.1.1 Parameter ΔT_{R1-5}

In Tabelle 5.17 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte der fünf thermographierten Pferde, für die der Operationszeitpunkt zum Datum der thermographischen Untersuchung zwei bis acht Wochen zurücklag, aufgeführt. Der höchste Median beträgt $9,27^{\circ}\text{C}$, der niedrigste $4,02^{\circ}\text{C}$. Der Maximalwert der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte beträgt $10,64^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R3} , Pferd Nr. 39), der Minimalwert $1,92^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , Pferd Nr. 35).

Tabelle 5.17 statistische Parameter Gruppe 2A, zwei-acht Wochen nach Neurektomie

Lfd. Nr.	Mittelwert ($^{\circ}\text{C}$)	Median ($^{\circ}\text{C}$)	Minimum ($^{\circ}\text{C}$)	Maximum ($^{\circ}\text{C}$)
35	4,99	4,31	1,92	8,86
39	8,01	9,27	4,77	10,64
40	8,9	9,91	6,07	10,42
41	7,75	6,44	4,92	12,07
47	4,04	4,02	3,08	5,27

In Abbildung 5.27 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der fünf einseitig neurektomierten Pferde graphisch dargestellt. Jedem Pferd gehört eine Kurve an (s. Legende). Bei 0°C wurde eine Bezugslinie zur Y-Achse eingezeichnet. Zu erkennen ist, dass sich alle Kurven oberhalb von 0°C aufhalten.

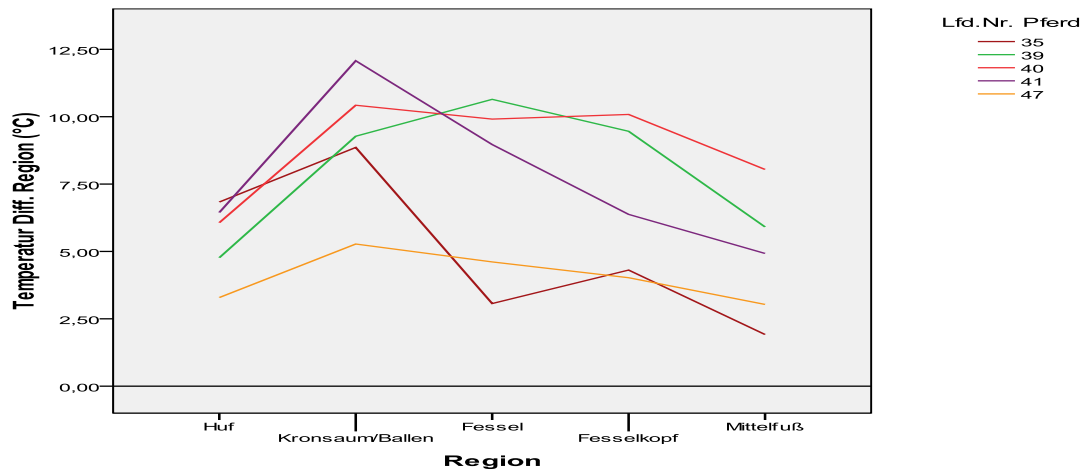


Abbildung 5.27 ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 2A, zwei bis acht Wochen nach Neurektomie

5.4.1.2 Parameter ΔT_{GM}

In Tabelle 5.18 sind die ΔT_{GM} -Werte der fünf einseitig neurektomierten Pferde, für die der Operationszeitpunkt zum Datum der thermographischen Untersuchung zwei bis acht Wochen zurücklag, aufgeführt. Alle ΔT_{GM} -Werte liegen deutlich über 0°C. Der Median beträgt 7,54°C, der Minimalwert 4,99°C (Pferd Nr. 35), der Maximalwert 8,9°C (Pferd Nr. 40).

Tabelle 5.18 ΔT_{GM} -Werte Gruppe 2A, zwei-acht Wochen nach Neurektomie

Lfd. Nr.	35	39	40	41	47
ΔT_{GM} (°C)	4,99	8,01	8,9	7,76	4,05

5.4.2 Sechs bis elf Monate nach Neurektomie

5.4.2.1 Parameter ΔT_{R1-5}

In Tabelle 5.19 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte der fünf thermographierten Pferde, für die der Operationszeitpunkt zum Datum der thermographischen Untersuchung sechs bis elf Monate zurücklag, aufgeführt. Der höchste Median beträgt 0,53°C, der niedrigste -0,15°C. Der Maximalwert der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte beträgt 1,36°C (ΔT_{R2} , Pferd Nr. 38), der Minimalwert -2,35°C (ΔT_{R5} , Pferd Nr. 42).

Tabelle 5.19 statistische Parameter Gruppe 2A, sechs-elf Monate nach Neurektomie

Lfd. Nr.	Mittelwert (°C)	Median (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
33	0,48	0,53	-0,28	0,85
34	0,17	0,37	-0,49	0,48
37	-0,02	-0,05	-0,46	0,32
38	0,08	0,39	-0,27	1,36
42	-0,39	-0,15	-2,35	1,33

In Abbildung 5.28 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der fünf beschriebenen neurektomierten Pferde graphisch dargestellt. Neun der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte liegen unter 0°C . Bei Pferd Nr. 33 liegt der ΔT_{R1} -Wert, bei Pferd Nr. 34 der ΔT_{R2} -Wert und bei Pferd Nr. 38 der ΔT_{R5} -Wert unter 0°C . Bei Pferd Nr. 37 liegen die $\Delta T_{R2,3,4}$ -Werte und bei Pferd Nr. 42 die $\Delta T_{R1,4,5}$ -Werte unter 0°C .

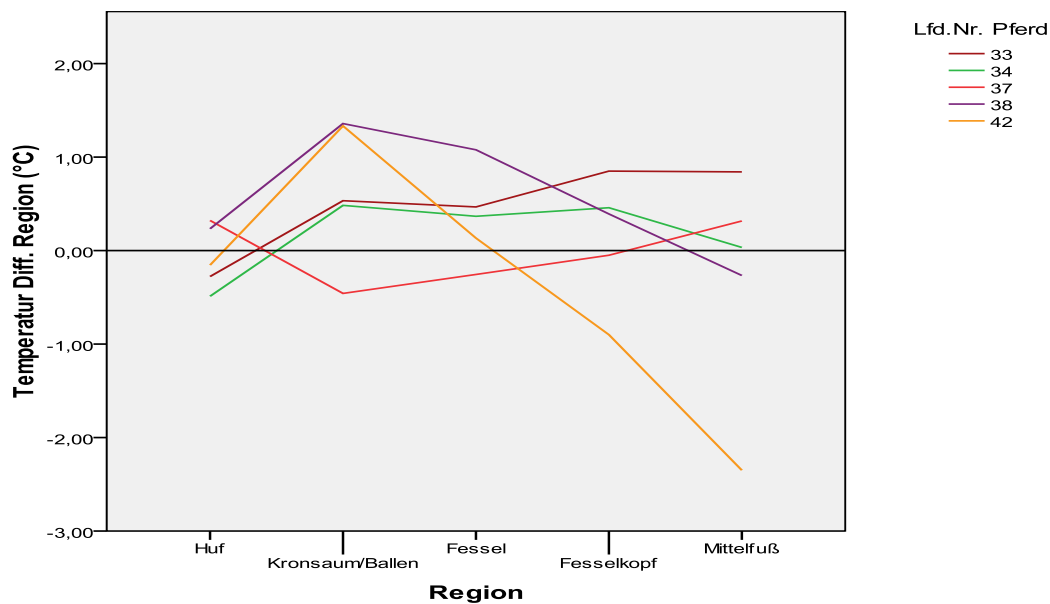


Abbildung 5.28 ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 2A, sechs-elf Monate nach Neurektomie

5.4.2.2 Parameter ΔT_{GM}

In Tabelle 5.20 sind die ΔT_{GM} -Werte der fünf einseitig neurektomierten Pferde, für die der Operationszeitpunkt zum Datum der thermographischen Untersuchung sechs bis elf Monate zurücklag, aufgeführt. Alle ΔT_{GM} -Werte liegen weniger als 1°C unter bzw. über 0°C . Der Median beträgt $0,08^\circ\text{C}$, der Minimalwert $-0,39^\circ\text{C}$ (Pferd Nr. 42), der Maximalwert $0,56^\circ\text{C}$ (Pferd Nr. 38).

Tabelle 5.20 ΔT_{GM} -Werte sechs-elf Monate nach Neurektomie

Lfd. Nr.	33	34	37	38	42
$\Delta T_{GM} (^\circ\text{C})$	0,48	0,17	-0,02	0,56	-0,39

5.4.3 12 Monate bis fünf Jahre nach Neurektomie

5.4.3.1 Parameter ΔT_{R1-5}

In Tabelle 5.21 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte der fünf thermographierten Pferde, für die der Operationszeitpunkt zum Datum der thermographischen Untersuchung zwölf Monate bis fünf Jahre zurücklag, aufgeführt. Der höchste Median beträgt $1,74^\circ\text{C}$, der niedrigste $-1,6^\circ\text{C}$. Der Maximalwert der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte beträgt $2,95^\circ\text{C}$ (ΔT_{R3} , Pferd Nr. 44), der Minimalwert $-5,23^\circ\text{C}$ (ΔT_{R5} , Pferd Nr. 50).

Tabelle 5.21 statistische Parameter Gruppe 2A, 12 Monate bis fünf Jahre nach Neurektomie

Lfd. Nr.	Mittelwert ($^\circ\text{C}$)	Median ($^\circ\text{C}$)	Minimum ($^\circ\text{C}$)	Maximum ($^\circ\text{C}$)
44	1,35	1,74	-0,38	2,95
45	0,75	0,56	0,12	1,17
46	0,35	0,47	-0,6	0,97
50	-2,39	-1,6	-5,23	0,15
52	-0,9	-0,62	-1,92	-0,22

In Abbildung 5.29 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der fünf beschriebenen neurektomierten Pferde graphisch dargestellt. Elf der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte liegen unter 0°C . Bei Pferd Nr. 44 und 46 liegt der ΔT_{R1} -Wert, bei Pferd Nr. 50 die ΔT_{R2-5} -Werte und bei Pferd Nr. 52 die ΔT_{R1-5} -Werte unter 0°C .

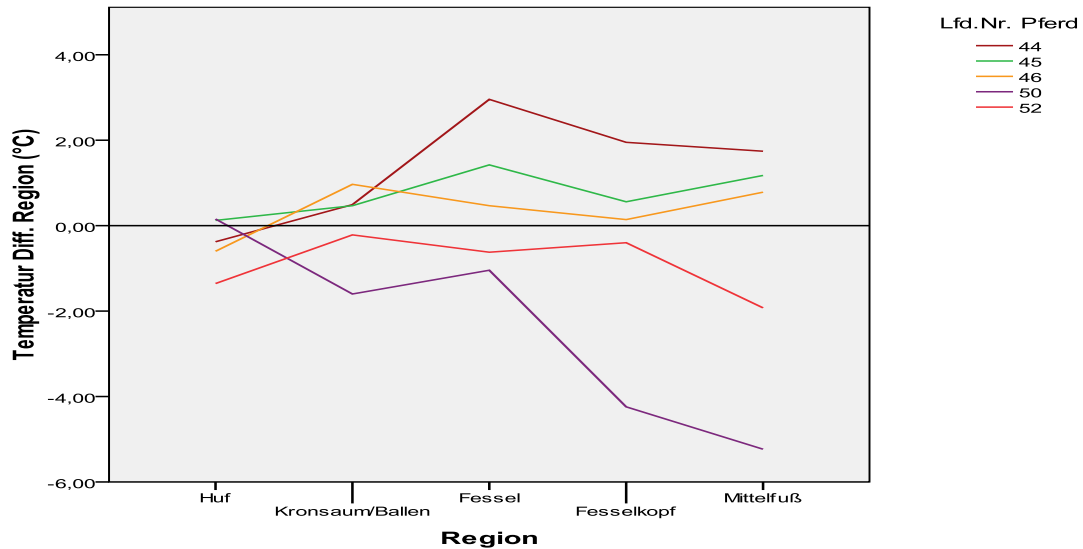


Abbildung 5.29 ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 2A, zwölf Monate bis fünf Jahre nach Neurektomie

5.4.3.2 Parameter ΔT_{GM}

In Tabelle 5.22 sind die ΔT_{GM} -Werte der fünf einseitig neurektomierten Pferde, für die der Operationszeitpunkt zum Datum der thermograpischen Untersuchung zwölf Monate bis fünf Jahre zurücklag aufgeführt. Der Median beträgt $0,35^{\circ}\text{C}$, der Minimalwert $-2,39^{\circ}\text{C}$ (Pferd Nr. 50), der Maximalwert $1,35^{\circ}\text{C}$ (Pferd Nr. 44).

Tabelle 5.22 ΔTGM -Werte Gruppe 2A, 12 Monate bis fünf Jahre nach Neurektomie

Lfd. Nr.	44	45	46	50	52
$\Delta TGM (^{\circ}\text{C})$	1,35	0,75	0,35	-2,39	-0,9

5.5 Gruppe 2B

Im folgenden Text werden die thermographisch erfassten Temperaturparameter der fünf vorne beidseitig neurektomierten vorgestellt. Bei der Berechnung der Temperaturdifferenzwerte wurden die der rechten Gliedmaße von denen der linken abgezogen.

5.5.1 Parameter ΔT_{R1-5}

In Tabelle 5.23 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte der fünf vorne beidseitig neurektomierten Pferde dieser Studie aufgelistet. Bei allen Pferden liegt die Operation zum Datum der thermographischen Untersuchung über ein Jahr zurück. Die Neurektomien wurden an beiden Vordergliedmaßen zu einem Operationsdatum durchgeführt. Der höchste Median beträgt $0,97^{\circ}\text{C}$, der niedrigste $-0,34^{\circ}\text{C}$. Der Maximalwert der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte beträgt $2,05^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R5} , Pferd Nr. 43), der Minimalwert $-0,89^{\circ}\text{C}$ (ΔT_{R2} , Pferd Nr. 45).

Tabelle 5.23 statistische Parameter Gruppe 2B

Lfd. Nr.	Mittelwert ($^{\circ}\text{C}$)	Median ($^{\circ}\text{C}$)	Minimum ($^{\circ}\text{C}$)	Maximum ($^{\circ}\text{C}$)
36	0,85	0,97	0,13	1,94
43	0,81	0,89	-0,17	2,05
45	-0,27	-0,34	-0,89	0,36
49	0,16	-0,02	-0,39	1,73
51	-0,08	-0,09	-0,67	0,82

In Abbildung 5.23 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der fünf beschriebenen neurektomierten Pferde graphisch dargestellt. 12 der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte liegen unter 0°C . Dabei handelt es sich um die $\Delta T_{R1,4}$ -Werte von Pferd Nr. 51, die ΔT_{R3-5} -Werte des Pferdes Nr. 49, die $\Delta T_{R2,4}$ -Werte des Pferdes Nr. 45 und die $\Delta T_{R1,4}$ -Werte des Pferdes Nr. 43.

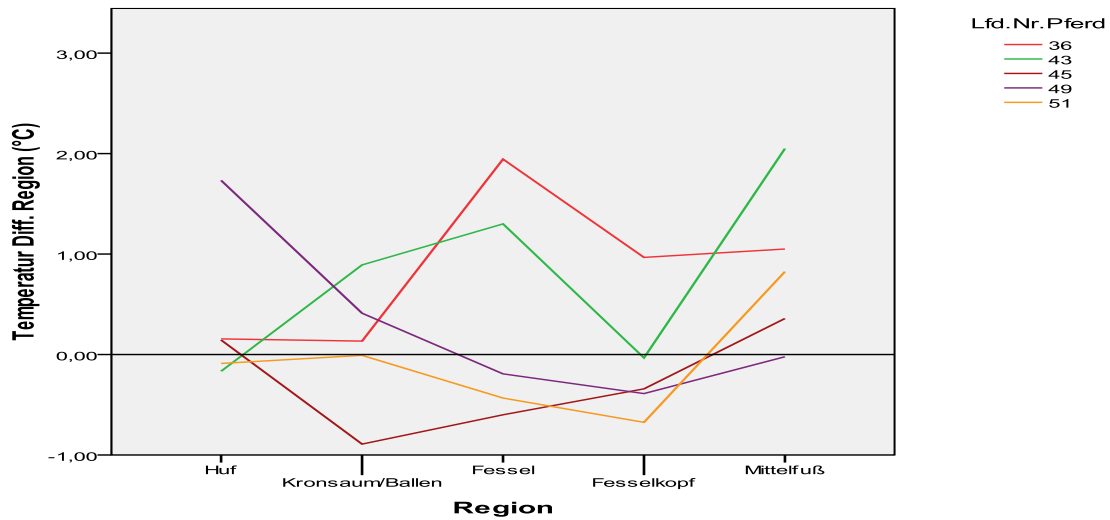


Abbildung 5.30 ΔT_{R1-5} -Werte Gruppe 2B

5.5.2 Parameter ΔT_{GM}

In Tabelle 5.24 sind die ΔT_{GM} -Werte der fünf beidseitig neurektomierten Pferde aufgeführt. Der Median der fünf ΔT_{GM} -Werte beträgt $0,16^\circ\text{C}$, der Maximalwert $0,87^\circ\text{C}$ (Pferd Nr. 51) und der Minimalwert $-0,58^\circ\text{C}$ (Pferd Nr. 49).

Tabelle 5.24 ΔT_{GM} -Werte Gruppe 2B

Lfd. Nr.	36	43	45	49	51
ΔT_{GM} ($^\circ\text{C}$)	0,25	-0,15	0,79	-0,58	0,87

5.6 Gruppe 3

Gruppe 3 umfasst neun Pferde, die dieser Studie als Kontrollgruppe dienen. Im folgenden Text werden die thermographisch erfassten Temperaturparameter der neun Kontrollpferde dieser Studie vorgestellt.

5.6.1 Parameter ΔT_{R1-5}

In Tabelle 5.25 sind der Median, der Mittelwert, sowie das Minimum und das Maximum der insgesamt 45 ΔT_{R1-5} -Werte der neun Pferde der Kontrollgruppe dieser Studie aufgelistet. Der höchste Median beträgt $0,6^\circ$, der niedrigste $-0,4^\circ\text{C}$. Der Maximalwert der insgesamt 25 ΔT_{R1-5} -Werte beträgt $1,8^\circ\text{C}$ (ΔT_{R5} , Pferd Nr. 57), der Minimalwert $-1,84^\circ\text{C}$ (ΔT_{R5} , Pferd Nr. 53).

Tabelle 5.25 statistische Parameter Gruppe 3

Lfd. Nr.	Mittelwert ($^\circ\text{C}$)	Median ($^\circ\text{C}$)	Minimum ($^\circ\text{C}$)	Maximum ($^\circ\text{C}$)
53	-0,62	-0,4	-1,84	-0,09
54	-0,26	-0,4	-1,1	0,6
55	0,56	0,6	0	1,1
56	-0,5	-0,5	-1,3	0,3
57	0,54	0,2	-0,2	1,8
58	0,12	0,2	-0,3	0,4
59	0,14	0,1	-0,8	1,5
60	0,5	0,6	-0,4	1
61	-0,18	-0,4	-0,8	0,5

In Abbildung 5.31 sind die ΔT_{R1-5} -Werte der neun Pferde der Kontrollgruppe graphisch dargestellt. 19 der insgesamt 45 ΔT_{R1-5} -Werte liegen unter 0°C . Dabei handelt es sich um die ΔT_{R1-5} -Werte von Pferd Nr. 53, die $\Delta T_{R1,4,5}$ -Werte von Pferd Nr. 54, die ΔT_{R2-5} -Werte von Pferd Nr. 56, den ΔT_{R1} -Werte von Pferd Nr. 57, die $\Delta T_{R2,5}$ -Werte von Pferd Nr. 58, die $\Delta T_{R4,5}$ -Werte von Pferd Nr. 59, den ΔT_{R4} -Wert von Pferd Nr. 60 und die $\Delta T_{R2,4,5}$ -Werte von Pferd Nr. 61.

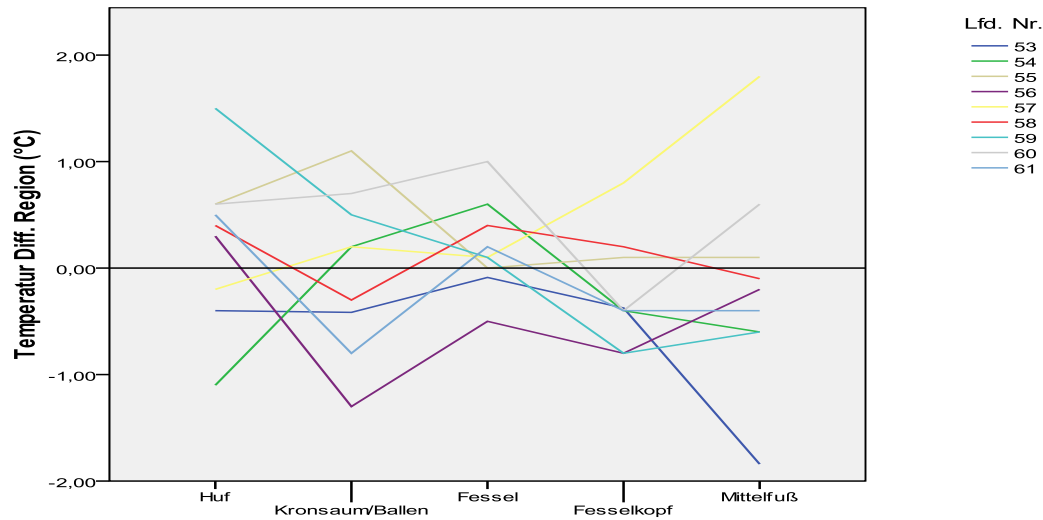


Abbildung 5.31 Parameter ΔT_{R1-5} , Gruppe 3

5.6.2 Parameter ΔT_{GM}

In Tabelle sind die ΔT_{GM} -Werte der neun Pferde der Kontrollgruppe dieser Studie aufgeführt. Der Median der insgesamt neun ΔT_{GM} -Werte beträgt $0,12^{\circ}\text{C}$, der Maximalwert $0,52^{\circ}\text{C}$ (Pferd Nr. 57) und der Minimalwert $-0,62^{\circ}\text{C}$ (Pferd Nr. 53).

Tabelle 5.26 ΔT_{GM} -Werte, Gruppe 3

Lfd. Nr.	53	54	55	56	57	58	59	60	61
$\Delta T_{GM} (^{\circ}\text{C})$	-0,62	-0,21	0,41	-0,49	0,52	0,12	0,15	0,5	-0,19

6 Diskussion

6.1 Patientenmaterial

In dieser Studie wurden insgesamt 61 Pferde thermographisch untersucht. Sie waren in dem Zeitraum von Mai 2005 bis Juni 2006 sowohl poliklinische als auch stationäre Patienten der Pferdeklunik der Freien Universität Berlin. Fünf der Pferde dieser Studie waren Eigentum der Klinik. Überprüft werden sollte, ob während sportlicher Veranstaltungen mittels der Thermographie lokalanästhetische Injektionen und Neurektomien der Nn. digitales palmares lat./med. nachgewiesen werden können.

Das durchschnittliche Lebensalter der untersuchten Pferde lag bei elf +/- sieben Jahren. Das angegebene Durchschnittsalter entspricht damit ungefähr dem Lebensabschnitt, in dem Pferde sich in ihrer „Arbeitsphase“ befinden und auf öffentlichen Veranstaltungen vorgestellt werden können.

Um die untersuchten Probanden untereinander vergleichen zu können, wurden nur thermographische Daten von distalen Vorderextremitäten (inklusive Huf, exklusive Vorderfußwurzelgelenk) berücksichtigt. Die Patienten wurden nach strengen Richtlinien ausgesucht, so dass die Beeinflussung der thermographisch erhobenen Messergebnisse durch äußere Faktoren möglichst gering gehalten wurde (vgl. Kapitel 4).

Mit dem Ziel, das zur Verfügung stehende Patientenmaterial in möglichst homogene Gruppen zu unterteilen, wurde folgende Gruppierung durchgeführt:

Pferde, die im Rahmen der Lahmheitsuntersuchung ausschließlich eine Tiefe Palmarnerven Anästhesie erhielten, wurden in der Untersuchungsgruppe 1A (n=16) zusammengefasst.

Die Probanden, die mehrere diagnostische Leitungsanästhesien bekamen, bildeten die Untersuchungsgruppe 1B (n=14). Fünf Pferde der Gruppe 1B erhielten eine MPA und eine IOA, vier eine TPA und eine MPA, zwei eine TPA, eine MPA und eine IOA und jeweils eines der folgenden drei Pferde erhielt eine TPA, eine MPA und eine HPA, das zweite eine MPA, eine IOA und eine HPA und das dritte Pferd wurde durch eine TPA, eine MPA, eine IOA und eine HPA anästhesiert. Durch die aufgeführten sehr unterschiedlichen Kombinationen der diagnostische Anästhesien, handelt es sich bei der Gruppe 1B um eine eher inhomogene Gruppe. Die Präsentation der Daten wurde aufgrund dessen mittels einer Einzelfallbesprechung durchgeführt.

Pferde, die im Laufe der Lahmheitsuntersuchung an beiden Vorderextremitäten anästhesiert wurden, stellten die Gruppe 1C (n=2) dar.

Durch die beschriebene Einteilung der anästhesierten Pferde in drei Gruppen sollte kontrolliert werden, ob sich die unterschiedlichen Mengen des verabreichten Anästhetikums im Thermogramm bemerkbar machen.

Die einseitig neurektomierten Pferde wurden in der Gruppe 2A (n=15), die beidseitig neurektomierten Probanden in der Untersuchungsgruppe 2B (n=5) zusammengefasst. Damit sollte die Möglichkeit berücksichtigt werden, dass auch Pferde mit beidseitig neurektomierten Vordergliedmaßen während eines sportlichen Wettkampfes als solche identifiziert werden müssen. Weiterhin wurde bei der Auswertung der Einfluss des Operationszeitpunktes auf die thermographisch erfassten Daten überprüft.

Bei den Pferden der Kontrollgruppe handelte es sich um neun lahmfreie, gesunde Tiere. Die thermographischen Daten dieser Gruppe dienten als Orientierungswerte für die Ergebnisse der Pferde der fünf beschriebenen Untersuchungsgruppen.

6.2 Methode

I. Thermographiekamera „Varioscan Compact 3011“

Bei der mir von der Freien Universität Berlin zur Vergütung gestellten Infrarot-Thermographie-Kamera „Varioscan Compact 3011“ handelt es sich um ein Messsystem, dessen Empfänger mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden muss. Die Komplexität dieses Kamerasystems macht ihre Anschaffung kostenaufwändig im Vergleich zu ungekühlten Wärmebildkameras. Gekühlte Systeme sind hingegen sensitiver als ungekühlte. Sie erfassen Temperaturunterschiede von $0,01^{\circ}\text{C}$, im Vergleich zu einer ungekühlten Einheit, die Differenzen von $0,10^{\circ}\text{C}$ ermittelt. Für den medizinischen Gebrauch reicht eine Sensitivität für $0,3^{\circ}\text{C}$ laut TURNER (2001) jedoch aus. Aufgrund dessen ist für den Einsatz einer Thermographiekamera für den alltäglichen Gebrauch eine Messeinheit, die nicht gekühlt werden muss, sicherlich von Vorteil. Ungekühlte Kamerasysteme sind nicht nur günstiger in der Anschaffung, zusätzlich fällt sowohl die Beschaffung des Kühlungsmediums als auch das Beschicken der Kamera mit Flüssigstickstoff weg. Die Inbetriebnahme der Kamera ist dadurch stark vereinfacht (VON SCHWEINITZ 1999; TURNER 2001). Ungekühlte Systeme sind außerdem weniger empfindlich als gekühlte Messeinheiten. Geräte dieser Art sind zusätzlich leichter als die hier benutzte Kamera, die ein Gewicht von 5,4kg hatte.

II. Aufnahmetechnik

Um die Temperaturen der anatomischen Gliedmaßenabschnitte möglichst genau zu erfassen, wurde in dieser Studie der Forderung von WEIL (1997), GREEN (1999) und TURNER (2001), Thermogramme aus allen vier Ansichten zu erstellen, nachgekommen. Wobei sich die Darstellung aus der palmaren Ansicht in einem Winkel von 0° zur Gliedmaßenachse als schwierig herausstellte, da die Kamera unter den Körper des zu untersuchenden Pferdes gehalten werden musste. Damit die Gliedmaßen eines Extremitätenpaares einem direkten Vergleich unterzogen werden konnten sind die Aufnahmen aus der dorsalen und der palmaren Ansicht so angefertigt worden, dass beide Vordergliedmaßen auf einem Thermogramm erschienen.

Die digitale Messung der Temperatur der zu untersuchenden Region wurde dreimalig durchgeführt. Auf diese Weise wurde die Reproduzierbarkeit der Daten überprüft (TURNER 2001).

Aufgrund der höheren Flexibilität, wurde die Kamera bei der Anfertigung der meisten Thermogramme frei in der Hand des Untersuchers gehalten. Ein Abstellen der Kamera auf dem Boden verursachte Schwingungen im Gerät und hatte unscharfe Bilder und ein störendes Geräusch zur Folge. Es bestand zusätzlich die Möglichkeit, die Kamera an einem Stativ zu befestigen. Die Beweglichkeit des Untersuchers war dadurch jedoch erheblich eingeschränkt. Das Halten der Kamera in der Hand wurde deswegen bevorzugt.

III. Ablauf der Untersuchung

Die Anfertigung der Thermogramme wurde bei den neurektomierten und den Kontrollpferden unter den identischen äußeren Umständen durchgeführt (vgl. Kapitel 5.1.7 u. 5.1.8). Die Pferde wurden aus ihren Boxen direkt in den Untersuchungsraum verbracht. Eine viertel Stunde vor dem Beginn der thermographischen Untersuchung wurden die Extremitäten der Probanden nicht palpiert, um durch äussere Beeinflussung hervorgerufene Veränderungen der Hautdurchblutung ausschließen zu können. Ausserdem hatten die Pferde 10 - 15 Minuten Zeit sich im Raum zu akklimatisieren. Die Temperatur im Untersuchungsraum wurde bei konstanten 21°C und die Tür geschlossen gehalten. Der in der Literatur einheitlichen

Empfehlung, möglichst viele Umweltfaktoren konstant zu halten, wurde damit nachgekommen (PALMER 1981; WEIL 1997; VON SCHWEINITZ 1999; TURNER 2001). Die thermographische Untersuchung der diagnostisch anästhesierten Pferde mußte hingegen in die Lahmheitsuntersuchung integriert werden. Folglich wurden die Patienten zwischen den Anästhesien in der Bewegung begutachtet, Provokationsproben wurden durchgeführt und die Extremitäten wurden palpiert. FLORES (1978) stellte fest, dass es nach einer 15 minütigen Longenarbeit im Trab an der gesamten Gliedmaße, außer am Huf, zu einer Temperaturerhöhung kommt. PUROHIT und MCCOY (1980) gehen ausserdem davon aus, dass sich das Temperaturverteilungsmuster gesunder Pferdebeine und demzufolge ebenfalls die Temperaturdifferenz zwischen rechter und linker Gliedmaße, kurz nach einer Belastung wenig von dem gesunder Pferdegliedmaßen ohne Belastung unterscheidet, die Temperatur steigt lediglich geringfügig an. Die Autoren thermographierten allerdings nur gesunde Pferde, im Gegensatz zu den diagnostisch anästhesierten Patienten dieser Studie, die aufgrund einer Lahmheit in der Klinik für Pferde vorgestellt wurden. Da sich in erster Linie die Absoluttemperatur an der Gliedmaße nach einer Belastung verändert, wurden die thermographisch ermittelten Daten der vorliegenden Studie fast ausschließlich über die Bildung von Temperaturdifferenzwerten analysiert. Um die Daten der diagnostisch anästhesierten Pferde dieser Studie trotz schwankender äußerer Faktoren miteinander vergleichen zu können, wurden folgende Umstände konstant gehalten:

- die thermographischen Messungen wurden alle in zehninminütigen Zeitintervallen durchgeführt
- die Patienten wurden immer in dem selben Untersuchungsraum anästhesiert und thermographiert
- im Untersuchungsraum herrschte eine Temperatur von 21°C und es wurde darauf geachtet, dass keine Zugluft entstand
- die zehninminütige Wartezeit zwischen der diagnostischen Anästhesie und der thermographischen Untersuchungen verbrachten die Pferde im Untersuchungsraum
- die Ein- bzw. Ausschlusskriterien des Patientenmaterials wurde streng eingehalten (s. Kapitel 4)

Im Rahmen einer thermographischen Untersuchung von Pferden während öffentlicher Veranstaltungen muss ebenfalls mit etlichen äußeren Umstände, die den Messvorgang beeinflussen und somit Artefakte hervorrufen können, gerechnet werden. Mögliche Faktoren sind der Transport der Tiere, aufgeregte Pferde und schwankende Umgebungstemperaturen. Um standhaftes Datenmaterial zu gewinnen, müsste auch unter erschwerten Bedingungen gewährleistet sein, dass die thermographische Untersuchung an einem Ort stattfindet, an dem Temperaturen zwischen 18°C und 21°C herrschen, direkte Sonneneinstrahlung vermieden werden kann und der Schutz vor Zugluft gewährleistet ist. Zusätzlich muss den Pferden unter den aufgeführten Umständen eine ausreichend lange Akklimatisationszeit gewährt werden.

IV. Auswertung

In der Literatur findet man kein einheitliches Schema zur Beurteilung von Thermogrammen. Für die Auswertung der Daten dieser Studie, wurden die Wärmebilder anhand anatomischer Gegebenheiten in Regionen unterteilt. Die Analyse der thermographisch gewonnenen Messdaten wurde ausschließlich quantitativ und vor allem mittels Bildung von Temperaturdifferenzwerten zwischen den korrespondierenden Regionen beider Vordergliedmaßen vorgenommen. Die Grundlage für die Auswertung der Thermogramme bildet die in der Literatur einheitlich angegebene symmetrische Temperaturverteilung an der Körperoberfläche (WEBBON 1978; PUROHIT u. MCCOY 1980; BRÜCK 1983; SALISBURY 1983; FELDMAN 1991). Durch die perineurale Injektion eines Lokalanästhetikums und die Neurektomie der digitalen Palmarnerven kommt es zu einem Verlust der sympathischen Innervation und daraus resultierend unter anderem zu einer Vasodilatation der Hautgefäße.

MAXWELL-CLADE (1968) stellte bereits in einer frühen Studie fest, dass sich die fehlende sympathische Innervation im Thermogramm inform einer Temperaturerhöhung darstellt. Für die Pferde, bei denen lediglich eine Extremität anästhesiert bzw. neurektomiert war, bot sich der Vergleich der Temperaturen beider Vordergliedmaßen und die Bildung von Temperaturdifferenzwerten zwischen anästhesierter/neurektomierter und kontralateraler, gesunder Extremität aufgrund dessen an.

Durch die Bestimmung der Durchschnittstemperatur einer anatomischen Region und die Bildung von Temperaturdifferenzwerten zweier Gliedmaßenabschnitte werden die Daten quantitativ erfassbar und können einer objektiven Beurteilung unterzogen werden. Für den praktischen Einsatz der thermographischen Messmethode während einer Sportpferdekontrolle bedeutet die quantitative Interpretationsart eine große Menge an Daten, die in möglichst kurzer Zeit einer Auswertung unterzogen werden müssen. Eine objektive Beurteilung der Thermogramme könnte sich als zu zeitintensiv darstellen und somit schwer in die Praxis umzusetzen sein. Die Thermogramme können gegebenenfalls als „erster Eindruck“ dienen, also subjektiv ausgewertet werden. Die thermographische Untersuchung müsste in solchen Fällen unbedingt mit spezifischeren Untersuchungen, wie Urin- und Blutproben, untermauert werden.

Auf den Vergleich von Original-Temperaturwerten wurde verzichtet, da diese eine starke Abhängigkeit gegenüber der Umgebungstemperatur zeigen (MOHLER u. HEATH 1988; KLIR et al 1990; MOGG u. Pollitt 1992; WEIL 1997).

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Kontrollgruppe

In der Literatur wird eine Temperaturdifferenz von 1,0°C (PALMER 1981; TURNER 1991) bis 1,5°C (WEIL 1997) zwischen zwei korrespondierenden Gliedmaßenregionen gesunder Pferdebeine als physiologisch angesehen. In dieser Studie liegen die ΔT_{R1-5} -Werte der Pferde der Kontrollgruppe eng um den Nullpunkt und es konnte kein bemerkenswerter Temperaturunterschied zwischen rechter und linker Vordergliedmaße festgestellt werden. Lediglich zwei von insgesamt 45 berechneten Temperaturdifferenzwerten zwischen den Gliedmaßenregionen (Parameter ΔT_{R1-5}) liegen über 1,5°C (vgl. Kapitel 5.6.1). Damit werden die Angaben aus der Literatur, die Temperatur an der Körperoberfläche läge weitestgehend kontralateral symmetrisch verteilt vor, bestätigt (PUROHIT u. MCCOY 1980; BRÜCK 1983; TURNER 1986). Die Auswertung der Thermogramme über die Bildung von Temperaturdifferenzwerten zwischen rechter und linker Extremität scheint aufgrund dessen sinnvoll.

Die Berechnung eines ΔT_{GM} -Wertes als einen einzelnen Temperaturdifferenzwertes für jedes Gliedmaßenpaar ist ein Weg, die Daten eines Pferdes zu konzentrieren und die Übersichtlichkeit zu fördern. Für die Beurteilung der Temperaturverlaufes an den unterschiedlichen Gliedmaßenregionen ist dieser Parameter allerdings nicht geeignet. So sind bei den vorliegenden Daten die ΔT_{R5} -Werte zweier Pferde, die über 1,5°C lagen, bei der Bildung des ΔT_{GM} -Wertes nicht mehr erkennbar. Die ΔT_{GM} -Werte der Pferde der Kontrollgruppe lagen alle unter 1,0°C (vgl. Tab. 5.26). Pferde, bei denen nur eine Gliedmaßenregion leicht vom Temperatur-Symmetrieverhalten gesunder Pferdebeine abweicht, können nach der Bildung eines ΔT_{GM} -Wertes unauffällige Ergebnisse zeigen. Die Beurteilung der Thermogramme sollte daher immer zuerst über die Bildung von Differenzwerten zwischen den einzelnen Regionen durchgeführt werden. Erst nach der genauen Betrachtung dieses Parameters erscheint die Zusammenfassung der Messdaten zu einem Wert pro Gliedmaßenpaar sinnvoll.

6.3.2 Gruppe 1A

Da sich die Anzahl der thermographischen Untersuchungsdurchgänge nach der Länge der Lahmheitsuntersuchung richtete, ist zu den neun Messzeitpunkten jeweils eine unterschiedliche Anzahl an Pferden thermographiert worden (vgl. Tab. 5.1). Zu den Messzeitpunkten 50 bis 80 Minuten nach der TPA stand lediglich eine geringe Anzahl an Patientenmaterial zur Verfügung. Dementsprechend kann für diese Zeitpunkte nur eine Tendenz der Temperaturverläufe diskutiert werden. Bei der Auswertung der thermographisch erfassten Daten sind Mediane der ΔT_{R1-5} -Werte zu den neun verschiedenen Messzeitpunkten gebildet worden. Der Median steigt bis 30 Minuten nach der Injektion um $3,58^{\circ}\text{C}$ an. Zwischen den thermographischen Untersuchungen 30 und 80 Minuten nach der TPA sinkt der Median um $2,36^{\circ}\text{C}$ ab. Jedoch muss, wie bereits erwähnt, beachtet werden, dass die Anzahl der thermographierten Pferde abnahm.

In Tabelle 6.1 ist aufgeführt, wieviele der ΔT_{R1-5} -Werte zu den neun unterschiedlichen Messzeitpunkten unter bzw. oberhalb von 0°C lagen. Vor der Injektion des Anästhetikums sind etwa die Hälfte der Gliedmaßenregionen der lahmen Beine wärmer als die korrelierenden Bereiche der gesunden Beine. Bis 40 Minuten nach der TPA steigt die Temperatur an den anästhesierten Gliedmaßen deutlich an und 100% der ΔT_{R1-5} -Werte liegen über 0°C . Zu den Messminuten 60 und 70 Minuten nach der TPA wurden lediglich zwei Pferde, 80 Minuten nach der Anästhesie nur ein Pferd thermographiert. Eine Beurteilung des Temperaturverlaufes wäre sicherlich nicht sehr aussagekräftig. Es sei nur erwähnt, dass auch hier über die Hälfte der Gliedmaßenregionen der anästhesierten Extremität wärmer waren als die Regionen des kontralateralen Beines.

Nach der TPA sind 88,15% der ΔT_{R1-5} -Werte größer als 0°C . Wenn man sich an den Angaben von PALMER und TURNER orientiert, in denen eine Temperaturabweichung innerhalb eines Gliedmaßenpaares bis zu 1°C als physiologisch gelten, liegen in dieser Gruppe 68,1% der ΔT_{R1-5} -Werte nach der TPA außerhalb der physiologischen Temperaturdifferenz. Jedoch ist bei der vorliegenden Studie ein kontinuierlicher Temperaturanstieg an den anästhesierten Gliedmaßen nach der TPA zu beobachten. Prozentual wurden 30 Minuten nach der Anästhesie mit 88% die meisten über $1,0^{\circ}\text{C}$ liegenden ΔT_{R1-5} -Werte ermittelt (vgl. Tab. 6.1). Dabei wurden am Fesselkopf die meisten über $1,0^{\circ}\text{C}$ liegenden Temperaturdifferenzen und an der Region des Hufes die wenigsten ermittelt.

Von den insgesamt 70 berechneten ΔT_{GM} -Werten liegen 60 über 0°C (vgl. Tab. 6.2) und davon 42 Werte über $1,0^{\circ}\text{C}$ (vgl. Tab. 6.1). Der Median der ΔT_{GM} -Werte steigt bis 30 Minuten nach der Injektion um 3°C an (vgl. Tab. 5.3). Acht der insgesamt 10 unterhalb von 0°C liegenden ΔT_{GM} -Werte wurden vor der Anästhesie gemessen und zwei zehn Minuten nach der TPA.

Die Ergebnisse sind sehr ermutigend bezogen auf die Zuverlässigkeit der Methode und stimmen mit den Angaben von SKARDA (1986) sowie VAN HOOGMOED und SNYDER (2002) überein. Dem gegenüber stehen allerdings die Untersuchungen von HOLMES et al. (2003). Hier riefen perineurale Anästhesien mit Mepivacain-Hydrochlorid zu keinem Zeitpunkt signifikante Veränderungen im Thermogramm hervor. Eine Begründung für diese kontroversen Resultate könnte darin zu suchen sein, dass Mepivacain ein weniger starken vasodilatatorischen Effekt zeigt als das in dieser Studie verwendete Lidocain (SKARDA 1991).

Tabelle 6.1 absolute Verteilung der ΔT_{R1-5} -Werte bezogen auf 1,0°C, Gruppe 1A

Messung (Minuten)	Untersuchungsdurchgänge (N)	ΔT_R -Werte > 1,0°C (N)					ΔT_R -Werte > 1,0°C gesamt (N)
		Huf	Kronsaum /Ballen	Fessel	Fesselkopf	Mittelfuß	
0	16	4	3	5	5	5	22
10	15	3	5	10	9	10	37
20	14	5	8	12	12	11	48
30	10	7	10	9	9	9	44
40	7	5	6	6	7	7	31
50	3	2	1	1	3	3	10
60	2	1	1	1	1	1	5
70	2	1	1	1	2	1	6
80	1	0	0	1	1	1	3
Gesamt (N)	70	28	35	46	49	48	206

Tabelle 6.2 absolute Verteilung der ΔT_{R1-5} -Werte bezogen auf 0°C, Gruppe 1A

Messung (Minuten)	ΔT_{R1-5} -Werte < 0°C (N)	ΔT_{R1-5} -Werte > 0°C (N)	ΔT_{R1-5} -Werte gesamt (N)	Untersuchungsdurchgänge (N)
0	43	37	80	16
10	20	55	75	15
20	3	67	70	14
30	2	48	50	10
40	0	35	35	7
50	4	11	15	3
60	2	8	10	2
70	1	9	10	2
80	0	5	5	1
gesamt	75	275	350	70

6.3.3 Gruppe 1B

Zu der Gruppe 1B dieser Studie gehören 14 Pferde, die im Rahmen einer Lahmheitsuntersuchung mehrere und verschieden kombinierte diagnostische Leitungsanästhesien erhielten (vgl. Tab. 5.4). Diese Gruppe ist dadurch inhomogen strukturiert. Um die Daten miteinander vergleichen zu können, sind Pferde, die die gleichen Anästhesiekombinationen erhielten, in Untergruppen zusammengefasst worden. In der Gruppe 1B besteht das Problem, dass einige Anästhesiekombinationen nur an wenigen Pferden durchgeführt wurden und dass zu den späteren Untersuchungsintervallen die Anzahl des zur Verfügung stehenden Patientenmaterials kleiner wurde. Aus diesem Grund bleibt eine Vergleichsmöglichkeit für einige Daten aus. Wie bei den Daten der Pferde der Gruppe 1A sind bei den 14 Pferden, die mehrere diagnostische Anästhesien erhalten haben aus den Temperaturdifferenzwerten der korrelierenden Gliedmaßenregionen Mediane, Minimal- und Maximalwert berechnet worden (vgl. Tab. 5.5 bis 5.10).

In Tabelle 6.4 ist aufgeführt wieviele der ΔT_{R1-5} -Werte zu den elf unterschiedlichen Messzeitpunkten unter bzw. oberhalb von 0°C lagen. Vor der Injektion des Anästhetikums sind 67,14% der Gliedmaßenregionen der lahmen Beine wärmer als die korrelierenden Bereiche der gesunden Beine. Bis 30 Minuten nach der ersten Injektion steigt die Temperatur an den anästhesierten Gliedmaßen deutlich an und gut 96% der ΔT_{R1-5} -Werte liegen über 0°C . Bis 70 Minuten nach der ersten Anästhesie wurde der Anteil der über 0°C liegenden ΔT_{R1-5} -Werte kleiner. Wobei zu den Messzeitpunkten 60 bis 130 Minuten nach der ersten Injektion nur wenige Pferde thermographiert wurden. Insgesamt lagen 88,2% der ΔT_{R1-5} -Werte, die nach den Anästhesien berechnet wurden über 0°C und von diesen waren 72,79% größer als $1,0^{\circ}\text{C}$ (vgl. Tab. 6.4).

Wie bei den Pferden der Gruppe 1A, die mit einer TPA anästhesiert wurden, sind bei den Pferden der Gruppe 1B die meisten Temperaturdifferenzwerte, die über $1,0^{\circ}\text{C}$ lagen an der Region des Fesselkopfes und die wenigsten am Huf gemessen worden (vgl. Tab. 6.3).

Tabelle 6.3 absolute Verteilung der ΔT_{R1-5} -Werte bezogen auf 1,0°C, Gruppe 1B

Messung (Minuten)	Pferde (N)	ΔT_R -Werte > 1,0°C (N)					ΔT_R -Werte > 1,0°C gesamt (N)
		Huf	Kronsaum /Ballen	Fessel	Fessel- kopf	Mittelfuß	
0	14	1	3	4	5	6	19
10	14	3	7	9	8	8	35
20	13	8	9	12	13	9	51
30	11	8	8	11	11	10	48
40	8	6	6	6	8	7	33
50	6	4	3	4	5	5	21
60	2	2	2	2	2	2	10
70	3	3	1	2	3	1	10
80	1	1	1	1	1	1	5
100	1	1	1	1	1	1	5
115	1	1	1	0	1	1	4
130	1	0	0	0	0	0	0
Gesamt (N)	66	38	42	52	58	51	241

Tabelle 6.4 absolute Verteilung der ΔT_{R1-5} -Werte bezogen auf 0°C, Gruppe 1B

Messung (Minuten)	ΔT_{R1-5} -Werte < 0°C (N)	ΔT_{R1-5} -Werte > 0°C (N)	ΔT_{R1-5} -Werte gesamt (N)	Untersuchungsdurchgänge (N)
0	23	47	70	14
10	15	55	70	14
20	4	61	65	13
30	2	53	55	11
40	3	37	40	8
50	7	23	30	6
60	0	10	10	2
70	2	13	15	3
80	0	5	5	1
100	0	5	5	1
115	1	4	5	1
130	2	3	5	1
gesamt	59	316	375	75

6.3.4 Gruppe 1A und 1B im Vergleich

Vor den Anästhesien lagen 56% aller errechneten ΔT_{R1-5} -Werte der einseitig diagnostisch anästhesierten Pferde dieser Studie über 0°C. 27,3% dieser Werte waren größer als 1,0°C. Nach den Anästhesien lagen 88,17% über 0°C und 70,6% diese über 1,0°C. In der vorliegenden Studie lässt sich also ebenfalls eine deutliche Temperaturerhöhung nach den Injektionen des Lokalanästhetikums erkennen, die Temperaturdifferenz von 1,0°C kann jedoch nicht zu 100% nachvollzogen werden.

Vergleicht man die Ergebnisse der Pferde, die nur eine Anästhesie erhalten haben mit denen, die mehrerer Injektionen bekamen, ist keine eindeutige Abhängigkeit zwischen der Menge sowie der Lokalisation des verabreichten Anästhetikums und dem Zeitpunkt der Temperaturerhöhung zu erkennen. In der Zeitspanne zehn bis 30 Minuten nach der ersten Injektion steigt die Temperatur an den anästhesierten Gliedmaßen in beiden Gruppen am deutlichsten an. 30 Minuten nach der ersten Anästhesie lagen 96,2% der ΔT_{R1-5} -Werte über 0°C und 87,62% über 1,0°C.

BIDWELL et al. (2003) untersuchten den Eintritt und die Dauer der analgetischen Wirkung eines Lokalanästhetikums nach diagnostischen Leitungsanästhesien mittels Ganganalysen auf Kraftplatten. Die volle Analgesie und eine daraus resultierende Lahmheitsfreiheit trat fünfzehn Minuten nach der Injektion ein und hielt 60 Minuten an. Praktischen Erfahrungen nach ist eine Lahmheitsfreiheit im Falle einer positiv ausfallenden diagnostischen Anästhesie bereits zehn Minuten nach der Injektion zu sehen. Zehn Minuten nach der ersten Anästhesie waren in Gruppe 1A 73,3% und in Gruppe 1B 78,5% der Gliedmaßenregionen der anästhesierten Extremitäten wärmer als die des kontralateralen Beins. Bei einem Pferd war lediglich eine Region des betäubten Beines sowie bei einem weiteren keine Gliedmaßenregion wärmer als die entsprechenden Bereiche des kontralateralen, nicht betäubten Vorderbeins. Bei den restlichen 28 anästhesierten Pferden lagen zehn Minuten nach der ersten Anästhesie mindestens zwei ΔT_{R1-5} -Werte über 0°C. Aufgrund der aufgeführten Ergebnisse besteht die Gefahr, dass zehn Minuten nach der Injektion eines Lokalanästhetikums unauffällige thermographische Messergebnisse zu stande kommen, das untersuchte Pferd aber bereits eine Lahmheitsfreiheit zeigt.

6.3.5 Gruppe 1C

Zwei Pferde, die im Rahmen dieser Studie thermographisch untersucht wurden, erhielten während der Lahmheitsuntersuchung diagnostische Leitungsanästhesien an beiden Vorderbeinen.

Bei Pferd Nr. 14 wird zu Beginn der Untersuchung zunächst an der linken Vordergliedmaße eine TPA gesetzt. Die Temperatur am anästhesierten linken Vorderbein steigt bis 30 Minuten nach der Injektion an allen Regionen deutlich an. Alle ΔT_{R1-5} -Werte liegen über $1,0^{\circ}\text{C}$. Anschließend wurde an der rechten Vordergliedmaße ebenfalls eine TPA gesetzt. Innerhalb der folgenden 30 Minuten glichen sich die Temperaturen beider Vorderbeine einander an, so dass die Temperaturen an den einzelnen Regionen maximal $0,85^{\circ}\text{C}$ auseinander lagen. Aufgrund der Annäherung der Temperaturen wurde die mittlere Oberflächentemperatur des rechten und des linken Vorderbeines errechnet (vgl. Tab. 6.5). Am rechten Vorderbein steigt die Temperatur um $14,85^{\circ}\text{C}$, am linken Vorderbein um $13,3^{\circ}\text{C}$. Die Temperaturen an beiden Beinen liegen zum letzten Messzeitpunkt mit $32,28^{\circ}\text{C}$ und $32,27^{\circ}\text{C}$ sehr dicht beieinander.

Tabelle 6.5 T_{GM} -Werte Pferd Nr. 14

Messung (Minuten)	Anästhesie	T_{GM} vo. li. ($^{\circ}\text{C}$)	T_{GM} vo. re. ($^{\circ}\text{C}$)
0	ohne	17,43	18,97
10	TPA vo.li.	26,03	23,70
20	TPA vo.li.	27,41	23,65
30	TPA vo.li.	28,42	26,30
40	TPA vo.li. und vo.re.	28,59	29,10
50	TPA vo.li. und vo.re.	30,54	31,10
60	TPA vo.li. und vo.re.	32,28	32,27

Bei Pferd Nr. 32 wurden ebenfalls beide Vordergliedmaßen anästhesiert. Zuerst das rechte Bein mit einer TPA und danach das linke mit einer MPA und einer IOA. Die mittlere Oberflächentemperatur an der rechten Vordergliedmaße liegt bereits vor der ersten Anästhesie über 28°C (s. Tabelle 7.9) und steigt nachfolgend bis zur 60. Messminute auf $33,56^{\circ}\text{C}$ an. Am linken Vorderbein beträgt die Temperatur vor der Anästhesie $27,83^{\circ}\text{C}$. Nachfolgend steigt auch hier die Temperatur auf über $32,76^{\circ}\text{C}$ an.

Tabelle 6.6 T_{GM} -Werte Pferd Nr. 32

Messung (Minuten)	Anästhesie	T_{GM} vo. li. ($^{\circ}\text{C}$)	T_{GM} vo. re. ($^{\circ}\text{C}$)
0	ohne	27,83	28,47
10	TPA vo.re.	29,02	29,57
20	TPA vo.re. und MPA vo.li.	28,97	28,40
30	TPA vo.re. und MPA vo.li.	29,27	29,74
40	TPA vo.re. und MPA/IOA vo.li.	29,57	29,66
50	TPA vo.re. und MPA/IOA vo.li.	29,36	30,08
60	TPA vo.re. und MPA/IOA vo.li.	32,76	33,56

Die Temperaturdifferenzwerte haben nachdem beide Extremitäten anästhesiert wurden erwartungsgemäß keine Aussagekraft mehr. Demzufolge ist für beidseitig anästhesierte Pferde die Berechnung eines mittleren Oberflächentemperaturwertes unumgänglich. HOLMES et al. (2003) ermittelten thermographisch eine mittlere Oberflächentemperatur für Vorderextremitäten gesunder, nicht anästhesierter Pferde, die zwischen 27°C und 28°C lag. Die mittlere Oberflächentemperatur der Gliedmaßen des Pferde Nr. 14 liegt ab 30 Minuten nach der ersten Anästhesie am linken und nach 40 Minuten am rechten Vorderbein über 28°C. Dieses Ergebnis scheint mit den Angaben von HOLMES übereinzustimmen. Die Abhängigkeit dieses Parameters von der Außentemperatur stellt für den praktischen Einsatz allerdings ein Problem dar. Demnach sollte zur Absicherung der thermographischen Befunde immer eine spezifischere Methode für den Nachweis einer lokalanästhetischen Injektion durchgeführt werden.

6.3.6 Gruppe 2A

Bei der Auswertung der thermographisch erfassten Daten der 15 einseitig neurektomierten Pferde dieser Studie ist eine deutliche Abhängigkeit der Temperaturdifferenzwerte vom Operationszeitpunkt auszumachen.

Bei den fünf Pferden, deren Operation zum Zeitpunkt der thermographischen Untersuchung zwei bis acht Wochen zurücklag, befanden sich die Temperaturdifferenzwerte über 1,0°C. Der Minimalwert der 25 ΔT_{R1-5} -Werte betrug 1,92°C und der Maximalwert 10,64°C (vgl. Tab. 5.17, 5.18, Abb. 5.27). Damit stimmen die Ergebnisse dieser Studie nicht ganz mit denen aus der Literatur überein. PUROHIT (1980) stellte bereits drei bis sechs Wochen nach der Operation eine Normalisierung der anfänglichen Temperaturerhöhung fest.

Tabelle 6.7 Verteilung der ΔT_{R1-5} -Werte bezogen auf 0°C, zwei bis acht Wochen post OP

Lfd. Nr. Pferd	ΔT_R -Werte > 0°C (N)					ΔT_R -Werte > 0°C gesamt (N)
	Huf	Kronsaum /Ballen	Fessel	Fesselkopf	Mittelfuß	
33	x	x	x	x	x	5
34	x	x	x	x	x	5
37	x	x	x	x	x	5
38	x	x	x	x	x	5
42	x	x	x	x	x	5
gesamt	5	5	5	5	5	25

Bei weiteren fünf Pferden lag die Neurektomie zum Zeitpunkt der thermographischen Untersuchung sechs bis elf Monate zurück. 64% der ΔT_{R1-5} Werten lagen über 0°C und 12% über 1,0°C. Diese Werte stammten von fünf unterschiedlichen Pferden. Das bedeutet, dass bei keinem Pferd die komplette neurektomierte Gliedmaße wärmer war als das kontralaterale Bein (vgl. Tab. 6.7, Abb. 6.28). Der Minimalwert der 25 ΔT_{R1-5} -Werte betrug -2,35°C und der Maximalwert 1,36°C. Bei diesen Pferden ist eine Annäherung der Temperaturen der beiden Vorderbeinen deutlich ersichtlich.

Tabelle 6.8 Verteilung der ΔT_{R1-5} -Werte bezogen auf 0°C, sechs bis elf Monate post OP

Lfd. Nr. Pferd	ΔT_R -Werte > 0°C (N)					ΔT_R -Werte > 0°C gesamt (N)
	Huf	Kronsaum /Ballen	Fessel	Fessel-kopf	Mittelfuß	
33		x	x	x	x	4
34		x	x	x	x	4
37	x				x	2
38	x	x	x	x		4
42	x	x	x			3
gesamt	3	4	4	3	3	17

Bei den letzten fünf einseitig neurektomierten Pferden dieser Studie lag zum Zeitpunkt der thermographischen Untersuchung die Neurektomie ein bis fünf Jahre zurück. 56% der ΔT_{R1-5} -Werte lagen über 0°C und 20% lagen über 1,0°C. Bei einem Probanden war die komplette neurektomierte Gliedmaßen, bei einem anderen Pferd das komplette nicht operierte Bein wärmer als die kontralaterale Gliedmaße. Bei beiden Pferden lag die Operation mehr als zwei Jahre zurück. Bei den übrigen drei Pferden sind ohne erkennbare Regelmäßigkeit einige Regionen des neurektomierten Beines wärmer und andere kühler als die entsprechenden Regionen der kontralateralen Gliedmaße (vgl. Tab. 6.8). Der Anteil der Temperaturdifferenzwerte, die größer als 0°C sind nimmt im Vergleich zu den restlichen 10 einseitig neurektomierten Pferden, ab.

Tabelle 6.9 Verteilung der ΔT_{R1-5} -Werte bezogen auf 0°C, ein bis fünf Jahre post OP

Lfd. Nr. Pferd	ΔT_R -Werte > 0°C (N)					ΔT_R -Werte > 0°C gesamt (N)
	Huf	Kronsaum /Ballen	Fessel	Fessel-kopf	Mittelfuß	
44		x	x	x	x	4
45	x	x	x	x	x	5
46		x	x	x	x	4
50	x					1
52						0
gesamt	2	3	3	3	3	14

Vergleicht man die Medianwerte der Temperaturdifferenzwerte der Gliedmaßenregionen (ΔT_{R1-5}) der drei Untergruppen der einseitig neurektomierten Pferde miteinander, so sinkt dieser Wert von 6,38°C zwei bis acht Wochen nach der Neurektomie, über 0,32°C nach sechs bis 12 Monaten auf 0,14°C ein bis fünf Jahre nach Neurektomie. Die Differenzwerte nähern sich mit zunehmender Zeitspanne zwischen Neurektomie und thermographischer Untersuchung den 0°C. Doch können die Erfahrungen von PALMER und TURNER, erst Temperaturdifferenzen von über 1,0°C seien außerhalb der physiologischen Norm, nicht bestätigt werden. Zwei bis acht Wochen nach der Neurektomie lagen alle ΔT_{R1-5} -Werte über 1,0°. Sechs bis elf Monate nach der Operation lagen nur noch 12% über 1,0°C. In der Gruppe der Pferd, bei denen die Operation ein bis fünf Jahre zurück lag, waren 20% der Gliedmaßenregionen der neurektomierten Beine wärmer als die korrelierenden Regionen der

kontralateralen Extremität. Bezogen auf die 1,0°C Temperaturdifferenz ist also keine eindeutige Tendenz ersichtlich.

Die physiologische Begründung für eine Temperaturerhöhung, die auf dem Thermogramm nach einem Nervenschnitt sichtbar gemacht wird, erörterte schon MAXWELL-CLADE (1968). Die digitalen Nerven sind für die Innervation der Hautgefäße zuständig und ihre Stimulation bedeutet Vasokonstriktion. Demzufolge hat eine Durchtrennung eine Vasodilatation zur Folge, die sich im Thermogramm als Temperaturerhöhung darstellt. Die betroffenen Nerven sind Nervenfasern des Typs B und gehören dem sympathischen Nervensystem an. VAN HOOGLMOED und SNYDER (2002) halten anders als MAXWELL-CLADE ausschließlich den Hautschnitt, dessen Verschluss und die damit einhergehende Gefäßeinsprossung für die Ursache der Temperaturerhöhung nach einer Neurektomie. Sie verglichen die Temperaturen einer neurektomierten Extremität mit der der kontralateralen Gliedmaße, an der nur ein Hautschnitt durchgeführt wurde und stellten keine relevanten Temperaturdifferenzen zwischen beiden Gliedmaßen fest. Damit ist ein relativ kurzer Zeitraum von drei bis sechs Wochen bis zum Eintreten einer Normalisierung der Oberflächentemperatur nach der Operation, wie sie PUROHIT (1980) beobachtete, ebenfalls zu erklären. Im Fall der vorliegenden Studie wurde eine Temperaturerhöhung bis zu acht Wochen nach der Neurektomie festgestellt. Für den Zeitraum von neun Wochen bis sechs Monate nach einer Neurektomie lag dem Untersucher kein Patientenmaterial vor.

6.3.7 Gruppe 2B

Bei fünf der insgesamt 20 neurektomierten Pferde dieser Studie wurde an beiden Vorderbeinen ein Nervenschnitt durchgeführt. Das Operationsdatum liegt bei den fünf vorne beidseits neurektomierten Pferde dieser Studie zwei bis drei Jahre zurück.

Wie bei den beidseitig anästhesierten Pferden dieser Untersuchung wird davon ausgegangen, dass die Temperaturdifferenzwerte ΔT_{R1-5} und ΔT_{GM} nahe 0°C liegen. In der erwähnten Gruppe liegen 21 ΔT_{R1-5} -Werte zwischen $+1^{\circ}\text{C}$ und -1°C . Die übrigen vier Werte liegen zwischen $1,3^{\circ}\text{C}$ und $2,05^{\circ}\text{C}$. Die mittlere Oberflächentemperatur der fünf rechten Vordergliedmaßen liegen zwischen $26,8^{\circ}\text{C}$ und $30,79^{\circ}\text{C}$, die der linken Vorderbeine zwischen $25,23^{\circ}\text{C}$ und $30,88^{\circ}\text{C}$. Bei vier Pferden liegt die mittlere Oberflächentemperatur an beiden Vorderbeinen über 28°C . Mit diesem Ergebnis liegen die vier vorne beidseits neurektomierten Pferde, deren Operationszeitpunkt 12 bis 24 Monate zurücklag laut HOLMES außerhalb der physiologischen Grenze von 28°C . Es wird also davon ausgegangen, dass bei den untersuchten vier Pferden eine Temperaturerhöhung an beiden Gliedmaßen aufgrund der Neurektomie besteht. Bei Pferd Nr. 36 lag die mittlere Oberflächentemperatur an beiden Vorderbeinen unter 28°C . Die Temperaturen zwischen der rechten und der linken Gliedmaße dieses Pferdes liegen allerdings über $1,0^{\circ}\text{C}$ auseinander (vgl. Tab. 6.10). Bei der Betrachtung der ΔT_{R1-5} -Werte dieses Pferdes fällt wiederum auf, dass nur die Temperaturen am Fesselkopf des rechten und des linken Vorderbeins über $1,0^{\circ}\text{C}$ auseinander liegen. Der Untersucher wird durch diese Tatsache darin bestätigt, dass es bei der Auswertung der Thermogramme notwendig ist, vor der Berechnung eines einzelnen Temperaturdifferenzwertes für ein Gliedmaßenpaar (ΔT_{GM}), die Temperaturdifferenzen zwischen den Gliedmaßenregionen auszuwerten.

Tabelle 6.10 T_{GM} -Werte Gruppe 2B

Lfd. Nr. Pferd	T_{GM} vo. re. ($^{\circ}\text{C}$)	T_{GM} vo. li. ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_{GM} ($^{\circ}\text{C}$)
36	26,8	25,23	1,57
43	30,28	30,43	0,15
45	30,54	29,82	0,72
49	30,3	30,88	0,58
51	30,79	29,97	0,82

7 Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchung war es zu überprüfen, ob die thermographische Messmethode ein zuverlässiges bildgebendes Verfahren für die Darstellung von lokalanästhetischen Injektionen und Neurektomien an Pferdebeinen ist.

Für die thermographischen Untersuchungen dieser Studie wurde die Infrarot-Thermographiekamera „Varioscan Compact 3011“ der Firma JENOPTIK⁸ verwendet. Thermographiert wurden beide Vordergliedmaßen von insgesamt 61 Pferden. 32 von ihnen wurden im Rahmen einer Lahmheitsuntersuchung diagnostisch anästhesiert. Bei 20 Pferden wurde vor unterschiedlich langer Zeit an den Nn. digitales mediales und laterales eine Neurektomie durchgeführt und neun lahmheitsfreie, gesunde Pferde dienten als Kontrollgruppe. Im Rahmen der Auswertung wurde die absolute Temperatur der Körperoberfläche der Gliedmaßen ermittelt, ausserdem ist die Temperaturdifferenz zwischen korrespondierenden Regionen an den Vorderextremitäten rechnerisch bestimmt worden. Die Ergebnisse dieser Studie können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Bei den lahmheitsfreien Pferden lag die Körperoberflächentemperatur an den Vorderbeinen symmetrisch verteilt vor.
2. Bei den Pferden, die eine diagnostische Leitungsanästhesie erhalten haben, ist eine deutliche Temperaturerhöhung nach den Injektionen beobachtet worden, die 30 Minuten post injektionem ihren Höhepunkt hatte. Dabei war kein Unterschied zwischen den einzelnen Anästhesiegruppen zu erkennen, d.h. weder der Zeitpunkt der Temperaturerhöhung noch die Höhe der Temperaturdifferenz zeigten eine Abhängigkeit von der Menge des injizierten Lokalanästhetikums. Die deutlichsten Temperaturveränderungen zeigten sich an der Region der Fesselköpfe und die geringsten Unterschiede an den Hufen.
3. Bei den neurektomierten Pferden wurde eine deutliche Abhängigkeit des Temperatursymmetrieverhaltens vom Operationszeitpunkt beobachtet. So wurde bei den Pferden, bei denen die Neurektomie zum Zeitpunkt der thermographischen Untersuchung zwei bis acht Wochen zurücklag eine deutliche Abweichung vom Temperatursymmetrieverhalten beobachtet. Bei den Pferden, bei denen die Operation sechs Monate bis fünf Jahre zurücklag, waren keine eindeutigen Temperaturabweichungen auszumachen. Zwei Pferde bildeten eine Ausnahme. Bei einem Probanden war die neurektomierte und bei dem anderen Pferd die gesunde Extremität deutlich wärmer als die kontralateralen Gliedmaßen. Die absoluten Oberflächentemperaturen der erwähnten Probanden lagen jedoch innerhalb des physiologischen Referenzbereiches.

Durch die Thermographie können gut Änderungen der Körperoberflächentemperatur nach diagnostischen Leitungsanästhesien und Neurektomien an Vordergliedmaßen von Pferden erfasst und quantitativ belegt werden. Eine Neurektomie scheint jedoch nur über einen bestimmten Zeitraum eine Veränderung im Temperatursymmetrieverhalten hervorzurufen. Schon sechs Monate nach der Operation liegen nur noch an wenigen korrespondierenden Gliedmaßenbereichen die Temperaturen mehr als 1°C auseinander. Auf Grunddessen und aufgrund der Tatsache, dass weder die diagnostische Leitungsanästhesie noch die Neurektomie ein dem Eingriff eigenes thermographisches

⁸ InfraTec GmbH, Infrarotsensorik und Messtechnik, Gostritzer Straße 61- 63, 01217 Dresden

Bild hervorrufen, scheint es unabdingbar, die Thermographie durch weitere spezifischere Methoden zu untermauern.

8 Summary

Thermographic evaluation of locally anaesthetised and neurectomised feet in the horse

The aim of this study, which was done at the „Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der Freien Universität Berlin“, was to evaluate the usefulness of thermography to identify horses which had received neurectomies and diagnostic anaesthesia injections.

The infrared – Thermography camera “Varioscan-Compact 3011” was used for the thermographic examination. Both front legs of 61 horses were examined, 32 which had received diagnostic anaesthesia injections as part of a complete lameness exam. 20 other horses included in this study had received neurectomy of the Nn. digitales mediales and laterales at differing times. The control group consisted of nine sound, healthy horses.

In the evaluation the absolute temperature of bodysurface of the limbs was established and the temperature difference between corresponding regions of the front legs was assessed.

The results of the study can be summarised as follows:

1. The sound horses showed a symmetrical distribution of the temperature of the bodysurface on both front legs.
2. Horses that received diagnostic anaesthetic injections showed a significant increase of temperature after the injections with a peak at 30 minutes post injectionem. A difference between varying groups of anaesthesia was not detectable. That means neither the time of the temperature increase nor the level of temperature difference showed a dependency on the amount of injected local anaesthesia. The most considerable changes in temperature were obvious in the fetlock region, the slightest changes in the region of the hoof.
3. Horses that received a neurectomy revealed an obvious connection between the symmetry of the temperature distribution and the date of the surgery. Horses that had received a neurectomy two to eight weeks before the thermographic examination showed a considerable divergence in the symmetry of temperature distribution. In the horses, whose surgery took place six months to five years ago, no explicit differences in the temperature distribution were detectable with the exception of two horses. In one proband the limb that received neurectomy and the other horse the healthy limb was considerably warmer than the contralateral extremity. However the absolute temperature of the bodysurface of those two horses was within the physiological limits.

Temperature changes on the bodysurface of the front legs after diagnostic anaesthesia or neurectomy can be detected and accounted for by thermography. However a neurectomy seems to cause a considerable divergence in the symmetry of the temperature distribution for just a certain period of time. Just six months after surgery only a few corresponding limbs showed a divergence of temperature of more than 1°C.

Hence as well as the fact that neither diagnostic anaesthesia nor neurectomy create a specific thermographic pattern, the examiner concludes that further specific methods are necessary to back up the results of a thermographic exam.

9 Literaturverzeichnis

Anonymus (1998):

Betriebsanleitung zur VARIOSCAN compact

AUER, J. A., M. WIELAND, K. A. VON PLOCKI U. H. D. LAUK (1993):

Thermographische und ultrasonographische Untersuchungen über den Einfluss instrumentierter Touchierstangen auf die distalen Vordergliedmaßen beim Pferd
Pferdeheilkunde 9, 41-57

BERGQUIST, D., H. O. EFSING, T. HALLBÖK, L. G. BYSTRÖM u. L. LUNDELL (1977):

Infrarotthermographie bei tiefer Beinvenenthrombose - eine neue nichtinvasive diagnostische Methode

Vasa 6, 244-248

BITWELL L. A., K. E. BROWN, A. CORDIER, D. R. MULLINEUX u. H. M. CLAYTON (2004):

Mepivacain local anaesthetic duration in equine palmar digital nerve blocks
Equine Vet. J. 36, 723-726

BOLT, D. M., D. J. BURBA, J. D. HUBERT, G. M. STRAIN, G. L. HOSGOOD, W. G. HENK u. D. Y. CHO (2004):

Determination of functional and morphologic changes in palmar digital nerves after nonfocused extracorporeal shock wave treatment in horses
Am. J. Vet. Res. 65, 1714-1718

BOLZ, W. (1928):

Beitrag zur Leitungsanästhesie am Vorderfuß beim Pferde unterhalb des Karpalgelenkes

Berl. Tierärztl. Wschr. 46, 769-773

BRAGA-SILVA, J. u. G. CALCAGNOTTO (2001):

The innervation of the proximal interphalangeal joint and its application in neurectomy

J. Hand. Surg. 26, 541-543

BRÜCK, K. (1983):

Wärmehaushalt und Temperaturreglung

In: Physiologie des Menschen

Hrsg.: Schmidt, R. F. u. G. Thews

Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York, 583-600

BUCHWALD, W., L. V. HABIGHORST u. R. HÜLSEN (1973):

Thermographie bei Durchblutungsstörungen der Extremitäten

Radiologe 13, 329-334

BUDRAS, K.-D. u. S. RÖCK (1997):

Atlas der Anatomie des Pferdes : Lehrbuch für Tierärzte und Studierende

3. Auflage, Schlüter Verlag Hannover, 8-9

BUTTERWORTH, J. .F. u. G. R. STICHARTZ (1990):

Molecular mechanisms of local anesthesia: A review

Anesthesiology 72, 711-734

- CAPISTRANT, T. D. (1971):
Thermographic facial patterns in carotid occlusive disease
Radiology 100, 85-89
- CENA, K. u. J. A. CLARK (1972):
Die Anwendung von Thermovisions®-Techniken bei Tieren
Dtsch. tierärztl. Wochenschrift 79, 292-296
- CENA, K. u. J. A. CLARK (1977):
The potential of infrared thermography in veterinary diagnosis
Vet. Rec. 100, 402-404
- CLAYTON, H. M. (1996):
Instrumentation and techniques in locomotion and lameness
Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 12, 337-351
- CORNELISSE, C. J., N. E. ROBINSON, C. A. BERNEY, J. E. EBERHART, J. E. HAUPTMANN u. F. J. DERKSEN (2006):
Thermographic study of in vivo modulation of vascular responses to phenylephrine and endothelin-1 by dexamethason in the horse
Equine Vet. J. 38, 119-126
- CORNELISSEN, B. P. M., A. B. M. RIJKENHUSEN u. A. BARNEVELD (1996):
The diagnostic nerve block of the sesamoidean nerve: desensitized structures and possible clinical applications
The Vet. Quartel. 18, 97-102
- DAY, T. K. u. R. T. SKARDA (1991):
The pharmacology of local anesthetics
Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 7, 489-500
- DEJONG, R.H. (1980):
Clinical physiology of local anesthetic action
In: M.J. COUSINS, P.O. BRINDENBAUGH (Hrsg.):
Neural blockade in clinical anesthesia and management of pain
Philadelphia, J. B. Lippincott, 21-24, 27, 51-70
- DELAHANTY, D. D. u. J. A. GEORGI (1965):
Thermography in equine Medicine
JVMA 147, 235-238
- DENOIX, J. M. (1994):
Diagnostic techniques for identification and documentation of tendon and ligament injuries
Vet. Clin. North Am Equine Pract. 10, 365-407
- DERKSEN, F.J. (1980):
Diagnostic local anesthesia of the equine frontlimb
Equine Pract. 2, 41-47
- DYSON, S. (1984):
Nerve blocks and lameness diagnosis in the horse
Equine Pract. 7, 102-107

- EDDY, A. L., L. M. VAN HOOGMOED u. R. SNYDER (2001):
The role of thermography in the management of equine lameness
The Vet. J. 162, 172-181
- ENGEL, J. M. (1981):
Thermographie: Die andere Dimension der Diagnostik
Dtsch. Med. Wschr. 106, 879-881
- FELDMAN, F. u. E. L. NICKOLOFF (1984):
Normal thermographic standards for the cervical spine and upper extremities
Skeletal radiol. 12, 135-149
- FELDMANN, H. (1991):
Thermography of the hand of wrist: Practical applications
Hand clinics 7, 99-112
- FLORES, C. E. (1978):
Berührunglose Temperaturmessung an der Hautoberfläche beim Pferd
Vet. Med. Diss., TiHo Hannover, Klinik für Pferde
- FORD, T. S., M. W. ROSS u. P. G. ORSINI (1989):
A comparison of methods for proximal palmar metacarpal analgesia in horses
Vet. Surg. 18, 146-150
- FUBINI, S. L., J. F. CUMMINGS, R. J. TODHUNTER (1988):
The use of intraneural doxorubicin in association with palmar digital neurectomy in 28 horses
Vet. Surg. 17, 346-349
- GASTHUYS, F. M. R. u. A. DE MOOR (2006):
In: Handbuch der Pferdepraxis
Hrsg.: Dietz, O. u. B. Huskamp
3. Auflage, Enke Verlag Stuttgart, 110-122
- GAUTHERIE, M., P. HAEHNEL, J.-P. WALTER u. L. KEITH (1982):
Long- term assessment of breast cancer risk by liquid crystal thermal imaging
In: Biomedical Thermology,
Hrsg.: M. Gautherie, E. Albert, R. Alan
Publ., New York, 279-301
- GAUTHERIE, M., P. HAEHNEL u. J.-P. WALTER (1985):
Thermobiologische Beurteilung benigner und maligner Brusterkrankungen
Geburts- und Frauenheilk. 45, 1-66
- GAUTHERIE, M., A. KOTEWICZ, B. LUX, P. HAEHNEL u. J.-P. WALTER (1986):
Fortgeschrittene Flüssigkristall-Thermographie als wertvolle komplementäre Untersuchung
zur Frühdiagnose des Mammakarzinoms
Strasbourg, Univ.Med. Fak.
- GERSHON-COHEN, J. (1967):
Medical thermography
Sci. Am. 216, 94-102

GERWECK, U., A. RUPP, P. EPPLE u. K. KLINGELHÖFER (1994):
Leitungs- und Gelenkanästhesie als diagnostisches Hilfsmittel bei der
Lahmheitsuntersuchung des Pferdes
Der prakt. Tierarzt 11, 951-958
Der prakt. Tierarzt 12, 1091-1094

GREEN, E. M. (1999):
Thermography
In: Equine medicine and surgery
Hrsg.: Colahan P. T., I. G. Mayhew, A. M. Merritt u. J. N. Moore
5. Auflage, 1333- 1340

HABERMEHL, K. H. (1984):
Haut- und Hautorgane
In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band III
Hrsg.: Nickel, R., A. Schummer u. E. Seiferle
2. Auflage, Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg

HALL, J., L. R. BRAMLAGE u. B. M. KANTROWITZ (1987):
Correlation between contactthermography and ultrasonography in the evaluation of
experimentally induced superficial flexor tendinitis
Proc. 32th Ann. Am. Ass. Equine Pract., 429

HALLER, J. S. (1985):
Medical thermometry - A short history
West J. Med. 142, 108-116

HARDY, J. (2006):
Surgical procedures involving the peripheral nerves
In: Equine surgery
Hrsg.: Auer J. A.
3. Auflage, Philadelphia, W.B. Saunders Company 1208-1211

HARTEN, H.-U., J. NÄGERL, H. SCHMIDT u. H.-D. SCHULTE (Hrsg.)(1987):
Physik für Mediziner
5. Auflage Springer Verlag Berlin, Heidelberg, London, New York, Paris, Tokyo
154-158, 136-137, 310-313

HAUGLAND, L. M., M. A. COLLIER, R. J. PANCIERA u. J. BELLAMY (1992):
The effect of CO₂ laser neurectomy on neuroma formation and axonal regeneration
Vet. Surg. 21, 351-354

HELLENTHAL, W. (1997):
Strahlung; Wärmelehre
In: Physik für Pharmazeuten, Mediziner und Biologen
Hrsg.: Hellenthal, W.
Gustav Fischer Verlag Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm
78-108, 281-283

- HERTSCH, B. (1987):
Die klinische Lahmheitsuntersuchung
Kongress über Pferdechirurgie und Pferdesportmedizin
Assoc. Suisse de Médecine Equine, 1-15
- HERTSCH, B. u. U. BEERHUES (1988):
Der Wendeschmerz als Symptom bei der Lahmheitsuntersuchung des Pferdes –
Pathomorphologische und klinische Untersuchungen
Pferdeheilkunde 4, 15-21
- HERTSCH, B. u. LANGFELDT (1988):
Statistische Auswertung allgemeiner, klinischer und röntgenologischer Parameter bei der
Strahlbeinerkrankung des Pferdes- Bedeutung der Anästhesie des Ramus pulvinus
Pferdeheilkunde 4, 253-257
- HERTSCH, B., S. HÖPPNER u. T. KAUFHOLD (1998):
Spezielle Untersuchungstechniken bei der Lahmheitsuntersuchung- Gelenkdruckmessung,
Thermographie, Angiographie
III. Internationaler Kongress über Kleintier- und Pferdekrankheiten, Budapest
- HODGKIN, A. L. u. A. F. HUXLEY (1952):
A quantitative discription of membrane current an its application to conduction an exitation in
nerve
J. Physiol. (Lond.) 117, 500-544
- HÖRNICKE, H. (1989):
Thermophysilogie
In: Lehrbuch der Veterinärphysiologie
Hrsg.: Scheunert, A. u. A Trautmann
Verlag Paul Parey, 142-159
- HOLMES, L. C., E. M. GAUGHAN, D. A. GORONDY, S. HOGGE u. M. F. SPIRE (2003):
The effect of perineural anasthesia on infrared thermographic images of the forlimb digits of
normal horses
Can. Vet. J. 44, 392-396
- HOLMGREN, K., H. JACOBSSON, H. JOHNSON u. E. LÖFSJÖGÅRD-NILSSON (1990):
Thermography and plethysmography, a non-invasive alternative to venography in the
diagnosis of deep vein thrombosis
J. Int. Med. 228, 29-33
- JAKSCH, W. u. E. GLAWISCHNIG (1990):
Hauttemperatur
In: Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und
Heimtiere
3. Auflage, Paul Parey Verlag Berlin u. Hamburg, 73-74
- JACKMAN, B. R., G. M. BAXER, R. E. DORAN, D. ALLEN u. A. H. PARKS (1993):
Palmar digital neurectomy in horses. 57 cases (1984-1990)
Vet. Surg. 22, 285-288

JESSEN, C. (1999):

Wärmebilanz und Temperaturregulation

In: Physiologie für Veterinärmediziner

KEG, P. R., H. C. SCHARMHARDT, P. R. VAN WEEREN u. A. BARNEVELD (1996):

The effect of the high palmar nerve block and the ulnar nerve block on lameness provoked by a collagenase- induced tendonitis of the lateral branch of the suspensory ligament

Vet. Quartely 18 Suppl. 2, 103-105

KLUGE, K. u. F. R. UNGEMACH (2006):

In: Handbuch der Pferdepraxis

Hrsg.: Dietz O. u. B. Huskamp

3. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 60-77

LEE, Y. N. u. R. H. GOLD (1976):

Localization of occult testicular tumor with scrotal thermography

JAMA 236, 1975-1976

LIAO, S. J. u. M. K. LIAO (1985):

Acupunktur und teleelectronic infrared thermography

Acupunct. Electrother. Res. 10, 41-66

LÖSCHER, W.(2006):

In: Pharmakotherapie bei Haus und Nutztieren

Hrsg.: Löscher, W., F. R. Ungemach u. R. Kroker

7. Auflage, Paul Parey Verlag Stuttgart, 125-130

LUMB, W. V. u. E. W. JONES (1984):

In: Veterinary Anesthesia

Hrsg.: Lumb, W. V. und E. W. Jones

2. Auflage, Lea & Febinger Philadelphia, 357-370

MAHER, O.et al (2008):

Pull-Through Technique for palmar digital neurectomy: Forty-one horses

Veterinary Surgery, 37, 87-93

MARR, C. M. (1992):

Microwave thermography: a non-invasive technique for investigation of injury of the superficial digital flexor tendon in the horse

Equine Vet. J. 24, 269-273

MAXWELL-CADE, C. (1968):

Principles and practice of clinical thermography

Radiography 34, 23-34

MOGG, K. C. u. C. C. POLLITT (1992):

Hoof an distal limb surface temperature in the normal pony under constant changing ambient temperature

Equine Vet. J. 24, 134-139

MURRAY, R. C., E. M. Gaughan, R. M. DE BOWES, D. A. MOSIER u. J. J. HOSKINSON (1994):

Acute effects of perineural administration of sodium hyaluronate on palmar digital neurectomy sites in horses

Am. J. Vet. Res. 55, 1484-1489

NELSON, A. H. u. D. L. OSHEIM (1975) :

Soring in Tennessee Walking Horses: Detection by thermographie: USDA-APHIS

Iowa. Vet. Serv. Lab. 1-14

NILSSON, E., P. SUNDEN u. S. ZETTERQUIST (1979):

Leg temperature profiles with a simplified thermographic technique in the diagnosis of acute venous thromboses

Scan. J. Clin. Lab. Invest. 39, 171-177

ORDIDGE, R. M. u. E. L. GERRING (1984):

Regional analgesia of the distal limb

Equine Vet. J. 16, 147-149

PALMER, S. E. (1981):

Use of the portable infrared thermometer as a means of measuring limb surface temperature in the horse

Am. J. Vet. Res. 42, 105-108

PARK, R. D. u. J. L. LEBEL (1989):

In: Andams Lahmheiten bei Pferden

Hrsg.: Stashak, T. S. u. H. Wissdorf

4. Auflage Verlag M. & H. Schaper, Alfeld Hannover 175

PICK, M. (1984):

Erste Ergebnisse thermographischer Untersuchungen zur Lahmheitsdiagnostik beim Pferd mit Hilfe eines Infrarotthermographen

Tierärztl. Praxis 12, 229-238

PICK, M. (1990):

Zehn Jahre Thermographie in der Pferdeheilkunde

Der praktische Tierarzt 8, 45-51

POHLMAYER, K. u. M. REDECKER (1974):

Die für die Klinik bedeutsamen Nerven an den Gliedmaßen des Pferdes einschließlich möglicher Varianten

Dtsch. Tierärztl. Wschr. 81, 501-524

POLLITT, C. C. u. G. S. MOLYNEUX (1990) :

A scanning electron microscopical study of the dermal microcirculation of equine foot

Equine Vet. J. 22, 79-87

- PUROHIT, R.C. (1980):
The diagnostic value of thermography in equine medicine
Proc. Am. Assoc. Equine Pract. 26, 317-326
- PUROHIT, R.C. u. M. D. MCCOY (1980):
Thermography in the diagnosis of inflammatory processes in the horse
Am. J. Vet. Res. 41, 1167-1174
- PUROHIT, R.C. , M. D. MCCOY u. W. A. BERGFELD (1980):
Thermographic Diagnosis of Horner`s Syndrome in the horse
Am. J. Vet. Res. 41, 1180-1182
- REINBERG, A. (1975):
Circadian changes in the temperature of human beings
Bibl. Radiol. 6, 128-139
- RIJKENHUIZEN, A. B. M. (2001):
Die diagnostischen Anästhesien an der Vordergliedmaße des Pferdes
Pferdeheilkunde 17, 330-338
- RINGER, K., LISCHER, C., UELTSCHI, G. (2005)
Assessment of scinigraphic and thermographic changes after focused extracorporeal shock wave therapy on the origin of the suspensory ligament and the fourth metatarsal bone in horses without lameness
Am. J. Vet. Res. 66 (10), 1836-1842
- ROSE, R. J., J. R. ALLEN, D. R. HODGSON u. J. R. KOHNKE (1983):
Studies on isoxsuprine hxdrochloride for the treatment of navicular disease
Equine Vet. J. 15, 238-243
- RUTHE, H. (1988):
Der Huf- Lehrbuch des Hufbeschlags
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart – New York 29-30
- SALISBURY, R. S., G. PARR, M. DE SILVA, B. L. HAZLEMAN u. D. PAGE-THOMAS (1983):
Heat distribution over normal and abnormal joints: Thermal pattern and quantification
Ann. Rheum. Dis. 42, 494-499
- SCHEBITZ, H. (1958):
Zur Lahmheitsdiagnostik beim Pferd
Berl. Münch., Tierärztl. Wschr. 13, 241-262
- SCHMAL (1942):
Über diagnostische Injektionen bei der Lahmheitsdiagnose in der tierärztlichen Praxis
Berl. Münch, Tierärztl. Wschr. 41/42, 303 309
- SCHMID, I. A. (1996):
Einfluss der Reizung bestimmter Akupunkturpunkte auf das Wärmebild des Pferdes und dessen Darstellung mittels Thermographie
Diss., Vet. Med. Fak. Zürich

- SCHMOTZER, W. B. u. K. I. TIMM (1990):
Local anesthetic techniques for diagnosis of lameness
Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 6, 705-728
- SCHNEIDER, R. K., I. G. MAYHEW u. G. L. CLARKE (1985):
Effects of cryotherapy on the palmar and plantar digital nerves in the horse
AM. J. Vet. Res. 46, 7-12
- SCHOENE, C. (1996):
Doping beim Pferd
Enke Verlag, Stuttgart (VET special)
- SCHULZE, M. (2004):
Thermographie am Huf
Diss. FU Berlin, Klinik für Pferde
- SCHWEINITZ, D. (1999):
Thermographic diagnostic in equine back pain
Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 15, 161-177
- SHURAN, M. u. R. A. NELSON (1991):
Quantitation of energy expenditure by infrared thermography
Am. J. Clin. Nutr. 53, 1361-1367
- SKARDA, R. T., W. W. MUIR, C. R. SWANSON u. J. A. HUBBEL (1986):
Cervicothoracic (stellatae) ganglion block in conscious horses
Am. J. Vet. Res. 47, 21-26
- SKARDA, R.T. (1991):
Local anesthetics and local anesthetic techniques in horses
In: Equine Anesthesia: Monitoring and emergency therapy.
Hrsg.: MUIR, W.W. u. J. A. E. HUBBELL
1. Auflage. St. Louis: Mosby- Year book 199-246
- SPIRE, M. F., J. S. DROUILLARD, J. C. GALLAND u. J. M. Sargeant (1999):
Use of infrared thermography to detect inflammation caused by contaminated growth
promotant ear implantats in cattle
J. Am. Vet. Med. Assoc. 215, 1320-1324
- STANEK, C u. D. GIRTLER (2002):
Diagnostische Leitungsanästhesien an der Vorderextremität des Pferdes: ein Vorschlag zur
Standardisierung
Pferdeheilkunde 18, 617-621
- STASHAK, T.S. (1989):
In: Adams Lahmheit bei Pferden
Hrsg.: Stashak, T. S. u. H. Wissdorf
4. Auflage Verlag M. & H. Schaper, Alfeld Hannover 135-156
- STEIN, L. E., G. J. PIJANOWSKI, A. L. JOHNSON, D. M. MCCOY u. J. C. CHATO (1988):
A comparison of steady state an transient thermography techniques using a healing tendon
model
Vet. Surg. 17, 90-96

- STICHARTZ, G. R. (1976):
Molecular mechanisms of nerve block by local anesthetics
Anesthesiology 45, 421-441
- STRÖMBERG, B. (1971):
The normal and the diseased superficial digital flexor tendon in racehorses: a morphological and physiological investigation
Acta radiol. Suppl. 305, 40-54
- STRÖMBERG, B. (1974):
The use of thermography in equine orthopadics
J. of vet. Radio. 15, 94-99
- TAYLOR, T. S. u. J. T. VAUGHAN (1980):
Effects of denervation of the digit of the horse
J. Am. Vet. Assoc. 15, 1033-1039
- TAYLOR, P. (1985):
Local analgesia
In: *Equine Surgery and Medicine*, Band1
Hrsg.: Hickman, J.
78-90
- TURNER, T. A., J. F. FESSLER, M. LAMP, J. A. PEARCE u. L. A. GEDDES (1983):
Thermographic evaluation of horses with podotrochlosis
Am. J. Vet. Res. 44, 535-539
- TURNER, T. A., R. C. PUROHIT u. J. S. FESSLER (1986):
Thermography: A review in equine medicine
Comp. of contin. Educa. 8, 855-861
- TURNER, T. A. u. R. D. SCROGGINS (1989):
Thermographic detection of gingering in horses
J. of Equine Vet. Surg. 5, 8-10
- TURNER, T. A. (1989):
Diagnosis and treatment of the navicular syndrom in horses
Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 5, 131-144
- TURNER, T. A. (1991):
Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation
Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 7, 311-338
- TURNER, T. A. (1996):
Thermography as an aid in the localization of upper hindlimb lameness
Pferdeheilkunde 12, 632-634
- TURNER, T. A. (2001):
Diagnostic thermography
Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 17, 95-113

- VADEN, M. F., R. C. PUROHIT, M. D. MCCOY u. J. T. VAUGHAN (1980):
Thermography: A technique for subclinical diagnosis of osteoarthritis
Am. Vet. Res. 41, 1175-1179
- VAN HOOGMOED, L. M., J. R. SNYDER, K. A. ALLEN u. J. D. WALDSMITH (2000):
Use of thermography to detect performance enhancing techniques in horses
Vet. Education 12, 132-138
- VAN HOOGMOED, L. M. u. J. R. SNYDER (2002):
Use of infrared thermography to detect injections and palmar digital neurectomy in horses
The Vet. J. 164, 129-141
- WALDSMITH, J. K. u. J. I. OLTMANN (1994):
Thermography: Subclinical inflammation, diagnosis, rehabilitation and athletic evaluation
J. equine Vet. Sci. 14, 8-10
- WEBBON, P. M. (1978):
Limb Skin thermometry in racehorses
Equine Vet. J. 10, 180-184
- WEIL, M. (1997):
Die Thermographie am Fuß des Pferdes- Eine Überprüfung ihrer diagnostischen
Aussagekraft
Diss. Univ. Gießen, Veterinärmed. Fakultät
- WEIL, M., L.-F. LITZKE u. R. FRITSCH (1998):
Diagnostische Aussagekraft der Thermographie bei Lahmheiten des Pferdes
Tierärztl. Prax. 26, 346-54
- WIELAND, M. (1992):
Gegenüberstellung thermographischer und szintigraphischer Befunde beim Pferd
Diss., Zürich Vet. Med. Fak.
- WISSDORF, H., DEEGEN, E., H. GERHARDS u. B. HUSKAMP (1998):
In: Praxisorientierte Anatomie des Pferdes
Anhang Schultergliedmaße
Verlag Schaper Alfeld- Hannover
- Zeller, R. (1978):
Die Lokalanästhesie bei der Lahmheitsuntersuchung
Berl. Münch., Tierärztl. Wschr. 91, 166-171
- Zuther, M. u. B. Hertsch (2004):
Zur Differenzierung des Podotrochlose-Syndroms mit Hilfe von diagnostischen Anästhesien
und der Druckmessung in Hufgelenk und Bursa Podotrochlearis
Pferdeheilkunde 20, 525-532

9.1 Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn Univ.- Prof. Dr. B. W. Hertsch für die Überlassung des interessanten Themas und die jederzeit gewährte Geduld bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der Freien Universität Berlin, insbesondere Frau Dr. Stefanie Höppner, den Assistenztierärzten/Innen und den PferdepflegerInnen.

Danken möchte ich auch Frau G. Arndt und Frau A. Lüdecke vom Institut für Biometrie am Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin für die geduldige und sachkundige Beratung in Fragen Datenanalyse.

Meinen Eltern und meinen Geschwistern danke ich für ihre Geduld und ihr Vertrauen während meines Studiums und während der Anfertigung dieser Arbeit. Ich liebe Euch.

Ebenso danke ich meinen engsten Freunden, die zu jeder Zeit für mich da waren und meinen Arbeitgebern, die mich immer wieder unterstützt und motiviert haben.

9.2 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.

Cloppenburg, 25.09.2010

Franziska Kremer