

**EINFLUSS VON LANGWELLIGER INFRAROTSTRAHLUNG  
(RUKU THERMIUM®) AUF AUSGEWÄHLTE, DURCH  
KÖRPERLICHE BELASTUNG VERÄNDERTE PARAMETER  
BEIM PFERD**

**SONJA REBEKKA KOTZINGER**



**INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung des Grades eines  
Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen



*edition wientzen*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**



**Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.**

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

1. Auflage 2009

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

1<sup>st</sup> Edition 2009

© 2009 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen  
Printed in Germany



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN  
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890  
email: [redaktion@doktorverlag.de](mailto:redaktion@doktorverlag.de)

[www.doktorverlag.de](http://www.doktorverlag.de)

Aus dem Klinikum Veterinärmedizin, Klinik für Pferde mit Lehrschmiede, Innere Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuerin: PD Dr. Kerstin Fey

**Einfluss von langwelliger Infrarotstrahlung (RUKU Thermium®)  
auf ausgewählte, durch körperliche Belastung veränderte  
Parameter beim Pferd**

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

eingereicht von

**Sonja Rebekka Kotzinger**

Tierärztin aus Prien am Chiemsee

Gießen 2009

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

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

---

Gutachter/in: PD Dr. Kerstin Fey  
Prof. Dr. Andreas Moritz

Tag der Disputation: 29.05.2009

---

## **Meinen Eltern**

Diese Arbeit wurde mit der freundlichen Unterstützung  
der Firma RUKU® (Illertissen)  
angefertigt.

## Abkürzungsverzeichnis

A	Atemfrequenz
Abb.	Abbildung
ADP	Adenosindiphosphat
APP	akute Phase Protein
APR	akute Phase Reaktion
ATP	Adenosintriphosphat
AST	Amino-Aspartat-Transferase
BE	engl.: base excess; Basenabweichung
bzw.	beziehungsweise
c	Lichtgeschwindigkeit
°C	Grad Celsius
Ca	Calcium
ca.	circa
CK	Kreatin-Kinase
cm	Zentimeter
D	Dalton
d.h.	das heißt
$d_p(\lambda)$	spektrale Penetrationstiefe
E	Energie
e	Eulersche Zahl
$E_{ges}$	Gesamtenergie
EKG	Elektrokardiogramm
et al.	et alii
eV	Elektronvolt
g	Gramm
GE	Gesamteiweiß
GKHT	Ganzkörperhyperthermie
GLDH	Glutamat-Dehydrogenase
$\gamma$ -GT	$\gamma$ -Glutamyl-Transferase
h	Planck'sches Wirkungsquantum
$\text{HCO}_3^-$	Bikarbonat
HF	Herzfrequenz
Hp	Haptoglobin
Hkt	Hämatokrit
J	Joule
K	Kelvin
kD	Kilodalton
KFZ	kapilläre Rückfüllungszeit
kg	Kilogramm
kHz	Kilohertz
l	Liter
LDH	Laktat-Dehydrogenase
$\lambda$	Wellenlänge
$\lambda_{max}$	maximale Wellenlänge
$\text{m}^2$	Quadratmeter
MHz	Megahertz
min	Minute
ml	Milliliter

## Abkürzungsverzeichnis

mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol	Millimol
mRNA	messenger Ribonukleinsäure
$\mu_{\text{eff}}$	effektiver Schwächungskoeffizient
$\mu\text{l}$	Mikroliter
n	Anzahl
NaCl	Natrium Chlorid (Kochsalz)
n. Chr.	nach Christus
NMES	engl.: neuromuscular electrical stimulation; neuromuskuläre elektrische Stimulation
Nr.	Nummer
pH	lat.: Potentia hydrogenii; Säuregrad
RAO	engl.: Recurrent Airway Obstruction
s	Sekunde
SAA	Serum-Amyloid A
Std	Stunde
T	Temperatur
Tab.	Tabelle
Test B	Test Bestrahlung
Test P	Test Placebo
TENS	engl.: transcutaneous electrical stimulation; transkutane elektrische Stimulation
U	engl.: Unit; Einheit
W	Watt
WBC	engl.: white blood cell count; Leukozytenzahl
wIRA	wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung
z.B.	zum Beispiel
$\Sigma$	Abstrahlungskoeffizient
$\partial$	Stefan-Boltzmann'sche Konstante

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
I Abkürzungen .....	5
II Inhaltsverzeichnis .....	7
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>10</b>
<b>2 LITERATURÜBERSICHT</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Verfahren der Ganzkörperwärmebehandlung in der Humanmedizin</b> ....	<b>11</b>
2.1.1 Definition und Geschichte.....	11
2.1.2 Verfahren der Ganzkörpererwärmung, deren Wirkprinzipien und Anwendungsgebiete .....	12
2.1.2.1 <i>Luftbäder</i> .....	13
2.1.2.1.1 <i>Sauna</i> .....	13
2.1.2.1.2 <i>Modernes Dampfbad</i> .....	17
2.1.2.1.3 <i>Kettering-Hypertherm</i> .....	18
2.1.2.2. <i>Wasserbäder</i> .....	19
2.1.2.2.1 <i>Japanisches Bad</i> .....	19
2.1.2.2.2 <i>Überwärmungsbäder</i> .....	19
2.1.2.3 <i>Peloidbäder</i> .....	20
2.1.2.4 <i>Wickel</i> .....	21
2.1.2.5 <i>Erwärmung durch Strahlung</i> .....	22
<b>2.2 Verfahren der Ganzkörperwärmebehandlung in der Tiermedizin</b> .....	<b>25</b>
2.2.1 Allgemeines .....	25
2.2.2 Verfahren .....	26
<b>2.3 Infrarotstrahlung</b> .....	<b>29</b>
2.3.1 Charakterisierung der Infrarotstrahlung .....	29
2.3.2 Einfluss der Strahlungsquelle auf die emittierte Strahlung .....	30
2.3.3 Wechselwirkungen der Infrarotstrahlung mit bestrahlten Körpern ..	32
2.3.4 Infrarotstrahlung in der Humanmedizin .....	33
2.3.4.1 <i>Anatomische und physiologische Grundlagen</i> .....	33
2.3.4.1.1 <i>Haut</i> .....	33
2.3.4.1.2 <i>Thermoregulationssystem</i> .....	34
2.3.4.1.3 <i>Mechanismen der Wärmeabgabe bei                             Infrarotbestrahlung</i> .....	35
2.3.4.2 <i>Direkte Wirkung der Infrarotstrahlung auf den Körper</i> ....	36
2.3.4.3 <i>Indirekte Auswirkungen der Infrarotstrahlung auf den                     Körper</i> .....	40
2.3.4.3.1 <i>Auswirkungen der Infrarotstrahlung allgemein</i> ..	40
2.3.4.3.2 <i>Auswirkungen der Infrarot-A und -B-Strahlung</i> .	42
2.3.4.3.3 <i>Auswirkungen der Infrarot-C-Strahlung</i> .....	43
2.3.4.4 <i>Anwendung</i> .....	44
2.3.4.5 <i>Risiken, Nebenwirkungen und Grenzwerte für die Anwend-                     ung von IR-Strahlung</i> .....	47
2.3.4.5.1 <i>Gesamtorganismus</i> .....	47
2.3.4.5.2 <i>Haut</i> .....	47
2.3.4.5.3 <i>Augen</i> .....	50
2.3.4.6 <i>Kontraindikationen</i> .....	51
2.3.5 Infrarotstrahlung in der Pferdemedizin .....	52
2.3.5.1 <i>Anatomische und physiologische Grundlagen</i> .....	52
2.3.5.2 <i>Infrarotsysteme zur Anwendung beim Pferd</i> .....	55

## Inhaltsverzeichnis

2.3.5.2.1 Infrarotlampen .....	55
2.3.5.2.2 Keramikhaltige Bandagen und Decken .....	55
2.3.5.3 Risiken und Kontraindikationen .....	56
<b>3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN</b> .....	<b>57</b>
<b>3.1 Material und Methoden</b> .....	<b>57</b>
3.1.1 Probanden .....	59
3.1.2 Das RUKU Thermium® .....	60
3.1.2.1 Aufbau .....	60
3.1.2.2 Technische Daten .....	61
3.1.3 Teststrecken und äußere Bedingungen .....	61
3.1.4 Versuchsablauf .....	62
3.1.5 Untersuchungsplan .....	64
3.1.6 Ermittlung der klinischen Parameter .....	65
3.1.7 Ermittlung der labordiagnostischen Parameter .....	66
3.1.7.1 Gewinnung und Lagerung der Blutproben .....	66
3.1.7.2 Messverfahren .....	67
3.1.7.2.1 Laktat .....	67
3.1.7.2.2 Routineparameter .....	68
3.1.7.2.3 Akut-Phase-Proteine .....	68
3.1.8 Statistische Auswertung .....	69
<b>3.2 Ergebnisse</b> .....	<b>70</b>
3.2.1 Begriffsbestimmung .....	70
3.2.2 Besonderheiten .....	70
3.2.3 Zeitlicher Ablauf und äußere Bedingungen .....	71
3.2.4 Belastungstests .....	73
3.2.5 Ergebnisse der klinischen Untersuchungen .....	73
3.2.5.1 Körperinnentemperatur .....	73
3.2.5.2 Herz- und Atemfrequenz .....	75
3.2.5.3 Verhalten .....	77
3.2.5.4 Schweißproduktion .....	77
3.2.5.5 Kapilläre Rückfüllungszeit .....	77
3.2.6 Ergebnisse der hämatologischen Untersuchungen .....	78
3.2.6.1 Leukozyten .....	78
3.2.6.2 Hämatokrit .....	79
3.2.7 Ergebnisse der biochemischen Untersuchungen .....	80
3.2.7.1 Laktat .....	80
3.2.7.2 Kreatin-Kinase .....	81
3.2.7.3 Laktatdehydrogenase .....	82
3.2.7.4 Amino-Aspartat-Transferase .....	83
3.2.7.5 Gesamteiweiß .....	83
3.2.8 Ergebnisse der Akut-Phase-Protein-Bestimmungen .....	84
3.2.8.1 Haptoglobin .....	84
3.2.8.2 Serum-Amyloid-A .....	85
<b>4 DISKUSSION</b> .....	<b>87</b>
<b>4.1 Diskussion der Methoden</b> .....	<b>87</b>
4.1.1 Probanden .....	87
4.1.2 Teststrecken .....	88
4.1.3 Versuchsablauf .....	88
4.1.4 Probenbehandlung und Messmethoden .....	91

## Inhaltsverzeichnis

<b>4.2 Diskussion der Ergebnisse</b> .....	94
4.2.1 Einfluss der körperlichen Belastung auf die klinischen Parameter .	94
4.2.1.1 <i>Körperinnentemperatur</i> .....	94
4.2.1.2 <i>Herz- und Atemfrequenz</i> .....	94
4.2.1.3 <i>Schweißproduktion</i> .....	95
4.2.2 Einfluss der Bestrahlung (Test B) versus Placebo (Test P) auf die klinischen Parameter .....	95
4.2.2.1 <i>Körperinnentemperatur</i> .....	95
4.2.2.2 <i>Herz- und Atemfrequenz</i> .....	96
4.2.2.3 <i>Verhalten</i> .....	97
4.2.2.4 <i>Schweißproduktion</i> .....	97
4.2.3 Einfluss der körperlichen Belastung auf die labordiagnostischen Parameter .....	98
4.2.3.1 <i>Leukozyten</i> .....	98
4.2.3.2 <i>Hämatokrit</i> .....	98
4.2.3.3 <i>Laktat</i> .....	99
4.2.3.4 <i>Kreatin-Kinase</i> .....	100
4.2.3.5 <i>Laktatdehydrogenase</i> .....	101
4.2.3.6 <i>Amino-Aspartat-Transferase</i> .....	101
4.2.3.7 <i>Gesamteiweiß</i> .....	102
4.2.4 Einfluss der Bestrahlung (Test B) versus Placebo (Test P) auf die labordiagnostischen Parameter .....	103
4.2.4.1 <i>Leukozyten</i> .....	103
4.2.4.2 <i>Hämatokrit</i> .....	103
4.2.4.3 <i>Laktat</i> .....	104
4.2.4.4 <i>Kreatin-Kinase</i> .....	104
4.2.4.5 <i>Laktatdehydrogenase</i> .....	106
4.2.4.6 <i>Amino-Aspartat-Transferase</i> .....	107
4.2.4.7 <i>Gesamteiweiß</i> .....	108
4.2.5 Einfluss von körperlicher Belastung und Behandlung auf die Akut- Phase Proteine .....	110
4.2.5.1 <i>Haptoglobin</i> .....	110
4.2.5.2 <i>Serum-Amyloid-A</i> .....	111
<b>5 ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	113
<b>6 SUMMARY</b> .....	114
<b>7 LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	115
<b>8 ANHANG</b> .....	138
<b>8.1 Formulare</b> .....	138
<b>8.2 Streckenskizzen</b> .....	142
<b>8.3 Tabellenverzeichnis und weitere Tabellen</b> .....	143
<b>8.4 Abbildungsverzeichnis</b> .....	148
<b>9 DANKSAGUNG</b> .....	149

### **1 Einleitung**

Das Bedürfnis des Menschen nach Wärme wird durch verschiedene kulturelle Errungenschaften gestillt. Beginnend mit einfachen Holzfeuern in urzeitlichen Höhlen entwickelten sich die Möglichkeiten Räume zu erwärmen bis in die Gegenwart weiter. Bereits 1932 wurde in Berlin die erste öffentliche Sauna Deutschlands in Betrieb genommen. Vermehrtes Interesse wurde der Sauna seit 1936 nach Erfolgen finnischer Olympioniken entgegengebracht (Lindner und Brinkhaus 2000). Obwohl nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen über die Auswirkungen des Saunabadens auf Sportler vorliegen (Rehunen 1988), etablierte sich ihre Nutzung für Hochleistungssportler (Lindner und Brinkhaus 2000). Mit dem zunehmenden Wellnesstrend fanden auch verschiedene andere Formen der Wärmeanwendung immer mehr Gefallen. Eine der moderneren Anwendungen ist die Infrarotkabine. Sie ist vor allem wegen der geringen Kreislaufbelastung und der einfachen Handhabung beliebt. Seit 2005 gibt es auch für Pferde Infrarotwärmekabinen. Die vom sogenannten Thermium® (Firma RUKU, Illertissen) ausgehende langwellige Infrarotstrahlung kann laut Hersteller präventiv genutzt werden, aber auch als ergänzende Maßnahme bei der Rehabilitation nach Verletzungen oder zur unterstützenden Behandlung verschiedener Erkrankungen eingesetzt werden.

Über die exakte Wirkung der Infrarotstrahlung ist nur wenig bekannt. Laut Wissen der Autorin gibt es bisher, bis auf eine Dissertation, die sich mit der Auswirkung der langwelligen Infrarotstrahlung auf Rückenprobleme beim Pferd beschäftigt, keine wissenschaftlichen klinischen Untersuchungen aus dem tiermedizinischen Bereich. Untersuchungen aus der Humanmedizin konnten den positiven Einfluss von verschiedenen Entmüdungsmaßnahmen bei Sportlern nach Belastung belegen (Steininger 1982). Das Ziel der eigenen Untersuchungen bestand darin, Auswirkungen der Infrarot-C-Strahlung auf die Regeneration nach körperlicher Beanspruchung beim Pferd zu erforschen.

## **2 Literaturübersicht**

### **2.1 Verfahren der Ganzkörperwärmebehandlung in der Humanmedizin**

#### 2.1.1 Definition und Geschichte

Bereits in der Steinzeit wurden Schwitzbäder in Höhlen oder Erdgruben angelegt. Zur Erwärmung wurden erhitzte Steine hineingelegt und die Eingänge anschließend mit Ästen und Laub verschlossen. Ausgehend von Asien verbreitete sich das Schwitzbad zunächst über die ganze nördliche Halbkugel über die damals noch begehbbare Behringstraße bis Amerika. Dabei entstanden regional typische Varianten des ursprünglichen Modells (Lindner und Brinkhaus 2000, Weiss 2004a). Die Indianer Nordamerikas nutzten z.B. sogenannte sweat lodges (Schwitzhütten) (Aaland 1978). Dokumentiert ist dies durch Berichte früher Siedler (Williams 1827). Die verschiedenen Stämme haben in ihren Sprachen eigene Bezeichnungen für die sweat lodges geprägt. Die Navajo nennen sie zum Beispiel „Tʼquache“ (Maressa 1986). Die sweat lodges bestehen, je nachdem ob es sich um sesshafte Stämme oder Nomaden handelt, aus massivem Holz, das mit Lehm abgedichtet wird oder aus biegsamen Zweigen, die mit Decken oder Tierhäuten abgedeckt werden. Beheizt wurden sie entweder direkt mit Holz oder durch zuvor außerhalb erhitzte Steine. Bei den Indianern sind die sweat lodges auch Ort ritueller Handlungen (Aaland 1978).

In Südamerika nutzten die Maya das Temazcal. Der Name leitet sich von den Begriffen der Azteken für „baden“ (teme) und „Haus“ (calli) ab. Es handelte sich um halbkugelförmige gemauerte Gebäude mit einem Durchmesser von maximal 2,5 m und einer Höhe von circa 90 cm. Gegenüber des kleinen Eingangs befand sich ein von außen zu beheizender Ofen. Am höchsten Punkt befand sich eine kleine Öffnung, durch die Rauch, der eventuell vom Ofen ins Innere des Temazcals gelangte, abziehen konnte. Sobald die Wärmespeichersteine ausreichend erwärmt waren, wurde nicht mehr geheizt und der Eingang verschlossen. Durch Begießen der heißen Steine mit Wasser wurde vermutlich Dampf erzeugt. Bei Ausgrabungen wurden Ruinen gefunden, die auf ein Alter von circa 1200 Jahren geschätzt werden (Aaland 1978).

In der Antike entwickelten die Griechen aufwändige Badestätten, die unter anderem einen Heißluftbaderaum (Laconium) enthielten. Darin herrschten Temperaturen von 70-80 °C. Die antiken Römer bezeichneten ihre Heißluftfräume als Sudatorien. In ihnen herrschten circa 50-60 °C. Sie ergänzten diese um Warmluftfräume (Tepidarien, 25-30 °C), Dampffräume (Caldarien, 50 °C) und Kaltwasserbecken (Frigidarien) (Pieper 2004, Weiss 2004a). Die erste öffentliche Therme des alten Roms wurde 25 v. Chr. gebaut. Zu dieser Zeit gab es schon seit

## Literaturübersicht

mindestens 200 Jahren kleinere Bäder (Balnea) (Aaland 1978). Die Treffen in den Thermen gehörten damals für die Oberschicht zum gesellschaftlichen Leben und dienten der Erholung und der Körperpflege (Aaland 1978, Pieper 2004, Weiss 2004a).

Im Lauf der Zeit entstanden durch lokale Einflüsse die zum größten Teil noch heute gebräuchlichen Wärmebehandlungsverfahren, wie z.B. die finnische Sauna, das russische Banja, das türkische Hamam, das irische Bad und das alpine Brechelbad. Sie unterscheiden sich in Bezug auf Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Aufenthaltsdauer und anschließenden Abkühlungsverfahren (Pieper 2004).

Bei der medizinischen Nutzung der Wärme ist das Ziel in der Regel das Erzeugen einer lokalen oder den ganzen Körper erfassenden Hyperthermie. Im Gegensatz zum Fieber, bei dem die Erhöhung der Körperkerntemperatur aufgrund einer Erhöhung des Sollwertes im Hypothalamus entsteht, bleibt der Sollwert bei der Hyperthermie unverändert. Deshalb versucht der Körper der Erwärmung entgegenzuwirken. Die Bedeutung des durch äußere Einflüsse herbeigeführten Erwärmens des Körpers wurde schon früh von Medizinern hoch geschätzt. Parmenides soll im vierten Jahrhundert vor Christus gesagt haben: „Gib mir ein Mittel, Fieber zu erzeugen, und ich heile jede Krankheit“ (Lindner und Brinkhaus 2000). Heute wird bei der Ganzkörperhyperthermie je nach erreichter Körperinnentemperatur zwischen milder ( $<38,5\text{ °C}$ ), moderater ( $38,5\text{ °C} - 40,5\text{ °C}$ ) und extremer ( $>40,5\text{ °C}$ ) Überwärmung unterschieden (Heckel und von Ardenne 2002).

Heckel (1990) differenziert im unteren Temperaturbereich zusätzlich zwischen der „prähyperthermen Stufe“ mit  $36,5\text{ °C}$  bis  $37,5\text{ °C}$  und der milden Ganzkörperhyperthermie mit  $37,5\text{ °C}$  bis  $38,5\text{ °C}$ . Im Folgenden sollen übliche Verfahren zur Erzeugung der prähyperthermen Stufe bzw. der milden Ganzkörperhyperthermie sowohl aus dem Wellnessbereich als auch aus dem medizinischen Bereich erläutert werden.

### 2.1.2 Verfahren der Ganzkörpererwärmung, deren Wirkprinzipien und Anwendungsgebiete

Es gibt zwei Möglichkeiten, eine Erhöhung der Körperinnentemperatur zu erreichen. Die eine ist, die vom Körper selbst abgestrahlte Wärme durch Einwickeln in isolierende Materialien nicht entweichen zu lassen und durch diesen Wärmestau die Körpertemperatur zum Steigen zu bringen (Richter und Schmidt 2002a). Die andere Möglichkeit besteht darin, dem Körper von außen Wärme zuzuführen. Diese Wärmezufuhr kann auf unterschiedliche Weise erfolgen: konduktiv, konvektiv und induktiv (Fritzsche 1992, Richter und Schmidt 2002a, Steiss und Levine 2005). Unter konduktivem Wärmeeintrag versteht man das Übertragen von Wärme

## Literaturübersicht

durch direkten Kontakt mit einem warmen Medium wie z.B. Luft, Wasser oder Paraffin (Richter und Schmidt 2002a). Ein praktisches Beispiel dafür ist die Anwendung von Wärmepackungen (Sekins und Emery 1982, Steiss und Levine 2005). Ist das Medium, welches die Wärme transportiert in Bewegung, kommt Wärmeeintrag durch Konvektion dazu (Licht 1982, Richter und Schmidt 2002a, Steiss und Levine 2005). Diese Kombination aus konduktiver und konvektiver Wärmeübertragung wirkt z.B. bei der Benutzung von Whirlpools (Steiss und Levine 2005). Den Wärmeeintrag durch elektromagnetische Strahlung bezeichnet man als induktiv. Hierbei erfolgt die Wärmeübertragung ohne direkten Hautkontakt (Richter und Schmidt 2002a). Ein Beispiel dafür ist die Anwendung von Infrarotstrahlern (Sekins und Emery 1982, Richter und Schmidt 2002a, Steiss und Levine 2005).

Praktikable Verfahren, um die Körpertemperatur zu erhöhen, stellen Bäder, Wickel und Strahlung dar. Unter Bad ist dabei laut „Klinisches Wörterbuch“ (Psyhyrembel) ein natürliches oder künstliches Heilbad auf wässriger Basis zu verstehen, sowie im weiteren Sinne auch Dampfbäder, Heißluftbehandlungen, Lichtbehandlungen und Moorbäder. Die üblicheren dieser Methoden, die zur Erzeugung einer Ganzkörperhyperthermie dienen, sollen im Folgenden näher erläutert werden.

### 2.1.2.1 Luftbäder

Bei der Anwendung von Luftbädern wird dem Körper durch heiße Luft oder Dampf Wärme zugeführt. Da Luftbäder die aktuell am weitesten verbreitete Variante der Wärmebehandlung sind, können sie als der Standard angesehen werden, mit dem neuere Verfahren, wie die Infrarotstrahlung, verglichen werden.

#### 2.1.2.1.1 Sauna

Den Angaben der populärwissenschaftlichen Informationsschrift von Fritzsche und Fritzsche (2002) zufolge gab es Anfang der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts in deutschen Privathaushalten ca. 15.000 Saunen. Bei weiter steigender Tendenz waren es im Jahr 2002 bereits mehr als 1,1 Millionen (Fritzsche und Fritzsche 2002). Wichtigster Bestandteil des Saunabadens ist die Erwärmung des Körpers im eigentlichen Saunaraum bei ca. 75-95°C und zwei bis zwanzig Prozent relativer Luftfeuchte. Die Saunakabine besteht meist aus Holz und wird von einem in der Kabine stehenden Ofen geheizt. Die Bankreihen sind in der Regel auf verschiedenen Ebenen angebracht, wobei sich die oberste üblicherweise ca. einen Meter unter

## Literaturübersicht

der Decke befindet (Fritzsche und Fritzsche 2002, Weiss 2004b). Es herrschen zwischen 95°C und 2-5 % Luftfeuchtigkeit unter der Decke und 40°C bei einer Luftfeuchtigkeit von mehr als 20 % am Boden. Eine Übersicht der in einer Saunakabine herrschenden Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten ist bei Gehrke (1989) zu finden. Die verschiedenen Temperaturbereiche ermöglichen es dem einzelnen Saunabesucher den für ihn verträglichsten Bereich zu wählen. Es wird eine Aufenthaltsdauer von maximal 15 Minuten pro Saunagang empfohlen (Fritzsche und Fritzsche 2002, Weiss 2004b). Es wird empfohlen am besten gegen Ende des Aufenthalts in der Saunakabine einen sogenannten Aufguss zu machen. Das bedeutet, dass etwas Wasser, meist mit Zusätzen von Saunaölen, auf die heißen Steine des Ofens gegossen wird. Dadurch kommt es zu einem kurzfristigen Anstieg der Luftfeuchtigkeit und einem vermehrten Wärmeempfinden. Da durch die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit die Wärmeabgabe durch Verdunstung vorübergehend erschwert wird, reagiert der Körper mit vermehrter Schweißsekretion (Fritzsche und Fritzsche 2002). An den Aufenthalt in der Saunakabine schließt sich die Anwendung von kaltem Wasser zur Abkühlung an (Gillmann 1975, Gehrke et al. 1984, Berliner 1992, Fritzsche und Fritzsche 2002, Pieper 2004). Zusammen bezeichnet man die Aufwärmphase und die Abkühlungsphase als einen Saunagang (Gillmann 1975, Fritzsche und Fritzsche 2002). Unterbrochen von Ruhephasen werden meist mehrere Saunagänge hintereinander absolviert (Gillmann 1975, Fritzscher und Fritzscher 2002, Weiss 2004b).

Der Wärmeeintrag in den Körper während eines Saunaganges erfolgt durch Konduktion, Konvektion und Strahlung. Zum einen wird in der Sauna an den Kontaktflächen zwischen Körper und Liege Wärme konduktiv übertragen. Durch Konduktion und Konvektion wird Wärme aus der bewegten Luft auf den Körper übergeleitet. Neben der Haut ist hier vor allem die Schleimhaut der Atemwege als Kontaktfläche zwischen Luft und Körper zu nennen (Fritzsche 1992). Zusätzlich kommt es zum Wärmeeintrag durch Strahlung, die von den Wänden, der Decke und dem Ofen ausgeht (Fritzsche 1992). Konkret maß Gehrke (1989) nach einem 15-minütigen Aufenthalt in einer Sauna bei 85°C einen Anstieg der Körperinnentemperatur von  $36,8 \pm 0,1^\circ\text{C}$  auf  $37,4 \pm 0,1^\circ\text{C}$ . Bei gleicher Aufenthaltsdauer und einer Lufttemperatur von 95°C fiel der Anstieg um durchschnittlich  $0,2^\circ\text{C}$  höher aus.

Fritzsche und Fritzsche (2002) schreiben dem Saunabesuch folgende Wirkungen zu, ohne Studien oder Messungen anzugeben, die diese belegen: Hautreinigung und Anregung der Zellneubildung, Steigerung der Abwehr gegen Infekte, Training des Herz-Kreislaufsystems, Anregung des Hypophysen-Nebennierenrindensystems sowie vegetative Umstimmung und

## Literaturübersicht

Steigerung des allgemeinen Wohlbefindens. Die günstigsten Auswirkungen sind nach diesen Autoren bei regelmäßigem, wöchentlichen Saunabesuch zu erwarten.

Fritzsche und Fritzsche (2002) behaupten, dass der prophylaktische Einsatz der Sauna folgende „Dauerwirkungen“ hat: die Anfälligkeit gegenüber akuten respiratorischen Infekten nähme ab, es käme zur Stabilisierung des Kreislaufs und das Training der vegetativen Funktionskreise könne Störungen des Wärmehaushaltes beseitigen. Auch mangelhaftes Entspannungsvermögen, Schlafstörungen und allgemeine Nervosität würden durch Saunabesuche günstig beeinflusst. Brenke et al. (1985) vermuten, dass die bei regelmäßigem Saunabesuch verbesserte Durchblutungsregelung der Schleimhäute im Nasen-Rachenraum ein Grund für die verbesserte Infektabwehr ist. Messungen von Lindner und Schnizer (1991) mit einem Laser-Doppler-Flowmeter belegen diese Verbesserung der Durchblutungsregulation. Als weitere mögliche Gründe für die bessere Infektabwehr geben Brenke et al. (1985) die Verstärkung der unspezifischen humoralen Immunität und Veränderungen in der lokalen Immunabwehr an. Durch das Einatmen der warmen Luft kommt es auch zu einer lokalen Hyperthermie in den Atemwegen. Diese Temperaturerhöhung vertragen einige Bakterien und Viren (z.B. Rhinoviren) nicht, die für die Entstehung von Atemwegsinfekten verantwortlich sind, und werden inaktiviert (Lindner und Schnizer 1991). Laitinen et al. (1988) fassen in ihrem Übersichtsartikel die von verschiedenen Autoren beobachteten Auswirkungen des Saunabesuchs auf den Atmungstrakt zusammen. Das Verhalten verschiedener Parameter, wie zum Beispiel Atemfrequenz, Vitalkapazität und Sauerstoffgehalt im venösen und arteriellen Blut während und nach einem Saunaaufenthalt wird in tabellarischer Form und mit ausführlichen Erläuterungen dargestellt. Insbesondere Sportler nutzen die Sauna zur rascheren „Entmüdung“ und Leistungssteigerung (Gehrke 1989, Weiss 2004c). Unter Entmüdung wird die Zeitdauer verstanden, die der Sportler benötigt, um nach einer vorangegangenen Belastung wieder soweit erholt zu sein, dass er wieder einen weiteren Wettkampf bestreiten kann (Gehrke 1989). Weiss (2004c) führt folgende Gründe für die verbesserte Regeneration nach dem Saunen an, ohne diese Aussagen weiter zu belegen: Durch die gesteigerte Durchblutung der Muskulatur würde der Abtransport von Laktat beschleunigt. Zusätzlich soll regelmäßiger Saunabesuch die Vitalkapazität (maximales Luftvolumen, das nach maximaler Expiration eingeatmet werden kann) um bis zu 15 % erhöhen können und somit die Sauerstoffversorgung verbessern. Auch eine positive Beeinflussung der Psyche wird angegeben, die sich günstig auf die Leistungsfähigkeit auswirke. Welche Mechanismen dieser Beeinflussung der Psyche zugrunde liegen ist nicht

## Literaturübersicht

geklärt (Gehrke 1989). Bezüglich der angeblich verstärkten Durchblutung der Muskulatur finden sich auch gegensätzliche Darstellungen, die zu Bedenken geben, dass die Durchblutung der Muskulatur zu Gunsten der thermoregulatorisch nötigen, vermehrten Hautdurchblutung eher eingeschränkt wird (Rowell 1983, Vuori 1988, Gehrke 1989).

Bei verschiedenen Leiden wird der Sauna ein günstiger Einfluss auf das Krankheitsgeschehen zugesprochen und diese daher zum therapeutischen Einsatz empfohlen. Dazu zählen z.B. Asthma und chronische Bronchitis (Laitinen et al. 1988, Lindner und Brinkhaus 2000). Zusätzlich soll sich die oben beschriebene Verbesserung der lokalen Abwehr günstig auf den Gesundheitszustand von Asthmatikern auswirken (Fritzsche und Fritzsche 2002). Studien von Menger (1980) an Kindern mit Asthma bestätigen diese Aussagen, wohingegen Gehrke (1989) nach Untersuchungen mit einem Bodyplethysmographen zum Ergebnis kommt, dass Saunaaufenthalte bei erwachsenen Asthmatikern nicht generell bronchiolytisch wirken. Patienten mit hypertonen oder hypotonen Regulationsstörungen des Blutkreislaufes oder peripheren Durchblutungsstörungen sollen vom Saunabaden profitieren. Durch den Wechsel zwischen Wärme und Kälte werden die Gefäße angeregt wechselweise zu dilatieren und zu kontrahieren (Fritzsche und Fritzsche 2002). So bewirkt die Wärme in der Saunakabine eine vorübergehende Erweiterung der Blutgefäße in der Peripherie, die ein Absinken des peripheren Kreislaufwiderstandes zur Folge hat (Vuori 1988, Lindner und Brinkhaus 1991, Sanner et al. 1993). Dieser Effekt ist vor allem bei Patienten mit Bluthochdruck erwünscht. Diese müssen im Anschluss an das Saunabad auf die Nutzung eines kalten Tauchbeckens verzichten. Denn dabei kommt es zu einem reflektorischen Engstellen der Gefäße und einem Blutdruckanstieg (Fritzsche und Fritzsche 2002, Sanner et al. 1993). Für sie werden zur Abkühlung vorsichtiges kaltes Duschen oder kalte Teilkörpergüsse und anschließende warme Fußbäder empfohlen (Fritzsche 1996). Sehr detaillierte Angaben bezüglich Hypertonie und Saunabaden finden sich bei Sanner et al. 1993. Für Patienten mit niedrigem Blutdruck sind dagegen vor allem die kalten Tauchbäder wichtig. Bei Vorliegen eines nicht aktiven chronischen Rheumatismus sowie Arthrosen, Spondylosen und Tendoperiostosen soll Saunabaden die Beschwerden vermindern (Fritzsche und Fritzsche 2002). In einer klinischen Studie berichteten mehr als 50 % der Patienten mit rheumatischen Erkrankungen über eine Verminderung der Schmerzen und eine verbesserte Beweglichkeit der Gelenke nach Saunaaufenthalt (Isomäki 1988). Zu erklären ist dies durch die verbesserte Durchblutung des Gewebes, die entspannende Wirkung auf die Muskulatur und den positiven Einfluss auf das vegetative Nervensystem (Lindner und Brinkhaus 2000, Fritzsche und Fritzsche 2002). Auch

## Literaturübersicht

das chronische endogene Ekzem sowie Heuschnupfen sollen positiv beeinflusst werden (Lindner und Brinkhaus 2000).

Bei Vorliegen folgender pathologischer Veränderungen ist von Saunabesuchen generell abzusehen: Dekompensation bei Herz-Kreislauf-Krankheiten, Hypertonie mit Nierenbeteiligung, Herzkrankheiten mit erhöhtem pulmonalen Widerstand, akut fieberhafte Erkrankungen, Entzündungen innerer Organe und nicht ausgeheilte Lungentuberkulose (Fritzsche 1996, Lindner und Brinkhaus 2000). Laitinen et al. (1988) empfehlen beim Vorliegen akuter respiratorischer Erkrankungen auf Saunabesuche zu verzichten, da dadurch die vorliegende Symptomatik verschlimmert und der Krankheitsverlauf verlängert werden soll. Beim Vorliegen folgender Erkrankungen muss der Arzt konsultiert werden, um zu klären ob im Einzelfall der Saunabesuch aus medizinischer Sicht möglich und sinnvoll ist: schwere neurovegetative Dysregulationen, zerebrale Durchblutungsstörungen und schwere Leber- und Nierenveränderungen (Berliner 1992, Lindner und Brinkhaus 2000, Fritzsche und Fritzsche 2002).

### 2.1.2.1.2 Modernes Dampfbad

Das heute übliche moderne Dampfbad ist in Deutschland seit dem 19. Jahrhundert bekannt. Es handelt sich um einen dem russischen Dampfbad nachempfundenen Heißluftbaderaum. Im modernen Dampfbad liegen im Vergleich zur Sauna die Temperaturen mit 45 bis 50°C deutlich niedriger. Dafür herrscht eine Luftfeuchtigkeit von nahezu 100 % (Gillmann 1975, Fritzsche und Fritzsche 2002, Pieper 2004, Weiss 2004b). Bereits 973 n. Chr. beschrieb der Arzt Ibrahim-ibn-Jakob Dampfbäder (Gehrke 1989). Die heutige Form des Dampfbades geht auf die Caldarien der römischen Thermen und das russische Banja zurück (Fritzsche und Fritzsche 2002). Die Dampfbäder sind in festen Räumen aus Metall, Kunststoff, Naturstein oder mineralischen Bausteinen untergebracht und enthalten in der Regel mehrstufig angeordnete Bänke (Pieper 2004). Der Dampf, dem häufig Duftstoffe zugesetzt werden, wird zumeist außerhalb der Kabine erzeugt (Gehrke 1989, Pieper 2004). Wie in der Sauna sind die empfohlenen Aufenthaltszeiten relativ kurz (bis zu 15 Minuten) (Fritzsche und Fritzsche 2002, Weiss 2004b). Das rasche Aufheizen des Körpers trotz der im Vergleich zur Sauna niedrigen Temperaturen ist dadurch zu erklären, dass die im Dampfbad herrschende hohe Luftfeuchtigkeit verhindert, dass der Schweiß an der Körperoberfläche verdunsten kann. Dem Körper ist somit eine sehr effektive Möglichkeit zur Abkühlung genommen und die Körperinnentemperatur steigt an (Gillmann 1975, Fritzsche und Fritzsche 2002). Bei einer

## Literaturübersicht

Betriebstemperatur von 40°C und einer Aufenthaltsdauer von 20 Minuten maß Gehrke (1989) einen Anstieg der Körperinnentemperatur um durchschnittlich 0,3°C (n=15). Bei einer Temperatur von 50°C fiel bei gleicher Aufenthaltsdauer die durchschnittliche Temperaturerhöhung mit 0,8°C (n=15) deutlicher aus. Die Abkühlung nach dem Dampfbad erfolgt meist langsam bei Raumtemperatur (Lindner und Brinkhaus 2000), kann aber auch durch kaltes Duschen oder Tauchbäder erreicht werden (Gehrke 1989).

Günther und Jantsch (1982) sehen Nebenhöhlenentzündungen, Pharyngitis, Laryngitis, Tracheitis und chronische Mittelohrentzündungen als medizinische Indikationen für den Besuch eines Dampfbades. Denn durch die Erwärmung der Schleimhäute der Atemwege durch die eingeatmete feucht-warme Luft kommt es zu einer verbesserten Durchblutung dieser Schleimhäute. Auch können Dampfbadbesuche als Vorbereitung für einen Aufenthalt in feucht-warmen Gebieten dienen, um die Akklimatisation zu erleichtern (Gehrke 1989).

Ansonsten entsprechen sowohl Indikationen als auch Kontraindikationen im Wesentlichen den bei der Sauna angeführten. Allerdings ist die stärkere Belastung des Herz-Kreislaufsystems, die sich zum Beispiel in einem höheren Anstieg der Herzfrequenz zeigt, im Vergleich zu einem Saunaaufenthalt zu bedenken (Gehrke 1989, Fritzsche und Fritzsche 2002, Weiss 2004b).

### 2.1.2.1.3 Kettering-Hypertherm

Neben den oben beschriebenen Verfahren, deren Nutzung größtenteils im Wellnessbereich erfolgt, gibt es auch ausschließlich medizinisch genutzte Verfahren. Der Kettering-Hypertherm wurde Anfang der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts in den USA entwickelt. Der gesamte Körper des Patienten, abgesehen vom Kopf, liegt in einer starrwandigen Kabine. Am Fußende wird auf 70°C erwärmte und bis zu 90 % wasserdampfgesättigte Luft eingeleitet. Die warme Luft verlässt die Kabine am Kopfende wieder. Im Kettering-Hypertherm wird nach einer Aufenthaltsdauer von 60 Minuten eine Körperinnentemperatur von 40,0°C erreicht. Oft verblieben die Patienten dann bei auf 45,5°C gesenkter Lufttemperatur noch mehrere Stunden in der Kabine. Das Gerät wurde hauptsächlich zum Erzeugen einer mindestens moderaten Hyperthermie verwendet. Diese Prozedur ist sehr belastend und es kam zu tödlichen Zwischenfällen. Heute wird das Gerät daher auch zum Erzeugen einer milden Hyperthermie nicht mehr verwendet (Heckel 1990).

### 2.1.2.2 Wasserbäder

Unter den vielfältigen Arten von Wasserbädern sind unter anderem Folgende, die beispielhaft besprochen werden sollen, zur Erzeugung einer Hyperthermie geeignet: das japanische Bad und sogenannte Überwärmungsbäder.

#### 2.1.2.2.1 Japanisches Bad (Furo)

Furo kommt ursprünglich vom Wort „muro“, das ein Dampfbad beschreibt (Yamaguchi 2001). Diese Art des „Badens“ war ab dem 6. Jahrhundert n. Chr. in Japan sehr beliebt. Öffentliche Bäder sind dort seit dem 12. Jahrhundert bekannt. Ab dem 16. Jahrhundert wurden zunehmend auch natürliche heiße Quellen genutzt (Irimoto 2001). Für diese Warmwasserbäder bürgerte sich die Bezeichnung „fû“ ein. Daraus geht das moderne Wort Furo hervor. Es wird nicht nur für das Warmwasserbad, sondern auch für den Baderaum verwendet (Yamaguchi 2001).

Das heutige Furo besteht aus einem Becken, das so groß ist, dass man darin schwimmen könnte. In der Regel steht oder sitzt man aber darin. Die Wassertemperatur beträgt über 40°C, oft sogar bis zu 50°C (Irimoto 2001, Weiss 2004b, Pieper 2004). Es werden während des Bades ständig so heiße Wasserströme, meist zwei in Schulterhöhe und ein etwas weniger starker Strom in der Kreuz-Lendengegend eingeleitet, dass die gewählte Wassertemperatur gehalten werden kann. Dadurch kommt es zu einem Massageeffekt und die Temperatur im Becken bleibt konstant (Kaiser 1985, Gehrke 1989). Die hohen Temperaturen erlauben nur recht kurze Aufenthaltszeiten: von fünf Minuten bei den ersten Besuchen bis zu maximal 15 Minuten nach Gewöhnung. Zum Abkühlen stellt man sich entweder an ein geöffnetes Fenster oder liegt auf Steinboden (Gehrke 1989). Alternativ kann die folgende Ruhephase auch ohne vorherige Abkühlung begonnen werden (Kaiser 1985). Das japanische Bad soll bei rheumatischen Erkrankungen positive Wirkung haben, wird aber vor allem zur Entspannung genutzt (Pieper 2004). Kaiser (1985) gibt als Indikationen hypotone Regulationsstörungen und periphere Durchblutungsstörungen an. Als Kontraindikationen nennt er im Speziellen Hypertonie, Herz- und Kreislaufinsuffizienz und allgemeine Schwäche.

#### 2.1.2.2.2 Überwärmungsbäder

Die Überwärmungsbäder unterscheiden sich bezüglich Wassertemperatur und Aufenthaltsdauer vom oben beschriebenen japanischen Bad. Denn beim Überwärmungsbad wird in der Regel mit einer Wassertemperatur von 35°C begonnen und dann alle fünf Minuten

## Literaturübersicht

die Temperatur um ein Grad gesteigert, bis maximal 42°C erreicht werden. Diese Informationen entstammen einem Naturheilkunde-Lexikon aus dem Sommer Verlag von 1985. Per Konduktion und Konvektion gelangt die Wärme in den Körper. Dem Körper gelingt es nicht, die Wärme wieder abzugeben, da einerseits der gebildete Schweiß nicht verdunsten kann und andererseits auch die Wärmeabgabe an die Umgebung unmöglich ist, weil das Wasser genauso warm oder wärmer als die Körperoberfläche ist. Während des Bades wird der Puls kontrolliert (Wiedemann 1987). Dabei sollte die Herzfrequenz 140 Schläge pro Minute nicht überschreiten. Ansonsten wird auf die nächstuntere Temperaturstufe zurückgegangen. Zum Ende des Bades wird die Temperatur nochmals kurz auf 37°C abgesenkt. Die Badedauer beläuft sich auf 20 bis 60 Minuten (Heckel 1990), kann aber auf bis zu 3 Stunden ausgedehnt werden (Wiedemann 1987). Meist folgt eine Trockenpackung zum Nachschwitzen. Im Anschluss daran sollte noch eine Ruhephase von ein bis zwei Stunden eingehalten werden (Wiedemann 1987). Das Überwärmungsbad ist sehr anstrengend und deshalb nur für Personen mit ungestört funktionierendem Herz-Kreislaufsystem zu empfehlen. In jedem Fall ist eine intensive Überwachung des Patienten nötig. Überwärmungsbäder werden zum Beispiel bei Patienten mit rheumatischen Erscheinungen eingesetzt. Vor allem bei degenerativen Erkrankungen des Bewegungsapparates wirken sich die eintretende Entspannung der Muskulatur und die verbesserte Durchblutung günstig aus. Überwärmungsbäder werden auch in der Tumorthherapie als begleitende Maßnahme eingesetzt (Wiedemann 1987, Heckel 1990).

Für Schwangere, Patienten mit akuten fieberhaften Erkrankungen und akuten Schüben chronischer Erkrankungen sind Überwärmungsbäder nicht geeignet (Berliner 1992).

### 2.1.2.3 Peloidbäder

Der Begriff Peloid ist vom griechischen „pelos“ abgeleitet und bedeutet Schlamm. Als Peloid bezeichnet man den brei- oder schlammförmigen Zustand natürlicher anorganischer und organischer Stoffe und Stoffgemische, die als Bäder oder Packungen therapeutisch angewendet werden. Diese Stoffe kommen in der Natur trocken oder wasserhaltig vor (Hildebrandt und Gutenbrunner 1998). Eine mögliche Einteilung dieser großen Gruppe ist die Unterscheidung in organische (z.B. Torf), gemischt anorganisch-organische (z.B. Schlick) und anorganische Substanzen (z.B. Sand). Diese werden für die Anwendungen mit unterschiedlichen Mengen an Wasser vermischt. (Berliner 1992). Neben dem Einsatz als Vollbäder oder Halbbäder werden diese Materialien auch als Packungen angewendet. Die

## Literaturübersicht

Peloidbäder sind aufgrund der höheren Dichte kreislaufbelastender als Vollbäder in Wasser (Wiedemann 1987, Berliner 1992). Allerdings erfolgt der Wärmeeintrag in den Körper schonender, weil die Wärmehaltungskapazität der Peloiden größer ist als die von Wasser, und dadurch die Wärme langsamer an den Körper des Patienten abgegeben wird. Außerdem liegt dem ruhenden Körper die Bademasse ähnlich wie eine Packung an, so dass nicht ständig neues wärmeres Material zum Körper transportiert wird (Wiedemann 1987). Bei Temperaturen zwischen 38°C und 42°C badet der Patient 15 bis 30 Minuten (Berliner 1992). Peloiden wirken aufgrund der hervorgerufenen Hyperämie analgetisch, entspannend und teilweise antiphlogistisch (Berliner 1992). Bezüglich der Resorption von Stoffen aus dem Peloid herrschen unterschiedliche Meinungen. Berliner (1992) geht davon aus, dass es nicht zu einer wesentlichen Resorption von Inhaltsstoffen kommt. Wiedemann (1987) dagegen behauptet, dass einige der Inhaltsstoffe über die Haut in den Organismus des Patienten gelangen. Hildebrandt und Gutenbrunner (1998) geben den Östrogengehalt von Moorbreibädern mit 0,08-5,3 mg/15 kg Trockenmasse an. Hosemann (1953) konnte im Tierversuch an Ratten zeigen, dass Östrogene aus einem Moorbad resorbiert wurden und eine Brunst auslösten. Indikationen sind rheumatische, entzündliche und degenerative Erkrankungen von Gelenken und Muskeln sowie Erkrankungen aus dem gynäkologischen Bereich, wie chronische Adnexitiden und endokrine Funktionsstörungen (Berliner 1992). Wiedemann (1987) weist auch auf die positiven Auswirkungen auf verschiedene Hauterkrankungen hin. Diese entstehen durch die Wirkung von Gerbsäuren und die antibakteriellen Eigenschaften der Moorbäder. Die Kontraindikationen entsprechen weitgehend denen der Überwärmungsbäder (Wiedemann 1987, Berliner 1992).

### 2.1.2.4 Wickel

Mit Wickeln kann man je nach eingeschlossener Körperoberfläche und Anwendungsdauer verschiedene Wirkungen erzielen. Zur Ganzkörpererwärmung sind lediglich sogenannte „große Wickel“, die den ganzen Körper vom Hals abwärts bis zu den Beinen einschließen, geeignet (Berliner 1992). Dafür müssen mehrere Schichten Tücher übereinandergelegt werden. Dem Körper liegt ein nasses Tuch direkt an, dann folgt ein Zwischentuch und außen eine Wolldecke. Zumeist wird, auch wenn es sich um eine Wärmepackung handelt, das innere nasse Tuch kalt aufgelegt. Es kann aber auch direkt ein sehr warmes nasses Tuch angewendet werden (Wiedemann 1987, Berliner 1992). Nach circa 20 Minuten hat sich ein ursprünglich kaltes Tuch erwärmt. Ein leichter Wärmestau entsteht nach circa 45 Minuten. Verbleibt der

## Literaturübersicht

Wickel noch länger beginnt der Patient zu schwitzen (Wiedemann 1987, Berliner 1992). Die Anwendung kann bis zu drei Stunden dauern (Berliner 1992). Nach Abnahme des Wickels wird der Patient abgetrocknet und es sollte eine Nachruhe von ein bis zwei Stunden folgen (Wiedemann 1987). Wickel finden Anwendung als sogenannte Ruhepackungen, zum Beispiel nach dem Überwärmungsbad.

Als Indikationen für heiße Wickel nennen Fey (1950) und Gillert und Rulffs (1990) unter anderem chronischen Gelenkrheumatismus, rheumatische Muskelveränderungen und Spasmen im Bereich des Darmes.

### 2.1.2.5 Erwärmung durch Strahlung

Unter Strahlung versteht man elektromagnetische Wellen. Elektromagnetische Strahlung wird in der Medizin am häufigsten in Form von Röntgenstrahlung für diagnostische Zwecke eingesetzt, hierbei bleibt eine Erwärmung aufgrund der kurzen Bestrahlungsdauer aus. Strahlungsarten in anderen Wellenlängenbereichen, wie zum Beispiel Infrarotstrahlung oder Mikrowellen, finden therapeutischen Einsatz (Preisinger 1997). Die Erwärmung erfolgt durch die Absorption der Strahlungsenergie im Gewebe.

In der Hochfrequenztherapie, die auch als Diathermie bezeichnet wird, nutzt man die Wirkung von elektrischen und magnetischen Wechselfeldern bzw. elektromagnetischen Wellen mit Frequenzen von 0,5 MHz bis 5000 MHz (Berliner 1992, Preisinger 1997). Da Interferenzen mit der Funktechnik zu Problemen führen könnten sind nur wenige spezielle Frequenzen in diesem Bereich für die Hochfrequenztherapie zugelassen. Festgelegt sind diese Frequenzen in einer DIN-Norm (DIN EN 60601 VDE 0750). Man unterscheidet folgende für die Therapie zugelassene Frequenzen bzw. Wellenlängen:

- Kurzwellen mit einer Frequenz von 27,1 MHz (entspricht einer Wellenlänge von 11,060 m)
- Dezimeterwellen mit einer Frequenz von 433,9 MHz (entspricht einer Wellenlänge von 0,690 m) und
- Mikrowellen mit einer Frequenz von 2450,0 MHz (entspricht einer Wellenlänge von 0,125 m)

(Berliner 1992, Preisinger 1997). Am häufigsten werden heute Kurzwellendiathermiegeräte eingesetzt (Molla-Djafari 2004). Ihre Wirkungsweise und Anwendung soll im Folgenden beispielhaft für den Bereich der Hochfrequenztherapie erläutert werden.

## Literaturübersicht

Kurzwellengeräte arbeiten mit Kondensator- oder Spulenfeldelektroden (Koeppen und Eigel 1968, Klein und Schellnack 1972, Berliner 1992). Bei der Kondensatorfeldmethode wird der zu behandelnde Körperteil zwischen den Kondensatorplatten gelagert. Zwischen den Platten und dem Körper wird in der Regel ein Abstand von 2 cm eingehalten. Es können einzelne Bereiche des Körpers, aber auch der ganze Körper behandelt werden (Koeppen und Eigel 1968, Preisinger 1997). Dabei kommt es zu Ladungsverschiebungen im behandelten Bereich. In wasserärmeren Strukturen (z.B. Unterhautfettgewebe) kommen weniger Ionen vor. Dadurch ist der Ohm'sche Widerstand höher und sie erwärmen sich stärker als wasserreiche Gewebe (z.B. Muskulatur). Wird ein Spulenfeld benutzt erzeugt die dem Körper anliegende Spule magnetische Ströme. Dabei findet entweder eine zylinderförmige Spule Anwendung oder ein isoliertes Induktionskabel wird spiralförmig um den zu behandelnden Bereich gewickelt (Berliner 1992). Die erzeugten wechselnden Magnetfelder führen zur Entstehung von Wirbelströmen, die in wasserarmen Geweben mit geringerem Widerstand eine höhere Stromstärke erreichen, und deshalb dort eine stärkere Erwärmung bewirken als in wasserreichen Strukturen. Zu beachten ist, dass die Wirkung mit zunehmendem Abstand von der Elektrode abnimmt und somit der Abstand zum Spulenfeld die Behandlungsintensität beeinflusst (Berliner 1992).

Die Dosierung der Diathermie richtet sich nach dem subjektiven Wärmeempfinden des Patienten im behandelten Gebiet. Dabei werden nach Schliephake 4 Stufen (keine, geringe, mittlere und starke Wärmeempfindung) unterschieden (Koeppen und Eigel 1968, Klein und Schellnack 1972, Berliner 1992, Preisinger 1997). Die Wärmeempfindung entsteht im Wesentlichen durch die Erregung der Wärmerezeptoren in der Haut. Daraus wird auf die Erwärmung in den tieferen Gewebeschichten rückgeschlossen. Bei der Anwendung der Kurzwellen wird in der Regel bis zur Stufe 3 (mittlere Wärmeempfindung) erwärmt. Mikrowellen mit ihrer stärkeren Tiefenwirkung dagegen maximal bis Stufe 2 (Preisinger 1997). Einzelne Anwendungen dauern zwischen fünf und maximal 30 Minuten. Meist erfolgt die Anwendung in Behandlungsserien von sechs bis 15 Einzelanwendungen, die einmal täglich oder alle zwei Tage durchgeführt werden (Koeppen und Eigel 1968, Wiedemann 1987, Berliner 1992).

Anwendung finden diese Therapieformen bei degenerativen und chronisch entzündlichen Erkrankungen des Bewegungsapparates, chronischen weichteilrheumatischen Veränderungen und subakuten und chronischen unspezifischen Entzündungen verschiedener Organe, z.B. Sinusitis (Raab 1938, Koeppen und Eigel 1968, Klein und Schellnack 1972, Berliner 1992).

## Literaturübersicht

Eine Kontraindikation ist gestörtes Temperaturempfinden, da eine Dosisfindung dann unmöglich ist. Zusätzlich werden als Kontraindikationen akute entzündliche Organerkrankungen, frische Blutungen und Myokardinfarkte, Leberzirrhosen, Schwangerschaft, Tuberkulose und Patienten mit malignen Tumoren ohne weitere Begründungen angegeben. Aus technischen Gründen dürfen Patienten mit Herzschrittmachern und Metalleinschlüssen keiner Hochfrequenztherapie unterzogen werden. Beim Bestrahlen des Kopfes sind zum Schutz der Augen besondere Vorkehrungen nötig, da es sonst zur Kataraktentstehung kommen kann (Klein und Schellnack 1972, Berliner 1992, Preisinger 1997).

Eine weitere Möglichkeit der Ganzkörperwärmebehandlung mit Strahlung stellt die Infrarotstrahlung dar. Auf sie wird in Kapitel 2.3. gesondert und detailliert eingegangen, da es sich um die in dieser Arbeit angewandte Form der Ganzkörperwärmebehandlung handelt.

## **2.2 Verfahren der Ganzkörperwärmebehandlung in der Tiermedizin**

Wärmebehandlungen werden in der Tier- wie Humanmedizin den physikalischen Therapieformen zugerechnet. Neben der Wärmebehandlung gehören auch Kältebehandlung, Bewegungstherapie, Massage, manuelle Therapie, Hydrotherapie, therapeutische Ultraschallbehandlungen, Elektrotherapie (NMES, TENS), Magnetfeldtherapie und Phototherapie zu den in der Tiermedizin gebräuchlichen Verfahren der physikalischen Therapie. Eine scharfe Trennung der Wirkungen der Verfahren ist oft nicht möglich, da zum Beispiel das übliche Abspritzen der Pferdebeine mit kaltem Wasser sowohl der Hydro- als auch der Kältetherapie zugerechnet werden kann. Die Anwendungsformen der im Folgenden näher beschriebenen Wärmetherapie sind sehr vielfältig. Wärme kann z.B. fokal durch Ultraschalltherapie, lokal über warme Umschläge oder eben dem ganzen Körper z.B. mittels Strahlung, z.B. im Thermium®, zugeführt werden (Hopes 1970, Lawson 1970, Baetzner 1996, Bromiley 1999, Haltrecht 2000, Molyneux 2003, Rittmann und Zohmann 2005).

### 2.2.1 Allgemeines

Im Folgenden soll lediglich auf die für die eigenen Untersuchungen relevante Ganzkörperwärmebehandlung beim Pferd eingegangen werden. Leider finden sich darüber kaum wissenschaftliche Daten aus der Pferdemedizin. Die Veterinärmediziner Steiss und Levine (2005) beschreiben für die Kältewirkung differenziert nach lokaler und generalisierter Anwendung die Auswirkungen auf den Körper von Kleintieren. Auch für diese Spezies sind dagegen Wärmeanwendungen lediglich bezüglich der lokalen Wirkung von Wärme dargestellt. Im Allgemeinen führt Wärmeeinwirkung über längere Zeit und auf eine große Oberfläche zum Absinken des Blutdrucks und dem Ansteigen der Körperkerntemperatur, der Atemfrequenz und der Herzfrequenz. Lokale Wärmeeinwirkung reduziert im behandelten Gebiet Muskelkrämpfe und Schmerzen. Wärme regt den lokalen Stoffwechsel und die lokale Durchblutung an und verbessert die Dehnbarkeit des Gewebes. Die Einwanderung von Leukozyten in die erwärmten Bereiche soll sich verstärken (Hayes 1993 zitiert nach Steiss 2005).

Als Indikationen für die Wärmeanwendung kommen subakute und chronische Verletzungen und Entzündungen, Bewegungseinschränkungen aufgrund von Steifheit und Kontrakturen sowie dadurch verursachte Schmerzen in Frage. Die Reduktion der Schmerzen beruht auf der Herabsetzung der Erregbarkeit der sensiblen Nervenendigungen durch die Wärme (Steiss und

## Literaturübersicht

Levine 2005). Als Kontraindikationen werten diese Autoren Blutungen, akute Entzündungsprozesse, Herzinsuffizienz, Fieber, bösartige Tumoren, schlechte Thermoregulation und lokal beeinträchtigte Durchblutung im Behandlungsgebiet. Sowohl Indikationen als auch Kontraindikationen werden von den Autoren ohne weitere Begründung angegeben.

Besondere Vorsicht bei der Anwendung von Wärme ist bei Tieren im Vergleich zum Menschen nötig, da aufgrund der dunkel pigmentierten Haut und dem Fell die Intensität der Wärmewirkung schlechter eingeschätzt werden kann, insbesondere da keine sichtbare Rötung der Haut hervorgerufen wird. Generell sollten die Tiere während der Wärmebehandlung nicht alleine gelassen werden und die Oberflächentemperatur regelmäßig durch Anfassen kontrolliert werden. Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen sedierte Tiere aufgrund ihres beeinträchtigten Thermoregulationsvermögens und ihrer eingeschränkten Mobilität. Auf Tiere mit gestörter Hautsensibilität muss aufgrund des Fehlens der Reaktion auf übermäßige Erwärmung der Haut besonders geachtet werden (Steiss und Levine 2005).

### 2.2.2 Verfahren

Der breiten Palette an Möglichkeiten in der Humanmedizin stehen in der Tiermedizin nur wenige Ganzkörperwärmebehandlungsverfahren gegenüber, über die kaum wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen. Hopes (1970) beschreibt kurz die Anwendung von Whirlpools beim Pferd. Als mögliche Indikation für die Verwendung von warmem Wasser gibt sie muskuläre Probleme an. Die positiven Wirkungen dieser Behandlung werden ihrer Meinung nach durch die Steigerung der Durchblutung und den Massageeffekt erreicht. Downer (1978a) beschreibt die Anwendung von Whirlpools mit warmem Wasser sehr detailliert, wobei nicht genau hervorgeht, für welche Tierarten ihre Ausführungen gelten. Neben der Erwärmung und dem Massageeffekt betont sie den säubernden Effekt, das Aufweichen von schuppiger Haut und das Weichmachen von Narbengewebe. Sie sieht unter anderem Gelenkentzündungen, steife Gelenke, alte Narben, Adhäsionen, Muskelkrämpfe und die Nachbehandlung von Frakturen als Einsatzgebiete. Als Kontraindikationen gibt sie Blutungsneigung sowie alle Formen akuter Traumata und entzündlicher Prozesse an.

Über die Anwendung von Peloidbädern bei Tieren und im Speziellen beim Pferd konnten keine Informationen gefunden werden.

Eine detaillierte Beschreibung über die Anwendung von Wickeln beim Tier ist ebenfalls bei Downer (1978b) nachzulesen. Indikationen und Kontraindikationen entsprechen denen, die

## Literaturübersicht

für Wärmeanwendung generell gelten. Zusätzlich sollte die Anwendung von Wickeln bei ansteckenden Hauterkrankungen wegen der möglichen Kontamination unterbleiben (Downer 1978b). Nach Wissen der Autorin gibt es beim Pferd keine Anwendung von Wickeln mit dem Ziel der Erhöhung der Körperkerntemperatur. Ursache dafür ist möglicherweise, dass beim Pferd aufgrund der Körperform und -größe keine für einen Temperaturanstieg ausreichend großflächige Isolation erreicht werden kann.

Als Sonderform von Wickeln sind moderne Bandagen oder Decken aus keramikhaltigen Stoffen einzuordnen. Ihnen wird nachgesagt, dass der besondere Stoff die vom Körper abgegebene Wärme reflektiert. Der Hersteller (backontrack) verweist zwar bei der Erklärung der Wirkungsweise auf wissenschaftliche Untersuchungen (z.B. Niwa et al. 1993, Udagawa et al. 2002). Die Untersuchungen wurden jedoch nicht mit diesen Bandagen durchgeführt, sondern mit anderen Infrarotstrahlungsquellen.

Luftbäder werden beim Pferd angewendet, und zwar in Form der Sauna. Laut Wissen der Autorin liegen keine wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Wirkungsweise der Sauna auf Pferde vor. Die Sauna wird zumeist mit Temperaturen von 60-62 °C bei einer Luftfeuchtigkeit von ca. 75 % betrieben. Empfohlen werden Saunaanwendungen für Pferde mit muskulären Problemen, chronischen Atemwegserkrankungen und Hauterkrankungen sowie zur Lockerung vor osteopathischen Behandlungen. Pferde mit Herz-Kreislaufproblemen sollten jedoch nicht in die Sauna. Diese Empfehlungen beruhen auf Angaben von Herstellern und Anwendern.

Für Rotlichtlampen wird von Herstellern vor allem der Einsatz bei Neonaten herausgestellt. Sie emittieren vor allem langwellige Infrarotstrahlung. Dabei steht das Verhindern des Auskühlens laut Angaben der Hersteller im Vordergrund. Downer (1978c) macht Angaben zur Behandlung mit Infrarotlampen bei Tieren. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um lokale Wärmeapplikation, weniger um eine Ganzkörperbehandlung. Sie empfiehlt vorwiegend Lampen mit kurzwelliger Infrarotstrahlung zu benutzen. Als Gründe führt sie die größere Eindringtiefe der kurzwelligen Infrarotstrahlung sowie die angeblich angenehmere Erwärmung an. Außerdem benötigen die langwelligeren Infrarotstrahler im Vergleich zu den Kurzwelligen eine längere Aufwärmzeit von bis zu zehn Minuten. Der primäre Effekt der Bestrahlung ist die Erhöhung der Gewebetemperatur im behandelten Gebiet. Dieser Temperaturanstieg führt zur Schmerzlinderung und soll sedierend wirken. Zusätzlich würde der lokale Stoffwechsel angeregt und die Ausscheidung von Abfallprodukten beschleunigt. Während der Anwendung sollte die Hauttemperatur regelmäßig durch Anfassen kontrolliert

## Literaturübersicht

werden, wobei sich die Haut nur warm, aber nicht heiß anfühlen sollte. Als Indikationen für die Anwendung sind chronische Erkrankungen, Hauterkrankungen (auch infektiöse) und Abszesse aufgeführt. Von der therapeutischen Anwendung von Infrarotlampen soll bei Zirkulationsstörungen, gestörter Hautsensibilität, Blutungsneigung, Narbengewebe und sehr jungen oder alten Tieren abgesehen werden, bzw. die Anwendung nur mit sehr großer Vorsicht erfolgen (Downer 1978c).

Seit einigen Jahren steht für das Pferd das Thermium® der Firma RUKU zur Verfügung. Es ermöglicht ein Großpferd am ganzen Körper mit langwelliger Infrarot-C-Strahlung zu behandeln. Die Bestrahlung von Reitpferden mit Rückenproblemen im Thermium® führte bei den Probanden (n=20) im Vergleich zu einer Kontrollgruppe (n=10) zu einer signifikanten Verbesserung der Beschwerden. Nach einer 14tägigen Behandlungsperiode zeigten die Pferde unter anderem eine hoch signifikante ( $p \leq 0,001$ ) Verbesserung der Ergebnisse der palpatorischen Untersuchung des Rückens, die bis 42 Tage nach Therapiebeginn noch nachweisbar war (Kalinowski 2007).

Wirkungsweise und mögliche weitere Anwendungen der Infrarot-C-Strahlung werden im folgenden Kapitel erläutert.

## **2.3 Infrarotstrahlung**

Infrarotstrahlung ist eine Form von elektromagnetischer Strahlung, die den Wellenlängenbereich von etwa 1 µm - 1000 µm umfasst. Entdeckt wurde sie 1801 von Friedrich Wilhelm Herschel. Bei Versuchen spaltete er mit einem Prisma das einfallende Sonnenlicht in die Spektralfarben auf und maß die Temperatur der farblich unterschiedlichen Bereiche. Dabei stellte er fest, dass ein Thermometer, das außerhalb des Bereichs mit dem für das menschliche Auge wahrnehmbaren roten Lichtes lag eine höhere Temperatur anzeigte, als ein Thermometer, das zwischen dem roten und dem violetten Bereich lag. Genau dieser Bereich des Spektrums außerhalb des roten Lichtes entspricht der Infrarotstrahlung (Wikipedia - Infrarotwärmekabinen 2007). Sie wird aufgrund ihrer unterschiedlichen Durchdringungsfähigkeit von Wasser und Quarz (Piazena 2003) in drei Teilbereiche unterteilt. Diese Teilbereiche sind in der DIN 5031-7 wie folgt definiert:

- die kurzwellige Infrarot-A-Strahlung (IR-A) von 0,78 µm bis 1,4 µm,
- die Infrarot-B-Strahlung (IR-B) von 1,4 µm bis 3,0 µm und
- die langwellige Infrarot-C-Strahlung (IR-C) von 3,0 µm bis 1000 µm.

Strahlung mit einer Wellenlänge von über 1,4 µm ist nicht in der Lage Wasser zu durchdringen und für Wellenlängen über 3,0 µm ist Quarz undurchlässig (Piazena 2003).

### 2.3.1 Charakterisierung der Infrarotstrahlung

Um die folgende Darstellung über die Wirkung der Infrarotstrahlung verständlich zu machen sollen in diesem Kapitel die grundlegenden physikalischen Gesetze erläutert werden, die in Zusammenhang mit Strahlung stehen.

Die oben genannten Infrarotstrahlungsbereiche werden zum Teil nicht mit den jeweiligen Wellenlängen sondern mit den entsprechenden Frequenzbereichen angegeben. Der Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge lautet wie folgt:

$$f = c/\lambda$$

f = Frequenz, c = Lichtgeschwindigkeit, λ = Wellenlänge

Da es sich bei der Lichtgeschwindigkeit um eine Konstante handelt bedeutet dies, dass sich die Frequenz umgekehrt proportional zur Wellenlänge verhält. Die Infrarotstrahlung

## Literaturübersicht

transportiert, wie jede andere elektromagnetische Strahlung nach dem Planckschen Gesetz Energie, wie aus folgender Formel hervorgeht:

$$\text{Plancksches Gesetz: } E = h \cdot c / \lambda \text{ bzw. } E = h \cdot f$$

E = Energie, h = Plancksches Wirkungsquantum, c = Lichtgeschwindigkeit,  $\lambda$  = Wellenlänge, f = Frequenz

Das Plancksche Gesetz besagt, dass die Quantenenergie elektrischer Strahlung direkt proportional zu ihrer Frequenz ist. Daraus ergibt sich, dass kurzwellige Strahlung mehr Energie enthält als langwellige Strahlung. So liegt der Energiegehalt der langwelligen IR-C-Strahlung zwischen 0,0012 und 0,41 eV. Die Photonenenergie der kurzwelligen IR-A-Strahlung beträgt bis zu 1,59 eV. Wie viel Energie welche Infrarotstrahlungsart besitzt ist insofern von Interesse, da der Energiegehalt maßgeblichen Einfluss auf Eindringtiefe und Verträglichkeit hat. Tabelle 1 bietet eine Übersicht der drei Infrarotstrahlungsbereiche mit zugehöriger Wellenlänge, Frequenz und Photonenenergie.

Tab. 1: Frequenzen, Wellenlängen und Photonenenergie der Infrarotstrahlung, nach Yeni (2005)

<b>Infrarotbereich</b>	<b>Wellenlänge [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Frequenz [Hz]</b>	<b>Photonenenergie [eV]</b>
IR-A	0,780-1,4	$2,1 \cdot 10^{14} - 3,8 \cdot 10^{14}$	$8,9 \cdot 10^{-1} - 1,6$
IR-B	1,4-3,0	$1,0 \cdot 10^{14} - 2,1 \cdot 10^{14}$	$4,1 \cdot 10^{-1} - 8,9 \cdot 10^{-1}$
IR-C	3,0-1000	$3,0 \cdot 10^{11} - 1,0 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{-3} - 4,1 \cdot 10^{-1}$

### 2.3.2 Einfluss der Strahlungsquelle auf die emittierte Strahlung

Jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt gibt elektromagnetische Strahlung ab. Allerdings sendet ein Strahler nicht Strahlung einer Wellenlänge, sondern ein breites Wellenlängenspektrum aus. Die Oberflächentemperatur des Strahlers bestimmt im Wesentlichen das abgegebene Strahlungsspektrum und -maximum. Je höher die Temperatur des abstrahlenden Körpers ist, desto mehr verschiebt sich der Wellenlängenbereich mit der

## Literaturübersicht

größten Strahlungsleistung, das sogenannte Wellenlängenmaximum, in Richtung kürzerer Wellenlängen. Dieser Zusammenhang ist als Wiensches Verschiebungsgesetz bekannt.

$$\text{Wiensches Verschiebungsgesetz: } \lambda_{\max} = 2880/T$$

$\lambda_{\max}$  = maximale Wellenlänge, T = Temperatur in K

Analog dem Wienschen Gesetz liegt das Maximum der Abstrahlung eines Menschen mit einer Körpertemperatur von 37,0°C bei einer Wellenlänge von circa 9  $\mu\text{m}$  (Ward 1986, Richter et al. 2000). Zum Vergleich: das Wellenlängenmaximum eines Körpers mit einer Temperatur von 100°C liegt bei 7,7  $\mu\text{m}$  (Conradi, 2000). Für die Behandlung mit Infrarotstrahlung bedeutet das, dass durch Variation der Oberflächentemperatur des Strahlers das Wellenlängenmaximum beeinflusst wird.

Auch die Strahlungsenergie ist von der Temperatur des abstrahlenden Körpers abhängig. Die gesamte von einem Körper emittierte Strahlungsenergie wird über das Stefan-Boltzmannsche Gesetz wie folgt berechnet.

$$\text{Stefan-Boltzmannsches Gesetz: } E_{\text{ges}} = \Sigma * \vartheta * T^4$$

$E_{\text{ges}}$  = Gesamtenergie,  $\Sigma$  = Abstrahlungskoeffizient,

$\vartheta$  = Stefan-Boltzmannsche Konstante =  $5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ , T = Temperatur in K

Demnach verhält sich die Energie der Gesamtstrahlung proportional zur vierten Potenz der absoluten Temperatur des Strahlers. Je höher die Temperatur des Strahlers, desto größer ist auch die von ihm abgestrahlte Energie. Mittels des Abstrahlungskoeffizienten werden in dieser Gleichung die Materialeigenschaften der Strahlungsquelle berücksichtigt. Für ideale schwarze Körper wäre  $\Sigma = 1$ . Bei einem sogenannten schwarzen Körper handelt es sich nicht um eine farblich schwarze Oberfläche, sondern um eine physikalische Bezeichnung. Ein solcher schwarzer Körper ist dadurch gekennzeichnet, dass er auftreffende Strahlung vollständig absorbiert und bei einer bestimmten Temperatur die maximal mögliche Abstrahlungsleistung erreicht. In der Realität handelt es sich bei Materialien um sogenannte graue Körper mit einem Abstrahlungskoeffizienten  $\Sigma < 1$ . Sie emittieren zwar dasselbe Wellenlängenspektrum wie ein schwarzer Körper dieser Temperatur, allerdings in niedriger Intensität. Für Buchenholz wird der Abstrahlungskoeffizient zum Beispiel mit 0,90

## Literaturübersicht

angegeben. Es strahlt also mit etwas niedrigerer Intensität als ein idealer schwarzer Körper (Kast 1994, Recknagel et al. 2000, Piazena und Meffert 2001).

Zusammenfassend ist also die Intensität und das Wellenlängenspektrum der von einem Material abgegebenen Strahlung in erster Linie von seiner Temperatur abhängig, während die Materialeigenschaften vor allem die Intensität der Abstrahlung beeinflussen. Wie für andere Arten von Strahlung (z.B. Röntgenstrahlung) gilt auch für die Infrarotstrahlung das quadratische Abstandsgesetz. Es besagt, dass die Strahlungsintensität mit zunehmender Entfernung vom Strahler quadratisch abnimmt. Das heißt, dass die Entfernung des Patienten von der Strahlungsquelle die Bestrahlungsintensität wesentlich beeinflusst (Richter und Schmidt 2002a). Somit können bei relativ geringem Abstand zwischen Patient und Strahler großflächige Oberflächenstrahler mit relativ niedrigen Oberflächentemperaturen eingesetzt werden. Damit wird eine gleichmäßige, verträgliche Ganzkörperbehandlung ermöglicht (Richter und Schmidt 2002a). Die von der Strahlungsquelle ausgehende Strahlungsleistung (dose rate) wird in Watt (W) angegeben. Als Bestrahlungsstärke wird die pro Flächeneinheit auftreffende Strahlungsleistung bezeichnet. Sie wird in  $W/m^2$  angegeben. Die gesamte Bestrahlungsdosis errechnet sich als Produkt der Bestrahlungsstärke und der Bestrahlungsdauer. Sie hat die Einheit  $Ws/m^2$ .

Bei der Dosisfindung für die Infrarotstrahlung müssen dementsprechend folgende Faktoren beachtet werden:

1. Die Art der Strahlungsquelle und das damit verbundene Wellenlängenspektrum.
2. Der Abstand zwischen Patient und Strahlungsquelle.
3. Die Bestrahlungsdauer.

Zusätzlich sollte beachtet werden, dass unterschiedliche Einfallswinkel der Infrarotstrahlung auf die Körperoberfläche Einfluss auf die einwirkende Strahlendosis haben. Vom rechten Winkel abweichende Einfallswinkel führen zu vermehrter Reflexion. Zusätzlich sinkt die Bestrahlungsstärke in den Randgebieten (Ward 1986).

### 2.3.3 Wechselwirkungen der Infrarotstrahlung mit bestrahlten Körpern

Prinzipiell gibt es beim Auftreffen von elektromagnetischer Strahlung auf einen Körper verschiedene Möglichkeiten: Reflexion, Absorption und Transmission (Moss et al. 1989). Welches Phänomen bzw. zu welchen Anteilen diese auftreten variiert je nach Strahlenqualität und Beschaffenheit des Körpers (Kurz et al. 2002, Piazena 2003). Als Formel für die

## Literaturübersicht

Zusammensetzung der Gesamtstrahlung wird folgende Gleichung angegeben (Kast 1994, Recknagel et al. 2000):

$$a + r + d = 1$$

a = absorbierte Strahlung, r = reflektierte Strahlung und d = durchgelassene Strahlung

Dem Grothus-Draper'schen Gesetz nach ist nur dort Wirkung zu erwarten, wo die Strahlung absorbiert wird, und nicht in Bereichen, die lediglich durchdrungen werden (Licht 1982, Meffert und Piazena 2002, Meffert und Piazena 2003, Yeni 2005). Deshalb ist es von medizinischem Interesse herauszufinden wie tief die Infrarotstrahlung in einen Organismus eindringt und wo sie zu welchem Anteil absorbiert wird.

Zum Beispiel schwankt bereits die Eindringtiefe von Infrarotstrahlung in reines Wasser je nach Wellenlänge zwischen einigen Millimetern (Infrarot-A-Strahlung) und knapp einem Mikrometer (Infrarot-C-Strahlung) (Wieliczka et al. 1989).

### 2.3.4 Infrarotstrahlung in der Humanmedizin

#### 2.3.4.1 Anatomische und physiologische Grundlagen

Wesentliche Faktoren für das Verständnis der Wirkung der Ganzkörperbehandlung mittels Infrarotstrahlung bilden als das direkt betroffene Organ die Haut sowie das Thermoregulationssystem.

##### 2.3.4.1.1 Haut

Zuerst gilt es den Aufbau der Haut und die in den jeweiligen Schichten vorhandenen Strukturen und Zellen zu betrachten, um Rückschlüsse über die Möglichkeiten des Eindringens der verschiedenen Infrarotstrahlungsbereiche ziehen zu können. Von der Eindringtiefe der Infrarotstrahlung hängt ab, von welchen Strukturen sie absorbiert wird und welche Wirkung sie dort hervorruft (Meffert und Piazena 2003).

In der Haut finden sich von außen nach innen folgende Schichten: die Epidermis, die Dermis und die Subkutis. Die Epidermis besteht aus dem Stratum corneum, dem Stratum lucidum, dem Stratum granulosum und dem Stratum germinativum, das sich wiederum aus dem Stratum spinosum und dem Stratum basale zusammensetzt (Sinowatz 1992). Die Dicke der Epidermis des Menschen wird von Habermehl (1999) je nach Körperregion mit 50 bis 120µm angegeben. Die Epidermis besteht zum Großteil aus Keratinozyten. Sie enthält auch Melanozyten, Merkel-Zellen und die für die immunologische Abwehr wichtigen Langerhans- und Granstein-Zellen. Die Dermis besteht aus dem Stratum papillare und dem Stratum

## Literaturübersicht

reticulare, an das sich die Subkutis anschließt (Sinowatz 1992). In der Dermis befinden sich Nerven und Nervenendkörperchen (Meißner-Tastkörperchen und Krause-Endkolben) sowie Lymphgefäße (Sinowatz 1992).

Die Vaskularisation der Haut erfolgt über drei arterielle Hautnetze (Hackländer 1972). Dabei handelt es sich um a) das fasziale Netz, das vorwiegend die Subcutis und das subkutane Fettgewebe versorgt, b) das weitmaschige kutane Netz, das vor allem für die Versorgung der Schweißdrüsen zuständig ist und c) das engmaschige papilläre Netz. Von Letzterem werden hauptsächlich die Haarbalge und die Talgdrüsen versorgt, zudem zweigen Kapillarschlingen ab, die den Bereich der Papillarkörper versorgen. Parallel zum faszialen und kutanen Arterienetz findet sich je ein gleichnamiges Venennetz. Zwei weitere Venennetze befinden sich dicht übereinander im Stratum papillare (Hackländer 1972, Habermehl 1996).

### 2.3.4.1.2 Thermoregulationssystem

Für die Wirkung der Infrarotstrahlung auf den Körper ist insbesondere das Thermoregulationssystem entscheidend. Deshalb soll kurz sein Aufbau und seine Arbeitsweise beschrieben werden. Ziel des Körpers ist es, seine Kerntemperatur möglichst konstant im physiologischen Bereich zu halten (Piazena 2003, Koralewski et al. 2004). Circadiane Schwankungen im Bereich von 1 °C sind physiologisch (Piazena 2003). Das Halten der Temperatur im idealen Bereich stellt die optimale Funktionsfähigkeit aller Organe und Enzyme sicher (Fanger 1994). Die Thermoregulation des Körpers entspricht einem Regelkreissystem. Jedes Regelkreissystem besteht aus einem Regler, Stellgliedern und dem geregelten System sowie einer Informationsübermittlung zwischen diesen Bestandteilen. Der Regler ist im Fall der Thermoregulation der Hypothalamus. Hier findet ein Vergleich zwischen Soll- und Ist-Wert statt. Wird eine Abweichung festgestellt kann über Steuersignale auf die Stellglieder eingewirkt werden. Bei den Stellgliedern handelt es sich im Wesentlichen um die Hautdurchblutung, das Schwitzen, Muskelzittern, zitterfreie Wärmebildung und das Verhalten. Die Auswirkungen der Wärmeabgabe und -bildung werden von den Messfühlern (Thermorezeptoren) permanent ermittelt und an den Regler zurückgemeldet (Jessen 2001).

Die Thermorezeptoren sind im Körperkern vor allem im Hypothalamus und im Rückenmark sowie peripher in der Haut zu finden, vermutlich aber in allen Teilen des Körpers in geringerer Konzentration verteilt (Hardy 1982, Frey 2000, Jessen 2001). Im Hypothalamus findet der Vergleich zwischen festgelegtem Soll- und dem tatsächlichen Ist-Wert statt (Hardy 1982, Frey 2000, Jessen 2001, Piazena 2003).

## Literaturübersicht

Je nach Art und Ausmaß der Abweichung hat der Körper verschiedene Möglichkeiten zur Regulation. Im Bereich der thermoneutralen Zone erfolgt die Feinregulation durch Veränderung der Hautdurchblutung (Jessen 2001, Koralewski et al. 2004). Bei der thermoneutralen Zone handelt es sich um den Temperaturbereich, in dem ein Individuum ohne aktive Regulierung wie Kältezittern, zitterfreie Wärmebildung oder Schwitzen seine Körperkerntemperatur konstant halten kann (Jessen 2001). Liegt die Umgebungstemperatur unterhalb des thermoneutralen Bereiches wird die Wärmeabgabe durch Vasokonstriktion der Hautgefäße und vermehrte Durchblutung der inneren Organe reduziert und zusätzlich die Wärmeproduktion durch Stimulation des Stoffwechsels, aktive Bewegung oder Kältezittern erhöht (Koralewski et al. 2004).

Hohe Umgebungstemperaturen führen dagegen zu einer vermehrten Durchblutung der Haut um die Wärmeabgabe zu erhöhen (Fanger 1994, Koralewski et al. 2004). Außerdem wird die Wärmeproduktion durch verminderte motorische Aktivität und Herabsetzen des Stoffwechsels verringert (Koralewski et al. 2004). Reicht dies nicht aus reagiert der Körper mit Schweißsekretion um durch dessen Verdunstung Wärme abzugeben (Jessen 2001, Fanger 1994). Laut Witt (2004) können zudem bis zu 15 % der Wärmeabgabe über die Atmung erfolgen.

### 2.3.4.1.3 Mechanismen der Wärmeabgabe bei Infrarotbestrahlung

Physikalische Mechanismen, die zur Wärmeabgabe führen sind Leitung, Konvektion, Strahlung und Verdunstung (Hardy 1982, Jessen 2001, Piazena 2003).

Konvektive Wärmeabgabe an die den Körper umgebende Luftschicht funktioniert nur, wenn die Lufttemperatur niedriger als die Körpertemperatur ist (Jessen 2001). Im Falle der Infrarotbestrahlung wird die Luft nicht erwärmt, so dass Konvektion eine Möglichkeit zur Wärmeabgabe ist. Ein sehr effektiver Mechanismus der Kühlung ist das Erzeugen von Verdunstungskälte durch Schwitzen. Durch die Wärme werden die Thermorezeptoren in der Haut zur Produktion von Acetylcholin angeregt. Dieses Acetylcholin stimuliert die Schweißproduktion in den ekkrinen Schweißdrüsen (Aaland 1978). Der menschliche Körper kann innerhalb einer Stunde bis zu 500 ml Schweiß pro Quadratmeter Körperoberfläche produzieren. Durch die Verdunstung von 500 ml Schweiß werden dem Körper 333 W/m<sup>2</sup> Energie entzogen. Voraussetzung für die Verdunstung des Schweißes ist eine Differenz zwischen den Wasserdampf-Partialdrücken auf der Haut und in der Luft. Steigende

Luftgeschwindigkeit erhöht die Menge an verdunstetem Schweiß. Die Verdunstungsintensität ist dabei unabhängig von der Umgebungstemperatur (Jessen 2001).

Die Abgabe von Wärme durch Strahlung setzt eine negative Strahlungsbilanz voraus. Das bedeutet, dass der Wärmegewinn durch Strahlungsabsorption aus der Umgebung geringer ist als der Wärmeverlust durch die eigene Abstrahlung (Richter und Schmidt 2002b, Piazena 2003). Überschreitet der Strahlungseintrag die körpereigene Möglichkeit der Strahlungsabgabe so ist eine effektive Abkühlung durch Strahlung nicht möglich.

### 2.3.4.2 Direkte Wirkung der Infrarotstrahlung auf den Körper

Im Folgenden soll die Eindringtiefe der Infrarotstrahlung näher beleuchtet werden, da hieraus geschlossen werden kann, welche Strukturen erreicht werden und wo die Infrarot Strahlung absorbiert wird.

Wirkungslos bleibt reflektierte Strahlung. Für die energiereiche IR-A-Strahlung (0,78 bis 1,4  $\mu\text{m}$  Wellenlänge), die auf menschliche Haut trifft ist bekannt, dass ca. 50 % der Strahlung reflektiert wird. Der reflektierte Anteil von IR-B- und IR-C-Strahlung (1,4 bis 1000  $\mu\text{m}$ ) beträgt dagegen weniger als fünf Prozent (Büttner 1938, Ward 1986, Conradi 2000). Für den Wellenlängenbereich von 3 bis 20  $\mu\text{m}$  (unterer Bereich der langwelligen Infrarot-C-Strahlung) kommt die menschliche Haut einem sogenannten schwarzen Körper sehr nahe (Hardy 1962, Stolwijk und Hardy 1965, Ogawa et al. 1991, Fritzsche 1992). Das bedeutet, dass der Großteil der auftreffenden Strahlung absorbiert wird. Hardy (1962) und Terada et al. (1986) beziffern den Anteil der an heller Haut reflektierten Strahlung im Wellenlängenbereich von 0,7 bis 1,2  $\mu\text{m}$  (IR-A) auf deutlich mehr als 30 %. Die Reflexion an dunkler Haut in diesem Wellenbereich liegt Hardy (1982) zufolge dagegen um die 30 %. Bezüglich der Absorption verhalten sich die verschiedenen Wellenlängenbereiche der Infrarotstrahlung dementsprechend ebenfalls unterschiedlich.

Einen Anhaltspunkt für die Eindringtiefe in die Haut liefert die Fähigkeit der Infrarotstrahlung in Wasser einzudringen, da die Haut zu bis zu 70 % aus Wasser besteht (Hardy 1982, Moss et al. 1989, Piazena 2003). Die inhomogene Struktur der Haut bringt jedoch Besonderheiten mit sich, so dass keine vollständige Übereinstimmung zwischen den Eindringtiefen in Wasser und Haut gegeben ist (Hardy 1962). Laut Heckel und Ardenne (2002) dringt der nicht reflektierte Teil der IR-A-Strahlung bis zu 27 mm tief in die Haut ein. Kurz et al. (2002) geben für das Eindringen von IR-A-Strahlung in an der Oberfläche trockener Haut eine Tiefe von 20 – 25 mm, für IR-C-Strahlung nur 0,5 – 1 mm an. Richter und Schmidt (2002a) und Schmidt (2003)

## Literaturübersicht

publizierten, dass IR-C-Strahlung bis zu 0,5 Millimeter tief in das Stratum papillare der Dermis eindringt. Terada et al. (1986) untersuchten in vivo die Eindringtiefe von IR-Strahlung. Sie kommen zum Ergebnis, dass langwellige Infrarotstrahlung (Infrarot-C-Strahlung) größtenteils in der Epidermis absorbiert wird. Kurzwellige Infrarotstrahlung (Infrarot-A und -B-Strahlung) dringt ihren Ergebnissen nach mit bis zu 6 mm wesentlich tiefer in die Haut ein.

Bachem und Reed (1931) ermittelten die in nachfolgender Tabelle wiedergegebenen Werte für Infrarot-A- und -B-Strahlung. Dabei führten sie ihre Messungen an menschlicher Haut im Bereich der Innenseite der Arme und des Abdomens durch.

Tab. 2: Anteile der in der jeweiligen Hautschicht absorbierten IR-Strahlung nach Bachem und Reed (1931)

<b>Gewebeschicht und -dicke</b>	<b>Infrarot-A- Strahlung</b>	<b>Infrarot-B- Strahlung</b>
Stratum corneum (0,03 mm)	29 %	56%
Stratum germinativum (0,02 mm)	6%	16%
Corium (1,85 mm)	48%	20%
Subkutis (23 mm)	17%	8%

Die Messungen von Bachem und Reed (1931) beschränken sich im Bezug auf die Infrarotstrahlung auf den Wellenlängenbereich von 750 und 1400  $\mu\text{m}$  (IR-A und -B). Der langwelligeren Infrarot-C-Strahlung schreiben sie eine geringe Fähigkeit in tiefere Hautschichten vorzudringen zu und gehen davon aus, dass der Großteil dieser Strahlung in der Epidermis absorbiert wird.

Diese Angaben werden von Heckel und Ardenne (2002) und Wehner (2002) zitiert und um nähere Angaben über Infrarot-C-Strahlung ergänzt, ohne Angaben darüber zu machen, wie diese Werte ermittelt wurden. Demnach werden im Stratum corneum 80 % und im Stratum germinativum 20 % der Infrarot-C-Strahlung absorbiert. Die Strahlungsintensität nimmt somit mit zunehmender Eindringtiefe ab. Um die Eindringtiefe von Strahlung näher bestimmen zu können wird die physikalische Größe der spektralen Penetrationstiefe benutzt.

## Literaturübersicht

Nach Berechnungen von Piazena und Meffert (2008) dringen ca. 2,6 % der emittierten Infrarot-C-Strahlung bis in die Dermis, also bis zu 1000 µm tief ein. Ein mit 0,13 % sehr geringer Anteil soll sogar die Subkutis erreichen.

In den Hautschichten, in denen die Infrarotstrahlung absorbiert wird, kommt es zum Temperaturanstieg, weil die Energie der Strahlung dort in Wärme umgewandelt wird (Büttner 1938, Meffert et al. 1994, Conradi 2000, Brose et al. 2005). Dies geschieht weil beim Auftreffen der Strahlung die Moleküle zur Schwingungen angeregt werden. Diese vermehrte Bewegung äußert sich in einer Erhöhung der Temperatur (Ward 1986, Meffert et al. 1994, Brose et al. 2005). Für alle drei Formen der Infrarotstrahlung soll dabei gelten, dass eine chemische Veränderung der Moleküle nicht zu erwarten ist, da der Energiegehalt der IR-Strahlung mit 1,24 bis 1,59 eV dafür nicht ausreicht (Brose et al. 2005). Verbindungen, die IR-Strahlung absorbieren, werden Chromophore genannt. Das wichtigste Chromophor für IR-Strahlung ist Wasser, aber auch Hämoglobin, Melanin, Proteine und Lipide spielen eine Rolle. Im Stratum corneum der Epidermis, das größtenteils aus abgestorbenen Keratinozyten besteht, sind Proteine und Lipide die wichtigen Chromophore. In den vitalen Schichten der Epidermis und der Dermis sind Wasser, Melanin und Hämoglobin die entscheidenden Chromophore (Fisch 2000). IR-A-Strahlung führt, abhängig von der Wellenlänge, der Strahlungsintensität und den oben genannten Faktoren, mit ihrer größeren Eindringtiefe zur Erwärmung tieferer Schichten. Mit ungefilterter IR-A-Strahlung erreicht man eine Erwärmung der Dermis und Subcutis ohne wesentliche Erwärmung der Epidermis (Heckel 1970). Bei Verwendung wassergefilterter IR-A-Strahlung wird von deutlicher Temperaturerhöhung bis in eine Gewebetiefe von 3,5 cm berichtet (Vaupel et al. 1995). Diese Autoren ermittelten nach Bestrahlung mit ungefilterter Infrarot-A-Strahlung in der Subkutis in einer Tiefe von ca. 1 cm einen Temperaturanstieg um 3,8 °C nach 24minütiger Bestrahlung. Bei gleicher Versuchsanordnung mit Verwendung von wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung wurde eine Erhöhung der Temperatur in der Subkutis um 4,3 °C erreicht. Die Temperatur wurde dabei mittels Thermoelementen gemessen, die durch Einstich in entsprechender Gewebetiefe platziert wurden (Vaupel et al. 1995). IR-A-Strahlung erzeugt dabei kaum Hitzeempfindung, weil die Strahlung fast ausschließlich die tieferen Schichten erwärmt, in denen keine Wärmerezeptoren sitzen (Meffert und Piazena, 2002).

Die IR-B-Strahlung dringt zumindest einen Millimeter tief in die Haut ein, gelangt also bis in die Dermis (Fisch 2000, Piazena und Meffert 2008). IR-C-Strahlung erreicht die Epidermis und die oberen Anteile des Stratum papillare. Dort sind sowohl die Thermorezeptoren als

## Literaturübersicht

auch die Endgefäße des Mikrozirkulationssystems zu finden. Die Wärme, die in diesem Bereich durch die Absorption der Strahlung entsteht, wird somit direkt wahrgenommen. Dadurch kann die Thermoregulation schnell aktiviert werden und die Wärme wird mit dem Blutstrom unmittelbar weiter verteilt und bis ins Körperinnere transportiert (Richter und Schmidt 2002a). Daraus folgt auch, dass bei zu langer oder intensiver Bestrahlung mit IR-B- oder IR-C-Strahlung Hitzeschmerz entsteht (Meffert und Piazena 2002).

Die Effektivität der Thermoregulation und des Wärmetransportes haben Seichert et al. (1987) untersucht. Sie haben die Temperaturverteilung nach Erzeugen einer lokalen Hyperthermie an lebenden und toten Schweinen gemessen. Zur Erwärmung wurde unter anderem auch Infrarotstrahlung verwendet. Dabei erwärmte sich bei gleicher Heizleistung totes Gewebe um 3 – 8 °C stärker als das lebende und folglich durchblutete Gewebe. Weiter stellten sie fest, dass der Grad der Durchblutung der verschiedenen Körperpartien mit dem Ausmaß des Temperaturanstiegs positiv korreliert. Hardy (1962) verglich die Erwärmung von exzidierte Haut, vitaler Haut und vitaler Haut mit unterbrochener Blutversorgung unter Infrarotbestrahlung. Bei kurzer Expositionszeit (<20 s) waren die Unterschiede gering. Längere Expositionszeiten führten zu einer starken Erwärmung der exzidierten Haut. Die vitale Haut mit unterbundener Blutversorgung erwärmte sich geringfügig weniger. In beiden Fällen kam es aber zu einem stetigen Temperaturanstieg. In der normal durchbluteten Haut dagegen kam es nach einem anfänglichen Temperaturanstieg zu keiner weiteren Erwärmung, sondern es stellte sich eine konstante Temperatur auf einem höheren Niveau ein. Die Kühlung der Haut durch die gesteigerte Durchblutung und Vasodilatation setzt frühestens 20 s nach Beginn der Bestrahlung ein. Die Beobachtungen von Hardy (1962) und Seichert et al. (1987) zeigen somit, dass der Wärmeabtransport mit dem Blutstrom stattfindet, sehr effektiv ist und ein wichtiges Element der Thermoregulation darstellt.

Ogawa et al. (1991) untersuchten den Einfluss der unterschiedlichen Wellenlängenbereiche auf die Schweißbildung und die Oberflächentemperatur in den direkt bestrahlten und in angrenzenden Gebieten. Dabei stellten sie fest, dass die Hauttemperatur in den bestrahlten Gebieten stärker ansteigt als in den Nichtbestrahlten, in denen sich aufgrund des Kühleffekts durch das einsetzende Schwitzen die Temperatur teilweise sogar verringerte. Im bestrahlten Bereich konnte im Vergleich zum nicht bestrahlten Bereich eine stärkere Schweißbildung beobachtet werden. Dabei führte die Bestrahlung mit mittel- und langwelliger Infrarotstrahlung im Vergleich zu kurzwelliger Infrarotstrahlung zu stärkerer Schweißbildung im nicht bestrahlten Bereich. Die Forscher schließen daraus, dass je nach Wellenlänge der

## Literaturübersicht

direkte thermische Einfluss auf die Schweißdrüsen und die Stimulierung der Thermorezeptoren in der Haut unterschiedlich ausfallen. Im direkt bestrahlten Bereich konnten bezüglich der Schweißbildung keine eindeutigen Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Wellenlängen festgestellt werden (Ogawa et al. 1991).

Sehr interessante Ergebnisse über die Strahlenwirkung in weißer und stark pigmentierter dunkler Haut haben Hardy et al. (1956) bei Messungen an Hautschnitten gewonnen. Sie untersuchten unterschiedlich dicke Hautschnitte von Weißen und Schwarzen in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen auf die jeweiligen Anteile von reflektiertem und durchgelassenem Licht. Sie stellten fest, dass die Strahlendurchlässigkeit von weißer und dunkler Haut im nahen IR-Bereich (Infrarot-A-Strahlung) sehr ähnlich ist und konnten keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Absorptionskoeffizienten ermitteln. Sie folgern daraus, dass für die Absorption des nahen IR-Bereiches die Hautpigmente keine Rolle spielen. Laut Kenntnis der Autorin gibt es keine derartigen Untersuchungen für den längerwelligen Wellenlängenbereich (IR-B und -C).

Terada et al. (1986) bezogen die Wechselwirkungen zwischen Infrarotstrahlung und Haaren in ihre Untersuchungen mit ein. Sie führten mit schwarzen und grau-weißen Haaren Messungen durch. Im Wellenlängenbereich von 3  $\mu\text{m}$  und darüber ist die Reflexion bei beiden Haarfarben sehr gering und fast gleich. Im Wellenlängenbereich von 0,5 bis 1,5  $\mu\text{m}$  ist die Reflexion der grau-weißen Haare deutlich größer als die der Schwarzen.

### 2.3.4.3 Indirekte Auswirkungen der Infrarotstrahlung auf den Körper

Im folgenden Kapitel sollen die indirekten Auswirkungen von Infrarotbestrahlung auf den Körper beschreiben werden. Da die unterschiedlichen Infrarotstrahlungsbereiche teilweise zu unterschiedlichen Effekten führen werden erst die der Infrarotstrahlung allgemein zugeschriebenen Auswirkungen beschrieben und dann getrennt auf die Effekte durch kurzwellige (Infrarot- A und -B-Strahlung) und langwellige (Infrarot-C-Strahlung) Infrarotstrahlung eingegangen.

#### 2.3.4.3.1 Auswirkungen der Infrarotstrahlung allgemein

Beim Eintrag von Wärme mittels IR-Strahlung kommt es, wie oben bereits kurz angesprochen, nicht nur zur lokalen Erwärmung, sondern aufgrund der körpereigenen Regulationsmechanismen auch zum Wärmeeintrag ins Körperinnere. Bei Überlastung des Thermoregulationssystems folgt die Erwärmung des Körperkerns (Heckel 1970). Durch die

## Literaturübersicht

Temperaturerhöhung im Körper kommt es zur Beschleunigung chemischer Reaktionen entsprechend der Vant'Hoffschen RGT-(Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur)-Regel. Eine Temperaturerhöhung um 10 K (entspricht 10°C) führt zu einer Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit (Heckel 1970, Ward 1986). Deshalb kann eine allgemeine Anregung des Stoffwechsels bei Körpererwärmung erwartet werden. Diese ist mit erhöhtem Sauerstoffbedarf und der beschleunigten Produktion und Abgabe von Stoffwechselendprodukten verbunden (Ward 1986). Außerdem führt die Wärme in Verbindung mit der erhöhten Konzentration der Metaboliten zur vermehrten Durchblutung und Dilatation der Kapillaren und Arteriolen (Ward 1986). Heckel (1970) erwartet dadurch eine bessere Versorgung bradytropher Gewebe wie zum Beispiel Knorpel und Sehnen. Mit der verbesserten Durchblutung geht laut Kleef (2000) auch eine erhöhte Extravasation von Zellen aus Blut- und Lymphgefäßen einher. Die durch die Infrarotstrahlung hervorgerufene Erwärmung soll die Reizweiterleitung in den sensiblen Nervenfasern hemmen und somit zu einem reduzierten Schmerzempfinden führen. Auch entzündungsbedingte Schmerzen sollen sekundär aufgrund der verbesserten Resorption von Exsudaten verringert werden (Ward 1986).

Lehmann et al. (1958) stellten bei Untersuchungen mit Infrarotstrahlung fest, dass nach Bestrahlung des Hautgebietes über dem Nervus ulnaris das Schmerzempfinden in dem von diesem Nerv versorgten Gebiet signifikant reduziert war. Auch führte die direkte Behandlung eines Hautbereiches zu einer lokal reduzierten Schmerzempfindung im bestrahlten Gebiet. Heckel (1970) spricht Wärme zudem eine krampflösende Wirkung auf die quergestreifte Muskulatur zu. Ward (1986) führt die krampflösende Wirkung der Wärmebehandlung auf verschiedene Ursachen zurück. Einerseits kann der Teufelskreis aus vermehrter Spannung in der Muskulatur, die selbst wieder zu vermehrten Schmerzen und somit zu noch mehr Verspannung führt, unterbrochen werden. Andererseits soll der schnellere Abtransport von Schmerz- und Entzündungsmediatoren sowie die oben beschriebene verringerte Schmerzweiterleitung zusätzlich die Entspannung der Muskulatur fördern (Ward 1986). Heckel (1970) erwähnt zudem Spätwirkungen durch den „Anstoß nervös-vegetativer und hormoneller Regulationszentren im Organismus“, ohne diese zu konkretisieren.

### 2.3.4.3.2 Auswirkungen der Infrarot-A und -B-Strahlung

Dickreiter (2001) beschreibt ein breites Spektrum von Auswirkungen von wassergefilterter IR-A(wIRA)-Strahlung. Die Funktionsweise dieses Systems wird im Kapitel 2.3.4.4 Anwendung näher erläutert. Durch lokale Mediatoren und erhöhte Rezeptoraktivität kommt es zur Erweiterung der Gefäße und gesteigerter Durchblutung. Um die Körperkerntemperatur konstant zu halten, versucht der Körper die eigene Wärmeproduktion durch Detonisierung der Muskulatur zu reduzieren. In der Folge kommt es zur Entspannung der glatten und quergestreiften Muskulatur. Durch die zugeführte Wärme nimmt die Dehnbarkeit bindegewebiger Strukturen zu. Dies kann im Bereich von Gelenken und Sehnenansätzen schmerzlindernd wirken. Ein weiterer Beitrag zur Schmerzlinderung und Entzündungshemmung wird vermutlich durch den beschleunigten Abtransport der Schmerz- und Entzündungsmediatoren durch die verbesserte Durchblutung erreicht. Der verbesserte Lymphabfluss wirkt zusätzlich unterstützend. Auch soll die Mikrozirkulation verbessert werden, da sich die Fließeigenschaften der Erythrozyten verbessern und die Plasmaviskosität geringer wird. Hartel et al. (2006) untersuchten die Auswirkungen von wIRA auf die Heilung von Operationswunden im abdominalen Bereich beim Menschen. Dabei wurde eine Gruppe zweimal täglich lokal im Bereich der Wunde mit wassergefilterter Infrarotstrahlung und sichtbarem Licht behandelt. Die zweite Gruppe wurde nur mit sichtbarem Licht bestrahlt. Die Bestrahlung des Wundbereichs mit wIRA im Vergleich zur Bestrahlung allein mit sichtbarem Licht bewirkte eine Erhöhung der Temperatur, der Durchblutung und des Sauerstoffpartialdrucks im Unterhautgewebe im bestrahlten Bereich. Zudem führte die wIRA-Bestrahlung zur schnelleren Heilung. Dabei traten weniger Wundinfektionen auf und der Bedarf an Schmerzmitteln war geringer (Hartel et al. 2006). Eine signifikant beschleunigte Wundheilung durch die Behandlung mit langwelliger Infrarotstrahlung beobachteten auch Toyokawa et al. (2003) bei Untersuchungen an Ratten.

Untersuchungen von Kobu (1999) an Ratten zeigen, dass es unter der lokalen Einwirkung von kurzwelliger Infrarotstrahlung im Bereich des Sprunggelenkes zu einer um 80 % gesteigerten intraossären Durchblutung der Tibia kommt. Zusätzlich steigert die fünf Minuten dauernde Behandlung auch den Sauerstoffgehalt und die Temperatur im Knochen. Diese Effekte können noch 30 Minuten nach Ende der Bestrahlung beobachtet werden.

In ihren Untersuchungen beschreiben Meffert und Piazena (2002) als Wirkung serieller IR-A-Bestrahlungen eine Senkung des Blutdrucks. Als Erklärung schlagen sie folgenden Mechanismus vor: Der Körper reguliert der Erwärmung des Körperkerns entgegen, indem er

## Literaturübersicht

versucht die überschüssige Wärme an die Umgebung abzugeben. Durch Weitstellung der hautnahen Blutgefäße und deren vermehrter Durchblutung wird die Wärme nach außen transportiert. Diese Vasodilatation führt zum Absinken des peripheren Blutdrucks. Ein Überhitzungsrisiko besteht, da die vergleichsweise größere im peripheren Bereich befindliche Blutmenge weiter von der IR-Strahlung erwärmt wird und somit der Wärmeeintrag ins Körperinnere immer größer wird. Dieses Risiko sieht auch Conradi (2000). Die Anwendung von IR-A-Strahlung setzt deshalb medizinische Überwachung voraus (Conradi 2000).

### 2.3.4.3.3 Auswirkungen der Infrarot-C-Strahlung

Speziell für Infrarot-C-Strahlung im Wellenlängenbereich von 4-14  $\mu\text{m}$  machten japanische Forscher folgenden Feststellungen: Bei in vitro Versuchen stieg der intrazelluläre  $\text{Ca}^{2+}$ -Gehalt von Neutrophilen an. Dies führt zu einer Aktivierung der Zelle und somit zu einer verbesserten Funktion der Leukozyten. Zudem gehen die Forscher davon aus, dass auch die Aktivität von Zellen anderer Körpergewebe erhöht werden könnte (Niwa et al. 1993). Untersuchungen anderer japanischer Forscher zeigen, dass durch die lokale Anwendung langwelliger Infrarotstrahlung im Bereich der Unterarme der Blutfluss in der Haut in diesem Bereich zunahm (Ise et al. 1987). Inoué und Kabaya (1989) vermuten, dass die Durchblutungssteigerung auf einem Anstieg der Hauttemperatur beruht. Sie verweisen dabei auf Untersuchungen von Shimura. Als Modell für den Organismus wurde ein Agarblock in einem temperierten Wasserbad verwendet. Der zusätzliche Einsatz von langwelliger Infrarotstrahlung führte zu einer beschleunigten Erwärmung im Zentrum des Agarblocks.

Für alle diese Phänomene fehlen sichere Erklärungen. Es werden jedoch folgende Vermutungen angestellt: durch die Erwärmung und die damit verbundene gesteigerte Durchblutung beschleunigt sich der Stoffwechsel und die Verbreitung chemischer Botenstoffe. Außerdem werden temperaturunabhängige Effekte der langwelliger Infrarotstrahlung auf biochemische Prozesse vermutet. So wird davon ausgegangen, dass die Bindungsstärke zwischen den Wassermolekülen abnimmt. Diese Mobilitätserhöhung kann als Aktivierung der Wassermoleküle verstanden werden und führt dazu, dass die Wassermoleküle leichter von einem Körperkompartiment zum anderen gelangen können.

Masuda et al. (2005a) konnten bei Patienten mit chronischem Ermüdungssyndrom gute Erfolge mit der Anwendung langwelliger Infrarotstrahlung erzielen. Auch bei Patienten mit chronischen Herzinsuffizienzen konnte durch die Anwendung langwelliger Infrarotstrahlung das Herzschlagvolumen und die Auswurfleistung gesteigert werden und die Patienten

## Literaturübersicht

berichteten über eine generelle Steigerung des Wohlbefindens (Masuda et al. 2005a). Die gleiche Arbeitsgruppe setzte zusätzlich zu einem etablierten Behandlungsschema langwellige Infrarotstrahlung bei Patienten mit chronischen Schmerzen ein. Der Behandlungserfolg war sowohl unmittelbar nach Ende der 4 wöchigen Behandlung als auch 2 Jahre nach Behandlungsende bei den Patienten, die zusätzlich Infrarotbestrahlung erhielten, signifikant besser als in der Kontrollgruppe (Masuda et al. 2005b). Stelian et al. (1992) vergleichen in einer Doppelblindstudie die Auswirkungen von Bestrahlungen mit Infrarotstrahlung und einer Placebo-Bestrahlung auf degenerative Veränderungen im Sinne einer Osteoarthritis der Kniegelenke bei älteren Patienten. Dabei konnte in der Infrarotgruppe im Gegensatz zur Placebogruppe eine signifikante Schmerzreduktion erreicht werden. Auch die Beweglichkeit verbesserte sich signifikant. Von den Patienten mit Infrarotbehandlung wurde im Schnitt erst nach  $6,1 \pm 3,2$  Monaten eine erneute Behandlung nachgefragt, wohingegen die Patienten aus der Placebogruppe bereits nach  $0,53 \pm 0,62$  Monaten eine erneute Behandlung in Anspruch nahmen.

Nagasawa et al. (1999) und Udagawa et al. (2002) beobachten den Einfluss langwelliger Infrarotstrahlung auf SHN/Mei-Mäuse. Bei diesen handelt es sich um einen Mäusestamm mit hoher Mammatumorzinzidenz. Die Infrarotstrahlung wurde von einer 40 cm über dem Käfig angebrachten Platte emittiert. Dessen Oberflächentemperatur wurde von einer elektrischen Heizvorrichtung konstant auf 40 °C gehalten. Die Wellenlänge der emittierten Infrarotstrahlung lag bei 4-25 µm. Die Autoren stellten fest, dass bei dauernder Bestrahlung die Mammatumorzinzidenz gegenüber einer Kontrollgruppe geringer ist. Außerdem hemmt die Infrarotstrahlung bei vorhandenen Tumoren das Wachstum. Zusätzlich beobachten Udagawa et al. (2002), dass die Mäuse, die ständig der Infrarotstrahlung ausgesetzt sind, geringere Körpergewichtszunahmen bei geringerer Futteraufnahme aufweisen. Das Gewicht der Nebennieren bei der Sektion war geringer als das der Kontrolltiere. Dies führen die Wissenschaftler auf reduzierten Stress zurück.

### 2.3.4.4 Anwendung

Laut Kitchen und Partridge (1991) wird Infrarotstrahlung seit Beginn des 20. Jahrhunderts für medizinische Zwecke eingesetzt. Wells et al. (1988) unterscheiden zwischen Infrarotquellen, die auch sichtbare Strahlung abgeben (luminous) und solchen, die nur unsichtbare Strahlung (non luminous) emittieren. Das Wellenlängenmaximum der Geräte, die auch sichtbares Licht aussenden, liegt bei 1 µm. Das Wellenlängenmaximum der „non luminous“ Infrarotstrahler

## Literaturübersicht

liegt bei 4 µm. Um die Abstrahlung auf einen bestimmten Wellenlängenbereich einzugrenzen werden Filter eingesetzt (Moss et al. 1989). Im Folgenden werden medizinische Infrarotstrahler, über die es zumindest empirische Erfahrungsberichte gibt und ihre Einsatzmöglichkeiten beschrieben.

Heckel (1970) entwickelte in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts eine Überwärmungskabine zur berührungsfreien Wärmeübertragung mittels IR-A-Strahlung. Als Strahlungsquelle dienen Weißglüh-Hellstrahler, die 50-70 cm über dem liegenden Patienten platziert werden. Sie befinden sich außerhalb der Kabine, von der sie durch eine oberflächenmattierte hitzefeste Glasscheibe getrennt werden. Die Glasscheibe dient zur Filterung der Strahlung. Dadurch wird erreicht, dass der Patient fast ausschließlich mit kurzwelliger IR-A-Strahlung behandelt wird. Der Patient ist zur zusätzlichen Wärmissolierung mit einem dünnen Anzug aus Baumwollstoff bekleidet. Um jegliche Zugluft und damit Abkühlung des Patienten zu vermeiden, wird eine Art Zeltplane, die mit der Liege dicht abschließt, angebracht. Zusätzlich kann je nach Bedarf der Kopf des Patienten innerhalb oder außerhalb der Kabine gelagert werden. Im Dach der Kabine befindet sich eine Fensteröffnung zur Frischluftzufuhr. Je nach Bedarf kann mit dieser Kabine die Körperkerntemperatur auf bis zu 41 °C angehoben werden. Sie eignet sich aber auch für die Erzeugung einer milden Ganzkörperhyperthermie (GKHT) mit Maximaltemperaturen von 38,5 °C. Als Indikationen führt Heckel (1970) rheumatische Erkrankungen, chronische Entzündungen in allen Organbereichen, Fehlregulationen im Stoffwechsel und Hormonhaushalt, arterielle und venöse Durchblutungsstörungen, neurologische Erkrankungen, Infektionskrankheiten, asthmatische Zustände, Allergien und Hypertonie an. Zaltenbach (1988) beschreibt die positive Auswirkung dieser Hyperthermiebehandlung auf Patienten mit Asthma bronchiale. Heckel und Heckel (1979) empfehlen die ein- bis dreimalige Behandlung pro Woche. Zur sicheren Anwendung ist ärztliche Überwachung nötig. Dabei werden alle 10 Sekunden automatisch Rektaltemperatur und Pulsfrequenz gemessen und aufgezeichnet. Die Behandlung gliedert sich in 5 Phasen, die Vorwärmphase, die Temperaturanstiegphase, die Nachschwingphase, die eigentliche Hyperthermiephase und die Temperaturrückgangphase. Die oben beschriebenen Messungen wurden unter anderem dazu verwendet in der Hyperthermiephase durch entsprechendes Zu- oder Abschalten der Infrarotstrahler die gewünschte Körpertemperatur zu halten (Heckel und Heckel 1979). In der Regel wurden 0,5°C vor Erreichen der angestrebten Kerntemperatur die Strahler ausgeschaltet (Heckel 1970). Im Anschluss an die Bestrahlung sollte eine mindestens einstündige Nachruhephase

## Literaturübersicht

folgen (Heckel 1990). Aufgrund ihrer positiven Erfahrungen nach 479 Infrarothermiebehandlungen bis 1979 empfehlen Heckel und Heckel (1979) dieses Verfahren vor allem für chronisch entzündliche Prozesse, zur Unterstützung der Wirkung von Antibiotika und anderen Medikamenten, für chronische Allergien und Beweglichkeitsstörungen nach orthopädischen Operationen bzw. Frakturbehandlungen. Die Autoren bezeichnen ihre Ergebnisse selbst „bis jetzt nur als kasuistische Beiträge“ (Heckel und Heckel 1979). Spätere Modelle dieser Überwärmungskabinen arbeiten mit Rohrstrahlern. Dabei gelangt die Strahlung ebenfalls nicht direkt zum Patienten, sondern erst nach Reflexion an Metallflächen (Heckel 1990, Heckel 1991, Heckel und von Ardenne 2002). Brasch et al. (1989) konnten bei Untersuchungen mit diesem System an gesunden, jungen Probanden ermitteln, dass eine einstündige Bestrahlung zu einem Temperaturanstieg im Sinne einer milden (bis 38,5°C) bis moderaten (38,5 °C bis 40,5 °C) Ganzkörperhyperthermie führt. Die Kreislaufbelastung bei diesen Probanden war sehr gering.

Ein anderes Prinzip ist der Einsatz von wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung (wIRA). Von Ardenne entwickelte einen speziellen Halogenstrahler, der von einer Wasserhülle umgeben ist. Dadurch wird der Anteil an langwelliger IR-Strahlung vom Wasser absorbiert und gelangt nicht zum Patienten. Die Bestrahlungsstärke ist zwischen 1,7 und 12 W/m<sup>2</sup> stufenlos einstellbar (Meffert et al. 1990). Bei der Hyperthermieanlage nach von Ardenne liegt der Patient auf einem zwischen zwei Holmen gespannten Netz. Die Halogenstrahler sind unter der Liegefläche angebracht. Der Patient wird mit Reflexionsfolien und einem Badetuch zugedeckt. Je nach Bedarf können mehrere Bestrahlungseinheiten kombiniert werden. Es ist auch möglich zusätzliche Strahler über dem dann nicht zugedeckten Patienten anzubringen. Somit kann der Patient bei Bedarf gleichzeitig von oben und unten bestrahlt werden (Meffert et al. 1990, Meffert et al. 1994, Heckel und von Ardenne 2002). Eine Bestrahlung dauert etwa 60 Minuten. Abhängig von der Indikation werden bis zu 3 Behandlungen pro Woche durchgeführt (Ardenne 1994). Meffert et al. (1994) gibt folgende Indikationsgebiete an: Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, Erkrankungen mit veränderter peripherer Durchblutung, Migräne und vasomotorisch bedingte Impotentia coeundi. Detailliertere Angaben für Indikationen macht von Ardenne (1994). Er empfiehlt die wIRA mit einer Zieltemperatur von 37,5 °C zur Behandlung von degenerativem Weichteilrheumatismus, akuten Muskelschmerzen, Rhinitis, Bronchitis und Muskelspastik bei multipler Sklerose. Mit Erwärmung auf höhere Körperkerntemperaturen, bis 38,5 °C, behandelt er die systemische Sklerodermie, akute Muskelschmerzen, Rhinitis, Bronchitis, Mangel durchblutung von

## Literaturübersicht

Gewebe und Organen, therapierefraktäre chronische Entzündungen, chronische Rückenschmerzen und Hypertonie. Auch eine Aktivierung der körpereigenen Immunabwehr ist laut von Ardenne durch IR-Hyperthermie zu erreichen. Heckel und von Ardenne (2002) sehen für die milde GKHT unter einer Dauer von 30 Minuten keine direkte medizinische Indikation, nennen aber Wellness und Entspannung als Anwendungsgebiet. Bei einer Anwendung von über 30 Minuten kommt auch Rehabilitation, Physiotherapie und Orthopädie in Frage. Kleef (2000) gibt als zusätzliche Indikation die additive Anwendung in der Onkologie an. In der Onkologie werden verschiedene IR-Hyperthermieverfahren eingesetzt. Informationen zu diesem Thema sind in einem Übersichtsartikel von Wehner (2002) zu finden. Auf dieses spezielle Fachgebiet soll in der vorliegenden Arbeit aber nicht weiter eingegangen werden, da es für die eigene Studie an Pferden keine Relevanz hat.

### 2.3.4.5 Risiken, Nebenwirkungen und Grenzwerte für die Anwendung von IR-Strahlung

#### 2.3.4.5.1 Gesamtorganismus

Eine theoretisch mögliche Belastung, die bei der Nutzung von Infrarotkabinen zu bedenken ist, stellt die durch elektromagnetische Felder erzeugte Strahlung dar. Laut Richter et al. (2000) und Richter und Schmidt (2002a) werden moderne Infrarotkabinen mit niedriger Spannung betrieben. Als Beispiel geben sie eine Kabine an, deren Flächenstrahlelemente mit 36 V betrieben werden. Die elektrischen und magnetischen Feldstärken bleiben dabei unter 5 % der in der EU zugelassenen Grenzwerte.

Kleef (2000) berichtet vom sehr seltenen Auftreten behandlungsbedürftiger Herzrhythmusstörungen während einer Ganzkörperhyperthermiebehandlung. Ebenso selten kommt es zum deutlichen Blutdruckabfall. Bei einigen Patienten tritt eine leichte, vor allem distal lokalisierte Schwellung an den Extremitäten auf. Auch kann in seltenen Fällen eine Reaktivierung eines Herpes labialis ausgelöst werden (Kleef 2000). Konkrete Daten bezüglich der Inzidenz dieser Nebenwirkungen werden allerdings nicht genannt.

Als akute Schadwirkungen bei zu lang andauernder bzw. zu intensiver Bestrahlung sind zentrale Überwärmung und „thermoregulatorischer Stress“ zu erwähnen (Conradi 2000).

### 2.3.4.5.2 Haut

Die Haut ist der Anteil des Körpers, der dem direkten Kontakt mit der IR-Strahlung ausgesetzt ist. Da bekannt ist, dass andere elektromagnetische Strahlungsarten zur Belastung der Haut führen können, muss diese Möglichkeit auch für Infrarotstrahlung in Betracht gezogen werden. Röntgenstrahlen erzeugen z.B. das sogenannte Röntgenerythem und UV-Strahlung das Sonnenerythem (Richter und Schmidt 2002b). Durch Infrarotstrahlung hervorgerufene Rötungen bezeichnet man als Wärmeerythem (Richter und Schmidt 2002b). Bei kurzem Einwirken hoher Strahlungsintensitäten reagiert die Haut sofort und es entsteht das sogenannte kalorische Erythem, das sich durch Rötung der Haut und ein brennendes Gefühl äußert (Richter und Schmidt 2002b). Der Entstehung eines chronischen Wärmeerythems geht längerfristige Einwirkung von Temperaturen bis zu 44 °C voraus (Donohue et al. 2002, Richter und Schmidt 2002b). Weitere Bezeichnungen für das chronische Wärmeerythem sind Erythema ab igne, Feuererythem und Hitzemelanose (Richter und Schmidt 2002b, Meffert und Piazena 2003). In der Regel handelt es sich dabei um im Anfangsstadium reversible Hautveränderungen. Histologisch können in Hautbezirken mit Veränderungen im Sinne eines chronischen Wärmeerythems folgende Veränderungen zu beobachten sein: Hyperkeratose oder Verdünnung der Epidermis, atypische Keratinozyten im Bereich der Basalzellschicht, Abflachen des Gefäßnetzes und eine Dilatation der Blutgefäße. Im weiteren Verlauf kommt es in der oberen Dermis zu Melanin- und Hämosiderinablagerungen (Donohue et al. 2002). Treten nach dem Aufenthalt in einer IR-C-Wärmekabine Hautrötungen auf, die länger als eine Stunde nach Bestrahlungsende noch zu sehen sind, geht dies über das übliche Maß der Hautbelastung hinaus. Aus einem Feuererythem kann sich Hautkrebs entwickeln. Ein Beispiel dafür ist der sogenannte Kang-Krebs, der bei Chinesen, die auf Kangs genannten Betten mit heißen Ziegelsteinen schlafen, auftritt. Auch bei Menschen, die aufgrund chronischer Schmerzen jahrelang Wärmeflaschen und Heizkissen auflegen, werden solche Veränderungen beobachtet (Richter und Schmidt 2002b, Schulmeister und Weber 2004). Das Spektrum der Läsionen, die in derart veränderten Hautbezirken bei histologischen Untersuchungen festgestellt wurden, reicht von Zellatypien über thermische Keratose und das In-situ-Karzinom bis zum invasiven Plattenepithelkarzinom (Meffert und Piazena 2002, Richter und Schmidt 2002b). Beim normalen Gebrauch einer IR-Wärmekabine (IR-C-Strahlung) sind derartige Folgen aufgrund der relativ niedrigen Temperaturen und der insgesamt vergleichsweise kurzen Aufenthaltsdauer nicht zu erwarten (Richter und Schmidt 2002b). Schulmeister und Weber (2004) stufen das Risiko der

## Literaturübersicht

Entstehung einer Hitzemelanose durch die Benutzung einer Wärmekabine als relativ gering ein. Sie empfehlen den Benutzern ihre Haut zu beobachten. Sollten Rötungen länger als eine Stunde nach Bestrahlungsende bestehen, ist von der weiteren Nutzung der Kabine abzusehen bzw. Bestrahlungsdauer oder -intensität einzuschränken. Vor allem wenn die Hautrötung netzartig und relativ scharf begrenzt erscheint, könnte bei weiterer täglicher Nutzung der Wärmekabine ein Erythema ab igne entstehen (Schulmeister und Weber 2004). Außerdem sollte beim Auftreten von Hitzeschmerz das Wärmebad abgebrochen werden. Auch nach intensivem Sonnenbad oder Solariumsaufenthalt sollte von einem Aufenthalt in der Wärmekabine abgesehen werden, da Wärme als sogenanntes Ko-Karzinogen den Reparaturprozess an vorgeschädigter DNA beeinträchtigen kann und somit die Entstehung von Hautkrebs begünstigt (Schulmeister und Weber 2004). In einem anderen Artikel von Richter und Schmidt (2002a) wird dagegen ausdrücklich betont, dass beim Aufenthalt in einer IR-Wärmekabine (IR-C-Strahlung) keinerlei Hitzeschmerz entsteht und keine Rötung der Haut auftritt. Conradi (2000) schreibt, dass hohe Bestrahlungsstärken von IR-B- und IR-C-Strahlung, die eine Erwärmung der Haut auf 43–47 °C bewirken, zu Schmerzempfindungen führt und somit den Anwender zur Beendigung des Wärmebades bewegt. Bei IR-A-Strahlung sei dies nicht der Fall, weil sie tiefere Schichten erreicht, die nicht über Schmerzrezeptoren verfügen. Dies sieht Conradi (2000) kritisch, da es unbemerkt zu lokaler Überhitzung in tiefen Gewebsschichten kommen kann. Deshalb soll diese Therapieform nur unter medizinischer Überwachung zum Einsatz kommen. Singer et al. (2000) vergleichen herkömmliche IR-A-Strahlung mit wassergefilterter IR-A-Strahlung (wIRA). Bei Verwendung herkömmlicher IR-A-Strahlung kommt es zu einer stärkeren Erwärmung der Haut als bei Verwendung von wIRA-Strahlung, die somit als hautschonender anzusehen ist.

Besondere Vorsicht bei der Anwendung von IR-Strahlung ist an Hautpartien mit gestörter Mikrozirkulation geboten, da dort der Wärmeabtransport nicht funktioniert und es somit zu einem Wärmestau kommt. Es ist zu empfehlen, solche Bereiche abzudecken, um die direkte Strahleneinwirkung zu verhindern (Kleef 2000, Heckel und von Ardenne 2002).

Zum Schutz der Haut vor Verbrennungen bei der Bestrahlung mit Infrarot-Strahlung wurde von der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP 1997) ein Grenzwert ermittelt. Der Grenzwert ist folgendermaßen festgelegt:

$$H = 20000 * t^{0,25} \text{ [J/m}^2\text{]} \quad \text{für } t \leq 10 \text{ s}$$

H = Strahlenbelastung, t = Bestrahlungsdauer in s

## Literaturübersicht

Der Grenzwert für 10 s beträgt laut obiger Formel  $3550 \text{ W/m}^2$ . Die Festlegung auf diese geringe Dauer ist dadurch bedingt, dass sich bewegungsfähige Probanden bei längeren Bestrahlungszeiten aufgrund einsetzender Schmerzreaktion ohnehin aus dem Bestrahlungsfeld entfernen und deshalb ein Festlegen von Grenzwerten für längere Zeiträume nicht für notwendig gehalten wurde. Probleme könnten bei fehlender Schmerzreaktion z.B. bei Alkoholisierung, unter Drogeneinfluss oder beim Einschlafen in einer Wärmekabine auftreten (Schulmeister und Weber 2004).

### 2.3.4.5.3 Augen

Am Auge sind die nicht durchbluteten Strukturen, insbesondere die Linse, gefährdet. Absorbierte Wärmeenergie kann dort leicht zu Schäden führen, weil die wichtigsten Kühlmechanismen des Körpers, die Schweißbildung und Wärmeabtransport durch vermehrte Durchblutung, dort nicht wirken können. Es ist bekannt, dass beim Menschen ein Anstieg der üblichen Temperatur in der Linse um mehr als  $4^\circ\text{C}$  zur Trübung führen kann und die Entstehung des grauen Stars begünstigt. Der graue Star wird aufgrund des häufigeren Auftretens in dieser Berufsgruppe auch „Glasbläserstar“ genannt (Richter und Schmidt 2002b). Laut Lommatzsch und Schastak (1996) sowie Schulmeister und Weber (2004) sind abhängig von der Wellenlänge der IR-Strahlung unterschiedliche Abschnitte des Auges betroffen.

Die Eindringtiefe der kurzwelligen Infrarot-A-Strahlung ist wie in der Haut auch am Auge größer als die der langwelligen Infrarot-C-Strahlung. Infrarot-A-Strahlung durchdringt die vorderen Augenabschnitte und erreicht auch die Netzhaut. Diese kann bei Überschreiten der Grenzwerte (s.u.) geschädigt werden. Lommatzsch und Schastak (1996) geben als mögliche Schadwirkungen von IR-A-Strahlung unter anderem Netz- und Aderhautkoagulation, Netzhautödem und -blutungen sowie Katarakt an. Mit steigender Wellenlänge im Infrarot-A-Bereich wird zunehmend mehr Strahlung bereits in der Linse absorbiert und fördert damit die Entstehung des grauen Stars. Im Grenzbereich zur Infrarot-B-Strahlung wird die Netzhaut bereits nicht mehr erreicht (Schulmeister und Weber 2004).

Für die langwellige IR-C-Strahlung liegt die Eindringtiefe deutlich unter einem Millimeter, so dass lediglich die Kornea und der äußerste Bereich der vorderen Augenkammer betroffen sind (Lommatzsch und Schastak 1996).

## Literaturübersicht

Für Infrarot-Strahlung wurden von der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) speziell für das Auge bestrahlungszeitabhängige und wellenlängenabhängige Grenzwerte festgesetzt. Dabei wird z.B. für Kornea und Linse bei einer Bestrahlungsdauer von mehr als 1000s eine maximale Bestrahlungsstärke von 100 W/m<sup>2</sup> angegeben (ICNIRP 1997). Vom berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz liegt ein Vorschlag vor, die Belastung der Augen differenziert nach dem Risiko von thermischer Schädigung der Kornea bzw. dem Risiko der Schädigung der Linse im Sinne der Kataraktentstehung zu betrachten (2004a). Lommatzsch und Schastak (1996) schreiben, dass der durch Infrarotstrahlung hervorgerufene Star in der Regel erst nach mehr als 20 Berufsjahren bei Arbeitern in Glashütten, Eisengießereien, Walzwerken und anderen sogenannten Feuerbetrieben auftritt. Tierversuche aus den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts von Goldmann (1930) haben nachgewiesen, dass beim Aufenthalt unmittelbar vor einem geöffneten Fenster eines Glasschmelzofens die Kammerwassertemperatur auf über 40 °C anstieg. Die Absorption der Infrarotstrahlung in der Pigmentschicht der Iris und des Ziliarkörpers beeinträchtigt deren Funktion. Dadurch verändert sich die Zusammensetzung des produzierten Kammerwassers, das unter anderem für die Ernährung der Linse zuständig ist. Auf Dauer kommt es dadurch zu Ernährungsstörungen der Linse (Lommatzsch und Schastak 1996). Auch überträgt die Iris die absorbierte Wärme durch Kontakt an die Linse. Somit wird auch die Linse erwärmt und kann dadurch geschädigt werden (Lommatzsch und Schastak 1996).

Schulmeister und Weber (2004) gehen davon aus, dass bei der Nutzung von Infrarot-C-Kabinen keine Überschreitung der Grenzwerte zu erwarten ist. Bei Infrarot-A- und -B-Strahlern dagegen könnte es unter Umständen zur Überschreitung des Grenzwertes kommen. Die Verwendung eines Augenschutzes, z.B. in Form von Schweißerschutzbrillen wird empfohlen. Die in Infrarot-A- und -B-Wärmekabinen erreichte Belastung entspricht dabei der, die durch einen Holzkohlegrill mit starker Glut erreicht wird (Schulmeister und Weber 2004).

### 2.3.4.6 Kontraindikationen

Als Kontraindikationen für Infrarotbehandlungen gibt Berliner (1992) gestörte Thermosensibilität, akute Entzündungen und Erkrankungen an, bei denen eine Verschlimmerung durch Wärme zu erwarten ist. Auch eine verminderte periphere Durchblutung, wie sie z.B. bei fortgeschrittener Arteriosklerose oder im Schock vorkommt

## Literaturübersicht

stellen Kontraindikationen dar. Kleef (2000) fasst in der Literatur genannte Kontraindikationen zusammen. Dazu zählen kardiale Insuffizienz (>2. Grades), fortgeschrittene Koronarsklerose, frischer Myokardinfarkt, schwere Herzrhythmusstörungen, schwere zerebrale Mangeldurchblutung, Hirntumore, drohendes Hirnödem, bestehende und drohende Thrombose, periphere arterielle Verschlusskrankheiten, Marcumar-Medikation, weit fortgeschrittene destruktive Entzündungen innerer Organe, akute und progrediente chronische Hepatitis und Nephritis, Leberzirrhose, hormonelle und metabolische Krisensituationen, ausgeprägte Dehydratation mit Störung des Wasser-Elektrolythaushaltes, Unfähigkeit zu Schwitzen, stark geschwächter Allgemeinzustand, psychiatrische Grenzsituationen und Schwangerschaft (Kleef 2000).

### 2.3.5 Infrarotstrahlung in der Pferdemedizin

Abgesehen von der Untersuchung von Kalinowski (2007) zum Einfluss von IR-C-Strahlung auf Rückenbeschwerden bei Reitpferden gibt es laut Wissen der Autorin keine weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen über Wirkungsweise oder mögliche Anwendungsbereiche in der Pferdemedizin.

#### 2.3.5.1 Anatomische und physiologische Grundlagen

Die Epidermis besteht beim Pferd aus dem Stratum corneum, dem Stratum granulosum, dem Stratum spinosum und dem Stratum basale (Reese 1999). Das bei anderen Tieren noch zusätzlich vorhandene Stratum lucidum fehlt beim Pferd in der allgemeinen Körperdecke. Laut Meyer (2002) ist das equine Stratum corneum je nach Körperregion zwischen 10 und 20 µm dick. Der übrige sogenannte vitale Anteil der Epidermis hat je nach Körperregion eine Dicke zwischen 25 und 45 µm. Im Hals- und Kopfbereich ist mit einer Dicke von circa 26 µm zu rechnen, am Rücken und der seitlichen Bauchwand mit circa 32 µm und an Widerrist und Kruppe mit circa 45 µm. Ausnahmen bilden die Lippen, der Kronsaum, der Mähnenkamm, die Anogenitalregion sowie Skrotum oder Euter. Hier können Dicken von bis zu 410 µm erreicht werden. Getrennt durch die Basalzellschicht schließt sich die Dermis mit ihren zwei Schichten, dem Stratum papillare und dem Stratum reticulare an. Die Gesamtdicke der Dermis beträgt je nach Körperregion zwischen ein und sechs Millimetern (Meyer 2002).

Eine Übersicht der Schichten der Pferdehaut gibt folgende Auflistung:

## Literaturübersicht

### Epidermis

Str. corneum (10-20µm)	) Stratum germinativum	} Ø 35-45 µm
Str. granulosum (15-18µm)		
Str. spinosum (10-28µm)		
Str. basale (10-15µm)		

### Basalzellschicht

### Dermis (= Corium)

Str. papillare	} 1-6 mm, je nach Körperregion
Str. reticulare	

Bezüglich der Vaskularisation der Pferdehaut herrschen ähnliche Verhältnisse wie beim Menschen. Die Blutgefäße zur Versorgung der Haut zweigen von den Arterien der oberflächlichen Muskelschichten ab. Der venöse Abfluss läuft parallel (Habermehl 1996). Das tiefste Arteriennetz liegt im unteren Abschnitt der Subcutis (Hackländer 1972). Es wird auch fasziales Netz genannt (Liebich et al. 1999). Im Corium, nahe an der Grenze zur Unterhaut liegt das weitmaschige kutane Gefäßnetz (Hackländer 1972, Liebich et al. 1999, Reese 1999). Ein weiteres engmaschigeres subpapilläres Gefäßnetz befindet sich zwischen Stratum papillare und Stratum reticulare. Es entlässt Kapillarschlingen in die Papillarkörper (Liebich et al. 1999, Reese 1999). Die oberflächlichsten Lymphgefäße liegen knapp unterhalb der Epidermis. Sie münden in kleine Lymphkapillaren, die im Stratum reticulare, am Übergang zur Subcutis, das Rete lymphocapillare cutis profundum bilden (Reese 1999).

Die für die Temperaturempfindung verantwortlichen Kälterezeptoren, liegen im Stratum papillare. Die Wärmerezeptoren sind im Stratum reticulare und der Subcutis lokalisiert. Sie gehören zur sensiblen Innervation der Haut, die daneben noch Druck- und Schmerzrezeptoren umfasst. Die sympathische Innervation der Blutgefäße, Hautdrüsen und der glatten Muskulatur erfolgt durch ein perivaskuläres Geflecht (Reese 1999).

Bei den Pferden ist die Haut außer bei Albinos und im Bereich von weißen Abzeichen stets dunkel pigmentiert (Meyer 2002). Das Pigment Melanin wird in den Melanozyten der Epidermis über mehrere Zwischenschritte aus Tyrosin gebildet und in Melanosomen gespeichert. Die Melanosomen werden in Form von kleinen Bläschen von den Melanozyten abgeschnürt, von benachbarten Epidermiszellen aufgenommen und dort eingelagert (Sinowatz 1992, Habermehl 1996).

Im Gegensatz zum Menschen ist beim Pferd der Großteil der Haut von Haaren bedeckt. Haarlänge und -dicke nehmen vom Rücken zum Bauch ab. Mit der Haardichte verhält es sich genau gegensätzlich (Reese 1999). Beim Pferd geht man von ca. 800 Haaren pro cm<sup>2</sup> aus. Die

## Literaturübersicht

Fellhaare sind als Einzelhaare gleichmäßig über den Körper verteilt und in Reihen angeordnet (Habermehl 1996). Nicht behaart sind lediglich der After, die Schamlippen und die Hufe. Die Haare sind Hornfäden und werden aus Epithelzellen der Epidermis gebildet (Reese 1999). Die verschiedenen Farben entstehen vor allem aufgrund der unterschiedlichen Menge eingelagerter Melaningranula. Aber auch Lufteinschlüsse im Haarmark sowie die Oberflächenstruktur haben Einfluss auf die Farbe (Reese 1999). Pigmentlose Haare erscheinen weiß. Vermehrte Einlagerung von Pigment führt zu gelber, roter, brauner oder schwarzer Färbung. Das Melanin wird im Haarmark von Melanozyten gebildet und wird hauptsächlich in der Rinde, aber auch im Haarmark abgelagert. Lufteinschlüsse zwischen Haarmark und –rinde oder im Haarmark lassen Haare aufgrund von Reflexion des Lichtes heller erscheinen (Schönberg 1929, Sinowatz 1992).

Bezüglich der Thermoregulation unterscheidet sich das Pferd kaum vom Menschen. Zur Temperaturwahrnehmung verfügt das Pferd über Thermorezeptoren in der Haut, der Skelettmuskulatur, im Abdomen, im Rückenmark und im Hypothalamus (Guthrie und Lund 1998). Die Meldungen dieser Temperaturfühler werden im Hypothalamus verarbeitet und von dort aus erfolgt dann die Steuerung der Thermoregulation (Guthrie und Lund 1998, Jessen 2000). Das Kreislaufsystem erlaubt durch eine vermehrte oder verminderte Durchblutung der Peripherie bei thermoneutralen Bedingungen eine hocheffiziente Regulierung der Körpertemperatur (Guthrie und Lund 1998).

Wärmeeinwirkung von außen führt zu einer vermehrten Hautdurchblutung und einer erhöhten Hauttemperatur. Dies begünstigt die Wärmeabgabe über die Körperoberfläche durch Konvektion und Verdunstung von Schweiß (Guthrie und Lund 1998). Die vermehrte Hautdurchblutung wird zusätzlich durch eine Steigerung der Auswurfleistung des Herzens und eine verminderte Durchblutung anderer Gewebe erreicht (Guthrie und Lund 1998). Bei einem schwer arbeitenden Pferd entfallen ca. 60 % der Wärmeabgabe durch Verdunstung auf das Schwitzen. Die restlichen ca. 40 % der Wärmeabgabe durch Verdunstung entfallen auf die Atmung (Jessen 2000). Laut Engelhardt (1992) sind Pferde in der Lage, angeregt durch starke, zweiminütige körperliche Belastung bis zu einem Liter Schweiß zu bilden. Jessen (2000) beziffert die mögliche Wärmeabgabe durch Schwitzen auf maximal 15 W/kg Körpergewicht.

Das trockene Pferd umgibt ein Luftpolster, das zwischen den Haaren des Fells entsteht (Habermehl 1996). Dadurch werden beim Pferd die konvektiven Wärmeverluste über die Haut verringert. Man geht bei einer Felldicke von 10 mm und einer Temperaturdifferenz von

## Literaturübersicht

1°C zwischen Haut und Luft von einem Wärmedurchgang von 4 W/m<sup>2</sup> aus (Jessen 2000). Die Temperaturabgabe in Form von Strahlung hängt von der Oberflächentemperatur der Haut und deren Oberflächenbeschaffenheit ab (Guthrie und Lund 1998).

### 2.3.5.2 Infrarotsysteme zur Anwendung beim Pferd

Neben den im Folgenden beschriebenen Infrarotstrahlungsquellen gibt es seit einigen Jahren ein sogenanntes Thermium®. Da es sich dabei um das für diese Studie verwendete Gerät handelt findet sich dessen detaillierte Beschreibung im Kapitel Material und Methoden.

#### 2.3.5.2.1 Infrarotlampen

Über das Wellenlängenspektrum von Infrarotlampen finden sich bei den Herstellern kaum Angaben. Ward (1986) nennt als Wellenlängenmaximum um die 1000 nm. Daneben emittieren Infrarotlampen auch sichtbares und ultraviolettes Licht. Der UV-Anteil wird jedoch vom Glas der Birne absorbiert. Downer (1978c) liefert eine sehr detaillierte Anleitung zur Benutzung von Infrarotlampen beim Tier. Allerdings geht aus ihren Texten nicht explizit hervor, welche Tierarten sie behandelt. Es scheint sich aber um Kleintiere zu handeln. Über die Benutzung von Wärmelampen beim Pferd ist in der Literatur wenig zu finden. Rittmann und Zohmann (2005) erwähnen deren Einsatz beim Pferd für die lokale Erwärmung bei chronisch degenerativen Erkrankungen.

#### 2.3.5.2.2 Keramikhaltige Bandagen und Decken

Mit Hilfe von keramikhaltigen Bandagen oder Decken soll verschiedenen Körperpartien Infrarotstrahlung zugeführt werden. Diesen speziellen Stoffen wird vom Hersteller nachgesagt, dass sie die vom Körper abgestrahlte Wärme als Infrarotstrahlung zurückzusenden. Diese Produkte sollen die Rekonvaleszenzzeiten verkürzen, Schmerzen lindern, den Zellstoffwechsel stimulieren und Durchblutung und Lymphfluss steigern (www.backontrack.ch 2006). Nach Herstellerangaben basieren diese positiven Rückschlüsse auf Studien an Menschen und Tieren mit verschiedenen Formen von direkt applizierter Infrarotstrahlung. Soweit für die Autorin nachvollziehbar wurden diese Studien aber nicht mit den angebotenen keramikhaltigen Materialien durchgeführt.

2.3.5.3 Risiken und Kontraindikationen

Laut Downer (1978c) sollte Infrarotstrahlung bei sehr alten oder sehr jungen Tieren nur mit sehr großer Vorsicht angewendet werden. Durchblutungsstörungen, eingeschränkte Sensibilität der behandelten Gebiete, erhöhte Blutungsneigung und frisches Narbengewebe sind Gründe, Infrarotstrahlung nicht oder nur unter besonders aufmerksamer Überwachung anzuwenden. In der tiermedizinischen Literatur konnte die Autorin keine Hinweise auf Erythembildung bzw. Augenschädigungen finden (vgl. Kapitel 2.3.4.5).

### **3 Eigene Untersuchungen**

Ziel der eigenen Studie ist es den Einfluss des Aufenthalts von Pferden in einer Infrarotstrahlungskabine nach ihrer körperlichen Belastung auf ausgewählte Parameter zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden die Tiere zweimal bis an ihre individuelle Belastungsgrenze gearbeitet. Einmal folgte im Anschluss daran ein 30 minütiger Aufenthalt im auf 40 °C erwärmten Thermium® (Bestrahlung). Beim anderen Mal verbrachte das Pferd 30 Minuten im nicht erwärmten Thermium® ohne Bestrahlung (Placebo). Um jeweils möglichst das gleiche Ausmaß der Belastung zu erreichen wurden die zurückgelegte Strecke und die dafür benötigte Zeit kontrolliert und darauf geachtet, dass diese beide Male gleich waren. Als zusätzliche Orientierung dienten Messungen der Herzfrequenz und der am Ende der Belastung erreichte Laktatwert. Da ein intraindividueller Vergleich zwischen den Ergebnissen von Bestrahlung und Placebo angestellt wurde, diente jedes Pferd als seine eigene Kontrolle.

#### **3.1 Material und Methoden**

##### **3.1.1 Probanden**

Bei der Auswahl der Pferde wurden folgende Ein- und Ausschlusskriterien berücksichtigt: Die Pferde mussten mindestens 4 Jahre alt sein und ausreichend an das Reiten gewöhnt sein, um den Belastungstest absolvieren zu können. Ein weiteres Kriterium war die sichere Verladbarkeit der Pferde, um besonderen Stress durch das Betreten des Thermiums® zu vermeiden. Die Verladbarkeit wurde vor Testbeginn nicht überprüft, sondern aufgrund der Aussagen der Besitzer bewertet. Zusätzlich durften die Pferde keine Anzeichen einer Lahmheit erkennen lassen, da ansonsten eine reiterliche Nutzung aus ethischen Gründen nicht vertretbar gewesen wäre. Auch beim Vorliegen akut fieberhafter Erkrankungen, chronischer Erkrankungen oder sonstiger Ursachen, die die Belastbarkeit des Pferdes einschränken war eine Teilnahme an den Untersuchungen nicht möglich. Unter anderem zu diesem Zweck wurde eine klinische Untersuchung in Ruhe und Bewegung vor Beginn der Belastungsphase durchgeführt. Besonders wichtig waren dabei neben dem Gesamteindruck die Parameter Körpertemperatur, Herz- und Atemfrequenz und die Beurteilung der Lymphonodi mandibulares sowie der Maulschleimhaut (vgl. Anhang Formular 1).

Bei den 20 verwendeten Pferden handelte es sich um 8 Stuten, 11 Wallache und einen Hengst im Alter von 4 bis 20 Jahren. Das durchschnittliche Alter betrug 12 Jahre. Darunter waren 5

## Eigene Untersuchungen

Schimmel, 5 Braune, 6 Fuchse, 2 Rappen und 2 Falben. Sie gehörten folgenden Rassen an: Bayerisches Warmblut (n=4), Haflinger (n=4), Deutsches Reitpony (n=2), Trakehner (n=2) und je ein Leutstettner, Norweger, Oldenburger, Russisches Halbblut, Vollblut, Traber und Thüringer. Die Abstammung eines Pferdes ist unbekannt. Zum Zeitpunkt der Messungen war ein Pferd geschoren, sieben befanden sich im Fellwechsel und die restlichen Pferde hatten Sommerfell. Die meisten Pferde (n=16) waren Privatpferde, die als Freizeit- (n=11), Turnier- (n=3) oder Jagdpferd (n=2) genutzt werden. Zwei Reitschulpferde wurden ausschließlich für den Reitunterricht genutzt, und zwei weitere Vereinspferde auch zum Voltigieren eingesetzt. Die Einschätzung des Trainingszustandes erfolgte durch den Besitzer und sollte zwischen völlig untrainiert (0 %) und austrainiert (100%) angegeben werden.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht zu diesen Daten zum Zeitpunkt des Untersuchungsbeginns.

Tab. 3: Probanden

<b>Nr.</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>Jahre</b>	<b>Rasse</b>	<b>Grundfarbe</b>	<b>Nutzung</b>	<b>Trainingszustand</b>
1	Stute	7	Bayerisches Warmblut	Schimmel	Springpferd	80 %
2	Stute	9	Trakehner	Schimmel	Jagdpferd	40 %
3	Wallach	6	Norweger	Falbe	Freizeitpferd	20 %
4	Stute	10	Bayerisches Warmblut	Braune	Springpferd	50 %
5	Wallach	16	Russisches Halbblut	Schimmel	Jagdpferd	50 %
6	Wallach	17	Oldenburger	Fuchs	Freizeitpferd	40 %
7	Wallach	16	Leutstettner	Rappe	Freizeitpferd	40 %
8	Stute	9	Unbekannt	Braune	Freizeitpferd	50 %
9	Wallach	20	Deutsches Reitpony	Schimmel	Schulpferd	50 %
10	Wallach	19	Haflinger	Fuchs	Schulpferd	45 %
11	Wallach	7	Vollblut	Schimmel	Freizeitpferd	50 %
12	Stute	4	Haflinger	Fuchs	Freizeitpferd	40 %
13	Wallach	9	Trakehner	Rappe	Springpferd	90 %
14	Stute	14	Bayerisches Warmblut	Fuchs	Freizeitpferd	40 %
15	Wallach	14	Haflinger	Fuchs	Freizeitpferd	50 %
16	Hengst	17	Traber	Brauner	Freizeitpferd	50 %
17	Wallach	11	Thüringer	Brauner	Vereinspferd	80 %
18	Wallach	13	Haflinger	Fuchs	Freizeitpferd	60 %
19	Stute	8	Deutsches Reitpony	Falbe	Vereinspferd	70 %
20	Stute	19	Bayerisches Warmblut	Braune	Freizeitpferd	50 %

## Eigene Untersuchungen

### 3.1.2 Das RUKU Thermium®

Das speziell für Pferde konzipierte Thermium der Firma RUKU® (89252 Illertissen) ist mit Flächenstrahlern, die langwellige Infrarotstrahlung emittieren, ausgestattet. Abbildung 1 zeigt die Innenansicht eines in einem Pferdeanhänger untergebrachten, und daher sogenannten mobilen Thermiums®, wie es in den eigenen Untersuchungen verwendet wurde.



Abbildung 1: Innenansicht des mobilen Thermiums® (vom Kopfbereich aus in Richtung Heckklappe aufgenommen); 1 Ständer, 2 Gummimatte, 3 Heizelemente der Seitenwände, 4 Heizelemente der Rückwand, 5 Heizfolie im Deckenbereich, 6 Lüftung

### 3.1.2.1 Aufbau

Das Thermium® (Firma RUKU, 89252 Illertissen) wird in verschiedenen Ausführungen und Größen angeboten. Die Flächenstrahler können in bereits bestehende Boxen integriert oder in einer eigenständigen Kabine angebracht werden. Es ist auch möglich die notwendige Technik in einen Pferdeanhänger integriert zu erwerben (sogenanntes mobiles Thermium®).

Für die Untersuchungen im Rahmen dieser Dissertation wurde ein mobiles Thermium® von der Firma RUKU zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um einen ausgebauten Pferdehänger der Firma Böckmann. Dieses Modell bietet 3 getrennte Innenräume. An der Vorderseite ist ein Stauraum zu finden, in dem sich die Buchse für den Stromanschluss befindet. Im vorderen begehbaren Teil der Kabine ist das Steuergerät untergebracht. Von dort aus kann das Pferd durch zwei seitlich angeordnete Sichtfenster beobachtet werden. Bei Bedarf können diese Schubfenster auch geöffnet werden. Durch eine Tür ist von dort aus auch der direkte Zugang zum Pferd möglich. Die Innenmaße der Infrarotkabine betragen 197cm\*155cm\*220 cm (Höhe\*Breite\*Tiefe). Die Fixierung der Pferde erfolgt in dem eingebauten Ständer. Der Ständer ist 75 cm breit und 190 cm lang. Die seitlichen Holme sind 129,5 cm hoch, die vordere Stange ist in 126,5 cm Höhe, die hintere Stange in 115,5 cm Höhe angebracht. In Verbindung mit den zwei seitlichen Anbindevorrichtungen wird dadurch ein sicheres Fixieren der Pferde ermöglicht. Die gesamte Bodenfläche ist mit einer rutschsicheren Gummimatte ausgelegt. Im Bereich vor dem Ständer befinden sich an den Seiten zwei Türen nach außen. Die Heizelemente sind in die beiden Seitenwände und die klappbaren Flügel der Rückwand integriert. Der Deckenbereich ist mit einer Heizfolie überzogen. Die Verkleidung der Innenwand besteht aus Birkenholz. Im Kopfbereich sind bewusst keine Strahler angebracht, um eine eventuelle Beeinträchtigung der Augen sicher auszuschließen. Aus technischen Gründen wird der Bereich bis 11 cm über dem Boden ausgespart. Der im vorderen Bereich der Kabine angebrachte Temperaturfühler ermöglicht die Überwachung der Temperatur und mit Hilfe des Steuergerätes deren Regulierung. Zusätzlich bietet das Thermium® die Möglichkeit Farblicht zuzuschalten, sowie einen Lüfter zum schnellen Trocknen von Pferden. Daneben verfügt dieses Modell über einen Ultraschallvernebler zur Anwendung bei Atemwegsproblemen. Diese zusätzlichen Funktionen blieben während der eigenen Messungen ausgeschaltet. Es wurde allein die Wirkung der Infrarotstrahlung betrachtet.

## Eigene Untersuchungen

### 3.1.2.2 Technische Daten

Jede Seitenwand besteht aus jeweils drei Heizelementen mit einer Fläche von jeweils 0,95 m<sup>2</sup> und einer Heizleistung von 1140 W/m<sup>2</sup>. Die Fläche der Heckklappen beträgt jeweils 0,69 m<sup>2</sup>. Deren Heizleistung entspricht laut Herstellerangaben 414 W/m<sup>2</sup>. Die Heizplatten liegen der Rückseite der Holzverkleidung an und erwärmen diese. Die Holzverkleidung strahlt dann Infrarotstrahlung in die Kabine ab. Die Gesamtfläche der Heizfolie im Deckenbereich beträgt 1,36 m<sup>2</sup> und liefert eine Heizleistung von 590 W/m<sup>2</sup>. Das Thermium® kann von seiner technischen Ausstattung her stufenlos im Temperaturbereich von 30 °C bis 80 °C betrieben werden. Das dabei abgestrahlte Wellenlängenmaximum liegt laut Herstellerangaben temperaturabhängig zwischen 9,52 und 8,17 µm. Die hier angegebene Temperatur bezieht sich ausschließlich auf die Wandtemperatur. Welche Lufttemperatur erreicht wird, hängt vom Ausmaß der ermöglichten Luftzirkulation ab. Die eigenen Untersuchungen fanden bei einer Wandtemperatur von 40 °C statt. Hierbei liegt das abgestrahlte Wellenlängenmaximum bei rund 9,20 µm.

### 3.1.3 Teststrecken und äußere Bedingungen

Die körperliche Belastung der Pferde wurde an fünf verschiedenen Orten durchgeführt und es wurden somit fünf verschiedene Strecken benutzt. Dabei wurde das jeweilige Pferd beide Male auf derselben Strecke gearbeitet. Soweit nicht anders beschrieben, handelte es sich ganz überwiegend um ebene Strecken. Skizzen der Strecken sind im Anhang (Kapitel 8.2 Streckenskizzen) zu finden.

Die Pferde Nr. 1 bis 8 absolvierten die Tests auf einem abgesteckten Rundkurs mit einer Länge von 500 m auf einem Feld mit Klee/Grasgemisch als Untergrund (Strecke 1). Zwischen Punkt A und Punkt B sowie zwischen Punkt A und Punkt D war der Kurs leicht abfallend. Der Untergrund war bei allen Durchläufen stabil und trocken.

Die Pferde Nr. 9 und 10 liefen auf einem eingezäunten Platz mit Sanduntergrund. Eine Runde entsprach einer Länge von 230 m (Strecke 2).

Die Pferde Nr. 11, 12, 17 und 19 wurden auf einer ebenen Sandbahn mit einer Länge von 750 m gearbeitet (Strecke 3).

Pferde Nr. 13 und 16 wurden auf einer eingezäunten Bahn mit feinem, relativ tiefem Sandbelag gearbeitet (Strecke 4). Die Länge dieser Strecke beträgt 430 m. Diese Strecke ist zwischen Punkt A und B leicht ansteigend.

## Eigene Untersuchungen

Pferde 14, 15, 18 und 20 wurden auf einem abgesteckten Rundkurs mit einer Länge von 410 m gearbeitet (Strecke 5). Der Untergrund bestand aus Gras.

Die äußeren Bedingungen unter denen das gleiche Pferd jeweils zweimalig getestet wurde sollten möglichst ähnlich sein, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Tabelle 9 im Anhang gibt die zum Zeitpunkt des Tests herrschende Temperatur, gemessen mit einem digitalen Thermometer, sowie Luftdruck und absolute Feuchte wieder. Letztere Parameter wurden [wetteronline.de](http://wetteronline.de) entnommen. Die genauen Differenzen zwischen den beiden Testdurchgängen sind in Kapitel 3.2.3 (Tabelle 6) beschrieben und tabellarisch dargestellt.

### 3.1.4 Versuchsablauf

Bereits in einem Vorgespräch mit den Pferdebesitzern wurden die Grunddaten der Pferde erhoben. Außerdem wurde das genaue Vorgehen erklärt und anfallende Fragen der Besitzer beantwortet.

Am Tag des ersten Testdurchgangs wurde nochmals kurz der Ablauf der Untersuchung erläutert und auf weitere Fragen von Besitzer und Reiter eingegangen. Danach folgte eine erweiterte Allgemeinuntersuchung des Pferdes inklusive Vortrabens, um sicherzustellen, dass das Pferd klinisch gesund und lahmheitsfrei war. Die im Einzelnen ermittelten Parameter sind in Formular 1 im Anhang (Datenerfassung) nachzulesen. Anschließend wurde das Pferd gesattelt. Dabei wurde der Polar Horse Trainer (Polar Electro Europe BV), der zur Ermittlung der Herzfrequenz während der Belastungsphase diente, zwischen Pferd und Satteldecke angebracht. Nach Anfeuchten der Auflageflächen wurde die positive Elektrode auf der linken Seite etwa zwei handbreit unterhalb des Widerrists platziert. Die negative Elektrode wurde links unter dem Sattelgurt etwa auf Höhe des Ellbogengelenks angebracht. Die beiden Elektroden waren über Kabel mit dem Sender, der am Sattel angebracht wurde, verbunden. Der Reiter erhielt den Empfänger, der die Herzfrequenz anzeigte. Vor Belastungsbeginn erfolgte die Blutentnahme zur Bestimmung der Ruhewerte. Die einzelnen Entnahmezeitpunkte und Parameter sind in Kapitel 3.1.5 Untersuchungsplan aufgeführt.

Nach dem Aufwärmen im Schritt absolvierte das Pferd den Belastungstest. Dieser setzte sich aus ruhigem und verstärktem Trab und anschließendem ruhigem Galopp gefolgt von verstärktem Galopp zusammen. Es wurde darauf geachtet, dass die einzelnen Pferde in Test Bestrahlung (B) und Placebo (P) jeweils gleich lang und intensiv belastet wurden. Die Länge der jeweils zurückgelegten Strecke wurde an die individuelle Belastbarkeit und den aktuellen Trainingszustand angepasst. Als Kriterien für den Abbruch der Belastung diente die vom

## Eigene Untersuchungen

Reiter vom Polar Horse Trainer abgelesene Herzfrequenz und die per Stoppuhr ermittelte erreichte Rundenzeit. Bei einer Verlängerung der Rundenzeit bei annähernd gleich hoher Herzfrequenz oder einem sprunghaften Anstieg der Herzfrequenz bei gleich bleibenden Rundenzeiten wurde die Belastung beendet und durch die sofortige Messung des Laktatwertes zusätzlich beurteilt. Ziel war das Erreichen eines Laktatwertes von mindestens 3 mmol/l. War dieser Wert nicht erreicht wurden die Pferde nach dieser genau gestoppten kurzen Pause nochmals zügig galoppiert und anschließend erneut der Laktatwert bestimmt.

Nach einer folgenden kurzen Schrittphase und erneuter Untersuchung (entsprechend Formular 1 im Anhang) des Pferdes wurde das Pferd abgesattelt und einige Minuten geführt. Das Verladen ins Thermium® erfolgte 30 Minuten nach Belastungsende. Im Thermium® wurde das Pferd an ein EKG-Gerät angeschlossen, um fortlaufend die Herzfrequenz ermitteln zu können, ohne am Pferd manipulieren zu müssen. War das Tier zum Zeitpunkt des Verbringens ins Thermium® noch zu verschwitzt, wurde für maximal fünf Minuten das Gebläse zum Trocknen zugeschaltet. Es folgten weitere klinische Untersuchungen und Blutentnahmen 10 und 30 Minuten nach Betreten des Thermiums® (vgl. Formular 1 im Anhang). Danach wurde das Pferd je nach Gewohnheit in seine Box oder auf die Weide gebracht. 30 Minuten nach Ende des Thermiumaufenthalts wurde nochmals untersucht und beprobt. Weitere Untersuchungen und Blutprobenentnahmen folgten 6, 12, und 36 Stunden nach Belastungsende.

Zwischen den beiden Belastungstests lagen mindestens 6 Tage. Beim zweiten Belastungstest wurde Rundenanzahl und Tempo möglichst exakt gemäß den im Protokoll festgehaltenen Vorgaben vom ersten Test absolviert und ebenfalls aufgenommen. Welcher der beiden Testdurchgänge (Test P oder Test B) zuerst zu absolvieren war wurde per Los entschieden.

### 3.1.5 Untersuchungsplan

In diesem Kapitel werden die Untersuchungszeitpunkte und die jeweils durchgeführten klinischen und labordiagnostischen Untersuchungen detailliert beschrieben. Tabelle 4 verdeutlicht den zeitlichen Ablauf und definiert die im Folgenden verwendeten Bezeichnungen für die Mess- und Probennahmezeitpunkte.

Tab. 4: Zeitlicher Verlauf der Tests

<b>Zeitpunkt</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Kurzbezeichnung</b>
t1	vor dem Belastungstest	Ruhe
		Belastungsphase
t2	unmittelbar nach Belastung	Erholungsphase
t3	25 Minuten nach Belastungsende 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®	
	Betreten des Thermiums®	Bestrahlung (Test B) bzw. Placebo (Test P) (im Thermium®)
t4	10 Minuten nach Betreten des Thermiums®	
t5	30 Minuten nach Betreten des Thermiums®	
	Verlassen des Thermiums®	Nachbeobachtungsphase
t6	30 Minuten nach Verlassen des Thermiums®	
t7	6 Stunden nach Belastungsende	
t8	12 Stunden nach Belastungsende	
t9	36 Stunden nach Belastungsende	

Mit Ausnahme der Zeitpunkte 7 und 8 (6 und 12 Stunden nach Belastungsende) wurden zu allen Zeitpunkten die folgenden klinischen Parameter erhoben: Atemfrequenz, Körpertemperatur, Herzfrequenz, kapilläre Rückfüllungszeit, Schwitzen und Verhalten. Während des Aufenthaltes im Thermium® erfolgte zusätzlich die Dokumentation des Kotabsatzes.

Alle erhobenen klinischen Parameter und die dazugehörigen Zeitpunkte sind auch in Formular 1 im Anhang aufgeführt.

Für die Ermittlung der labordiagnostischen Parameter (WBC=Leukozytenzahl, CK=Kreatin-Kinase, LDH=Laktatdehydrogenase, AST=Amino-Aspartat-Transferase, Laktat, Hkt=Hämatokrit, GE=Gesamteiweiß, SAA=Serum-Amyloid A, und Hp=Haptoglobin) wurden gemäß den Angaben in Tabelle 5 Blutproben für die Bestimmung der jeweiligen Parameter genommen.

Tab. 5: Labordiagnostische Parameter

<b>Zeitpunkt(+)</b>	<b>WBC</b>	<b>CK</b>	<b>LDH</b>	<b>AST</b>	<b>Laktat</b>	<b>Htk</b>	<b>GE</b>	<b>SAA</b>	<b>Hp</b>
t1	x	x	x	x	x	x	x	x	x
t2					x	x	x		
t3	x	x	x	x	x	x	x		
t4					x	x	x		
t5					x	x	x		
t6	x	x	x	x	x	x	x	x	x
t7		x	x	x					
t8		x	x	x					
t9	x	x	x	x		x	x	x	x

(+) zur Definition der Zeitpunkte vgl. Tabelle 4

### 3.1.6 Ermittlung der klinischen Parameter

Die Körpertemperatur (T) wurde mittels eines digitalen Fieberthermometers durch rektale Messung bestimmt. Die Herzfrequenz wurde zu den Zeitpunkten 1, 3, 6 und 9 durch Auskultation ermittelt. Zum Zeitpunkt 2 wurde die Angabe auf dem Polar Horse Trainer genutzt, der zur Überwachung der Herzfrequenz während der Belastungsphase diente. Während des Thermiumaufenthalts (Zeitpunkte 4 und 5) war ein EKG angeschlossen und die dort angezeigte Herzfrequenz wurde übernommen.

Alle weiteren klinischen Parameter, namentlich Atemfrequenz, kapilläre Rückfüllzeit, Schwitzen, Verhalten und Kotabsatz wurden durch Adspektion oder Palpation ermittelt.

Um eventuelle psychische Auswirkungen des Thermiumaufenthalts auf die Pferde direkt beurteilen zu können wurde das Verhalten der Pferde während der Tests beobachtet und zu den Zeitpunkten 2 bis 6 und 9 erfasst. Dabei wurden folgende Abstufungen gemacht und für die statistische Auswertung mit Zahlenwerten gleichgesetzt: ruhig = 1, ruhig aufmerksam = 2, aufmerksam = 3, unruhig = 4, aufgeregt = 5 sowie sehr aufgeregt = 6.

Ein weiterer erfasster Parameter war die Schweißproduktion. Dabei wurden für die drei Bereiche Hals, Sattellage und Flanke Werte zwischen 0 und 3 vergeben. 0 entspricht einer komplett trockenen Hautoberfläche. 1 Punkt wurde bei einzelnen feuchten Haaren vergeben, 2 Punkte bei größeren nassen Bereichen und 3 Punkte bei komplett nassem Fell. Die Werte für

## Eigene Untersuchungen

die 3 Körperregionen wurden addiert, so dass sich insgesamt Werte zwischen 0 und 9 ergeben konnten.

Die Häufigkeit des Kotabsatzes zu den Zeitpunkten 4 und 5 wurde gezählt und in Formular 1 eingetragen.

### 3.1.7 Ermittlung der labordiagnostischen Parameter

#### 3.1.7.1 Gewinnung und Lagerung der Blutproben

Die Blutproben wurden nach Desinfektion der Punktionsstelle aus der rechten oder linken Vena jugularis externa gewonnen. Die Punktion erfolgte mit einer Neojekt-Kanüle 18G. Der Blutstropfen für die direkte Bestimmung des Laktatwertes wurde unmittelbar auf den Teststreifen aufgetropft (vgl. Kapitel 3.1.7.2.1). Für alle weiteren Untersuchungen wurde das Blut direkt in den Blutröhrchen aufgefangen. Es wurden Röhrchen mit zugesetzten Antikoagulantien (EDTA und Lithium-Heparin, Sarstedt, Nümbrecht) befüllt. Die Röhrchen mit EDTA- und Lithium-Heparin-Zusatz wurden unmittelbar nach dem Befüllen geschlossen und vorsichtig geschwenkt. Danach wurden sie gekühlt gelagert und nach Entnahme der letzten Blutprobe dieses Probanden (36 Stunden nach Belastungsende) umgehend an das Zentrallabor der Justus-Liebig-Universität Gießen verschickt und dort ohne weitere Zwischenlagerung untersucht. Aus diesen Proben wurden folgende Parameter (s. Kapitel 3.1.7.2.2) ermittelt: Hämatokrit (Hkt), Gesamteiweiß (GE), Kreatin-Kinase (CK), Laktatdehydrogenase (LDH), Amino-Aspartat-Transferase (AST) und Leukozytenzahl. Zur Gewinnung des Serums wurden Serumröhrchen mit Gerinnungsaktivator (Sarstedt, Nümbrecht) verwendet. Die beschrifteten Serumröhrchen wurden 30 Minuten nach der Gewinnung bei 3000 Umdrehungen pro Minute für 10 Minuten zentrifugiert. Das Serum wurde anschließend abpipettiert und in Eppendorfröhrchen gefüllt. Diese wurden ebenfalls kühl gelagert und per Post an das Zentrallabor der Justus-Liebig-Universität Gießen geschickt. Dort wurde das Serum bei -20 °C eingefroren und bis zur Untersuchung gelagert. Es wird für die Bestimmung von Serum-Amyloid A (SAA) und Haptoglobin (Hp) benötigt.

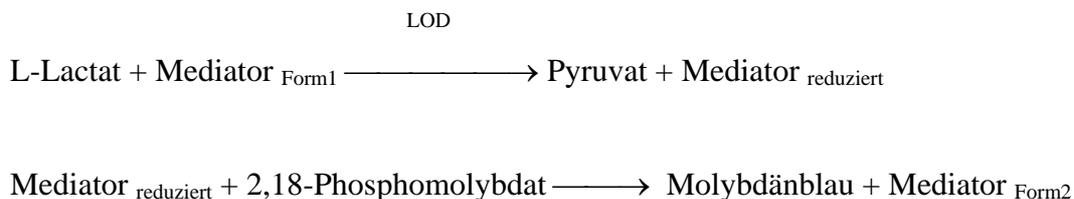
## Eigene Untersuchungen

### 3.1.7.2 Messverfahren

#### 3.1.7.2.1 Laktat

Zur Messung des Laktatwertes wurde ein Tropfen frischen venösen Blutes benötigt. Es wurde das aus der Humanmedizin stammende Gerät Akkusport (Boehringer, Mannheim) und die darauf abgestimmten Teststreifen BM-Lactate (Roche) verwendet. Dadurch war eine direkte Bestimmung des Laktatwertes vor Ort möglich. Das Gerät eignet sich auch für Messungen mit Pferdeblut oder -plasma (Evans und Golland 1996). Es zeigt wahlweise Plasma- oder Blutwerte an. Für die eigenen Messungen wurde die Anzeige der Blutwerte gewählt. Dabei ist zu beachten, dass das Gerät nur bei Temperaturen von + 5°C bis +35°C für Werte bis 8 mmol/l bzw. von +15°C bis +35°C für Werte über 8 mmol/l korrekte Daten liefert. Auch darf die Luftfeuchtigkeit nicht über 90 % liegen. Diese Bedingungen wurden bei den eigenen Messungen immer eingehalten.

Für eine Messung wurde der Teststreifen zuerst unbehandelt bis zum Einrasten in das Gerät eingeführt. Nach Ertönen des Summtons wurde die Klappe des Gerätes geöffnet und das vorgesehene Feld auf dem Teststreifen mit einem ausreichend großen Blutstropfen komplett bedeckt. 60 Sekunden nach dem Schließen der Klappe zeigte das Gerät den ermittelten Wert an. Sollte der Wert unter 0,8 mmol/l liegen erfolgt die Anzeige „LO“ für „Low“, bei Werten über 22 mmol/l erscheint die Anzeige „HI“ für „High“. Die Ermittlung des Wertes im Gerät läuft folgendermaßen ab. Das Plasma des auf das gelbe Schutznetz aufgetragenen Blutes gelangt auf das darunterliegende Glasfaservlies. Dort wird das Laktat mittels Laktatoxidase-Mediator-Farbreaktion bestimmt. Es laufen folgende chemische Reaktionen ab:



LOD = Laktatoxidase

Anschließend wird reflexionsphotometrisch bei einer Wellenlänge von 657 nm die Intensität der Verfärbung gemessen und daraus der Laktatwert errechnet. Dieser wird direkt in mmol/l angezeigt. Dieses Messverfahren wurde eingesetzt um die Intensität der Belastung und anschließend die Geschwindigkeit des Abfalls des Laktatwertes zu überprüfen.

## Eigene Untersuchungen

### 3.1.7.2.2 Routineparameter

Die Untersuchungen werden von geschultem Laborpersonal unter standardisierten Bedingungen im Labor der Justus-Liebig-Universität Giessen durchgeführt. Der Hämatokritwert wurde mit der Hämatokritzentrifuge Haematokrit 24 (Hettich Zentrifuge) bestimmt. Zur Ermittlung des GE, CK, LDH und AST wurde das Gerät Pentra 400 der Firma Abx Horiba verwendet. Die Messung des Gesamteiweiß beruhte auf der Biuretreaktion. Zur Ermittlung von CK, LDH und AST wurden enzymatische Verfahren genutzt. Es handelt sich dabei um einen optimierten UV-Test. Für die Bestimmung der Leukozyten wurde der ADVIA 120 (Bayer®, Leverkusen) verwendet. Die dabei angewendeten Verfahren sind die Doppelwinkel-LASER-Streulicht-Technologie und die Absorption und Streuung einer Halogenlichtquelle (Miller 2006).

### 3.1.7.2.3 Akut-Phase-Proteine

Die Bestimmung von Haptoglobin erfolgte mit dem Gerät ABX Pentra 400 mittels eines immunturbidimetrischen Verfahrens.

Das SAA wurde abweichend von den anderen Parametern im Zentrallabor der Humanmedizin bestimmt. Es wurde das Gerät ADVIA 1650 (Bayer®, Leverkusen) verwendet.

### 3.1.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der gewonnenen Daten wurde von der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung der Justus-Liebig-Universität Giessen durchgeführt. Dabei wurde das Statistikprogrammpaket BMDP/Dynamic, Release 7.0 (Dixon 1993) verwendet. Für die einfache Datenbeschreibung wurde das Programm BMDP1D verwendet und der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung, der Standardfehler, die Minimal- und Maximalwerte und die Spannbreite berechnet. Für die Werte Atem- und Herzfrequenz sowie Laktat wurde aufgrund der rechtsschiefen Verteilung der Werte eine logarithmische Transformation vorgenommen. Für die Auswertung der SAA-Werte war aufgrund einer linksgipfligen Verteilung zur weiteren Auswertung ebenfalls eine Logarithmierung der Werte nötig. Zur Homogenitätsprüfung und zur Beurteilung des Behandlungseffektes wurde eine zwei- bzw. dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung in den Faktoren Behandlung und Zeit mit Hilfe des Programmes BMDP2V erstellt. Ergebnisse mit  $p \leq 0,05$  wurden als statistisch signifikant angesehen.

Die grafische Darstellung erfolgte mit dem Programm Microsoft® Excel 2002 (Microsoft Corporation, USA).

### 3.2 Ergebnisse

#### 3.2.1 Begriffsbestimmung

Um die im Folgenden dargestellten Ergebnisse beschreiben zu können werden zunächst einige Begriffe definiert:

Unter *Ruhewert* werden die Werte aller Parameter zusammengefasst, die vor Testbeginn ermittelt wurden.

Unter *Belastungsphase* wird der Zeitraum verstanden zu dem der Belastungstest (mit Trab- und Galoppphase wie in Kapitel 3.1.4 Versuchsablauf) abgehalten wurde.

Wird von *Behandlung* gesprochen meint das entweder die Anwendung der Infrarotstrahlung (Test B) oder den Placeboaufenthalt (Test P) im Thermium®.

Thermiumsaufenthalt bezeichnet den Zeitraum des Aufenthaltes im Thermium®, unabhängig davon, ob die Bestrahlung vorgenommen wurde, oder das Tier ohne Bestrahlung (Placebo) im Thermium® stand.

Unter *Test Bestrahlung (Test B)* wird der komplette Testdurchgang (von Zeitpunkt 1 bis 9, vgl. Tabelle 4) verstanden, bei dem der Proband während des Aufenthaltes im Thermium® mit langwelliger Infrarotstrahlung bestrahlt wurde. *Test Placebo (Test P)* bezeichnet den kompletten Testdurchgang, bei dem das Pferd die Zeit im Thermium® ohne die Einwirkung von Infrarotstrahlung verbrachte.

Für die statistische Auswertung wurde zusätzlich der Begriff der *Gruppe* eingeführt. Es gab die Gruppen P/B und B/P. Gruppe P/B absolvierte zuerst den Test P und dann den Test B. Bei Gruppe B/P wurden die Tests in umgekehrter Reihenfolge absolviert.

Die Einordnung der Untersuchungs- und Probenahmezeitpunkte (t1-t9) in den Untersuchungsablauf wurde bereits in Kapitel 3.1.4 erläutert.

#### 3.2.2 Besonderheiten

Pferd 5 leidet unter chronisch obstruktiver Bronchitis (COB). Zum Zeitpunkt des ersten Belastungstests (Placebo) war es beschwerdefrei. Da es am darauf folgenden Tag leicht hustete erhielt es über 7 Tage zweimal täglich ein acetylcysteinhaltiges Präparat in vorgeschriebener Dosierung. Da sich keine Atembeschwerden zeigten wurde das Pferd unter dieser Medikation dem zweiten Belastungstest (Bestrahlung) unterzogen. Dabei zeigten sich keine Auffälligkeiten.

## Eigene Untersuchungen

Die Blutentnahmen wurden von den Pferden gut toleriert, mit Ausnahme von Pferd 8 und 14, die auf einige Probennahmen mit Abwehr reagierten. Eine Entnahme war jedoch zu allen Zeitpunkten möglich.

### 3.2.3 Zeitlicher Ablauf und äußere Bedingungen

Der vorgesehene zeitliche Ablauf konnte bei fast allen Pferden exakt eingehalten werden. Wie geplant konnte nach der Eingangsuntersuchung, dem Vorbereiten der Pferde und einer Aufwärmphase im Schritt mit der Belastungsphase begonnen werden. 30 Minuten nach Beendigung des Belastungstests wurden die Pferde in das aufgeheizte Thermium® (Bestrahlung) bzw. das unbeheizte Thermium® (Placebo) verladen. Dort verblieben sie jeweils 30 Minuten. Die Nachbeobachtungsphase (bis zu 36 Stunden nach Belastungsende) verbrachten die Pferde im heimischen Stall. Dort wurde bei Test P und B jeweils gleich verfahren.

Bei Pferd 4 wurde Test B aus organisatorischen Gründen bereits 6 Tage nach Test P durchgeführt, anstatt nach frühestens 7 Tagen. Die Ruhewerte der CK und LDH lagen bei beiden Durchläufen auf dem gleichen Niveau, so dass nicht mit einer Beeinflussung der Messergebnisse des zweiten Tests (hier: Bestrahlung) durch den sechs Tage zuvor durchgeführten Test (Placebo) zu rechnen ist. Lediglich der Ruhewert der AST war bei Test Bestrahlung mit 281 U/l etwas höher als bei Test Placebo mit 250 U/l. Abweichungen in dieser Größenordnung gab es jedoch auch bei anderen Probanden und liegen innerhalb der zu erwartenden physiologischen intraindividuellen Schwankungsbreite.

Bei den Pferden 17 und 19 war der Abstand zwischen den beiden Tests größer als die vorgesehenen 2 Wochen. Da es sich bei diesen Pferden um Vereinspferde handelt, die über lange Sicht sehr gleichmäßig gearbeitet werden, ist mit Veränderungen der Kondition trotzdem nicht zu rechnen.

Bei Pferd 10 führten Schwierigkeiten im ersten Testdurchgang beim Verladen in das Thermium® zu einer leichten Verzögerung (ca. 9 Minuten) des Beginns der Bestrahlung. Diese Verzögerung wurde beim zweiten Durchgang ebenfalls abgewartet um vergleichbare Bedingungen zu haben.

Bei Pferd 1 führten die Verladeprobleme beim zweiten Test (hier: Bestrahlung) zu 5 Minuten Verzögerung. Bei beiden Pferden sind keine Auffälligkeiten in den Untersuchungsergebnissen zu erkennen.

## Eigene Untersuchungen

Die äußeren Bedingungen unter denen die Probanden jeweils ihre beiden Testdurchgänge absolvierten waren annähernd gleich. Die absoluten Werte sind in Tabelle 9 im Anhang aufgeführt. Die größte Abweichung bezüglich der Lufttemperatur ist mit 5 °C bei Pferd 4 zu finden. Der Luftdruck variierte mit 6 hPa bei Pferd 13 und 16 am stärksten, die absolute Feuchte bei Pferd 18 mit 16 %. Die Abweichung der absoluten Feuchte war nur noch bei Pferd 16 mit 15 % ähnlich hoch, bei allen anderen Pferden betrug sie maximal 9 %. Es darf daher davon ausgegangen werden, dass keine Beeinflussung der Messergebnisse durch äußere Einflüsse stattgefunden hat.

Die Messwerte sind in Tabelle 6 aufgeführt. Dabei stellen negative Zahlen eine Erniedrigung des jeweiligen Wertes im zweiten Test gegenüber dem ersten Test dar. Die fettgedruckten Werte sind die jeweils maximal veränderten.

Tab. 6: Differenzen Wetterdaten

Pferd Nr.	Testreihenfolge	Außentemperatur in °C	Luftdruck in hPa	relative Feuchte in %
1	P/B	-1,9	+2	-2
2	P/B	-2,0	+2	-2
4	P/B	<b>-5,0</b>	+5	-2
5	P/B	-2,1	+2	-2
7	P/B	-1,6	±0	+6
8	P/B	-2,6	±0	+6
9	B/P	-0,1	±0	+9
10	P/B	+3,5	±0	-9
11	P/B	+1,1	+5	-8
12	P/B	+2,8	-2	+2
13	P/B	+2,0	<b>-6</b>	-1
14	B/P	-0,9	-1	<b>-16</b>
15	B/P	-0,4	-3	-2
16	B/P	-2,8	<b>-6</b>	+15
17	B/P	+1,4	-4	±0
18	B/P	-1,3	-1	<b>-16</b>
19	B/P	-0,5	-4	-9
20	B/P	+0,3	-3	-2

## Eigene Untersuchungen

### 3.2.4 Belastungstests

In Tabelle 8 im Anhang sind die einzelnen Phasen der Belastung mit zurückgelegter Strecke, Geschwindigkeit und Herzfrequenz am Ende der jeweiligen Phase aufgeführt.

Bei den Pferden 10, 11, 12, 15, 18 und 19 wurde dem individuellen Gangvermögen angepasst keine Tempoerhöhung im Trab geritten. Bei den Pferden 15 und 18 wurde die individuelle Leistungsgrenze bereits im ruhigen Galopptempo erreicht, so dass eine weitere Temposteigerung zum flotten Galopp nicht möglich war. Selbstverständlich wurde jedes Pferd unabhängig vom Test in den beiden Belastungsphasen möglichst identisch belastet. Dazu wurden die zurückgelegte Strecke, die dafür benötigte Zeit, die Herzfrequenz und der am Ende des Belastungstests gemessene Laktatwert erfasst (s. Tabelle 8). Die dabei ermittelten Werte fanden auch Eingang in die statistische Auswertung der Parameter Herzfrequenz und Laktatwert und werden in den Kapiteln 3.2.5.2 und 3.2.7.1 erläutert.

### 3.2.5 Ergebnisse der klinischen Untersuchungen

#### 3.2.5.1 Körperinnentemperatur

Im Rahmen der klinischen Untersuchung wurde zu den Zeitpunkten 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 9 auch die Körperinnentemperatur (T) erfasst. Zum Zeitpunkt 1 und 9 diente die Ermittlung vor allem dem Feststellen des Gesundheitszustandes. Zwischen Zeitpunkt 1 (Ruhewert) und Zeitpunkt 2 (unmittelbar nach Belastung) kam es in beiden Tests (Placebo und Bestrahlung), und zwar unabhängig von deren Reihenfolge, bei allen Pferden erwartungsgemäß zu einem deutlichen Temperaturanstieg. Dieser statistisch hoch signifikante Zeiteffekt ( $p < 0,0001$ ) hat seinen Grund in der körperlichen Belastung.

Zur Überprüfung des Behandlungseffektes wurden die zu den Zeitpunkten 3 bis 6 und 9 ermittelten Werte mittels 3-faktorieller Varianzanalyse analysiert. Auch hier ist eine statistisch hoch signifikante ( $p < 0,0001$ ) Abhängigkeit der Werte vom Messzeitpunkt festzustellen.

Zusätzlich liegt eine schwach signifikante Abhängigkeit ( $p=0,052$ ) des zeitlichen Verlaufs von der Art der Behandlung (Placebo oder Bestrahlung) vor. Im Durchschnitt wurden bei der Bestrahlung im Vergleich zum Placebo zu den Zeitpunkten 4 und 5 (also 10 bzw. 30 Minuten nach Betreten des Thermiums®) höhere Körperinnentemperaturen gemessen. Abbildung 2 veranschaulicht den Verlauf der Körperinnentemperatur während der gesamten Untersuchung.

## Eigene Untersuchungen

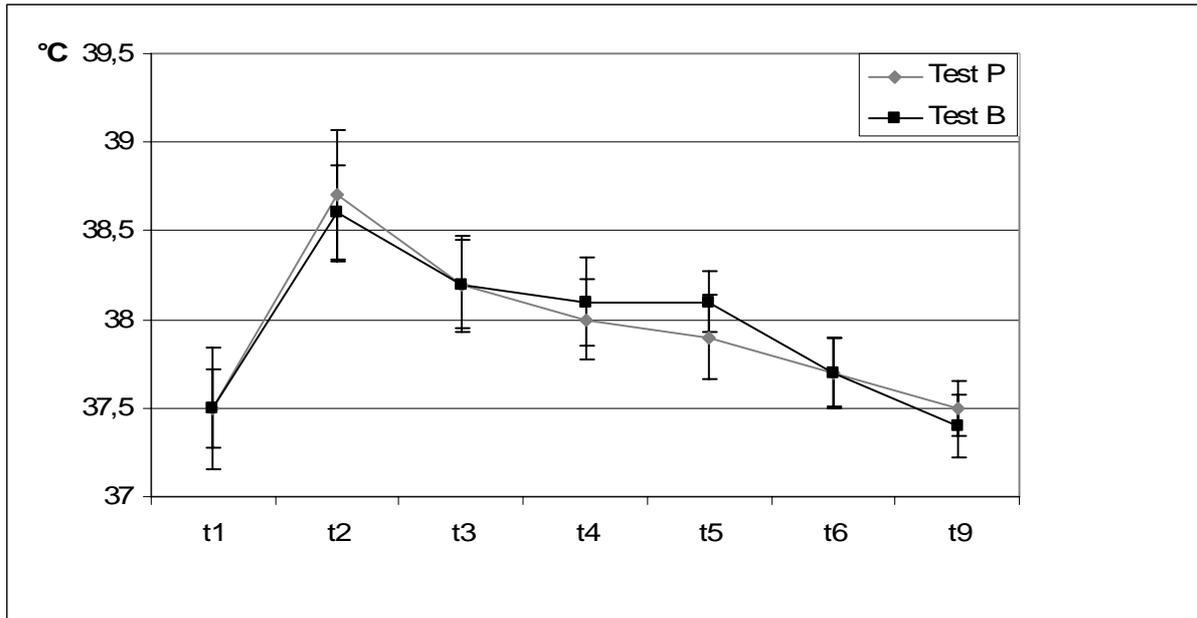


Abbildung 2: Verlauf der mittleren Körpertemperaturen  $\pm$  Standardabweichungen (n=18)

t1 = vor dem Belastungstest

t2 = unmittelbar nach Belastung

t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®

t4 = 10 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t5 = 30 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®

t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

*Zusammengefasst kann man sagen, dass die Körpertemperatur unabhängig vom durchgeführten Test (P oder B) und der Testreihenfolge (P/B oder B/P) jeweils in der Belastungsphase deutlich anstieg. Durch die Bestrahlung konnte die Körpertemperatur beeinflusst werden und lag im Vergleich zum Placebo sowohl 10 als auch 30 Minuten nach Betreten des Thermiums® schwach signifikant höher. Durch die Infrarotbestrahlung blieb die mittlere Körpertemperatur in dieser Zeit fast konstant bei 38,1 °C erhöht.*

### 3.2.5.2 Herz- und Atemfrequenz

Die für Atem- und Herzfrequenz ermittelten Werte folgten einer rechtsschiefen Verteilung. Für die statistische Auswertung erfolgte daher eine logarithmische Transformation.

Zur Homogenitätsprüfung wurden für Atem- und Herzfrequenz jeweils die Werte der Zeitpunkte 1 bis 3 mittels 3-faktorieller Varianzanalyse mit Messwiederholung in den Faktoren Behandlung (P oder B) und Zeit durchgeführt. Dabei ist für beide Parameter lediglich und aufgrund der körperlichen Belastung erwartungsgemäß der Zeiteffekt hoch signifikant. Weder bezüglich der Behandlung (P oder B) noch der Reihenfolge ihrer Anwendung (P/B oder B/P) sind weitere statistisch signifikante Effekte oder Wechselwirkungen nachweisbar.

Die Atemfrequenz zu den Zeitpunkten 4 und 5 bei Test B betrug durchschnittlich  $26 \pm 8$  bzw.  $26 \pm 10$  Atemzüge pro Minute. Zu den selben Zeitpunkten in Test P lag sie bei  $25 \pm 8$  bzw.  $24 \pm 7$  Atemzüge pro Minute. Die 3-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Überprüfung des Behandlungseffektes mit Berücksichtigung der Werte der Zeitpunkte 3 bis 6 und 9 ergab außer einem hoch signifikanten Zeiteffekt keine weiteren Zusammenhänge zwischen den Behandlungen (P oder B) und den Gruppen (P/B und B/P).

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Atemfrequenz inklusive Standardabweichung.

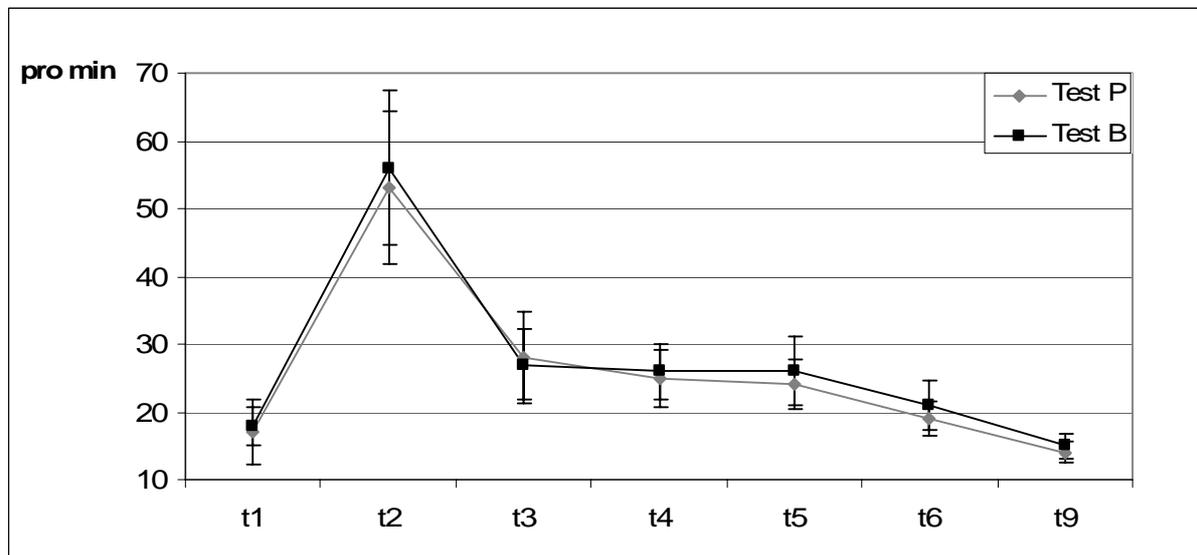


Abbildung 3: Verlauf der mittleren Atemfrequenzen  $\pm$  Standardabweichungen (n=18)

t1 = vor dem Belastungstest

t2 = unmittelbar nach Belastung

t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®

t4 = 10 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t5 = 30 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®

t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

## Eigene Untersuchungen

Die Herzfrequenz zu den Zeitpunkten 4 und 5 während der Bestrahlung betrug  $60 \pm 21$  bzw.  $51 \pm 14$  Schläge pro Minute. Zu den selben Zeitpunkten ohne Bestrahlung wichen die Werte mit durchschnittlich  $63 \pm 27$  bzw.  $56 \pm 17$  Schlägen pro Minute nur unwesentlich ab. Die 3-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Überprüfung des Behandlungseffektes mit Berücksichtigung der Werte der Zeitpunkte 3 bis 6 und 9 ergab außer einem hoch signifikanten Zeiteffekt keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen (P oder B) und den Gruppen (P/B und B/P). Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Herzfrequenz inklusive Standardabweichung.

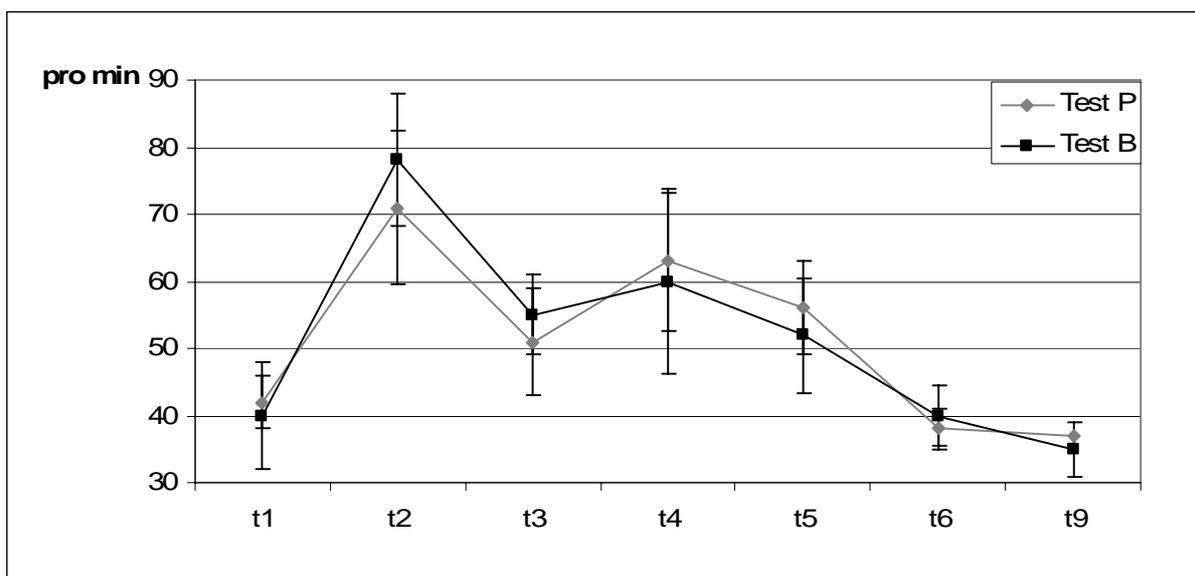


Abbildung 4: Verlauf der mittleren Herzfrequenz (Herzschläge pro Minute)  $\pm$  Standardabweichung (n=18)

- t1 = vor dem Belastungstest
- t2 = unmittelbar nach Belastung
- t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®
- t4 = 10 Minuten nach Betreten des Thermiums®
- t5 = 30 Minuten nach Betreten des Thermiums®
- t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®
- t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

*Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die Bestrahlung im Thermium® keine signifikanten Veränderungen der Herz- und Atemfrequenzen im Vergleich zum Placebo zu beobachten waren.*

### 3.2.5.3 Verhalten

Die Bewertung des Verhaltens (ruhig bis sehr aufgeregt) wurde für die statistische Auswertung mit Zahlenwerten von 1 bis 6 belegt (vgl. Kapitel 3.1.6).

Während des Thermiumaufenthalts (Zeitpunkte 4 und 5) lagen die Werte während der Bestrahlung bei  $3,1 \pm 1,4$  bzw.  $2,0 \pm 1,2$ . Mit  $2,9 \pm 1,5$  bzw.  $2,4 \pm 1,7$  wurden während Test P zu diesen Zeitpunkten sehr ähnliche Werte ermittelt.

Die statistische Überprüfung erfolgte für die Zeitpunkte 2 und 3 zur Homogenitätsprüfung mittels explorativer 3-faktorieller Varianzanalyse. Dabei war keine Inhomogenität zwischen den Gruppen und Behandlungen nachweisbar. Für die Zeitpunkte 3 bis 6 und 9 wurde zur Ermittlung des Behandlungseinflusses die 3-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Dabei wurde ein signifikanter Zeiteffekt nachgewiesen ( $p = 0,0045$ ).

### 3.2.5.4 Schweißproduktion

Die Pferde begannen während der Belastungsphase alle zu schwitzen. Bis zum Ende der Erholungsphase trockneten fast alle Probanden komplett ab. Für die statistische Auswertung wurde für diese Zeitpunkte eine 3-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Diese zeigte, dass zwischen den beiden Tests (P und B) keine Unterschiede in der durch die Belastung induzierten Schweißproduktion bestanden.

Während des Thermiumaufenthalts kam es weder in Test P noch in Test B zum erneuten Schwitzen. Auf eine statistische Auswertung dieser Werte wurde deshalb verzichtet.

### 3.2.5.5 Kapilläre Rückfüllungszeit

Die Bestimmung der kapillären Rückfüllungszeit (KFZ) zu den verschiedenen Zeitpunkten ergab weder in Test B noch in Test P von der Norm ( $< 2$  s) abweichende Ergebnisse, so dass auf eine weitere Auswertung verzichtet wurde.

3.2.6 Ergebnisse der hämatologischen Untersuchungen

3.2.6.1 Leukozyten

Die Leukozyten (WBC) wurden zu den Zeitpunkten 1, 3, 6 und 9 bestimmt. Alle ermittelten Ruhewerte lagen im Referenzbereich ( $5-10 \cdot 10^9/l$ ). Der durchschnittliche Verlauf der WBC ist in Abbildung 5 zu sehen. Zwei Pferde wiesen zu den Zeitpunkten 3 und 6 Werte auf, die geringfügig über dem Referenzwert lagen (maximal  $10,7 \cdot 10^9/l$ ). Die Homogenitätsprüfung für die Zeitpunkte 1 und 3 mittels 3-faktorieller Varianzanalyse ergab einen hoch signifikanten Zeiteffekt ( $p= 0,0006$ ), und keinerlei weitere Inhomogenität oder Wechselwirkungen. Die 3-faktorielle Varianzanalyse wurde auch zur Überprüfung des Behandlungseffektes für die Werte der Zeitpunkte 3, 6 und 9 verwendet. Abgesehen vom hier noch vorhandenen schwach signifikanten Zeiteffekt ( $p= 0,02$ ) waren keine Einflüsse der Bestrahlung bzw. weitere Wechselwirkungen nachweisbar.

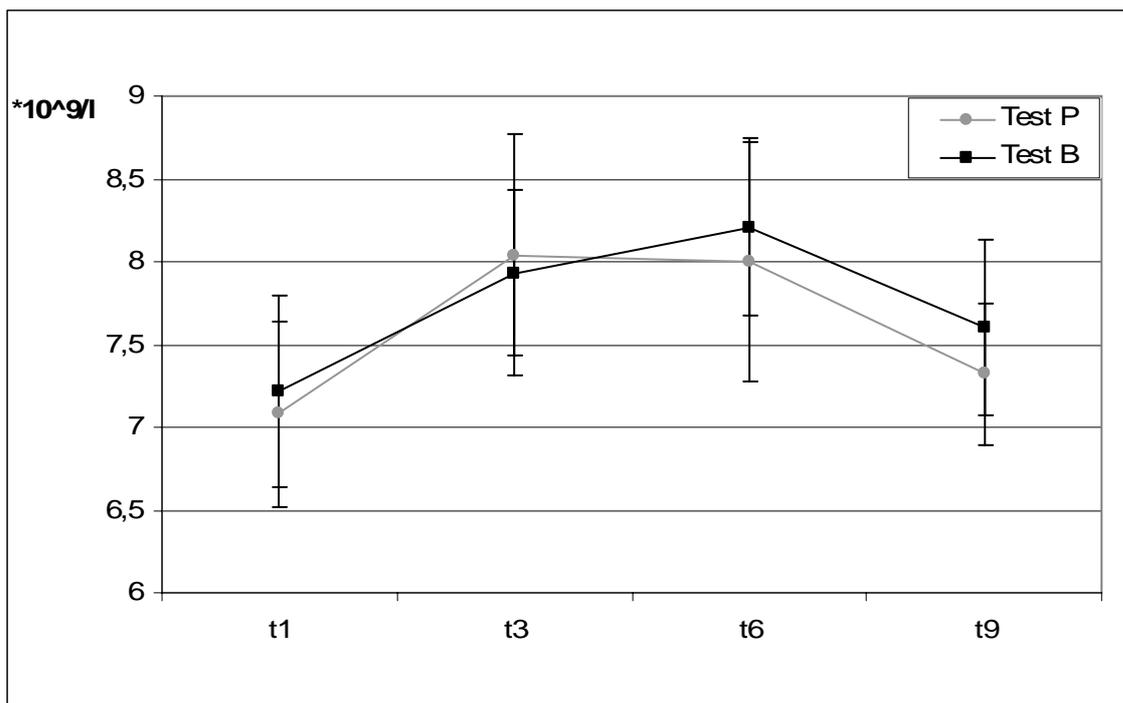


Abbildung 5: Verlauf der mittleren WBC-Werte  $\pm$  Standardabweichung (n=18)

t1 = vor dem Belastungstest

t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®

t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®

t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

### 3.2.6.2 Hämatokrit

Die gemessenen Hämatokrit (Hkt)-Werte weichen vom Referenzbereich (0,32-0,40 l/l) nicht nennenswert ab. Sie wurden zu den Zeitpunkten 1 bis 6 und 9 bestimmt. Im Vergleich zum Ruhewert stieg der durchschnittliche Hämatokrit zum Zeitpunkt 2 (nach Belastung) deutlich auf im Mittel über 0,50 l/l an und fiel bis zum Zeitpunkt 3 (vor Betreten des Thermiums®) bereits wieder auf Werte um 0,40 l/l ab. Statistisch zeigt sich dies in einer hoch signifikanten Abhängigkeit der Werte vom zeitlichen Verlauf. Weitere Abhängigkeiten (von Gruppe oder Behandlung) bestanden erwartungsgemäß nicht.

Im Verlauf der Zeitpunkte 3 bis 6 fällt der durchschnittliche Hämatokrit langsam wieder bis auf das Ausgangsniveau ab. Stellt man den Verlauf der Mittelwerte dar (s. Abb. 6) ergibt sich ein annähernd paralleler Verlauf zwischen den Kurven von Test B und P. Die 3-faktorielle Varianzanalyse für die Zeitpunkte 3 bis 6 und 9 ergab einen hoch signifikanten Zeiteffekt und keinerlei weitere Abhängigkeiten des Verlaufs von Gruppenzugehörigkeit (P/B oder B/P) und Behandlung (B oder P).

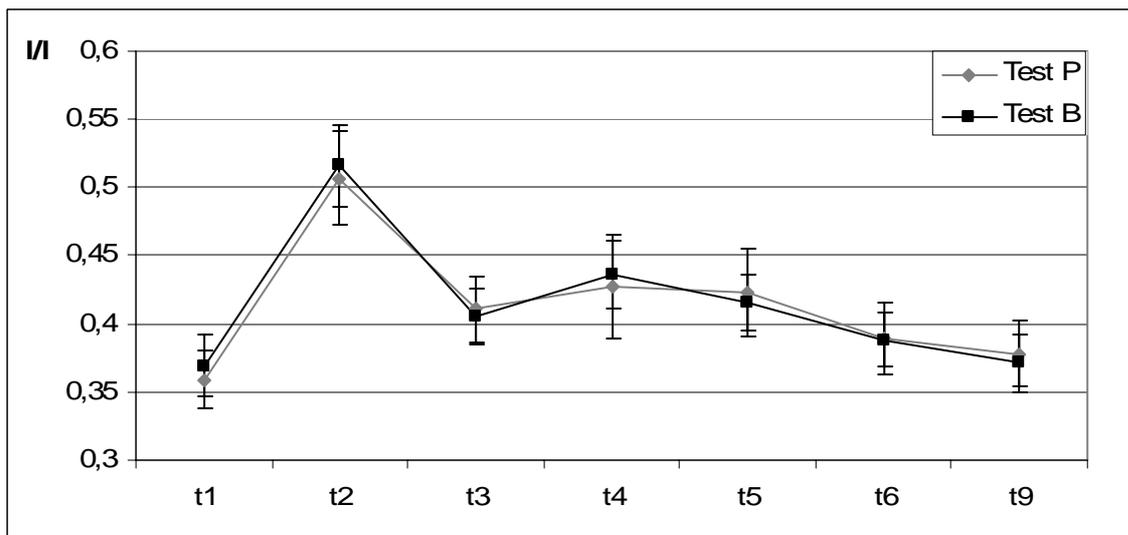


Abbildung 6: Verlauf der mittleren Hämatokrit-Werte  $\pm$  Standardabweichung (n=18)

t1 = vor dem Belastungstest

t2 = unmittelbar nach Belastung

t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®

t4 = 10 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t5 = 30 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®

t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

### 3.2.7 Ergebnisse der biochemischen Untersuchungen

#### 3.2.7.1 Laktat

Die Laktatwerte wurden zu den Zeitpunkten 1 bis 6 bestimmt. Die Maximalwerte wurden, außer bei einem Durchgang (Pferd 9 Test B), jeweils bei der Messung unmittelbar nach Belastung (Zeitpunkt 2) erreicht. Pferd 9 erreichte in Test B seinen Maximalwert (2,2 mmol/l) zum Zeitpunkt 6. Die maximalen Laktatwerte der weiteren Probanden zum Zeitpunkt 2 lagen zwischen 1,6 mmol/l und 12,2 mmol/l. Der Durchschnittswert in Test P betrug  $5,04 \pm 2,47$  mmol/l bzw.  $5,37 \pm 2,78$  mmol/l in Test B.

Für die statistische Auswertung war wegen der rechtsschiefen Verteilung der Messwerte eine logarithmische Transformation der Messwerte nötig.

Die statistische Auswertung zeigte, dass der Verlauf des Laktatwertes zwar wie erwartet vom zeitlichen Verlauf beeinflusst ist, aber kein signifikanter Einfluss des Tests bzw. der Reihenfolge der Tests nachweisbar war.

Auch die Überprüfung des Behandlungseffektes mittels 3 faktorieller ANOVA mit Messwiederholung für die Zeitpunkte 3 bis 6 ergab lediglich einen Zeiteffekt. Das bedeutet, dass keine Beeinflussung des Laktatwertes durch die unterschiedliche Behandlung oder die Testreihenfolge belegbar ist. Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Mittelwerte von Test P und B inklusive Standardabweichung.

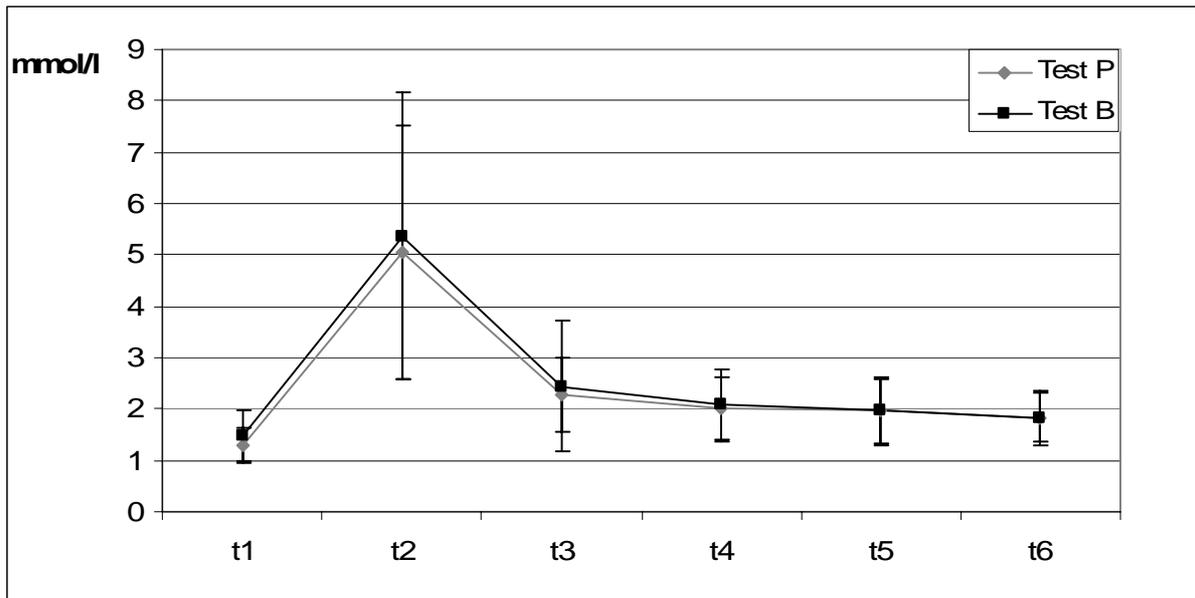


Abbildung 7: Verlauf der mittleren Laktat-Werte  $\pm$  Standardabweichung (n=18)

t1 = vor dem Belastungstest

t2 = unmittelbar nach Belastung

t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®

t4 = 10 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t5 = 30 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®

### 3.2.7.2 Kreatin-Kinase

Die Kreatin-Kinase (CK) wurde zu den Zeitpunkten 1, 3 und 6 bis 9 ermittelt. Die statistische Auswertung der Messergebnisse erfolgte für die Zeitpunkte 1 und 3 zur Homogenitätsprüfung mittels 3-faktorieller Varianzanalyse mit Messwiederholung. Dabei wurde ein durch die Belastung bedingter Zeiteffekt ( $p = 0,0002$ ) und keine Inhomogenität zwischen den Gruppen (P/B und B/P) und Behandlungen (P und B) nachgewiesen. Das bedeutet, dass durch die Belastung vor der eigentlichen Behandlung bereits ein vergleichbarer Anstieg der CK-Werte erreicht wurde, der unabhängig von der Reihenfolge der Tests erfolgte.

Zur Überprüfung des Behandlungseffektes kam für die Zeitpunkte 3 und 6 bis 9 ebenfalls die 3-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Anwendung. Die statistische Überprüfung ergab einen hoch signifikanten Zeiteffekt. Es war kein statistisch signifikanter Effekt der Bestrahlung nachweisbar, obgleich die Mittelwerte nach Test B zu den Zeitpunkten t7 mit 305 U/l und t8 mit 287 U/l in der grafischen Darstellung deutlich niedriger zu sein scheinen als nach Placebo (t7: 325 U/l; t8: 308 U/l). Eine grafische Darstellung des Verlaufs zeigt Abbildung 11 im Kapitel 4.2.4.4.

### 3.2.7.3 Laktatdehydrogenase

Die Laktatdehydrogenase (LDH)-Werte wurden, wie die CK-Werte, zu den Zeitpunkten 1, 3 und 6 bis 9 ermittelt. Alle Werte lagen im vom bestimmenden Labor festgelegten Referenzbereich ( $< 604$  U/l). Die statistische Auswertung der Messergebnisse erfolgte für die Zeitpunkte 1 und 3 zur Homogenitätsprüfung als 3-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung. Dabei war ein belastungsbedingter Zeiteffekt ( $p = 0,0014$ ) nachweisbar. Zur Überprüfung des Behandlungseffektes wurde für die Zeitpunkte 3 und 6 bis 9 wiederum die 3-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung angewendet. Mit  $p < 0,0001$  ist der Zeiteffekt wiederum statistisch hoch signifikant. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Behandlung (Placebo oder Bestrahlung) und dem Verlauf der LDH-Werte war nicht zu erkennen (s. Abb.8).

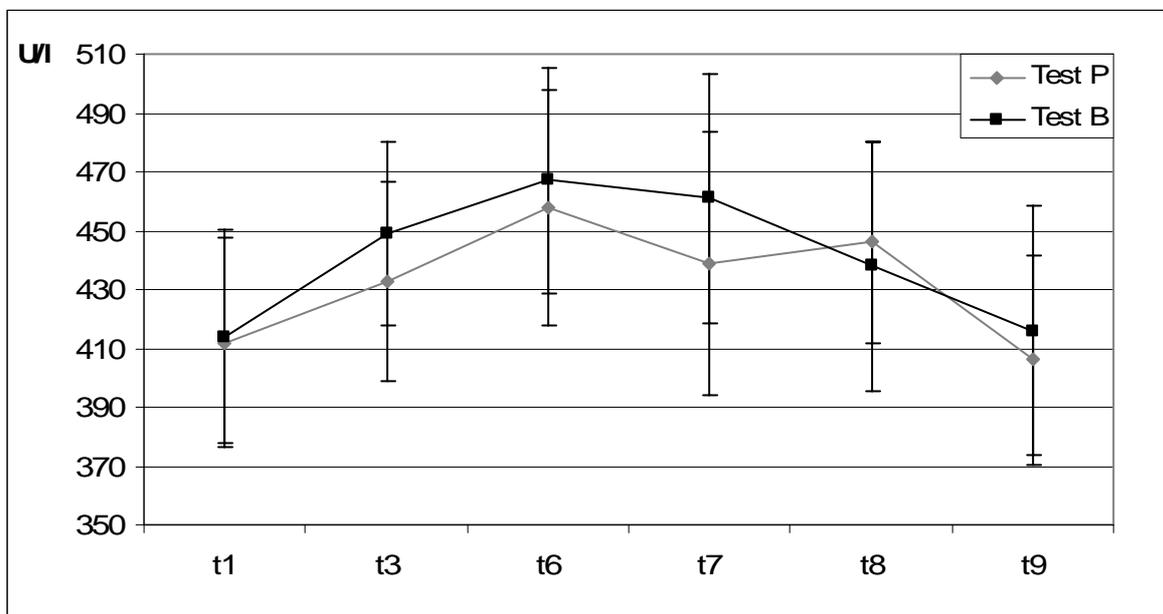


Abbildung 8: Verlauf der mittleren LDH-Werte  $\pm$  Standardabweichung (n=18)

t1 = vor dem Belastungstest

t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®

t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®

t7 = 6 Stunden nach Belastungsende

t8 = 12 Stunden nach Belastungsende

t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

### 3.2.7.4 Amino-Aspartat-Transferase

Die Amino-Aspartat-Transferase (AST)-Werte wurden für die Zeitpunkte 1, 3 und 6 bis 9 ermittelt. Alle Messergebnisse liegen im vom Labor angegebenen Referenzbereich ( $< 712$  U/l). Die Maximalwerte wurden zumeist und zu annähernd gleichen Anteilen zu den Zeitpunkten 3 (n=10), 6 (n=8) und 7 (n=12) gemessen, seltener aber auch zum Zeitpunkt 8 (n=4) und 9 (n=4). Zusätzlich erreichten nur 3 der Pferde in beiden Tests zum selben Zeitpunkt den Maximalwert (Pferd 13 zum Zeitpunkt 3, Pferd 14 zum Zeitpunkt 7 und Pferd 20 zu Zeitpunkt 8).

Für die Zeitpunkte 1 und 3 wurde zur Homogenitätsprüfung eine 3-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen durchgeführt. Dabei zeigte sich ein belastungsbedingter Zeiteffekt. Im Mittel stieg der AST-Wert in Test P von Zeitpunkt 1 (338 U/l) auf 360 U/l zum Zeitpunkt 3 an. In Test P lagen die Werte zu diesen Zeitpunkten bei 329 U/l (t1) bzw. 346 U/l (t3). Weitere Abhängigkeiten von der Gruppenzugehörigkeit (P/B oder B/P) und Behandlung (P oder B) zeigten sich erwartungsgemäß nicht.

Die Überprüfung des Behandlungseffektes für die Zeitpunkte 3 und 6 bis 9 erfolgte mittels 3-faktorieller Varianzanalyse. Sie ergab eine schwach signifikante Abhängigkeit ( $p=0,03$ ) des zeitlichen Verlaufs von der Behandlung. Zu diesen Zeitpunkten ändern sich die durchschnittlichen AST-Werte nur wenig. Die berechneten Mittelwerte inklusive Standardabweichung werden in Abbildung 12 im Kapitel 4.2.4.6 dargestellt.

### 3.2.7.5 Gesamteiweiß

Die Gesamteiweiß (GE)-Werte weichen vom Referenzwert (55-75 g/l) nicht nennenswert ab. Sie wurden zu den Zeitpunkten 1 bis 6 und 9 bestimmt. Die Homogenitätsprüfung mittels 3-faktorieller Varianzanalyse für die Zeitpunkte 1 bis 3 ergab einen hoch signifikanten Zeiteffekt. Die Beurteilung des Behandlungseffektes mittels 3-faktorieller Varianzanalyse ergab für die Zeitpunkte 3 bis 6 und 9 keinerlei statistisch signifikante Effekte.

Stellt man den Verlauf der Durchschnittswerte für beide Parameter dar (s. Abb. 9) ergibt sich ein annähernd paralleler Verlauf zwischen den Kurven von Test B und P.

Abbildung 9 zeigt den Verlauf des Gesamteiweiß inklusive Standardabweichung.

## Eigene Untersuchungen

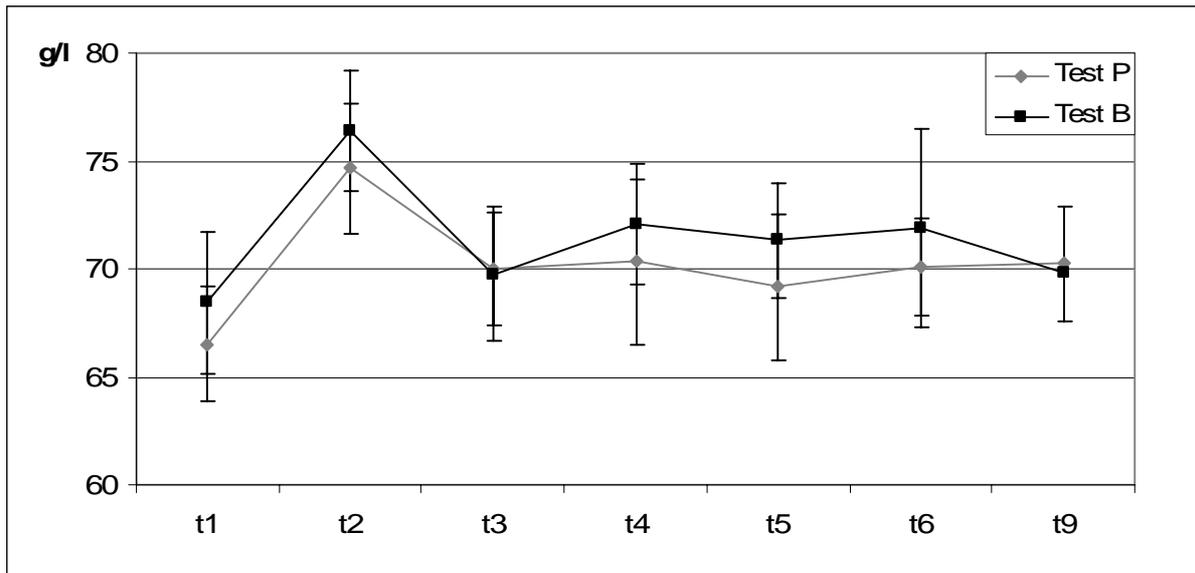


Abbildung 9: Verlauf der mittleren Gesamteiweißwerte  $\pm$  Standardabweichung (n=18)

t1 = vor dem Belastungstest

t2 = unmittelbar nach Belastung

t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®

t4 = 10 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t5 = 30 Minuten nach Betreten des Thermiums®

t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®

t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

### 3.2.8 Ergebnisse der Akut-Phase-Protein-Bestimmungen

#### 3.2.8.1 Haptoglobin

Die Haptoglobinwerte wurden zu den Zeitpunkten 1, 6 und 9 bestimmt. Die ermittelten Werte liegen zwischen 0,01 und 5,36 mg/ml.

Der durchschnittliche Ruhewert (t1) liegt mit  $1,62 \pm 0,66$  mg/ml in Test P bzw.  $1,73 \pm 1,38$  mg/ml in Test B in dem Bereich, den Taira et al. (1992) als Referenzbereich für gesunde Pferde angeben. Allerdings streuen die Werte der einzelnen Probanden recht stark. Mehr als die Hälfte der Werte zum Zeitpunkt 1 liegt zwischen 1,0 und 2,0 mg/ml allerdings wurden Extreme von 0,01 mg/ml und 5,36 mg/ml erreicht. Die statistische Auswertung gibt keine Hinweise auf Abweichungen zwischen den Gruppen (B/P, P/B) und Behandlungen (P und B).

Zum Zeitpunkt 6 streuen die Werte deutlich weniger und liegen nach Bestrahlung im Mittel etwas tiefer als zum Zeitpunkt 1. Zum Zeitpunkt 9 hin steigen die durchschnittlichen Werte wieder etwas an und liegen für Test P bei  $1,71 \pm 0,81$  mg/ml bzw. bei  $1,50 \pm 0,55$  mg/ml in Test B.

## Eigene Untersuchungen

Ein statistisch schwach signifikanter ( $p = 0,0104$ ) Zeiteffekt ergab sich für die Hp-Werte zu den Zeitpunkten 6 und 9. Abhängigkeiten von der Behandlung (P oder B) oder Gruppenzugehörigkeit (P/B oder B/P) konnten nicht nachgewiesen werden. Den Verlauf der Hp-Werte zeigt Abbildung 10.

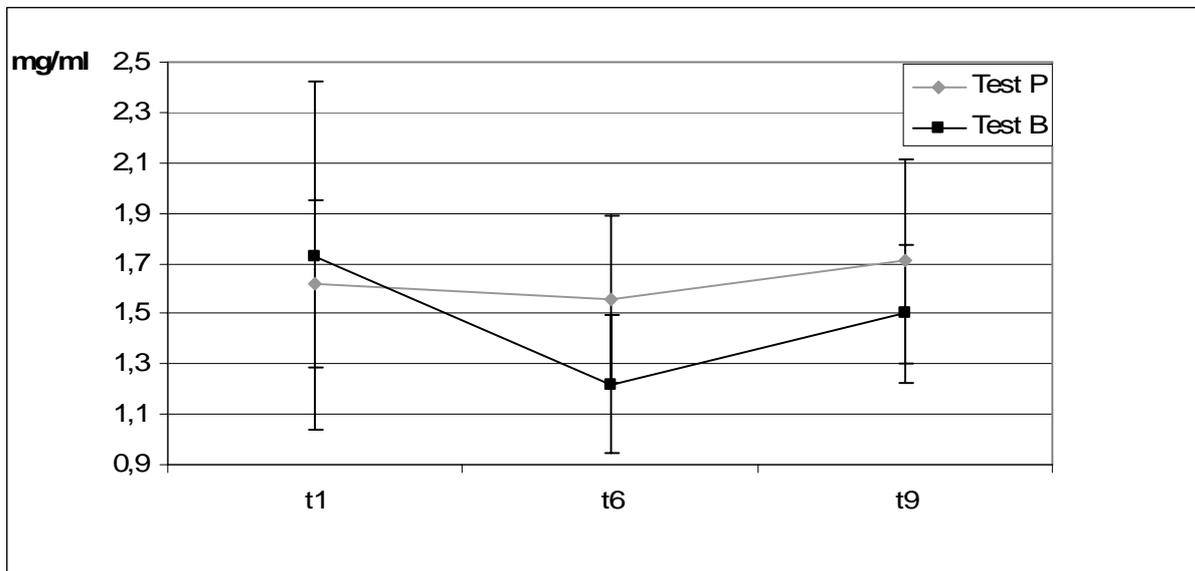


Abbildung 10: Verlauf der mittleren Haptoglobinwerte  $\pm$  Standardabweichung (n=18)

t1 = vor dem Belastungstest

t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermiums®

t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

### 3.2.8.2 Serum-Amyloid-A

Die SAA-Werte wurden zu den Zeitpunkten 1, 6 und 9 bestimmt. Nahezu bei allen Messungen lagen die SAA-Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze. Einzelne Werte oberhalb der Nachweisgrenze von maximal 1,86 mg/l wurden bei verschiedenen Probanden über alle Testzeitpunkte und beide Tests (P und B) verteilt gemessen. Ein einziger deutlich höherer Wert (17,74 mg/l) wurde bei Pferd 9 zum Zeitpunkt 6 in Test B ermittelt.

Zur statistischen Auswertung mussten die Werte aufgrund einer linksgipfligen Verteilung logarithmiert werden. Die mittels 2-faktorieller Varianzanalyse durchgeführte Homogenitätsprüfung ergab keinerlei Hinweis auf Inhomogenität zwischen den Behandlungen oder Gruppen zum Zeitpunkt 1.

Die zur Beurteilung des Behandlungseffektes durchgeführte Varianzanalyse ergab keinerlei Hinweis auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Tests (P und B).

### Eigene Untersuchungen

In diese Auswertung gingen die Messwerte der beiden ausgeschlossenen Probanden (3 und 6) nicht ein, sollen aber als zusätzliche Beobachtung kurz Erwähnung finden. Pferd 3 wurde zwischen den beiden Tests wegen eines Hufabszesses behandelt. Die Lahmheit trat zwei Tage nach dem ersten Belastungstest (Test P) auf und bestand trotz Eröffnen des Abszesses weiter. Deshalb wurde dem Pferd für drei Tage ein phenylbutazonhaltiges Präparat verabreicht. Lag bei Test P zu den Zeitpunkten t1 und t6 der SAA-Wert noch unterhalb der Nachweisgrenze wurde bereits zum Zeitpunkt t9 ein Wert von 0,35 mg/l gemessen. Ob der vor dem Auftreten der klinischen Symptome somit minimal erhöhte Blutwert (0,35 mg/l) im Zusammenhang mit dem eventuell schon beginnenden Hufabszess steht ist unsicher. Da das Pferd zum geplanten Test B wieder lahmfrei war nahm es wie geplant daran teil. Bei den Messungen ergaben sich massiv erhöhte SAA-Werte von 160,4 mg/l (t1), 157,3 mg/l (t6) bzw. 44,9 mg/l (t9), die wohl noch in Zusammenhang mit dem entzündlichen Geschehen im Huf standen. Pferd 6 wurde ca. 30 Minuten vor dem geplanten Belastungstest von einem anderen Pferd getreten. Die Blutproben, die unmittelbar vor dem Belastungstest und 30 Minuten nach Verlassen des Thermiums® entnommen wurden weisen noch 0 mg/l auf. 36 Stunden nach Belastungsende (t9) jedoch war der Wert mit 54,03 mg/l deutlich erhöht.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Diskussion der Methoden**

#### **4.1.1 Probanden**

Die für die Studie verwendete Probandengruppe ist sehr uneinheitlich, was Rassen, Alter, Geschlecht, Größe, Farbe, Nutzungsrichtung und Trainingszustand angeht. Dies führte naturgemäß zu hohen Standardabweichungen in den gewählten Messwerten. Alle diese Faktoren beeinträchtigten die statistische Auswertbarkeit der gewonnenen Daten nicht, da das Hauptaugenmerk auf dem intraindividuellen Vergleich der gewählten Parameter mit und ohne Bestrahlung im Thermium® lag. Unter Umständen erlaubt diese Vielfalt sogar zu erkennen, ob bestimmte der oben genannten Faktoren zu einem besseren oder schlechteren Ansprechen auf die Bestrahlung führen.

Die Festlegung von Mindestalter, Lahmheitsfreiheit und unauffälliger klinischer Untersuchung war nötig, um eine Überforderung der Pferde durch die Arbeitsbelastung auszuschließen. Die Altersgrenze wurde bei 4 Jahren gesetzt, da Reitpferde üblicherweise mit 3 Jahren angeritten werden und davon auszugehen ist, dass sie vierjährig ausreichend ausbalanciert sind und genügend Muskulatur aufgebaut haben, um die im Belastungstest geforderte Leistung zu erbringen. Eine Obergrenze wurde nicht festgelegt, da höheres Alter alleine kein Grund für mangelnde Belastbarkeit darstellt. Altersbedingte oder sonstige Beeinträchtigungen sollten durch die erweiterte Allgemeinuntersuchung und die Lahmheitsuntersuchung erkannt werden. Die Forderung der sicheren Verladbarkeit war nötig, um zum einen das Einhalten des Zeitplanes zu gewährleisten und zum anderen stressbedingte Veränderungen der Blutwerte möglichst auszuschließen.

Pferd 3 und Pferd 6 wurden letztlich nicht in die Auswertung einbezogen. Pferd 3 erhielt aufgrund eines sehr schmerzhaften Hufabszesses zwischen den beiden Testdurchgängen bis einen Tag vor dem zweiten Test ein phenylbutazonhaltiges Medikament. Da sich in einigen Parametern die Ruhewerte der beiden Tests deutlich unterscheiden (z.B. SAA vor Hufabszess 0 mg/l, nach Hufabszess 160,4 mg/l) war eine sinnvolle Auswertung nicht möglich.

Pferd 6 wurde 30 Minuten vor Beginn des zweiten Tests (Bestrahlung) von einem anderen Pferd getreten. Aufgrund des dadurch bedingten übermäßigen Anstiegs der Muskelenzyme (z.B. CK > 1000 U/l) war eine sinnvolle Auswertung nicht möglich.

Pferd 5 leidet an chronisch obstruktiver Bronchitis (COB). Zum Zeitpunkt der Tests war das Pferd beschwerdefrei, so dass der Verwendung für die Messungen nichts entgegen sprach. Eventuell ausgelöst durch die Belastung des ersten Tests (Placebo) hustete es am Tag danach

## Diskussion

einige Male. Da weder klinische Anzeichen noch entsprechende Veränderungen im Blutbild vorlagen, konnte eine infektiöse Ursache ausgeschlossen werden. Auch war das Allgemeinbefinden ungestört. Das Pferd wurde über eine Woche mit einem acetylcysteinhaltigen Medikament behandelt und in dieser Zeit normal weiter gearbeitet, ohne weitere Auffälligkeiten zu zeigen. Es ist nicht davon auszugehen, dass die Behandlung Einfluss auf die Ergebnisse des zweiten Tests (Bestrahlung), der eine Woche nach dem Test P stattfand, hatte.

### 4.1.2 Teststrecken

Für die körperliche Belastung wurden Teststrecken in Form von durch Pfosten gekennzeichneten Rundkursen und umzäunte Trainingsbahnen gewählt. Bei der Auswahl wurden mehrere Kriterien berücksichtigt. Besonderes Augenmerk lag auf dem einwandfreien Zustand des Bodens, um Verletzungen der Pferde zu vermeiden. Zusätzlich sollte der Kurs komplett überschaubar sein. Eine Rundenlänge von minimal 230 m wurde angestrebt, um die Belastung durch zu enge Wendungen zu verringern. Die Runde sollte auch nicht länger als 1000 m sein, um den zu bewältigenden Streckenumfang fein genug variieren zu können. Zusätzlich sollten die Strecken weitgehend eben sein. Die verwendeten Rundkurse erfüllten alle diese Kriterien. Strecke 1 bot mit 500 m einen ausreichenden Umfang um Großpferde auch in den Bögen zügig vorwärts zu reiten. Die leichten Steigungen im Kurs störten den Rhythmus nicht. Strecke 2 war mit ihren 230 m relativ eng. Der Boden in den Wendungen war aber sehr griffig (Sand). Zusätzlich wurde diese Strecke nur mit Ponys beritten. Strecke 3 wies keinerlei Besonderheiten auf. Der Sandboden von Strecke 4 war relativ tief. Die leichte Steigung beeinträchtigte den Rhythmus der Pferde nicht.

### 4.1.3 Versuchsablauf

Um auswertbare Ergebnisse zu erhalten war es unbedingt nötig den Ablauf der beiden Testdurchläufe möglichst identisch zu gestalten. Die Tests wurden jeweils zur gleichen Tageszeit durchgeführt, um den Einfluss eventueller circadianer Schwankungen auszuschließen. Circadiane Schwankungen sind zum Beispiel für die Körpertemperatur oder den Cortisolspiegel im Blut bekannt (Mohr 2000). Um bei beiden Belastungstests eine möglichst gleiche Beanspruchung zu erreichen wurden weitere folgende Punkte berücksichtigt: Es wurde immer die selbe Strecke in gleicher Richtung beritten. Die Pferde wurden beide Male von dem selben Reiter mit identischer Ausrüstung geritten. Zusätzlich wurden die Reiter gebeten den Sattelgurt beide Male gleich fest zu ziehen, da Untersuchungen

## Diskussion

von Bowers et al. (2005) gezeigt haben, dass Unterschiede im vom Sattelgurt auf den Rumpf erzeugten Druck Einfluss auf das Ermüden haben.

Zwischen den beiden Testdurchgängen sollte ein Zeitraum von ein bis zwei Wochen liegen. Dies wurde einerseits als kurz genug angesehen, so dass keine wesentliche Veränderungen des Trainingszustandes aufgrund der zwischenzeitlichen Bewegung durch die Besitzer auftreten konnte. Andererseits musste ausreichend Zeit zwischen den Tests liegen, so dass die durch die Belastung des ersten Tests veränderten Werte sich wieder normalisiert haben.

Veränderungen der Enzymaktivitäten in Abhängigkeit vom Trainingszustand beobachtete Melfsen-Jessen (1999). So wiesen die Pferde einer Trainingsgruppe vor Versuchsbeginn bei gleicher Belastung signifikant höhere Anstiege der CK und der LDH auf, als nach 20 bzw. 10 Wochen Training. Läge also zwischen den beiden Testdurchgängen ein zu langer Zeitraum könnte eine Veränderung des Trainingszustandes die Messergebnisse beeinflussen.

Der Abbau der durch die starke Belastung vermehrt ins Blut gelangten Enzyme nimmt beim gesunden Pferd bis zu 7 Tage in Anspruch (Kraft 2005). Für die CK wird der Zeitraum bis zum Absinken auf den Ruhewert beim „Muskel-gesunden“ Pferd mit maximal 48 Stunden angegeben (Glitz 2000). Mit einer deutlich längeren Zeitspanne bis zur Regeneration des Wertes ist dagegen für die AST zu rechnen. Kraft (2005) gibt dafür bis zu 7 Tage an. Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten, mit denen CK, LDH und AST nach einem einmaligen Insult abgebaut werden, verdeutlichen deren Halbwertszeiten. Glitz (2000) ermittelte für die CK eine Halbwertszeit  $9,07 \pm 3,3$  Stunden, für die LDH  $7,65 \pm 2,98$  Stunden und für die AST  $58,28 \pm 17,1$  Stunden.

Bei Pferd 4 folgte die Bestrahlung aus organisatorischen Gründen bereits 6 Tage nach dem Placebo-Test. Da bei diesem Pferd die Ruhewerte von CK, LDH und AST bei dem zweiten Test wieder auf gleichem Niveau lagen wie vor dem ersten Test konnte mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden, dass der um einen Tag kürzere Abstand zwischen den Tests einen Einfluss auf den Verlauf der Werte hatte. Bei Pferd 17 und 19 musste aufgrund terminlicher Schwierigkeiten und zu ungleicher Wetterverhältnisse ein längerer Abstand zwischen den beiden Tests in Kauf genommen werden. Bei diesen Pferden handelte es sich um Vereinspferde, die langfristig sehr gleichmäßig eingesetzt wurden, so dass mit keiner wesentlichen Veränderung des Konditionszustandes in der Zwischenzeit zu rechnen war. Die ähnlichen Rundenzeiten und Anstiege der Muskelenzyme unterstützten diese Vermutung, so dass eine Auswertung der Daten dieser beiden Pferde gleichwohl möglich und sinnvoll erschien.

## Diskussion

Der Ablauf der Belastungsphase wurde so gewählt, dass zunächst ein Aufwärmen im Schritt gewährleistet war. Nach einer Phase im Trab sollte gegen Ende des Tests im Galopp die individuell mögliche Maximalbelastung erreicht werden. Der von den einzelnen Probanden jeweils absolvierte Arbeitsumfang wurde protokolliert und ist in Tabelle 8 (Anhang) zusammengefasst. Anderson (1975) stellte bei ihren Untersuchungen an bis dahin wenig trainierten Hüntern und Vollblütern fest, dass ein Arbeitspensum von 4 km langsamem Trab, gefolgt von 6 km ruhigem Galopp geeignet ist, einen Anstieg der Muskelenzyme CK und LDH zu bewirken. Teilweise wurden mit einem am Ende forcierten Galopptempo stärkere Anstiege erreicht (Anderson 1975). Angepasst an das individuelle Leistungsvermögen absolvierten die Pferde in der eigenen Untersuchung deshalb unterschiedlich lange Strecken in den jeweiligen Tempi. Bei den Pferden 10, 11, 12, 15, 18 und 19 konnte aufgrund der individuellen Möglichkeiten der Ponys lediglich ein Trabtempo geritten werden, bevor sie in die Galoppphase übergingen. Sowohl Pferd 15 als auch Pferd 18 war im Galopp nicht zu einer Steigerung des Tempos zu ermuntern. Der Eintritt der Erschöpfung wurde bei vermehrter Triebigkeit vermutet. Die Laktatmessung bei Pferd 15 ergab 11,1 mmol/l bei Test Placebo und 12,2 mmol/l bei Test Bestrahlung, so dass von einer ausreichenden Belastung ausgegangen wurde und auf eine weitere Forcierung des Galopptempos verzichtet wurde. Bei Pferd 18 wurde trotz vergleichsweise langer (5740 m in ca. 20 Minuten, das entspricht ca. 280 m/min) Belastung lediglich ein Laktatwert von 1,9 (Test P) bzw. 2,4 (Test B) mmol/l erreicht. Ein Laktatwert in dieser Größenordnung entspricht auch Beobachtungen von Milne (1974). Bei Belastungstests über eine ähnliche Distanz wie sie Pferd 18 absolvierte wurden bei Geschwindigkeiten unter 350 m/min ebenfalls nur geringfügige Anstiege des Laktatwertes verzeichnet. Eine weitere Belastung von Pferd 18 war nicht möglich, da das Pferd deutliche Anzeichen für Erschöpfung (starkes Schwitzen und eine hochgradig erhöhte Atemfrequenz) aufwies.

Die 30 minütige Erholungsphase zwischen Belastung und Thermiumaufenthalt war notwendig, um eine Normalisierung der Puls- und Atemfrequenz zu garantieren. Für Sportler wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass vor dem Besuch einer Sauna nach körperlicher Anstrengung dem Kreislauf ausreichend Zeit zum Erholen gegeben werden soll. Als Vorschlag werden ca. 30 Minuten angegeben (Fritzsche und Fritzsche 2002). Um sicher zu gehen, dass die mögliche Wärmebehandlung im Thermium® keine ungewollte Kreislaufbelastung mit sich bringt, wurde diese Erholungszeit auch für die eigenen Untersuchungen eingeplant. Steininger (1982) wählte bei seinen Untersuchungen eine deutlich kürzere Erholungszeit vor der Anwendung einer Entmüdungsmaßnahme. Die in

## Diskussion

dieser Untersuchung behandelten Handballer wurden bereits fünf Minuten nach Belastungsende entweder einer Massage oder einem Entmüdungsbad mit einer Dauer von 15 Minuten und einer Wassertemperatur von 36 °C unterzogen. Im Nachhinein betrachtet und mit dem Wissen, dass es bei keinem der Pferde durch den Thermiumsaufenthalt zu einer merklichen Belastung des Kreislaufs gekommen ist, wäre wohl auch eine kürzere Erholungsphase vertretbar gewesen. Eine Erholungsphase von 15 Minuten, die ohnehin zum Absatteln und Aufsuchen des Thermiums nötig sein dürfte, sollte ausreichend sein.

Aufgrund der zu Beginn der eigenen Untersuchungen fehlenden Daten für die Spezies Pferd wurden hinsichtlich der Festlegung der Aufenthaltsdauer im Thermium® und der gewählten Temperatur die bisherigen Empfehlungen des Herstellers befolgt. Laut Herstellerangaben liegt die Strahlungsintensität im Thermium® zwischen 414 und 1140 W/m<sup>2</sup>. Dies liegt deutlich unter den Grenzwerten für die Bestrahlung wie sie von der ICNIRP (1997) angegeben werden (vgl. Kapitel 2.3.4.5.2).

Für die 30 Minuten zwischen den Messzeitpunkten 5 und 6 gab es für die Pferdebesitzer bzw. Reiter keine Vorschrift, wie mit dem Pferd zu verfahren war. Einige der Pferde verbrachten diese Zeit in ihrem Pferdehänger, andere wurden Strecken von ca. 1000 m geführt oder geritten oder wurden in ihre Box oder auf die Weide gebracht. Da bekannt ist, dass Bewegung bzw. ruhiges Stehen einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Laktatabbaus hat (Krzywanek 1974, Marlin et al. 1987, Pösö 2002), wurde darauf geachtet, in beiden Testdurchgängen jeweils gleich zu verfahren. Auch für den Zeitraum bis zur letzten Probennahme (36 Stunden nach Belastungsende) wurden die Besitzer gebeten die Pferde jeweils gleich zu bewegen. Einige Besitzer ritten die Pferde bis zur letzten Probenahme nicht, einige entschieden sich für ruhiges Reiten am Tag nach dem Belastungstest. Alle Reiter versicherten, die Pferde dabei nicht anzustrengen und nach beiden Tests den gleichen „Arbeitsumfang“ zu absolvieren.

### 4.1.4 Probenbehandlung und Messmethoden

Sowohl die Blutprobengewinnung als auch Lagerung und Versand entsprachen dem üblichen Vorgehen. Daher war nicht mit einer ungünstigen Beeinflussung der Ergebnisse aufgrund von Gewinnung, Lagerung oder Versand zu rechnen. Im Labor wurden die Analysen von geschultem Laborpersonal unter standardisierten Bedingungen durchgeführt, eine Diskussion der Analysemethoden erübrigt sich somit. Auch für die Ermittlung von Serum Amyloid A (SAA) und Haptoglobin (Hp) aus eingefrorenen Serumproben bestand ein an der Justus-Liebig-Universität Gießen etabliertes Verfahren (Miller 2006).

## Diskussion

Die Messung der Laktatwerte in den eigenen Untersuchungen erfolgte mit dem Gerät Akkusport® der Firma Boehringer (Mannheim) und den zugehörigen Teststreifen BM Lactate der Firma Roche unmittelbar nach der Blutentnahme. Dadurch konnte eine Beeinflussung der Messwerte wie sie durch Lagerung, Transport oder Kühlung entsteht (Lindner 1994), ausgeschlossen werden.

Unsicherheitsfaktoren bei der Direktmessung mit dem Akkusport® sind Außentemperatur und Hämatokritwert. Das Gerät wurde für die eigenen Messungen im Temperaturbereich von 15 °C bis 35 °C gehalten. Ansonsten hätte es laut Herstellerangaben bei Werten über 8 mmol/l zu Fehlmessungen kommen können. Nach Angaben des Herstellers wurde die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Akkusport-Gerätes mit Hilfe eines Referenzverfahrens (Monotest „Lact“, Fa. Boehringer, Mannheim) überprüft. Dabei lagen bei Laktatwerten bis zu 10 mmol/l fast alle Werte innerhalb des 10% Toleranzbereiches, wobei die abweichenden Werte meist niedriger waren als die Kontrollwerte. Hohe Hämatokritwerte führten allerdings zu Messungenauigkeiten. Ab Hämatokritwerten von 0,53 l/l, wie sie zum Teil nach der Belastungsphase auftraten, ist mit falsch-hohen Werten (um bis zu 5 mmol/l) zu rechnen.

Tabelle 7 zeigt die Laktatwerte direkt nach Belastung (t2) von denjenigen Pferden, bei denen der Hämatokrit in mindestens einem Test größer gleich 0,53 l/l war. Die Werte in Klammern sind Laktatwerte, bei denen der Hämatokrit unter 0,53 l/l lag.

Tab. 7: Laktatwerte (mmol/l) unmittelbar nach Belastung (t2) von den Pferden, die mindestens in einem Test einen Hämatokritwert  $\geq 0,53$  l/l aufwiesen

Pferd	Test B	Test P
1	7,6	3,8
2	4,0	4,8
4	8,6	6,9
7	(5,1)	6,5
8	5,0	5,8
11	5,6	9,6
13	(3,7)	4,7
14	(4,7)	3,3
15	12,2	(11,1)
16	6,2	4,5
20	2,4	2,4

In Klammern () stehen Messwerte mit einem Hämatokrit  $< 0,53$  l/l

## Diskussion

Bei den Pferden 7, 13, 14 und 15 wurde in der Tat ein höherer Laktatwert nur in dem einen Testdurchgang beobachtet, bei dem sie einen Hämatokrit größer gleich 0,53 l/l aufwiesen. Der Unterschied betrug jedoch maximal 1,4 mmol/l (Pferd 7 und 14) und fiel damit niedriger aus als bei vielen Pferden, die in beiden Tests hohe Hämatokritwerte aufwiesen. Von einer Verfälschung der Messergebnisse durch den hohen Hämatokrit wurde daher nicht ausgegangen. Bei den weiteren aufgelisteten Pferden war der Hämatokrit in beiden Durchgängen höher als 0,53 l/l, so dass beide Male intraindividuell vergleichbare Messbedingungen herrschten.

## **4.2 Diskussion der Ergebnisse**

Da eine starke körperliche Belastung die Grundvoraussetzung für die anschließenden Untersuchungen darstellte soll im Folgenden zuerst der Einfluss der Belastung auf die untersuchten Parameter betrachtet werden. Dafür wurde die Entwicklung der Parameter zu den Zeitpunkten 1 bis 3 berücksichtigt. Im zweiten Teil dieses Kapitels wird dann auf die Auswirkungen der folgenden Bestrahlung bzw. Placebobehandlung auf diese Parameter eingegangen. Dies erfasst die Zeitpunkte 3 bis 9.

### 4.2.1 Einfluss der körperlichen Belastung auf die klinischen Parameter

#### 4.2.1.1 Körperinnentemperatur

Da der Wirkungsgrad der körperlichen Arbeit bei nur 20 % liegt, und der Großteil der restlichen Energie in Form von Wärme frei wird (Jessen 2000) erklärt sich die statistisch hoch signifikante Erhöhung der Körperinnentemperatur während der Belastungsphase. Zusätzlich ist der Temperaturanstieg um durchschnittlich 1°C ein Indikator dafür, dass der Belastungstest durchaus eine körperliche Beanspruchung darstellte, auch wenn bei Rennpferden nach Maximalbelastungen wesentlich höhere Anstiege (um bis zu 4°C) möglich sind (Jessen 2000). Die Tatsache, dass zwischen den beiden Belastungstests keine statistisch signifikanten Unterschiede festzustellen waren weist nach, dass die Belastungsintensität als identisch angesehen werden kann.

#### 4.2.1.2 Herz- und Atemfrequenz

Als weitere objektive Parameter dienten Herz-(P) und Atemfrequenz (A). Der hoch signifikante Zeiteffekt bei der Auswertung der Ergebnisse zu den Zeitpunkten 1 bis 3 liegt in der körperlichen Beanspruchung durch die Belastungsphase begründet. Die am Belastungsende gemessenen Herzfrequenzen lagen bei den meisten Pferden zwischen 170 und 200 Schlägen pro Minuten. Da es sich bei den Probanden nicht um austrainierte Hochleistungspferde handelte, sprechen diese Werte für eine deutliche körperliche Belastung. In Extremsituationen, wie zum Beispiel bei Rennpferden in der Rennsituation, können Werte von bis zu 240 Schlägen pro Minute erreicht werden (Krzywanek 1999).

Die Tatsache, dass bei beiden Parametern (Herz- und Atemfrequenz) keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Test P und B vorlagen zeigt, dass vor der eigentlichen Behandlung eine vergleichbare Belastung gelang.

### 4.2.1.3 Schweißproduktion

Aufgrund der durch die Muskelarbeit anfallenden Wärme (vgl. Kapitel 4.2.1.1) nutzt der Körper das Schwitzen um die Wärmeabgabe zu forcieren. Erwartungsgemäß begannen die Probanden im Laufe des Belastungstest zu schwitzen. Diese erhöhte Schweißbildung zeigte sich bei der statistischen Auswertung des Parameters als signifikanter Zeiteffekt. Die Tatsache, dass zwischen den beiden Tests B und P keine statistisch signifikante Inhomogenität vorlag bestätigt, dass die Schweißproduktion vergleichbar war.

*Zusammenfassend kann man sagen, dass die Beurteilung der erhobenen klinischen Parameter zeigt, dass der gewählte Arbeitsumfang eine deutliche körperliche Beanspruchung darstellte. Außerdem belegen die Daten, dass die Belastungsintensität vor Bestrahlung bzw. Placebo-Behandlung annähernd identisch war.*

### 4.2.2 Einfluss der Bestrahlung (Test B) versus Placebo (Test P) auf die klinischen Parameter

Unter Behandlung ist entweder der 30 minütige Aufenthalt im Thermium® mit der Infrarot-C-Bestrahlung (Test B) oder der entsprechend lange Aufenthalt im Thermium® ohne Bestrahlung zu verstehen, der als Placebo-Behandlung oder Test P bezeichnet wird.

#### 4.2.2.1 Körperinnentemperatur

Vermutlich durch die vom Thermium® abgestrahlte langwellige Infrarotstrahlung bei Test B bedingt kam es zu einem Wärmeeintrag, so dass die Körperinnentemperatur in Test Bestrahlung zu den Zeitpunkten 4 und 5 (10 bzw. 30 Minuten nach Betreten des Thermiums®) statistisch schwach signifikant höher lag, als in Test Placebo (s. Abb. 2). Es wurde davon ausgegangen, dass aufgrund des Öffnens der Türen im mobilen Thermium® eine der Außentemperatur ähnliche Temperatur im Kabineninneren herrscht. Besser wäre es gewesen, neben der Außentemperatur auch die Lufttemperatur im Kabineninneren zu messen. Terada et al. (1986) untersuchten in vivo die Eindringtiefe von IR-Strahlung. Für ihre Messungen benutzten die Autoren besondere Spektrophotometer und wandten zur Auswertung ein spezielles, bei Ishimaru (1975) näher beschriebenes Verfahren an. Dieses Verfahren scheint sehr komplex und schwer nachvollziehbar. Sie kamen zum Ergebnis, dass langwellige Infrarotstrahlung (Infrarot-C-Strahlung) größtenteils in der Epidermis absorbiert wird. Die Erwärmung des Körperkerns durch die Infrarot-C-Strahlung, die selbst definitiv nicht bis tief in den Körper eindringen kann (Richter und Schmidt 2002), erklärt sich wie folgt: Unabhängig von der Tiefe, in der die Infrarot-C-Strahlung in der Haut absorbiert wird,

## Diskussion

kommt es dort zur Erwärmung. Um einer Überwärmung dieser Hautschicht entgegenzuwirken wird das Thermoregulationssystem aktiviert. Sehr interessante Erkenntnisse über die Effektivität des Thermoregulationssystems haben Seichert et al. (1987) aus Versuchen an Schweinen gewonnen. Bei gleicher Bestrahlungsintensität erwärmte sich totes Gewebe um 3 °C bis 8 °C stärker als durchblutetes Gewebe. Folglich muss die Wärme mit dem Blut aus dem Gewebe abtransportiert worden sein. Es ist davon auszugehen, dass beim Pferd - ebenso wie bei anderen Spezies - die Wärme ausgehend von der erwärmten Haut mit dem Blutstrom Richtung Körperkern transportiert wird. Die höhere Körpertemperatur der bestrahlten Probanden in der eigenen Untersuchung kann als indirekter Nachweis dafür gewertet werden, dass die Infrarot-C-Strahlung während der Bestrahlung im Thermium® in der Haut absorbiert wird.

### 4.2.2.2 Herz- und Atemfrequenz

Zur Überprüfung des Behandlungseffektes wurden die Ergebnisse der Messungen zu den Zeitpunkten 3 bis 6 und 9 herangezogen. Die statistisch nicht signifikanten Abweichungen (s. Abb. 3 und Abb. 4) in den Parametern Herz- und Atemfrequenz zwischen Test B und Test P lassen einen Einfluss der Bestrahlung auf das Herz-Kreislaufsystem unwahrscheinlich erscheinen. Laut Wissen der Autorin gibt es bislang keine wissenschaftlichen Untersuchungen, in denen Herz- oder Atemfrequenz während der Behandlung mit Infrarotstrahlung beim Pferd aufgezeichnet und ausgewertet wurden.

Die Tatsache, dass die Herzfrequenz zu den Zeitpunkten 4 und 5 im Test B trotz der höheren Körpertemperatur im Mittel um 3 bzw. 5 Schläge pro Minute niedriger lag als im Test P ist ein Hinweis dafür, dass die Bestrahlung jedenfalls nicht zu einer Kreislaufbelastung führt und eventuell einen „entspannenden“ Effekt besitzt.

Die Tatsache, dass die Herz- und Atemfrequenz zu den Zeitpunkten 4 und 5 in beiden Testdurchläufen insgesamt noch über den durchschnittlichen Ruhewerten (Zeitpunkt 1 und 9) lagen, könnte auf den ungewohnten Aufenthalt im Thermium®, das Handling und die vorausgegangene Belastungsphase zurückzuführen sein.

### 4.2.2.3 Verhalten

Die direkte Beurteilung des Verhaltens beruhte auf dem subjektiven Eindruck der Untersuchenden. Die Einstufung wurde immer von der Autorin vorgenommen, so dass miteinander vergleichbare Bewertungen vorlagen. Die Auswertung des Parameters Verhalten von der Erholungs- bis zur Nachbeobachtungsphase ergab einen statistisch signifikanten Zeiteffekt. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Pferde, wenn sie in ihrer Box oder auf der Weide standen, ruhiger waren als zu den Messzeitpunkten, zu denen sie gehandelt wurden. Die Tatsache, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Test P und B während des Thermiumaufenthalts besteht legt nahe, dass die Einwirkung der Infrarotstrahlung im Thermium® keinen zusätzlichen Stressfaktor darstellte. Da die Pferde auch ohne Bestrahlung im Thermium® ruhig standen ist dieser Parameter leider nicht geeignet, um den von Menschen subjektiv geschilderten Effekt der „Entspannung“ unter der IR-C-Bestrahlung erfassen zu können (Richter und Schmidt 2002).

### 4.2.2.4 Schweißproduktion

Da die Probanden während des Aufenthalts im Thermium® weder in Test P noch in Test B wieder zu schwitzen begannen und somit offensichtlich kein Unterschied zwischen den beiden Tests bestand wurde auf eine statistische Auswertung dieses Parameters verzichtet. Obgleich die Körperkerntemperatur in Test B schwach signifikant höher lag als in Test P kam es nicht zu wahrnehmbarer Schweißproduktion während der Bestrahlung. Dies wäre aus zweierlei Gründen unerwünscht. Erstens wäre die Schweißproduktion energieaufwändig und somit müsste eine Belastung des Kreislaufs in Kauf genommen werden. Zweitens könnte der Schweiß das weitere Eindringen der langwelligen Infrarotstrahlung behindern (Wieliczka et al. 1989).

*Zusammenfassend zeigt die Auswertung der klinischen Parameter Atemfrequenz, Herzfrequenz und Verhalten, dass die Bestrahlung mit langwelliger Infrarot-C-Strahlung im Vergleich zum Aufenthalt im abgeschalteten Thermium® keine nennenswerte physische oder psychische Belastung darstellte. Zudem zeigt der Anstieg der Körperinnentemperatur, dass es zu einem Wärmeeintrag durch die Bestrahlung kam. Dies legt nahe, dass die langwellige Infrarot-C-Strahlung auch beim Pferd in der Lage ist, in die Haut einzudringen.*

#### 4.2.3 Einfluss der körperlichen Belastung auf die labordiagnostischen Parameter

##### 4.2.3.1 Leukozyten

Alle Ruhewerte lagen im Referenzbereich ( $5-10 \cdot 10^9/l$ ), so dass in Verbindung mit den Ergebnissen der klinischen Untersuchung davon ausgegangen werden konnte, dass sich alle Probanden in einwandfreiem Gesundheitszustand befanden. Damit ist eine durch unerkannte pathologische Vorgänge verursachte Beeinflussung der Messwerte sehr unwahrscheinlich. Der Anstieg der absoluten Leukozytenzahl von Zeitpunkt 1 zu 3 war während beider Tests zu beobachten und lag durchschnittlich jeweils knapp unter  $1 \cdot 10^9/l$ . Lediglich Pferd 8 und 9 wiesen zum Zeitpunkt 3 einen Wert auf, der geringfügig (maximal  $10,7 \cdot 10^9/l$ ) über dem oberen Referenzwert ( $10,0 \cdot 10^9/l$ ) lag. Eine mögliche Erklärung ist das unter dem Begriff Arbeitsleukozytose bekannte Phänomen des belastungsbedingten Anstiegs der Leukozytenzahl (Krzywanek 1999). Eine beginnende Infektion kann ausgeschlossen werden, da bereits zum Zeitpunkt 9 die Leukozytenzahl bei beiden Pferden wieder im Referenzbereich lag und keine weiteren Anzeichen, wie zum Beispiel ein Anstieg der Körperinnentemperatur oder gestörtes Allgemeinbefinden, vorlagen.

##### 4.2.3.2 Hämatokrit

Die Abhängigkeit des Hämatokritwertes vom zeitlichen Verlauf war zu erwarten, da es nicht ungewöhnlich ist, dass körperliche Belastung zu einem Anstieg des Hämatokritwertes führt (Melfsen-Jessen 1999). Die Höhe des Anstiegs ist abhängig von Rasse, Belastungsdauer und -intensität. Bei trainierten Sportpferden können Werte von bis zu 0,61 l/l erreicht werden (Melfsen-Jessen 1999). Ursächlich für diesen Anstieg sind sowohl die Flüssigkeitsverluste durch das Schwitzen, als auch die vermehrte Freisetzung von in der Milz gespeicherten Erythrozyten (v. Engelhardt 2000). Die in dieser Untersuchung aufgetretenen Anstiege auf durchschnittlich etwas mehr als 0,50 l/l entsprachen dem Niveau der Belastung. Zwischen den beiden Tests bestanden keine nennenswerten Unterschiede im Verlauf des Hämatokrits.

*Wie die klinischen Parameter belegen auch absolute Leukozytenzahl und der Hämatokrit, dass die Belastungsintensität in beiden Tests erheblich und vergleichbar war.*

### 4.2.3.3 Laktat

Da es sich beim Laktat um einen etablierten Parameter handelt, über dessen Kinetik bei Belastung viel bekannt ist erschien es sowohl zur Einschätzung des Ausmaßes der Belastung, als auch als Parameter zur Beurteilung der Regeneration insbesondere innerhalb der ersten Stunde nach Belastung geeignet.

Laktat entsteht als Intermediärprodukt der anaeroben Glykolyse bei körperlicher Belastung in den Muskelzellen und dort vor allem in den Typ II-B-Fasern. Es wird per Diffusion und den sogenannten Monocarboxylattransportern aus den Muskelzellen ins Blut transportiert. Im Rahmen des Cori-Zyklus wird Laktat in der Leber zu Glukose verstoffwechselt. Die so gewonnene Glukose gelangt in der Erholungsphase auf dem Blutweg in die Muskulatur zurück und kann dort als Glykogen gespeichert werden. Zu einer Laktatakkumulation kommt es erst, wenn die „Laktatproduktion“ den Laktatabbau überschreitet (Lehninger et al. 2005, Pösö 2002).

Lindner et al. (1992) stellten bei Untersuchungen an Rennpferden fest, dass moderate Belastung (Geschwindigkeit < 11m/s, Belastungsdauer > 180 s) zu einer durchschnittlichen Erhöhung der Laktatwerte auf ca. 4,5 mmol/l führt. Das Maximum wurde dabei direkt nach Belastung erreicht und die Rückkehr zu den Ruhewerten erfolgte innerhalb von 60 Minuten. Da es sich bei den für die eigene Studie verwendeten Probanden nicht um austrainierte Leistungspferde handelte können die oben genannten Werte lediglich als Orientierung gesehen werden. In der vorliegenden Untersuchung lagen die Geschwindigkeiten der meisten Probanden unter 11 m/s, die Belastungsdauer variierte interindividuell stark und lag zwischen 49 und 1235 s. Dabei erreichten die Probanden unmittelbar nach Belastung einen durchschnittlichen Laktatwert von 5,0 mmol/l bzw. 5,4 mmol/l (Test P bzw. Test B). Dies entspricht ungefähr den Beobachtungen von Lindner et al. (1992). Auch das Absinken bis auf das Ruhenniveau erfolgte in der eigenen Untersuchung in einem vergleichbaren Zeitraum wie bei den Untersuchungen von Lindner et al. (1992). Bereits zum Zeitpunkt 3 (25 Minuten nach Belastungsende) war ein deutliches Absinken des Laktatwertes im Vergleich zum Zeitpunkt 2 (unmittelbar nach Belastung) zu beobachten. Der zum Zeitpunkt 3 gemessene durchschnittliche Laktatwert lag nur noch knapp 1 mmol/l über dem Ruhewert (s. Abb. 7). Dieser Verlauf zeigt sich als statistisch signifikanter Zeiteffekt. Das bedeutet, dass die Belastungsintensität ausgereicht hat um eine statistisch signifikante Veränderung des Laktatwertes zu erzielen. Die Auswertung ergab keinerlei weitere Abhängigkeiten der Werte von den anderen überprüften Parametern (Gruppe und Behandlung). Dies war zu erwarten, da bereits vor Einsetzen der Bestrahlung bzw. des Placebo-Aufenthalts im Thermium® die

## Diskussion

Laktatwerte fast in den Ruhewertbereich zurückgekehrt waren. Somit erwies sich das Laktat zwar als geeigneter Parameter um nachzuweisen, dass durch die Belastung die anaerobe Glykolyse erforderlich wurde. Aufgrund des raschen Abbaus war dieser Parameter aber nicht geeignet um Effekte der Regeneration messen zu können.

### 4.2.3.4 Kreatin-Kinase

Die Kreatin-Kinase (CK) erschien für die Beurteilung der Regeneration der Muskulatur nach Belastung geeignet, da es sich um ein muskelspezifisches Enzym handelt (Rueca et al. 1999, Glitz 2000, Kraft und Dürr 2005) über dessen Kinetik gesicherte Erkenntnisse vorliegen. Körperliche Belastung führt auch bei muskelgesunden Pferden zur Freisetzung des zellulären Enzyms CK ins Blut (Keenan 1979, Rose et al. 1983, Freestone et al. 1989, Ober 2000). Dies wird auf eine Veränderung der Permeabilität der Zellen zurückgeführt (Anderson 1975 und 1976, Coffman 1982, Freestone et al. 1989, Hatzipanagiotou et al. 1991, Rueca et al. 1999). Anstiege nach Belastung erreichen ihr Maximum vier bis sechs Stunden nach Belastungsende und normalisieren sich meist innerhalb von 24 Stunden wieder (Anderson 1975, Harris et al 1998, Glitz 2000, Ober 2000, Hinchcliff 2004, Kraft und Dürr 2005). Die Halbwertszeit der CK wurde von Toutain et al. (1995) mit  $1,87 \pm 0,3$  Stunden angegeben. In der eigenen Untersuchung stieg die CK im Mittel in Test B vom Ruhewert  $283 \pm 69$  U/l auf den Maximalwert von  $332 \pm 93$  U/l an, der 90 Minuten nach Belastungsende erreicht wurde. In Test P kam es in der selben Zeitspanne zu einem ähnlichen Anstieg von  $272 \pm 69$  U/l auf  $339 \pm 62$  U/l.

Für die CK wurde ein statistisch signifikanter Zeiteffekt für den Zeitraum bis zum Betreten des Thermiums® nachgewiesen. Das bedeutet, dass die gewählte Belastung ausreichend war, um einen Anstieg der CK zu bewirken. Dass bereits zum Zeitpunkt 3 (30 Minuten nach Belastungsende) ein recht deutlicher Anstieg zu messen war und das Maximum schon zum Zeitpunkt 6 (90 Minuten nach Belastungsende) auftrat war auffällig (s. Abb. 11). Gerechnet wurde mit dem Erreichen des Maximalwertes 4 bis 6 Stunden nach Belastungsende, also erst zum Zeitpunkt 7. Zusätzlich zeigte die Homogenitätsprüfung, dass es gelungen ist durch die Belastungsphase in Test B und P jeweils eine vergleichbare Erhöhung zu erzielen. Somit wurden die Anforderungen, die an den Belastungstest gestellt waren, erfüllt.

### 4.2.3.5 Laktatdehydrogenase

Die Tatsache, dass in den eigenen Untersuchungen alle gemessenen Laktatdehydrogenase (LDH)-Werte im Referenzbereich lagen ist dadurch zu erklären, dass gesunde Pferde ohne Probleme im Muskelstoffwechsel für die Tests herangezogen wurden. Bei diesen ist erst nach fortgesetzter Arbeit im anaeroben Bereich mit einem deutlichen Anstieg des LDH-Wertes über den Referenzbereich hinaus zu rechnen (Coffman 1982, Melfsen-Jessen 1999). Der in der eigenen Untersuchung erhaltene Verlauf der LDH-Werte entsprach teilweise den Beobachtungen von Anderson (1975). Wie bei dieser Autorin war auch in der eigenen Untersuchung ein Anstieg der LDH-Werte bereits kurz (hier 30 min) nach Belastungsende messbar. Anders als bei Anderson (1975) wurden in der eigenen Untersuchung die Maximalwerte bereits 90 Minuten nach Belastungsende und nicht erst 24 Stunden nach Belastungsende ermittelt. Auch fielen die Anstiege in der eigenen Untersuchung insgesamt niedriger aus. Obgleich alle LDH-Messwerte in den eigenen Untersuchungen im Referenzbereich blieben, ließ sich ein statistisch signifikanter Anstieg, der durch die Belastung verursacht wurde, nachweisen (vgl. Abb. 8).

### 4.2.3.6 Amino-Aspartat-Transferase

Bei der Amino-Aspartat-Transferase (AST) handelt es sich zwar nicht um ein muskelspezifisches Enzym, in Verbindung mit der Auswertung der CK ist sie allerdings zur Beurteilung des Zustandes der Muskulatur geeignet (Ober 2000, Kraft und Dürr 2005). Nach körperlicher Beanspruchung kommt es im Vergleich zur CK zu einem verzögerten Anstieg. Maximalwerte werden nach 24 bis 48 Stunden erreicht (Coffman 1982, Hinchcliff 2004, Kraft und Dürr 2005). Glitz (1997) ermittelte eine Halbwertszeit von 58,3 Stunden. Bis zum Wiedererreichen des Ruhewertes können bis zu 7 Tage vergehen (Gerber 1965). Dieser recht lange Zeitraum war maßgeblich für die Forderung, dass zwischen den beiden Tests der eigenen Studie mindestens eine Woche liegen sollte. Die Homogenitätsprüfung für den Zeitraum vom Untersuchungsbeginn bis zur Bestrahlung bzw. dem Placebo-Durchgang ergab einen durch die Belastung hervorgerufenen signifikanten Zeiteffekt. Dies zeigte, dass die Belastungsintensität in der Belastungsphase bereits hoch genug war um die AST ansteigen zu lassen und somit eine deutliche körperliche Beanspruchung darstellte.

4.2.3.7 Gesamteiweiß

Als Ursache für den Anstieg des Gesamtproteins in der eigenen Untersuchung ist die Abnahme des Plasmavolumens anzusehen. Dies ist bedingt durch Flüssigkeitsverluste über die Atmung und vor allem die Schweißsekretion sowie Verschiebungen der Flüssigkeit vom intravasalen in den interstitiellen und intrazellulären Raum. Diese Verschiebungen treten aufgrund der Anhäufung von osmotisch wirksamen Bestandteilen, wie zum Beispiel Laktat, in den Zellen auf (Snow und Mackenzie 1977, Snow et al. 1983). Das Gesamteiweiß (GE) stieg ausgehend vom Ruhewert bis unmittelbar nach Belastung um durchschnittlich 8,0 g/l in Test B bzw. 8,1 g/l in Test P an. Dieser Anstieg blieb hinter Beobachtungen von Keenan (1979) zurück. Er ermittelte bei Vollblütern nach einem Rennen über 1100 Meter einen durchschnittlichen Anstieg von 12 g/l. Diese im Hochleistungssport eingesetzten und bis zur Belastungsgrenze geforderten Pferde wiesen folglich nochmals höhere Werte auf. Gleichwohl zeigt der statistisch hoch signifikante Anstieg des GE in den eigenen Untersuchungen, dass die hier verwendeten Pferde durchaus stark gefordert wurden. Dabei war auch beim GE kein Unterschied vor der Bestrahlung bzw. der Placebo-Behandlung feststellbar.

*Somit zeigten die Parameter Laktat, CK, LDH, AST und Gesamteiweiß statistisch signifikante belastungsbedingte Anstiege. Diese unterschieden sich vor Bestrahlung bzw. Placeboaufenthalt im Thermium® nicht. Damit waren die Voraussetzungen geschaffen, um überprüfen zu können ob die Infrarotbestrahlung im Vergleich zur Placebo-Behandlung einen beschleunigenden Effekt auf den Rückgang dieser Parameter in ihren Ruhewert-Bereich hat.*

4.2.4 Einfluss der Bestrahlung (B) versus Placebo (P) auf die labordiagnostischen Parameter

Laut Kenntnis der Autorin gibt es keine wissenschaftlichen Untersuchungen beim Pferd über den Einfluss von langwelliger Infrarotstrahlung auf den Verlauf der im Folgenden beschriebenen Parameter.

4.2.4.1 Leukozyten

Da in der Humanmedizin immer wieder von Immunstimulation durch Wärmebehandlungen, wie zum Beispiel Saunaaufenthalte, berichtet wird sollte auch die Beurteilung des Verlaufs der absoluten Leukozytenzahl Beachtung finden (Brenke et al. 1985). In der vorliegenden Untersuchung konnte kein statistisch signifikanter Unterschied im Verlauf der Leukozytenzahl zwischen den beiden Tests B und P festgestellt werden. Die einmalige Anwendung langwelliger Infrarotstrahlung hatte somit keinen Einfluss auf die Leukozytenzahl bei den Probanden. Ob bzw. inwiefern sich eventuelle Aktivitätsänderungen der weißen Blutkörperchen durch Infrarotbestrahlung ergeben bleibt zukünftigen Untersuchungen vorbehalten.

4.2.4.2 Hämatokrit

In den eigenen Untersuchungen lag der Hämatokrit vor Behandlungsbeginn durchschnittlich etwas über dem Ruhewert und erreichte erst 36 Stunden nach Belastungsende wieder das Ausgangsniveau. Statistisch war keine Abhängigkeit des Verlaufes von der Art der Behandlung nachzuweisen. Daher ist davon auszugehen, dass die Infrarotbestrahlung im Thermium® keinen Einfluss auf den Hämatokritabfall nahm.

*Weder die Leukozytenzahl noch der Hämatokritwert wurden beim Pferd durch die 30 minütige Anwendung der langwelligigen Infrarotstrahlung beeinflusst.*

### 4.2.4.3 Laktat

Bereits bevor die Pferde der Bestrahlung bzw. der Placebo-Behandlung unterzogen wurden, war der durchschnittliche Laktatwert bereits fast wieder auf das Ruhenniveau abgesunken. Der Abfall dieses Wertes war also bereits vor Betreten des Thermium® nahezu abgeschlossen. Daher konnte der Einfluss der Bestrahlung auf den Verlauf des Laktatwertes nur bedingt beurteilt werden. Um sicherere Aussagen machen zu können müssten die Pferde möglichst direkt nach einer Belastung ins Thermium® verbracht werden. In den eigenen Untersuchungen wurde eine Erholungszeit von 30 Minuten bis zum Verladen ins Thermium® eingehalten, um eine potentielle zusätzliche Belastung des Kreislaufsystems durch die Bestrahlung in der Erholungsphase zu vermeiden. Mit dem Wissen aus der vorliegenden Untersuchung, dass es durch die Bestrahlung im Thermium® unter den gewählten Bedingungen zu keiner nennenswerten physischen Belastung kam ist das frühere Verbringen ins Thermium® durchaus vertretbar.

Eine andere Möglichkeit wäre, die Belastungsphase umzugestalten. Harris et al. (1991) stellten fest, dass Vollblüter, die bei Geschwindigkeiten von mindestens 11 m/s gelaufen sind, auch 40 Minuten nach Belastungsende noch deutlich erhöhte Laktatwerte ( $> 5\text{mmol/l}$ ) aufwiesen. Für eine solche Untersuchung kommt allerdings die Verwendung von „Nicht-Hochleistungspferden“ wie sie in der vorliegenden Untersuchung belastet wurden nicht in Frage, da weder den Pferden noch den Besitzern und Reitern solche Leistungen abverlangt werden können.

4.2.4.4 Kreatin-Kinase

Die in Abb. 11 ersichtliche Tendenz, dass durch die Bestrahlung eine beschleunigter Abbau der CK erreicht werden kann, konnte statistisch nicht ( $p = 0,63$ ) nachgewiesen werden. Grund dafür dürften die individuell doch recht stark variierenden CK-Werte sein.

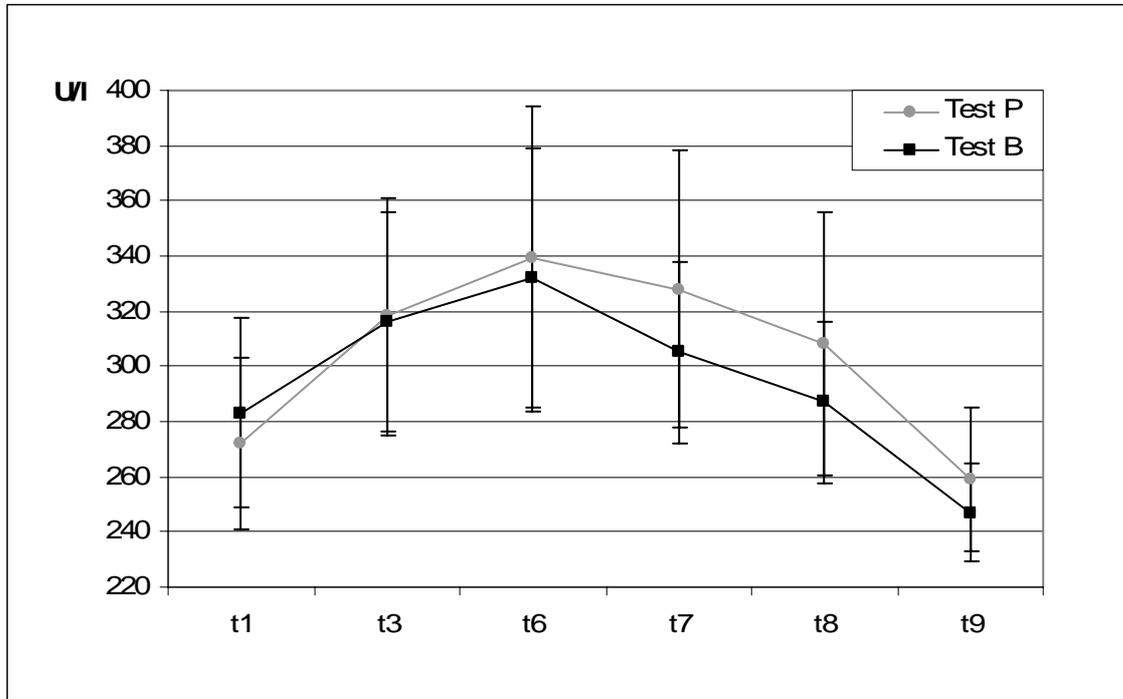


Abbildung 11: Verlauf der mittleren CK-Werte  $\pm$  Standardabweichung (n=18)

- t1 = vor dem Belastungstest
- t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®
- t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®
- t7 = 6 Stunden nach Belastungsende
- t8 = 12 Stunden nach Belastungsende
- t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

Ein Ansatz um die hohen individuellen Unterschiede der CK-Werte der Probanden zu vermeiden wäre es die Gruppe der Probanden einheitlicher zu gestalten. Man könnte zum Beispiel nur Stuten verwenden. Harris et al. (1990) beobachteten bei ihren Untersuchungen an 2- und 3-jährigen Vollblütern, dass die Stuten durchschnittlich höhere CK-Werte aufwiesen, als die Hengste. In der eigenen Untersuchung lag der durchschnittliche Ruhewert der Stuten bei 300 U/l wohingegen der durchschnittliche Ruhewert der Wallache (inkl. eines Hengstes) bei 259 U/l lag. Beide Geschlechter erreichten den durchschnittlichen Maximalwert zum Zeitpunkt 6 (90 Minuten nach Belastungsende). Bei den Stuten lag der Durchschnittswert zum Zeitpunkt 6 bei 364 U/l, bei den Wallachen lediglich bei 317 U/l. Der Anstieg war zwar

## Diskussion

vergleichbar (Stuten um 64 U/l, Wallache um 58 U/l), aber aufgrund der unterschiedlichen Ausgangswerte unterschieden sich die Werte trotzdem deutlich.

Weitere Ansätze um die Streuung der Werte geringer zu halten wären eventuell die Verwendung von Probanden einheitlicher Rasse und einheitlicheren Alters. Zur weiteren Standardisierung der Belastung könnte auch ein Laufband zum Einsatz kommen.

Vergleicht man den Verlauf der CK-Werte der Pferde mit hellem Fell und der Pferde mit dunklem Haarkleid zeigte sich in Test P bei den Pferden mit hellem Äußeren von Zeitpunkt 6 nach 7 (1,5 bzw. 6 Stunden nach Belastungsende) ein Abfall um 37 U/l. Bei Pferden mit dunklem Fell sank der CK-Wert im diesem Zeitraum in Test P lediglich um 13 U/l. Unter Umständen hatte also auch die Fellfarbe einen Einfluss auf die Wirkung der Infrarot-C-Strahlung. Dies könnte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Die gewählten Probenahmezeitpunkte (Ruhewert; 30, 60, 90 Minuten sowie 6, 12, 24 und 36 Stunden nach Belastung) erscheinen zur Beurteilung des Verlaufs der CK brauchbar. Eine zusätzliche Probenentnahme 3 bis 4 Stunden nach Belastungsende könnte eine noch genauere Beurteilung des Abfalls der CK erlauben.

### 4.2.4.5 Laktatdehydrogenase

Waren in den eigenen Untersuchungen die LDH-Ruhewerte bereits 36 Stunden nach Belastung wieder erreicht, so maß Anderson (1975) auch 72 Stunden nach Belastungsende noch erhöhte Werte. Der Unterschied könnte darin begründet liegen, dass die Belastungsintensität in der eigenen Untersuchung geringer war und somit der Anstieg der LDH nicht so hoch ausfiel. Anderson (1975) ermittelte Anstiege von bis zu 72,5 % im Vergleich zum Ruhewert. In der eigenen Untersuchung fiel der durchschnittliche Anstieg mit 12,1 % deutlich geringer aus. Damit war bei den Pferden in der eigenen Untersuchung weniger überschüssige LDH abzubauen. Die Halbwertszeit der LDH beträgt 7,5 Stunden (Glitz 2000). Die durchschnittlichen LDH-Werte in der eigenen Untersuchung lagen, unabhängig davon ob die Bestrahlung vorgenommen wurde oder die Placebo-Behandlung, 36 Stunden nach Belastung wieder im Bereich der Ruhewerte. Dass sich keine statistisch signifikanten Unterschiede im Verlauf der LDH-Werte von Test P und Test B ergeben haben könnte an dem insgesamt eher geringen Ausmaß des Anstieges der LDH liegen. Einen noch höheren Anstieg der LDH durch körperliche Belastung zu provozieren dürfte schwierig werden, bzw. den Probanden gegenüber nicht zu verantworten sein. Um eine niedrigere Standardabweichung zu erhalten könnten, wie auch für die CK vorgeschlagen, nur Tiere eines Geschlechtes ausgewählt werden. Während sich die LDH-Werte der Stuten zwischen

## Diskussion

durchschnittlich 430 U/l (Ruhewert) und 486 U/l (1,5 Stunden nach Belastung) bewegten, lagen die Werte der Wallache zu den selben Zeitpunkten mit 403 U/L bzw. 449 U/l deutlich niedriger.

### 4.2.4.6 Amino-Aspartat-Transferase

Der Verlauf der Werte inklusive Standardabweichung ist in Abbildung 12 dargestellt. Prinzipiell ist zu bemerken, dass der Anstieg insgesamt recht gering ausgefallen ist und keine klinisch relevante Erhöhung darstellte. Eine Erklärung dafür ist, dass die AST in den Mitochondrien vorkommt und eine Freisetzung erst bei stärkerer Schädigung der Muskelzellen stattfindet (Coffmann 1982), wie sie durch die in der eigenen Untersuchung stattgefundenen körperliche Belastung kaum entstand. Keiner der Messwerte lag über dem oberen vom Labor angegebenen Referenzwert (712 U/l). Ähnliche Beobachtungen machte auch Anderson (1975) bei Belastungstests mit Hüntern und Vollblütern. Zusätzlich erreichte der Anstieg in der eigenen Untersuchung durchschnittlich bereits zum Zeitpunkt 3 (30 Minuten nach Belastungsende) sein Maximum. Dies entspricht nicht dem von anderen Autoren beobachteten Verlauf. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass Maximalwerte 24 bis 48 Stunden nach vorausgegangener körperlicher Belastung erreicht werden (Hinchcliff 2004, Kraft 2005).

Für die Zeitpunkte 3 und 6 bis 9 (30 Minuten bis 36 Stunden nach Belastungsende) konnte ein statistisch schwach signifikanter ( $p=0,03$ ) Einfluss der Behandlung auf den zeitlichen Verlauf des Messwertes AST nachgewiesen werden. Wie in Abb. 12 erkennbar fiel der AST-Wert nach Bestrahlung durchschnittlich um knapp 23 U/l wohingegen es nach Placebo-Behandlung in diesem Zeitraum noch zu einem Anstieg um rund 3 U/l kam. Allerdings kam es nach Bestrahlung von Zeitpunkt 8 nach 9 (12 Stunden nach Belastungsende bzw. 36 Stunden nach Belastungsende) zu einem erneuten Anstieg der AST. Interessant wäre, ob dieser bei erneuter Bestrahlung circa 12 Stunden nach Belastung ausbleiben würde.

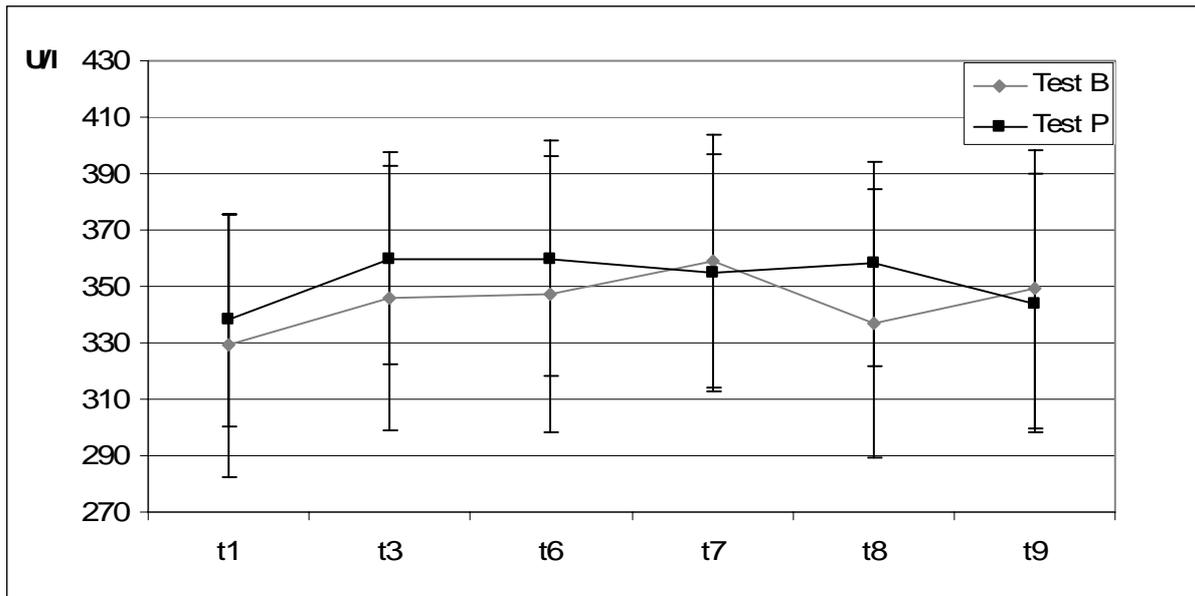


Abbildung 12: Verlauf der mittleren AST-Werte  $\pm$  Standardabweichung (n=18)

- t1 = vor dem Belastungstest
- t3 = 5 Minuten vor Betreten des Thermiums®
- t6 = 30 Minuten nach Verlassen des Thermium®
- t7 = 6 Stunden nach Belastungsende
- t8 = 12 Stunden nach Belastungsende
- t9 = 36 Stunden nach Belastungsende

#### 4.2.4.7 Gesamteiweiß

Die Beurteilung des Behandlungseffektes mittels 3-faktorieller Varianzanalyse ergab weder für die Art der Behandlung noch für den zeitlichen Verlauf ab 5 Minuten vor Betreten des Thermiums® statistisch signifikante Effekte. Das bedeutet, dass ein Einfluss der Bestrahlung mit langwelliger Infrarotstrahlung auf den Gesamteiweißwert unwahrscheinlich ist. Dies ist auch nachvollziehbar, denn Einflussfaktoren wie zum Beispiel Flüssigkeitsverluste, die einen Anstieg des Gesamteiweißwertes bewirken, traten während des Thermiumsaufenthaltes weder in Test B noch in Test P auf.

*Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich am ehesten die CK als geeignet erwiesen hat, um bei den gewählten Studienbedingungen Bestrahlungseffekte nachweisen zu können. Für den Parameter CK zeichnete sich eine Tendenz zum schnelleren Abbau durch die Bestrahlung im Thermium® ab. Diese Tendenz müsste aber durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.*

*Der zeitliche Verlauf der AST unterscheidet sich statistisch signifikant ( $p = 0,03$ ). Dabei lag der AST-Wert 12 Stunden nach Bestrahlung deutlich niedriger als im Test ohne Bestrahlung.*

## Diskussion

*Allerdings ist bedingt durch den insgesamt geringen Anstieg eine Beurteilung hinsichtlich eines klinisch relevanten Effektes schwierig.*

*Der Parameter Laktat erwies sich in den eigenen Untersuchungen als nicht aussagekräftig bezüglich des Einflusses der Bestrahlung mit langwelliger Infrarot-C-Strahlung. Höhere Belastung oder schnelleres Verbringen ins Thermium® könnten eine Beurteilung ermöglichen.*

*Auch auf den Verlauf der LDH und des GE hatte die Bestrahlung mit Infrarot-C-Strahlung keinen Einfluss.*

#### 4.2.5 Einfluss von Belastung und Behandlung auf die Akut-Phase-Proteine

##### 4.2.5.1 Haptoglobin

Das Haptoglobin (Hp) ist ein Serumglykoprotein, das der  $\alpha_2$ -Fraktion der Globuline angehört (Allen und Archer 1971, Milne et al. 1991). Es wird in der Leber synthetisiert (Laurell 1985). Da es beim Ablaufen einer akuten Phase Reaktion zum Ansteigen des Hp-Wertes kommt wird es als positives Akute-Phase-Protein bezeichnet (Eckersall 1995). Die Halbwertszeit von Hp beim Pferd gibt Hennies (2006) mit 4 Tagen an. Als Normbereich nennt er Werte bis 1,5 mg/ml bei der Messung mittels ELISA. Für die vorliegende Untersuchung wurde der Hp-Wert mittels Immunturbidimetrie ermittelt. Taira et al. (1992) ermittelten bei der Anwendung dieses Verfahrens bei gesunden Pferden, die älter als 18 Monate waren, einen durchschnittlichen Wert von  $2,19 \pm 1,54$  mg/ml (n=97). Die durchschnittlichen Ruhewerte in der eigenen Untersuchung lagen bei 1,67 mg/ml. Die statistische Auswertung belegte, dass die Höhe der Ruhewerte unabhängig von der folgenden Behandlung (Bestrahlung oder Placebo) war.

Haralambie (1970) maß beim Menschen nach zweistündiger Arbeitsbelastung auf einem Ergometer (140-150 W) um bis zu 12 % erhöhte Werte und deutet dies als unspezifische Reaktion auf Stress. Da ein möglicher Bezug zur Muskulatur vorhanden ist und noch wenig über das Verhalten des Parameters Hp bei körperlicher Belastung beim Pferd bekannt ist wurde dieser Parameter mit überprüft. Die zweite Bestimmung des Hp erfolgte 30 Minuten nach der Bestrahlung bzw. dem Placebo-Test. Diese durchschnittlichen Werte ca. eine Stunde nach der Belastung lagen in beiden Tests (P und B) etwas tiefer als der Ruhewert. Auch bis zum Zeitpunkt 9 (36 Stunden nach Belastungsende) kam es nicht zu einem nennenswerten Anstieg. Die in den eigenen Untersuchungen geforderte Beanspruchung bis zur individuellen Leistungsgrenze scheint bei muskelgesunden Pferden, anders als beim Menschen beobachtet (Haralambie 1970), kein Stimulus für die vermehrte Bildung von Haptoglobin zu sein. Inoue et al. (2005) beobachteten ein Abnehmen des Hp-Wertes beim Pferd durch wiederholte körperliche Beanspruchung. Sie begründen dies mit einer durch die Belastung hervorgerufenen Hämolyse, die dazu führt, dass Hp mit dem freigesetzten Hämoglobin einen Komplex bildet. Dieser Komplex wird dann vor allem zur Leber transportiert um dort das gebundene Eisen wiederzuverwerten (Müller-Eberhard et al. 1968).

Neben verschiedenen anderen pathologischen Veränderungen wurden beim Pferd auch nach experimenteller Muskelschädigung erhöhte Werte ermittelt (Taira et al. 1992). Sie induzierten durch die intramuskuläre Injektion von Terpentin eine Entzündung der Muskulatur und beobachteten innerhalb von 5 Stunden danach ein Ansteigen des Hp-Wertes. Die gemessenen

## Diskussion

Werte erhöhten sich dabei um das 1,5 bis 9 fache. Auch führen laut Müller-Eberhard et al. (1968) Zellnekrosen zu einem Anstieg des Hp-Wertes.

Derartige pathologische Veränderungen wurden offenbar und glücklicherweise in den eigenen Untersuchungen nicht erreicht. Statistisch ergaben sich dementsprechend keine signifikanten Unterschiede in den eigenen Daten.

### 4.2.5.2 Serum-Amyloid-A

Das Serum-Amyloid-A (SAA) ist ein Apolipoprotein, das meist an HDL gebunden zu finden ist. Es gehört zur  $\alpha$ 1-Fraktion der Globuline (Jain 1993) und ist ebenfalls ein sogenanntes positives Akut-Phase-Protein (Eckersall 1995). Synthetisiert wird SAA in der Leber (Laurell 1985).

Weder die Belastungsphase noch die Behandlung nahmen in den eigenen Untersuchungen Einfluss auf den SAA-Wert. Insgesamt waren nur sehr vereinzelt Werte oberhalb der Nachweisgrenze messbar.

Die Messergebnisse der ausgeschlossenen Probanden 3 und 6 passen zu den Angaben von Nunokawa et al. (1993), dass Entzündungen (wie z.B. der Hufabszeß bei Pferd 3) und Traumata (wie z.B. die Trittverletzung bei Pferd 6) Ursachen für recht schnelle Anstiege des SAA-Wertes sind. So beobachteten Nunokawa et al. (1993) bereits zwei Tage nach einer durch die Injektion einer terpentinöhlhaltigen Lösung experimentell erzeugten Entzündung bis zu 20-fach erhöhte SAA-Werte. Pferd 6 wurde vor der geplanten Belastung von einem anderen Pferd getreten und wies daraufhin in der 36 Stunden danach entnommenen Blutprobe einen Wert von 54 mg/l auf. In den zuvor genommenen Proben lag der SAA-Wert jeweils unter der Nachweisgrenze. Bei Pferd 3 wurden während des gesamten ersten Testdurchgangs keine klinischen Anzeichen einer Entzündung festgestellt. Der SAA-Ruhewert und der Wert 6 Stunden nach Belastungsende lagen unterhalb der Nachweisgrenze. 36 Stunden nach Belastungsende war ein minimal erhöhter Wert von 0,35 mg/l gemessen worden. Dies könnte unter Umständen als erstes Anzeichen für den tags darauf klinisch manifesten Hufabszeß gewertet werden, da das SAA als sehr sensitiver Marker für entzündliche Prozesse gilt (Nunokawa et al. 1993). Da das Pferd eine Woche später wieder lahmfrei war absolvierte es den zweiten Testdurchgang wie vorgesehen. Auffällig waren dabei die immer noch deutlich erhöhten SAA-Werte: 160 mg/l vor Testbeginn, 157 mg/l 6,5 Stunden nach Belastungsende und 45 mg/l 36 Stunden nach Belastungsende. Die Vermutung liegt nahe, dass die SAA-Werte wegen des Hufabszesses noch erhöht waren und nachdem dieser ausgeheilt war wieder fielen. Der Zeitraum des Rückgangs entspricht den Angaben von Nunokawa et al. (1993).

## Diskussion

Korrelierend mit dem Rückgang der klinischen Symptome normalisieren sich die Werte in einem Zeitraum von 10 Tagen bis 4 Wochen. Ob der sehr schnelle Abfall der SAA auf fast ein Viertel des Ausgangswertes binnen 36 Stunden durch die zwischenzeitlich vorgenommene Bestrahlung begünstigt wurde kann nicht festgestellt werden. Aufgrund des sehr sensitiven Reagierens des SAA-Wertes auf entzündliche Prozesse könnte die SAA als Gesundheitskontrollparameter vor starker körperlicher Belastung verwendet werden. Voraussetzung dafür wäre natürlich das Vorliegen eines Schnelltests, der binnen kurzer Zeit eine zuverlässige Aussage erlaubt.

Insgesamt sollte beim Vorliegen hoher SAA-Werte unklarer Herkunft lieber auf eine Wärmebehandlung verzichtet werden. Ursache für erhöhte Werte können neben akuten Entzündungen unter anderem auch Tumorerkrankungen oder akute virale Erkrankungen sein (Pepys et al. 1989, Preciato-Patt et al. 1994). Bei diesen Erkrankungen kann die Anwendung von Wärmebehandlungen kontraindiziert sein.

*Körperliche Belastung im Umfang wie sie für diese Untersuchung gewählt wurde hat bei gesunden Pferden keinen Einfluss auf den Hp- und SAA-Wert. Somit eignen sich diese Parameter nicht für die Beurteilung des Einflusses der Infrarotbestrahlung.*

## **5 Zusammenfassung**

Ziel dieser Untersuchung war zu ermitteln, ob die Behandlung mit langwelliger Infrarotstrahlung im Thermium® einen Einfluss auf ausgewählte, sich durch körperliche Belastung verändernde Parameter beim Pferd besitzt. Zur Beurteilung der Regeneration wurden neben klinischen Parametern die folgenden neun Laborparameter herangezogen: CK, LDH, AST, Laktat, Gesamteiweiß, absolute Leukozytenzahl, Hämatokrit, Hp und SAA.

Für die Untersuchung wurden 20 Pferde zweimal einem ihrem individuellen Leistungsvermögen angepassten, identischen Belastungstest im Feld unterzogen. Im Anschluss daran folgte jeweils ein 30 minütiger Aufenthalt im Thermium®. Bei einem der Durchgänge fand eine Bestrahlung mit langwelliger Infrarotstrahlung statt und beim anderen nicht. Im Zeitraum bis zu 36 Stunden nach Belastung wurde zu neun definierten Zeitpunkten jeweils eine klinische Untersuchung durchgeführt und Blutproben gezogen. Es wurde ein intraindividuellem Vergleich zwischen den beiden Durchgängen angestellt, der folgende Ergebnisse brachte:

Durch den Thermiumsaufenthalt mit Bestrahlung kommt es zu keiner erkennbaren physischen oder psychischen Belastung des Pferdes. Die Einwirkung der Infrarotstrahlung führt zu einer schwach signifikanten Erhöhung der Körperkerntemperatur. Die Anwendung der Infrarotstrahlung hat einen statistisch schwach signifikanten ( $p= 0,03$ ) Einfluss auf den Verlauf des AST-Wertes. Es ergab sich eine Tendenz des CK-Wertes, nach Bestrahlung rascher zum Ausgangswert zurückzukehren als ohne Bestrahlung.

Auf den Verlauf folgender Parameter konnte kein statistisch signifikanter Einfluss der Infrarotbestrahlung beobachtet werden: Absolute Leukozytenzahl, Hämatokrit, LDH, Gesamteiweiß, Haptoglobin und Serum-Amyloid-A.

Die langwellige Infrarotstrahlung dringt in die Haut des Pferdes ein, da es nachweislich zu einem Wärmeeintrag kommt. Hinweise für eine Belastung der Psyche oder des Kreislaufs bzw. sonstige als negativ zu bewertende Veränderungen durch die Bestrahlung sind nicht gegeben. Eine Beeinflussung des Stoffwechsels im Sinne einer schnelleren Regeneration der durch die körperliche Belastung erhöhten Blutparameter konnte für die AST und tendenziell die CK festgestellt werden.

## **6 Summary**

Aim of this research was to find out whether the treatment with the long wave infrared radiation of the Thermium® has any influence on selected parameters that have changed because of physical exercise in the horse. To evaluate the regeneration clinical parameters as well as nine blood parameters have been measured: CK, LDH, AST, lactate, total protein, WBC, PCV, Hp and SAA.

For this study 20 horses took part twice in an identical exercise test in the field that has been adapted to their individual condition. Each of the tests was followed by a 30 minute long stay in the Thermium®. In one of the trials a treatment with long wave infrared radiation took place whereas in the other one no radiation was applied. Within a period of 36 hours after the exercise test, clinical examinations were made and blood samples were taken at nine assigned points. The intraindividual comparison between both trials added up to the following:

The stay in the Thermium® with long wave infrared radiation does not result in recognisable physical or psychological stress. Impact of the long wave infrared radiation results in a slightly significant rise of the body's core temperature. The application of the long wave infrared radiation had a slightly significant ( $p = 0,03$ ) influence on the course of AST values. There has been a tendency of the CK values to return quicker to base level after infrared radiation than without treatment.

No statistical significant influence of the infrared radiation was seen on the course of value of the following parameters: WBC, PCV, LDH, total protein, Hp and SAA.

Long wave infrared radiation penetrates into the horse's skin as heat input is verifiable. There are no signs of negative impact on the mental status or the cardiovascular system or other negative changes caused by the radiation. Influence on the metabolism in terms of a quicker regeneration after the exercise test was observed for the AST and by trend for the CK.

## 7 Literaturverzeichnis

AALAND, M. (1978)

Sweat

Capra Press, Santa Barbara/USA

ALLEN, B., ARCHER, R.K. (1971)

Haptoglobins in the horse

The veterinary record 89, 106-109

ANDERSON, M.G. (1975)

The influence of exercise on serum enzyme levels in the horse

Equine veterinary journal 7, 160-165

ANDERSON, M.G. (1976)

The effect of exercise on the lactic dehydrogenase and creatine kinase isoenzyme composition of horse serum

Research in veterinary science 20, 191-196

ARDENNE, M.v. (1994)

Moderate Hyperthermie als Behandlungsmethode mit vielen Indikationen

Ärztezeitschrift für Naturheilverfahren 35/5, 356-361

BACHEM, A., REED, C.I. (1931)

The penetration of light through human skin

American journal of physiology 97, 86-91

BAETZNER, E. (1996)

Physikalische Therapie in der Veterinärmedizin

München, Ludwig-Maximilians-Universität, Diss. med. vet.

BERLINER, M. (1992)

Kompendium physikalische Medizin

Steinkopff-Verlag, Darmstadt (vergriffen, mit Genehmigung des Autors und des Verlages 2005 unter

[http://reha.klinikum.uni-muenchen.de/4\\_Forschung\\_u\\_Lehre/](http://reha.klinikum.uni-muenchen.de/4_Forschung_u_Lehre/)

MeCum/Mecum-SS05/Berliner1992-Kompendium.pdf veröffentlicht)

## Literaturverzeichnis

- BOWERS, J., SLOCOMBE, R.F., SIDES, R.H., BAYLY, W.M., KINGSTON, J.K. (2005)  
Interaction of saddle girth construction and tension on respiratory mechanics and gas exchange during supramaximal treadmill exercise in horses  
Australian veterinary journal 83, 62-67
- BRASCH, E.v., GALL, H., KLEINSCHMIDT, J., SENN, E. (1989)  
Verlauf von Kreislaufparametern und Temperaturmessungen an verschiedenen Körperregionen bei Infra-Rot-Hyperthermie (IRHT) nach dem Verfahren von Heckel  
Zeitschrift für physikalische Medizin, Balneologie und medizinische Klimatologie 18, 77-84
- BRENKE, R., CONRADI, E., KRAUSE, H., PORSTMANN, B. (1985)  
Lokale Immunabwehr und Sauna, dargestellt an der Immunglobulin-A-Konzentration im Speichel  
Internationales Saunaarchiv – Zeitschrift für Forschung und Praxis des Saunabadens 2, 1-4
- BROMILEY, M. (1999)  
Physical therapy for the equine back  
The veterinary clinics of north America, Equine practice 15 (1), 223-246
- BROSE, M., BRÜGGEMEYER, H., SERICK, F., SIEKMANN, H., SUTTER, E. (2005)  
Leitfaden „Nichtionisierende Strahlung“  
FS-05-132-AKNIR: Sichtbare und infrarote Strahlung  
Hrsg.: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Garching, Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung  
[http://osiris2.pi-consult.de/userdata/1\\_2/p\\_25/library/data/fs-05-132-aknir\\_sb-ir\\_strahlung.pdf](http://osiris2.pi-consult.de/userdata/1_2/p_25/library/data/fs-05-132-aknir_sb-ir_strahlung.pdf)
- BÜTTNER, K. (1938)  
Physikalische Bioklimatologie  
Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig
- CARROL, C.L., HUNTINGTON, P.J. (1988)  
Body condition scoring and weight estimation of horses  
Equine veterinary journal 20(1), 41-45
- COFFMAN, J.R. (1982)  
Metabolism and enzymology in exercise physiology  
Proceedings of the annual convention of the american association of equine practitioners 28, 15-20

## Literaturverzeichnis

- CONRADI, E. (2000)  
Zur Diskussion um Infrarotwärmekabinen: Grundlagen der Wärmestrahlung  
Saunabetrieb & Bäderpraxis 3, 20-25
- DICKREITER, B. (2001)  
Neues aus der Infrarot-Forschung. Infrarotstrahlung für die Praxis  
Erfahrungsheilkunde 1, 25-31
- DIN 5031-7 (1984)  
Strahlenphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Benennungen der  
Wellenlängenbereiche.  
Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN 60601 VDE 0750  
Medizinische elektrische Geräte  
VDE Verlag
- DIXON, W.J. (1993)  
BMDP Statistical Software Manual, Volume 1 and 2  
University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London
- DONOHUE, K.G., NAHM, W.K., BADIAVAS, E., LI, L., PEDVIS-LEFTICK, A. (2002)  
Hot pop brown spot: Erythema ab igne induced by heated popcorn  
The journal of dermatology 29, 172-173
- DOWNER, A.H. (1978a)  
Whirlpools  
in: Physical therapy for animals  
Publisher Charles C Thomas, Illinois/USA, 29-35
- DOWNER, A.H. (1978b)  
Hot packs  
in: Physical therapy for animals  
Publisher Charles C Thomas, Illinois/USA, 36-44
- DOWNER, A.H. (1978c)  
Infrared radiation  
in: Physical therapy for animals  
Publisher Charles C Thomas, Illinois/USA, 21-28

## Literaturverzeichnis

ECKERSALL, P.D. (1995)

Acute phase proteins as markers of inflammatory lesions  
Comparative haematology international 5, 93-97

ENGELHARDT W.v. (1992)

Körperliche Leistungsfähigkeit – ein Vergleich zwischen Pferd und Mensch  
Deutsche tierärztliche Wochenschrift 99(1), 24-26

ENGELHARDT W.v. (2000)

Arbeitsphysiologie unter besonderer Berücksichtigung des  
Pferdeleistungssports  
in: Engelhardt, W.v., Breves, G. (Hrsg.)  
Physiologie der Haustiere  
Enke im Hippokrates Verlag, Stuttgart

EVANS, D., GOLLAND, L.C. (1996)

Accuracy of Accusport for measurement of lactate concentrations in equine blood and  
plasma  
Equine veterinary journal 28(5), 398-402

FANGER, P.O. (1994)

Mensch und Raumklima  
in: Rietschel, H. (Hrsg.)  
Raumklimotechnik, 1. Grundlagen  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong,  
Barcelona, Budapest: 125-150

FEY, C. (1950)

Hydrotherapie  
Karl F. Haug Verlag Saulgau, 34-38

FISCH, J. (2000)

Licht und Gesundheit – Das Leben mit optischer Strahlung  
Kapitel 2.3.2 Wirkungen auf Blut, Haut, Augen und Haare  
Veröffentlicht unter [www.licht-akademie.de/Publikationen/Licht-u-Ges/li\\_ge\\_in.html](http://www.licht-akademie.de/Publikationen/Licht-u-Ges/li_ge_in.html)

FREESTONE, J.F., KAMMERLING, S.G., CHURCH, G., BAGWELL, C., HAMRA, B.S.,  
HAMRA, J. (1989)

Exercise induced changes in creatine kinase and aspartate aminotransferase activities  
in the horse: Effects of conditioning, exercise tests and acepromazine  
Journal of equine veterinary science 9, 275-280

## Literaturverzeichnis

FREY, H.-H. (2000)

Zentrales Nervensystem (ZNS)  
in: Engelhardt, W.v., Breves, G. (Hrsg.)  
Physiologie der Haustiere  
Enke im Hippokrates Verlag, Stuttgart

FRITZSCHE, I., FRITZSCHE, W. (2002)

Alles über Saunabaden  
Sauna Matti, Bielefeld

FRITZSCHE, W. (1992)

Physikalische Grundlagen zur Erklärung von Saunawirkungen  
Internationales Sauna-Archiv 9, 75-85

FRITZSCHE, W. (1996)

Das Saunabad  
In: Hentschel, H.-D.  
Naturheilverfahren in der ärztlichen Praxis, 2. Auflage  
Deutscher Ärzte-Verlag Köln

GEHRKE, A. (1989)

Sauna, Dampfbad, Whirlpool  
Vergleichende experimentelle Untersuchungen der Wirkung auf kardiovaskuläre und  
endokrine Parameter  
Hippokrates Verlag Stuttgart

GEHRKE, A., ULBERT, V., EICH, F.X., SIEBERT, B., GALL, H., DREXEL, H. (1984)

Veränderungen kardio-pulmonaler Parameter während und nach hyperthermen  
Badeformen. Ein Vergleich zwischen Sauna, Dampfbad und Heißwassersprudelbädern  
Zeitschrift für physikalische Medizin, Balneologie und medizinische Klimatologie 13,  
17-18

GERBER, H. (1965)

Aktivitätsbestimmungen von Serumenzymen in der Veterinärmedizin  
III. E. Serumenzymmuster bei paralytischer Myoglobinämie des Pferdes  
Schweizer Archiv für Tierheilkunde 685-697

GILLERT, O., RULFFS, W. (1990)

Hydrotherapie und Balneotherapie, Theorie und Praxis, 11. Auflage  
Pflaum Verlag München

## Literaturverzeichnis

GILLMANN, H. (1975)

Physikalische Therapie; Grundlagen und Wirkungsweisen  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart

GLITZ, F. (1997)

Muskelenzymmuster und Elimination von i.v. applizierten, homologen  
Muskelenzymen beim Pferd  
Hannover, Tierärztliche Hochschule, Diss. med. vet.

GLITZ, F. (2000)

Enzymdiagnostik bei Myopathien  
Pferdeheilkunde 16, 431-432

GOLDMANN, H. (1930)

Kritische und experimentelle Untersuchungen über den sogenannten Ultrarotstar der  
Kaninchen und den Feuerstar  
Graefes archive for clinical and experimental ophthalmology 125, 313-402

GÜNTHER, R., JANTSCH, H. (1982)

Physikalische Medizin  
Springer Verlag Berlin

GUTENBRUNNER C., HILDEBRANDT, G. (1998)

Kapitel 3: Balneologie  
in: Handbuch der Balneologie und medizinischen Klimatologie  
Springer Verlag

GUTHRIE, A.J., LUND, R.J. (1998)

Thermoregulation  
The veterinary clinics of north america, equine practice 14(1), 45-59

HABERMEHL, K.-H. (1996)

Haut und Hautorgane  
in: Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E.  
Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band III  
Parey Buchverlag Berlin

HACKLÄNDER, T. (1972)

Die Vaskularisation der Haut der Haussäugetiere im Vergleich zum Menschen.  
Zusammenfassende Darstellung und Diskussion der einschlägigen Literatur  
Hannover, Tierärztliche Hochschule, Diss. med. vet.

## Literaturverzeichnis

- HALTRECHT, H. (2000)  
Physical therapy  
The Canadian veterinary journal 41(7), 573-574
- HARALAMBIE, G. (1970)  
Changes of serum glycoprotein levels after long-lasting physical exercise  
Clinica chimica acta 27, 475-479
- HARDY, J.D. (1962)  
Physiological effects of high intensity infrared heating  
ASHRAE (American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers)  
Journal 4, 36-42
- HARDY, J.D. (1982)  
Temperature regulation, exposure to heat and cold, and effects of hypothermia  
in: Lehmann, J.F. (ed.)  
Therapeutic heat and cold  
Williams & Wilkins, Baltimore/London
- HARDY, J.D., HAMMEL, H.T., MURGATROYD, D. (1956)  
Spectral transmittance and reflectance of excised human skin  
Journal of applied physiology 9, 257-264
- HARRIS, P.A., MARLIN, D.J., GRAY, J. (1998)  
Plasma aspartate aminotransferase and creatin kinase activities in thoroughbred  
racehorses in relation to age, sex, exercise and training  
The veterinary journal 155, 295-304
- HARRIS, R.C., MARLIN, D.J., SNOW, D.H., HARKNESS, R.A. (1991)  
Muscle ATP loss and lactate accumulation at different work intensities in the  
exercising thoroughbred horses  
European Journal of applied physiology 62(4), 235-244
- HARTEL, M., HOFFMANN, G., WENTE, M.N., MARTIGNONI, M.E., BÜCHLER, M.W.,  
FRIESS, H. (2006)  
Randomized clinical trial of the influence of local water-filtered infrared A irradiation  
on wound healing after abdominal surgery  
British Journal of Surgery 93, 952-960

## Literaturverzeichnis

HATZIPANAGIOTOU, A., LINDNER, A., SOMMER, H. (1991)

LDH- und CK-Isoenzymmuster im Blutplasma von Pferden mit erhöhten CK-, LDH- und AST-Aktivitäten

Deutsche tierärztliche Wochenschrift 98(7), 284-286

HECKEL, M. (1970)

Ganzkörpererwärmung und steuerbare Hyperthermie mittels tiefenpenetrierender kurzwelliger Infrarotstrahlung

Die medizinische Welt 21, 308-313

HECKEL, M. (1990)

Ganzkörper-Hyperthermie und Fiebertherapie; Grundlagen und Praxis

Hippokrates-Verlag, Stuttgart

HECKEL, M. (1991)

Infrarot-Hyperthermie

ThermoMed 7, 3-7

HECKEL, M., ARDENNE, M.v (2002)

Die milde und moderate Ganzkörperhyperthermie (Teil 2): Technische Verfahren in: Bühring, M., Kemper, P.H. (Hrsg.)

Naturheilverfahren und unkonventionelle medizinische Richtungen

Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

HECKEL, M., HECKEL, I. (1979)

Beobachtungen an 479 Infrarot-Hyperthermiebehandlungen

Die medizinische Welt 30(25), 971-975

HELAMAA, E. (2001)

The history of sauna and stove

in: Pentikäinen, J. (ed.)

The Finnish sauna, the Japanese furo, the Indian Inipi

Rakennustieto, Helsinki

HENNIES, M. (2006)

Haptoglobin – Pferd

<http://www.elisa-entwicklung.com/de/pdf/haptoglobin.pdf>

ELISA-Entwicklung, Euskirchen

## Literaturverzeichnis

- HILDEBRANDT, G., GUTENBRUNNER, C. (1998)  
Kapitel 3: Balneologie  
in: Handbuch der Balneologie und medizinischen Klimatologie  
Springer, 210-222
- HINCHCLIFF, K.W., KANEPS, A. J., GEOR, R.J. (2004)  
Equine sports medicine and surgery  
Saunders, Collingwood Ontario/Canada, 957-958
- HOPES, R. (1970)  
Physiotherapy in the horse  
Physiotherapy 56(2), 56-59
- HOSEMANN, H. (1953)  
Untersuchungen über die hormonale Wirksamkeit von Moor- und Schlammhädem  
Deutsche medizinische Wochenschrift 19, 687-690
- ICNIRP (1997)  
Guidelines in limits of exposure for broad-band incoherent optical radiation (0,38 to  
3µm)  
Health Physics 73(3), 539-597
- INOUE, S., HONDA, K. (1986)  
Growth of rats exposed to far-infrared radiation  
Zoological science 3, 731-732
- INOUE, S., KABAYA, M. (1989)  
Biological activities caused by far-infrared radiation  
International journal of biometeorology 33, 145-150
- INOUE, Y., MATUSI, A., ASAI, Y., AOKI, F., MATUSI, T., YANO, H. (2005)  
Effect of exercise on iron metabolism in horses  
Biological trace element research 107(1), 33-42
- IRIMOTO, T. (2001)  
Furo in Japanese Myth and folklore  
in: Pentikäinen, J.  
The Finnish sauna, the Japanese furo, the Indian inipi  
Rakennustieto, Helsinki

## Literaturverzeichnis

- ISE, N., KATSUURA, T., KIKUCHI, Y., MIWA, E. (1987)  
Effect of far-infrared radiation on forearm skin blood flow  
The annals of physiological anthropology 6, 31-32
- ISHIMARU, A. (1975)  
Wave propagation and scattering in random media  
Academic press, New York, 191-201
- ISOMÄKI, H. (1988)  
The sauna and rheumatic diseases  
Annals of clinical research 20, 271-275
- JACQUEZ, J.A., KUPPENHEIM, H.F. (1955)  
Spectral reflectance of human skin in the region of 235-1000  $\mu\text{m}$   
Journal of applied physiology 7, 523-528
- JESSEN, C. (2000)  
Wärmebilanz und Temperaturregulation  
in: Engelhardt, W.v., Breves, G. (Hrsg.)  
Physiologie der Haustiere  
Enke im Hippokrates Verlag, Stuttgart, 467-481
- JESSEN, C. (2001)  
Temperaturregulation und Wärmehaushalt  
in Klinker, R., Silbernagel, S.: Lehrbuch der Physiologie  
Thieme Verlag, 382-392
- KAASE, H. (1994)  
Lichttechnik  
in: Rietschel, H. (Hrsg.)  
Raumklimatechnik, 1. Grundlagen  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong,  
Barcelona, Budapest: 208-218
- KAISER, J.H. (1985)  
Das „Original“-Japan-Bad und seine Modifikationen  
Kneipp-Physiotherapie 1, 17-18
- KALINOWSKI, S. (2007)  
Der Einfluss von Infrarot-C-Strahlung auf Rückenbeschwerden bei Reitpferden nach  
Behandlung in einem Thermium  
Hannover, Tierärztliche Hochschule, Diss. med. vet.

## Literaturverzeichnis

KAST, W. (1994)

Wärme- und Stoffübertragung

in: Rietschel, H. (Hrsg.)

Raumklimatechnik, 1. Grundlagen

Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong,

Barcelona, Budapest: 259-334

KEENAN, D.M. (1979)

Changes of blood metabolites in horses after racing, with particular reference to uric acid

Australian veterinary journal 55, 54-57

KITCHEN, S.S., PARTRIDGE, C.J. (1991)

Infra-red therapy

Physiotherapy 77(4), 249-254

KLEEF, R. (2000)

Die milde und moderate Ganzkörperhyperthermie Teil 1: Anwendungsgebiete

in: Bühring, M., Kemper, P.H. (Hrsg.)

Naturheilverfahren und unkonventionelle medizinische Richtungen

Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

KLEIN, W., SCHELLNACK, K. (1972)

Elektrodiagnostik und Elektrotherapie in der orthopädischen Praxis. 2. Teil: Die

Elektrotherapie in der Behandlung orthopädischer Erkrankungen

Beiträge zur Orthopädie und Traumatologie 19, 433-448

KOBU, Y. (1999)

Effects of infrared radiation on intraosseous blood flow and oxygen tension in the rat tibia

Kobe journal of medical sciences 44, 27-39

KOEPPEN, S., EIGEL, M. (1968)

Die Hochfrequenztherapie der Arthrosis deformans

Archiv für physikalische Therapie, Balneologie und Klimatologie 3, 153-159

KORALEWSKI, H.E., GUNGA, H.C., KIRSCH, K.A. (2004)

Wärmehaushalt und Temperaturregulation

in: Energiehaushalt und Temperaturregulation

[http://www.medizin.fu-berlin.de/klinphys/bioinfo/2\\_p-skripten/b4\\_b\\_waermehaushalt.pdf](http://www.medizin.fu-berlin.de/klinphys/bioinfo/2_p-skripten/b4_b_waermehaushalt.pdf)

## Literaturverzeichnis

- KRAFT, W., DÜRR, U.M. (2005)  
Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin, 6. Auflage  
Schattauer, Stuttgart, New York, 433-435
- KRZYWANEK, H. (1974)  
Lactic acid concentrations and pH values in trotters after racing  
Journal of the south african veterinary association 45(4), 355-360
- KRZYWANEK, H. (1999)  
Leistungsphysiologie  
in: Dietz, O. und Huskamp B. (Hrsg.)  
Handbuch Pferdepraxis  
Enke Verlag, 37-64
- LAITINEN, L.A., LINDQVIST, A., HEINO, M. (1988)  
Lungs and ventilation in sauna  
Annals of clinical research 20, 244-248
- LAURELL, C.-B. (1985)  
Acute phase proteins – a group of protective proteins  
in: Alberti, K.G. und Price, C.P. (eds.)  
Churchill Livingstone, Edinburgh, 103-124
- LAWSON, D.D. (1970)  
Physiotherapy in veterinary medicine  
Physiotherapy 56(2), 53-55
- LEHMANN, J.F., BRUNNER, G.D., STOW, R.W. (1958)  
Pain threshold measurements after therapeutic application of ultrasound, microwaves  
and infrared  
Archives of physical medicine and rehabilitation 39, 560-565
- LEHNINGER, A.L., NELSON, D.L. COX, M.M. (2005)  
Prinzipien der Biochemie, 3. Auflage  
Glykolyse und Katabolismus der Hexosen  
Spektrum-Verlag, 567-609

## Literaturverzeichnis

LICHT, S. (1982)

History of therapeutic heat and cold  
in: Lehmann, J.F.  
Therapeutic heat and cold  
Williams & Wilkins, Baltimore/London, 1-34

LIEBICH, H.-G., REESE, S., BUDRAS, K.-D. (1999)

Allgemeine Körperdecke (Integumentum commune)  
In: Liebich, H.-G.  
Funktionelle Histologie, 3. Auflage  
Schattauer, Stuttgart, New York, 303-324

LINDNER, A. (1994)

Einfluß des Zeitpunktes der Probengewinnung nach Belastung und der  
Probenbehandlung auf die Laktatgehalte im Blut von Pferden  
Tierärztliche Praxis 22, 58-62

LINDNER, A., WITTKER, P.v., SCHMALD, M., KUSSEROW, J., SOMMER, H. (1992)

Maximal lactate concentrations in horses after exercise of different duration and  
intensity  
Equine veterinary science 12(1), 36-39

LINDNER, J., SCHNIZER, W. (1991)

Auswirkungen regelmäßiger Saunabäder auf Kreislauf, Hauttemperatur und  
Mikrozirkulation in Zusammenhang mit dem Begriff der Abhärtung  
Internationales Sauna-Archiv 8, 3-9

LINDNER, M., BRINKHAUS, B. (2000)

Die Sauna. Chancen und Risiken in Prävention und Therapie  
Zeitschrift für physikalische Medizin, Balneologie und medizinische Klimatologie 10,  
165-175

LOMMATZSCH, P. K., SCHASTAK, S.I. (1996)

Wirkung elektromagnetischer Strahlen auf das Auge  
in: Gramberg-Danielsen, B. (Hrsg.),  
Medizinische Grundlagen der augenärztlichen Begutachtung  
Enke, Stuttgart

MARESSA, J. (1986)

Maquiug the escimo sweat bath  
München, Ludwig-Maximilians-Universität, Diss. med. vet.

## Literaturverzeichnis

- MARLIN, D.J., HARRIS, R.C., HARMAN, J.C., SNOW, D.H. (1987)  
Influence of post-exercise activity on rates of muscle and blood lactate disappearance  
in the thoroughbred horse  
in: Gillespie J.R., Robinson, N.E. (eds.)  
Equine Exercise Physiology 2  
ICEEP Publications, Davis
- MASUDA, A., KIHARA, T., FUKUDOME, T., SHINASATO, T., MINAGOE, S., TEI, C.  
(2005a)  
The effects of repeated thermal therapy for two patients with chronic fatigue syndrome  
Journal of psychosomatic research 58, 383-387
- MASUDA, A., KOGA, Y., HATTANMARU, M., MINAGOE, S., TEI, C. (2005b)  
The effects of repeated thermal therapy for patients with chronic pain  
Psychotherapy and psychosomatics 74, 288-294
- MEFFERT, H., HECHT, H.-CHR., GÜNTHER, H., SCHERF, H.-P., SCHUMANN, E.,  
ARDENNE, M.v., SÖNNICHSEN, N. (1990)  
Biophysikalische Ergebnisse der klinischen Tests der IRA-Therm-  
Hyperthermiertechnik der 2. Generation  
ThermoMed 6, 71-78
- MEFFERT, H., PIAZENA, H. (2002)  
Wirkungen künstlich erzeugter Infrarotstrahlung auf den Menschen  
Aktuelle Dermatologie 28, 187-192
- MEFFERT, H., PIAZENA, H. (2003)  
Therapie mit Infrarotstrahlen – Teil 2: Wirkungen künstlich erzeugter Infrarotstrahlen  
auf den Menschen  
in: Bühring, M., Kemper, P.H. (Hrsg.)  
Naturheilverfahren und unkonventionelle medizinische Richtungen  
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- MEFFERT, H., SCHERF, H.-P., MEFFERT, B. (1994)  
Milde Infrarot-A-Hyperthermie  
Grundlagen, Bestrahlungstechnik, biologische Effekte und therapeutische  
Anwendungen  
Aktuelle Dermatologie 20, 25-30

## Literaturverzeichnis

MELFSEN-JESSEN, J. (1999)

Physiologische Indikatoren unter standardisiertem Laufbandtraining und Belastung bei Sportpferden.

Hannover, Tierärztliche Hochschule, Diss. med. vet.

MEYER, W. (2002)

Haut und Hautorgane.

in: Wissdorf, H., Gerhards, H., Huskamp, B. (Hrsg.)

Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes, 2. Auflage

Schaper, Hannover, 21-28

MILLER, M.S. (2006)

Akute Phase Proteine als diagnostische Parameter der perioperativen Phase beim Pferd

Gießen, Justus-Liebig-Universität, Diss. med. vet.

MILNE, E.M., DOXEY, D.L., KENT, J.E. (1991)

Acute phase proteins in grass sickness (equine dysautonomia)

Research in veterinary science 50, 273-278

MILNE, D. W. (1974)

Blood gases, acid-base balance and electrolyte and enzyme changes in exercising horses

Journal of the South African veterinary association 45(4), 345-354

MOHR, E. (2000)

Biologische Rhythmen

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

Physiologie der Haustiere

Enke im Hippokrates Verlag, Stuttgart, 626-630

MOLLA-DJAFARI, H. (2004)

Sicherheit bei Diathermie und Mikrowellenanwendung

in: Reidenbach, H.-D., Dollinger, K., Hofmann, J. (Hrsg.)

Nichtionisierende Strahlung - Sicherheit und Gesundheit Band I

TÜV-Verlag GmbH

MOLYNEUX, J. (2003)

Exploring the potential of physiotherapy

Journal of small animal practice 44, 468-470

## Literaturverzeichnis

- MOSS, C.E., ELLIS, R.J., MURRAY, W.E., PARR, W.H. (1989)  
Infrared radiation  
In: Suess, M.J., Benwell-Morison D.A. (eds.)  
Nonionizing radiation protection  
WHO Regional Publications, European Series, No. 25
- MÜLLER-EBERHARD, U., JAVID, J., LIEM, J.J., HANSTEIN, A., HANNA, M. (1968)  
Plasma concentrations of hemopexin, haptoglobin and heme in patients with various hemolytic diseases  
Blood, 32(5), 811-815
- MUÑOZ, A., RIBER, C., SANTISTEBAN, R., LUCAS, R.G., CASTEJON, F.M. (2002)  
Effect of training duration and exercise on blood-borne substrates, plasma lactate and enzyme concentrations in Andalusian, Anglo-Arabian and Arabian breeds  
Equine veterinary journal Supplement 34, 245-251
- NAGASAWA, H., UDAGAWA, Y., KIYOKAWA, S. (1999)  
Evidence that irradiation of far-infrared rays inhibits mammary tumour growth in SHN mice  
Anticancer research 19, 1797-1800
- NIWA, Y., IIZAWA, O., ISIMOTO, K., JIANG, X., KANO, T. (1993)  
Electromagnetic wave emitting products and "Kikoh" potentiate human leukocyte functions  
International journal of biometeorology 37, 133-138
- NUNOKAWA, Y., FUJINAGA, T., TAIRA, T., OKUMURA, M., YAMASHITA, K., TSUNODA, N., HAGIO, M. (1993)  
Evaluation of Serum Amyloid A protein as an acute-phase reactive protein in horses  
The journal of veterinary medical science 55(6), 1011-1016
- OBER, B. (2000)  
Enzymuntersuchungen bei Trabrennpferden mit Verdacht auf latente Equine Rhabdomyolyse (Tying up).  
Hannover, Tierärztliche Hochschule, Diss. med. vet.
- OGAWA, T., SUGENOYA, J., OHNISHI, N., NATSUME, K., OCHIAI, M., NISHIDA, M., SHINODA, N., KATHO, K., IMAMURA, R. (1991)  
Dynamic sweating response of man to infrared irradiation in various spectral regions  
International journal of biometeorology 35, 18-23

## Literaturverzeichnis

PIAZENA, H. (2003)

Gesundheits- und physiologische Wirkungen der Infrarotstrahlung auf den Menschen  
Unveröffentlicht, Informationen bei [helmut.piazena@charite.de](mailto:helmut.piazena@charite.de)

PIAZENA, H., MEFFERT, H. (2001)

Therapie mit Infrarotstrahlen – Physikalische Grundlagen und Anwendung in der  
Sauna und in Infrarotgeräten  
in: Bühring, M. und Kemper, P.H. (Hrsg.)  
Naturheilverfahren und unkonventionelle medizinische Richtungen  
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

PIAZENA, H., MEFFERT, H. (2008)

Optische Eigenschaften der Haut und die photobiologischen Grundlagen zur  
Dosierung von IR-Bestrahlungen in vivo und in vitro  
In: Kaase, H. und Derick, F. (Hrsg.)  
Sechstes Symposium Licht und Gesundheit  
Deutsche Gesellschaft für Photobiologie, ISBN 3-9807635-0-3

PIEPER, R.A. (2004)

Übersicht historischer und moderner Bäderarten  
Saunabetrieb und Bäderpraxis 3, 20-31  
Sauna Matti Verlag, Bielefeld, ISSN: 0945-5698

PÖSÖ, A.R. (2002)

Monocarboxylate transporters and lactate metabolism in equine athletes: A review  
Acta veterinaria scandinavica 43, 63-74

PRECIADO-PATT, L., LEVARTOWSKY, D., PRASS M., HERSHKOVIZ, R., LIDER, O.,  
FRIDKIN, M. (1994)

Inhibition of cell adhesion to glycoproteins of the extracellular matrix by peptides  
corresponding to serum amyloid A  
European journal of biochemistry 223, 35-42

PREISINGER, E. (1997)

Arbeitsbuch physikalische Therapie  
Verlag Wilhelm Maudrich, Wien, München, Bern, 39-48

RAAB, E. (1938)

Eine neue Methode der Kurzwellenhyperthermie  
Deutsche medizinische Wochenschrift 11, 373-374

## Literaturverzeichnis

- RECKNAGEL, H, SPRENGER, E., SCHRANEK, E.-R. (2000)  
Grundlagen. Im: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik,  
69. Auflage. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 117-120
- REESE, S. (1999)  
Haut (Cutis)  
in: König, H. E., Liebich, H-G. (Hrsg.)  
Anatomie der Haussäugetiere - Band II, Organe, Kreislauf- und Nervensystem  
Kapitel 18 Allgemeine Körperdecke (Integumentum commune)  
Schattauer Verlag, Stuttgart, 325-331
- REHUNEN, S. (1988)  
The sauna and sports  
Annals of clinical research 20, 292-294
- RICHTER, W., SCHMIDT, W. (2002a)  
Milde Ganzkörper-Hyperthermie mit Infrarot-C-Strahlung  
Deutsche Zeitschrift für Onkologie 34, 49-58
- RICHTER, W., SCHMIDT, W. (2002b)  
Bemerkungen zur Wirkungsweise von Infrarot-Wärmekabinen  
Deutsche Zeitschrift für Onkologie 34, 146-156
- RICHTER, W., SCHMIDT, W., SCHMIDT, K. (2000)  
Infrarot-Wärmekabine als milde Ganzkörper-Hyperthermie  
Zeitschrift für Onkologie 32 (4), 96-103
- RITTMANN, D., ZOHMANN, A. (2005)  
Physikalische Medizin/Physiotherapie  
in: Dietz, O., Huskamp, B. (Hrsg.)  
Handbuch Pferdepraxis, 3. Auflage  
Enke Verlag, 1023-1029
- ROSE, R.J., HODGSON, D.R., SAMPSON, D., CHAN, W. (1983)  
Changes in plasma biochemistry in horses competing in a 160 km endurance ride  
The Australian veterinary journal 60, 101-105
- ROWELL, L.B. (1983)  
Cardiovascular adjustments to thermal stress  
in: Shephard J.T., Abboud F.M. (eds.)  
Handbook of physiology  
Section 2: The cardiovascular system, 967-1023

## Literaturverzeichnis

- RUECA, F., CONTI, M.B., PORCIELLO, F., SPATERNA, A., ANTOGNONI, M.T., MANGILI, V., FRUGANTI, G., AVELLINI, G. (1999)  
Relationship between running speed, isoenzymes of serum creatinine kinase and lactate dehydrogenase and left ventricular function in stallions  
Equine veterinary journal Supplement 30, 163-165
- SANNER, B., KREUZER, I., STURM, A. (1993)  
Sauna bei arterieller Hypertonie  
Deutsche medizinische Wochenschrift 118, 1698-1703
- SCHMIDT, W. (2003)  
Detoxifikation und Immunstimulation durch Infrarot-C-Strahlenbehandlung in der Aktivit Infrarot Wärmekabine  
Curriculum oncologicum 13, 12-20
- SCHÖNBERG, F. (1929)  
Über die Bildung und Lagerung des Oberhaut- und Haarpigmentes in der braunen Pferdehaut  
Berliner tierärztliche Wochenschrift 45, 173-176
- SCHULMEISTER K., WEBER, M. (2004)  
Potentielle Gefährdung der Augen und der Haut durch Infrarotwärmekabinen  
in: Reidenbach, H.-D., Dollinger, K., Hofmann, J.  
Nichtionisierende Strahlung – Sicherheit und Gesundheit Band II, 763-774  
TÜV-Verlag GmbH
- SEICHERT, N., KNORR, H., SCHÖPS, P., KRÖLLING, P., SCHNIZER, W. (1987):  
Temperaturverteilung im Gewebe nach lokaler Hyperthermie im Tiermodell  
Zeitschrift für physikalische Medizin, Balneologie und medizinische Klimatologie 16,  
294
- SEKINS, K.M., EMERY, A.F. (1982)  
Thermal science for physical medicine  
in: Lehmann, J.F. (ed.)  
Therapeutic heat and cold  
Williams & Wilkins, Baltimore/London, 70-132

## Literaturverzeichnis

SIEKMANN, H. (2004)

Proposals for the development of ICNIRP guidelines on limits for optical radiation exposures

in: Reidenbach, H.-D., Dollinger, K., Hofmann, J. (Hrsg.)

Nichtionisierende Strahlung - Sicherheit und Gesundheit Band II

TÜV-Verlag GmbH

SINGER, D., SCHRÖDER, D., Harms, K. (2000)

Vorteile der wassergefilterten gegenüber herkömmlicher Infrarot-Strahlung in der Neonatologie.

Zeitschrift für Geburtshilfe und Neonatologie 204, 85-92

SINOWATZ, F. (1992)

Haut und Anhangsorgane

in: Hees, H., Sinowatz, F. (Hrsg.)

Histologie

Deutscher Ärzteverlag Köln

SNOW, D.H., MACKENZIE, G. (1977)

Some metabolic effects of maximal exercise in the horse and adaptations with training  
Equine Veterinary Journal 9(3), 134-140

SNOW, D.H., MASON, D.K., RICKETTS, S.W., DOUGLAS, T.A. (1983)

Post race blood biochemistry in thoroughbreds

in: Snow, D.H., Persson, S.G.B., Rose, R.J. (eds.)

Equine Exercise Physiology

Granta Editions, Cambridge, 389-399

STEININGER, K. (1982)

Der Einfluss von Entmüdungsmassage und Entmüdungsbad auf die Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit

München, Ludwig-Maximilians-Universität, Diss. med. vet.

STEISS, J.E., LEVINE, D. (2005)

Physical agent modalities

Veterinary clinics of North America, Small animal practice 35(6), 1317-1333

STELIAN, J., GIL, I., HABOT, B., ROSENTHAL, M., ABRAMOVICI, I., KUTOK, N., KHAHIL, A. (1992)

Improvement of pain and disability in elderly patients with degenerative osteoarthritis of the knee treated with narrow-band light therapy

Journal of the American Geriatrics Society 40, 23-26

## Literaturverzeichnis

STOLWIJK, J.A.J., HARDY, J.D. (1965)

Skin and subcutaneous temperature changes during exposure to intense thermal radiation

Journal of applied physiology 20 (5), 1006-1013

TAIRA, T., FUJINAGA, T., OKUMURA, M., YAMASHITA, K., TSUNODA, N., MIZUNO, S. (1992)

Equine haptoglobin: Isolation, characterization, and effects of ageing, delivery and inflammation on its serum concentration

Journal of veterinary medicine and science 54 (3), 435-442

TERADA, N., OHNISHI, K., KOBAYASHI, M., KUNIMOTO, T. (1986)

Spectral radiative properties of a living human body

International journal of thermophysics 7, 1101-1113

TOUTAIN, P.L., LASSOURD, G., COSTES, G., ALVINERIE, M., BRET, L., LEFEBVRE, H.P., BRAUN, J.P. (1995)

A non-invasive and quantitative method for the study of tissue injury caused by intramuscular injection of drugs in horses

Journal of veterinary pharmacology and therapeutics 18, 226-235

TOYOKAWA, H., MATSUI, Y., UHARA, J., TSUCHIYA, H., TESHIMA, S., NAKINISHI, H., KWON, A., AZUMA, Y., NAGAOKA, T., OGAWA, T., KAMIYAMA, Y. (2006)

Promotive effects of far-infrared ray on full-thickness skin wound healing in rats

Experimental biology and medicine 228(6), 724-729

UDAGAWA, Y., ISHIGAME, H., NAGASAWA, H. (2002)

Effects of hydroxyapatite in combination with far-infrared rays in spontaneous mammary tumorigenesis in SHN mice

The American journal of Chinese Medicine 30(4), 495-505

VAUPEL P., RZEZNIK, J., STOFFT, E. (1995)

Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus konventionelle Infrarotstrahlung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie.

Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin 5, 77-81

VUORI, I. (1988)

Sauna bather's circulation

Annals of clinical research 20, 249-256

## Literaturverzeichnis

- WARD, A.R. (1986)  
Electricity fields and waves in therapy  
Science press, Marrickville NSW, Australia, 157-164, 182-190, 224-230, 248-253
- WEHNER, H. (2002)  
Die intermediäre und extreme Ganzkörperhyperthermie  
in: Bühring, M., Kemper, P.H. (Hrsg.)  
Naturheilverfahren und unkonventionelle medizinische Richtungen  
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1-22
- WEISS, J. (2004a)  
Wie alles begann – eine kurze Geschichte der Badekultur  
Sauna, Dampfbad & Co.  
Trautwein Ratgeber-Edition, 8-17  
ISBN 3-8174-5578-X
- WEISS, J. (2004b)  
Die Sauna und ihre Verwandten  
Sauna, Dampfbad & Co.  
Trautwein Ratgeber-Edition, 20-28  
ISBN 3-8174-5578-X
- WEISS, J. (2004c)  
Sauna für Sportler  
Sauna, Dampfbad & Co.  
Trautwein Ratgeber-Edition, 61-63  
ISBN 3-8174-5578-X
- WELLS, P.E., FRAMPTON, V., BOWSHER, D. (1988)  
Pain: Management and control in physiotherapy  
Heinemann, London
- WIEDEMANN, E. (1987)  
Physikalische Therapie, Grundlagen – Methoden – Anwendung  
Walter de Gruyter, Berlin, New York
- WIELICZKA, D.M., WENG, S., QUERRY, M.R. (1989)  
Wedge shaped cell for highly absorbent liquids: infrared optical constants of water.  
Applied Optics, 28, 1714-1719

## Literaturverzeichnis

WILLIAMS, R. (1827)

A key into the language of America (1643)  
Rhode Island Historical Society Collections 1

WITT, S. (2004)

Einfluss von Steigungstraining auf dem Laufband und unterschiedlichem  
Aufbautraining auf den Konditionserhalt bei Vielseitigkeitspferden.  
Hannover, Tierärztliche Hochschule, Diss. med. vet.

YAMAGUCHI, M. (2001)

At the roots of the Japanese bathing culture  
in Pentikäinen, J.  
The Finnish sauna, the Japanese furo, the Indian Inipi  
Rakennustieto, Helsinki

YENI, M. (2005)

Optimierte Gerätetechnik für UV- und Lichttherapie  
Berlin, Technische Universität, Diss. Dr.-Ing.

ZALTENBACH, G. (1988)

Erfahrungen beim Asthma bronchiale und anderen Atemwegserkrankungen mit  
Sauerstoff-Mehrschritt-Therapie und Hyperthermie  
Erfahrungsheilkunde 2, 79-82

Anhang

**8 Anhang**  
**8.1 Formulare**

Formular 1: Datenerfassung

Pferd: \_\_\_\_\_ Besitzer \_\_\_\_\_

Parameter	Bestrahlung B	Placebo P
Datum, Uhrzeit(0)		
Außentemperatur		
Luftfeuchtigkeit		
Luftdruck		
Strecke		
Bodenverhältnisse		
Reiter		
<b>t1: Allgemeinuntersuchung, Befragung vor Belastung:</b>		
Zeitpunkt letzte Fütterung		
Besonderes		
EZ		
Fell		
A		
T (rektal)		
HF		
SH, KFZ		
Lnn		
Nasenausfluss		
Husten (auslösbar)		
Auskultation Lunge Herz Abdomen		
Brustumfang in cm		
Länge (Bug – Sitzbein)		
Bandmaß		
Lahmheit?		
Belastungstest jeweils Zeit und HF am Ende eintragen; beim letzten Galopp auch Strecke		
Schritt Zeit		

Anhang

HF		
Trab ruhig Zeit		
HF		
Trab flott Zeit		
HF		
Galopp ruhig Zeit		
HF		
Galopp flott Strecke		
Zeit		
HF		
Anmerkungen		
<b>t2: Untersuchung unmittelbar nach Belastung</b>		
Uhrzeit(1)		
A		
T		
HF		
KFZ		
Auskultation(Lunge, Herz)		
Nasenausfluss		
Schwitzen: Sattellage		
Hals		
Flanke		
Sonstige Lokalisation		
Verhalten		
Besonderheiten (Lahmheit, ....)		
<b>t3: Untersuchung vor Thermium®</b> Uhrzeit(1) + 25 Minuten (wenn Abweichung mit Grund abgeben!)		
A		
T		
HF		
KFZ		
Verhalten		

Anhang

Schwitzen:		
Sattellage		
Hals		
Flanke		
Sonstige Lokalisation		
Besonderheiten		
<b>Betreten des Thermiums®</b>		
Uhrzeit(2)		
<b>t4: Untersuchung nach 10 min Hanger/Thermium®</b>		
Uhrzeit(2) + 10 min		
Uhrzeit		
A		
T		
HF		
Verhalten		
KFZ		
Schwitzen:		
Sattellage		
Flanke		
Hals		
Sonstige Lokalisation		
Kotabsatz		
Besonderheiten		
<b>t5: Untersuchung nach 30 min Hanger/Thermium®</b>		
Uhrzeit (2) + 30 Minuten		
Uhrzeit		
A		
T		
HF		
Verhalten		
KFZ		
Schwitzen :		
Sattellage		
Hals		
Flanke		
Sonstige Lokalisation		
Kotabsatz		
Besonderheiten		
<b>t6: Untersuchung 30 Minuten nach Thermium®</b>		
Uhrzeit (2) + 60 Minuten		
Uhrzeit		
A		
T		
HF		

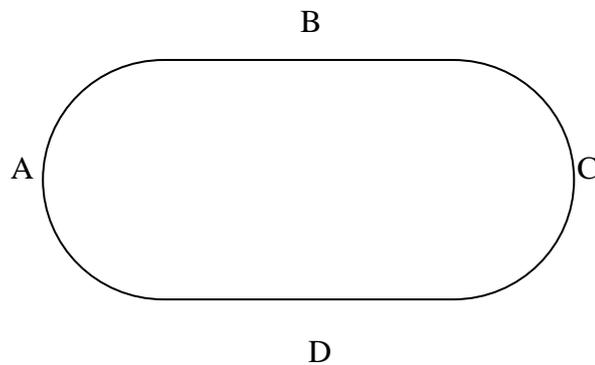
Anhang

Verhalten		
KFZ		
Schwitzen		
Sattellage		
Hals		
Flanke		
Sonstige Lokalisation		
Besonderheiten		
<b>t7: 6 h nach Betreten des Thermiums®/Hängers</b>		
Uhrzeit		
Beobachtungen Besitzer		
Beobachtungen Sonja		
<b>t8: 12 h nach Betreten des Thermiums®/Hängers</b>		
Uhrzeit		
Beobachtungen Besitzer		
Beobachtungen Sonja		
<b>t9: 36 h nach Betreten des Thermiums®/Hängers</b>		
Uhrzeit		
Beobachtungen Besitzer		
A		
T		
HF		
Verhalten		
KFZ		
Schwitzen		

Anhang

**8.2 Streckenskizzen:**

Strecke 1:

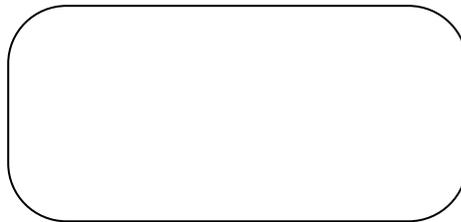


Gesamtlänge: 500m

Der Abstand zwischen Punkten A, B, C und D beträgt jeweils 125 m.

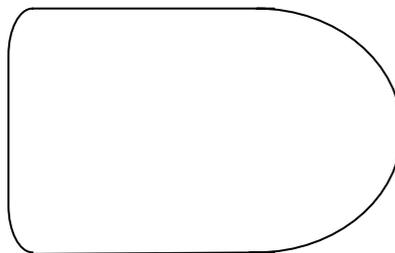
Die Strecke fällt von Punkt A nach Punkt B und von Punkt A nach Punkt D leicht ab.

Strecke 2 und 5:



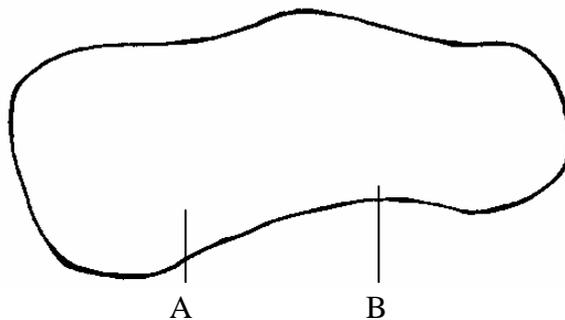
Gesamtlänge Strecke 2: 230 m; Gesamtlänge Strecke 5: 410m

Strecke 3:



Gesamtlänge: 1000 m

Strecke 4:



Gesamtlänge: 430 m

Die Strecke steigt zwischen Punkt A und Punkt B leicht an.

### **8.3 Tabellenverzeichnis und weitere Tabellen**

Tabelle 1: Frequenzen, Wellenlängen und Photonenenergie der Infrarotstrahlung, nach Yeni 2005	30
Tabelle 2: Anteile der in der jeweiligen Hautschicht absorbierten IR-Strahlung nach Bachem und Reed (1931)	37
Tabelle 3: Probanden	58
Tabelle 4: Zeitlicher Verlauf der Tests	64
Tabelle 5: Labordiagnostische Parameter	65
Tabelle 6: Differenzen Wetterdaten	72
Tabelle 7: Laktatwerte unmittelbar nach Belastung (t <sub>2</sub> ) von den Pferden, die mindestens in einem Test einen Hämatokritwert $\geq 0,53$ l/l aufwiesen	92
Tabelle 8: Daten Belastungstest	143
Tabelle 9: Wetterdaten	145
Tabelle 10: Verhalten der Pferde im Thermium® bei Test B bzw. P	146

Tab. 8: Daten Belastungstest

Pfd Nr	Beh	Trab ruhig				Trab verstärkt				Galopp ruhig				Galopp flott				
		HF [min <sup>-1</sup> ]	Strecke [m]	Zeit [s]	Tempo [m/s]	HF [min <sup>-1</sup> ]	Strecke [m]	Zeit [s]	Tempo [m/s]	HF [min <sup>-1</sup> ]	Strecke [m]	Zeit [s]	Tempo [m/s]	HF [min <sup>-1</sup> ]	Strecke [m]	Zeit [s]	Tempo [m/s]	Laktat [mmol/l]
1	P	133	2500	593	4,22	121	2500	548	4,56	124	2500	493	5,07	162	3500	542	6,46	3,8
	B	69	2500	681	3,67	77	2500	564	4,43	78	2500	498	5,02	111	3500	531	6,60	7,6
2	P	155	2500	616	4,06	168	2500	465	5,38	177	2000	309	6,47	198	750	88	8,52	4,8
	B	133	2500	654	3,82	139	2500	566	4,42	159	2000	314	6,37	196	750	85	8,82	4,0
4	P	125	2500	568	4,40	147	1500	325	4,62	148	1500	232	6,47	175	1750	210	8,33	6,9
	B	87	2500	569	4,39	92	1500	314	4,78	98	1500	230	6,52	118	1750	200	8,75	8,6
5	P	90	1500	443	3,39	110	1500	355	4,22	134	1500	234	6,41	156	750	116	6,47	4,6
	B	170	1500	376	3,99	133	1500	314	4,78	154	1500	209	7,18	192	750	92	8,15	10,1
7	P	132	2000	569	3,51	138	1000	237	4,22	146	1000	214	4,67	195	750	90	8,33	6,5
	B	118	2000	552	3,62	128	1000	247	4,05	134	1000	203	4,93	177	750	81	9,23	5,1
8	P	121	2000	562	3,56	136	1000	231	4,33	150	1000	167	5,99	190	750	89	8,43	5,8
	B	121	2000	618	3,24	138	1000	237	4,22	146	1000	171	5,86	184	750	91	8,24	5,0
9	B	97	1610	472	3,41	113	1150	303	3,80	139	920	195	4,72	152	2645	493	5,40	1,6
	P	182	1610	507	3,12	109	1150	289	3,98	127	920	190	4,84	147	2645	421	6,28	2,0
10	P	132	3910	1021	3,83	-	-	-	-	183	920	162	5,68	190	1035	164	6,31	2,4
	B	132	3910	1050	3,72	-	-	-	-	166	920	163	5,64	181	1035	163	6,35	3,0
11	P	110	2250	485	4,64	-	-	-	-	154	1500	156	9,62	200	2250	145	15,52	9,6
	B	102	2250	487	4,62	-	-	-	-	140	1500	153	9,80	200	2250	149	15,10	5,9
12	P	135	1500	253	5,93	-	-	-	-	158	1500	159	9,43	170	750	49	15,31	5,7
	B	135	1500	275	5,45	-	-	-	-	157	1500	180	8,33	175	750	56	13,39	5,4
13	P	108	860	255	3,37	113	1290	320	4,03	126	3010	576	5,23	176	3440	399	8,62	4,7
	B	91	860	259	3,32	109	1290	312	4,13	118	3010	589	5,11	154	3440	415	8,23	4,3
	B	142	1230	285	4,32	142	410	85	4,82	168	2460	368	6,68	184	3280	396	8,28	4,7

Anhang

14	P	138	1230	282	4,36	140	410	85	4,82	173	2460	342	7,19	190	3280	394	8,32	3,3
	B	140	1640	456	3,60	-	-	-	-	-	-	-	-	191	3690	515	7,17	12,2
15	P	157	1640	419	3,91	-	-	-	-	-	-	-	-	197	3690	540	6,83	11,1
	B	130	1720	389	4,42	156	860	149	5,77	-	-	-	-	200	1720	207	8,31	4,5
16	P	132	1720	402	4,23	160	860	153	5,62	-	-	-	-	200	1720	215	8,00	6,2
	B	110	1500	285	5,26	113	1500	226	6,64	131	3000	415	7,23	186	3000	340	8,82	5,5
17	P	106	1500	290	5,17	120	1500	251	5,98	139	3000	399	7,52	189	3000	362	8,28	4,5
	B	109	1640	363	4,52	-	-	-	-	-	-	-	-	167	5740	1235	4,65	2,4
18	P	151	1640	422	3,89	-	-	-	-	-	-	-	-	166	5740	1176	4,88	1,9
	B	127	1500	244	6,15	-	-	-	-	157	2250	242	9,30	172	1500	137	10,95	3,6
19	P	125	1500	264	5,68	-	-	-	-	155	2250	258	8,72	187	1500	152	9,89	6,2
	B	101	1230	397	3,10	156	410	116	3,53	-	-	-	-	157	6560	1165	5,63	2,4
20	P	113	1230	355	3,46	119	410	116	3,53	-	-	-	-	162	6560	1118	5,87	2,4

(+)Beh = Behandlung; P = Placebo; B = Bestrahlung; - = nicht absolviert

Anhang

Tab. 9: Wetterdaten

Pferd Nr.	Test B (Bestrahlung)				Test P (Placebo)			
	Datum	Luftt. in °C	Luftdr. in hPa	rel. F. in %	Datum	Luftt. In °C	Luftdr. in hPa	rel. F. in %
1	08.04.2006	12,5	1015	72	01.04.2006	14,4	1013	74
2	08.04.2006	12,8	1015	72	01.04.2006	14,8	1013	74
4	07.04.2006	11,5	1018	72	01.04.2006	16,5	1013	74
5	08.04.2006	13,1	1015	72	01.04.2006	15,2	1013	74
7	09.04.2006	9,1	1013	80	01.04.2006	10,7	1013	74
8	09.04.2006	10,7	1013	80	01.04.2006	13,3	1013	74
9	15.05.2006	12,1	1020	73	07.05.2005	12,2	1020	64
10	07.05.2006	12,2	1020	64	15.05.2006	8,7	1020	73
11	11.07.2006	25,4	1022	58	27.06.2006	24,3	1017	66
12	09.07.2006	22,5	1019	65	02.07.2006	19,7	1021	63
13	25.07.2006	32,3	1016	44	18.07.2006	30,3	1022	45
14	05.08.2006	22,1	1014	89	14.08.2006	21,2	1013	73
15	05.08.2006	20,1	1014	89	14.08.2006	19,7	1011	87
16	01.08.2006	22,5	1015	67	12.08.2006	19,7	1009	82
17	08.07.2006	17,3	1019	76	06.08.2006	18,7	1015	76
18	05.08.2006	17,0	1014	89	15.08.2006	15,7	1013	73
19	08.07.2006	20,8	1019	76	31.07.2006	21,3	1015	67
20	05.08.2006	17,5	1014	89	14.08.2006	17,8	1011	87

Luftt. = Lufttemperatur, Luftdr. = Luftdruck, rel. F. = relative Feuchte

Anhang

Tab. 10: Verhalten der Pferde im Thermium® bei Test B bzw. P

Pferd Nr.	Test B (Bestrahlung)		Test P (Placebo)	
	nach 10 Minuten (t4)	nach 30 Minuten (t5)	nach 10 Minuten (t4)	nach 30 Minuten (t5)
1	2	2	4	1
2	4	4	5	4
4	1	1	2	2
5	5	1	5	6
7	1	1	1	1
8	3	2	3	3
9	1	1	1	1
10	5	5	5	5
11	4	3	1	1
12	4	1	3	3
13	5	5	5	1
14	3	3	3	3
15	1	1	1	1
16	3	1	3	1
17	3	1	3	1
18	3	2	3	3
19	3	1	2	1
20	3	3	3	3
MW±SD	3,06±1,39	2,00±1,24	2,89±1,49	2,44±1,69

1= ruhig, 2= ruhig-aufmerksam, 3=aufmerksam, 4=unruhig, 5=aufgeregt, 6=sehr aufgeregt

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung

**8.4 Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Innenansicht des mobilen Thermiums®	59
Abbildung 2: Verlauf der mittleren Körpertemperatur $\pm$ Standardabweichung (n=18)	74
Abbildung 3: Verlauf der mittleren Atemfrequenz $\pm$ Standardabweichung (n=18)	75
Abbildung 4: Verlauf der mittleren Herzfrequenz $\pm$ Standardabweichung (n=18)	76
Abbildung 5: Verlauf der mittleren WBC-Werte $\pm$ Standardabweichung (n=18)	78
Abbildung 6: Verlauf der mittleren Hämatokrit-Werte $\pm$ Standardabweichung (n=18)	79
Abbildung 7: Verlauf der mittleren Laktatwerte $\pm$ Standardabweichung (n=18)	81
Abbildung 8: Verlauf der mittleren LDH-Werte $\pm$ Standardabweichung (n=18)	82
Abbildung 9: Verlauf der mittleren Gesamteiweißwerte $\pm$ Standardabweichung (n=18)	84
Abbildung 10: Verlauf der mittleren Haptoglobinwerte $\pm$ Standardabweichung (n=18)	85
Abbildung 11: Verlauf der mittleren CK-Werte $\pm$ Standardabweichung (n=18)	106
Abbildung 12: Verlauf der mittleren AST-Werte $\pm$ Standardabweichung (n=18)	108

## **9 Danksagung**

Frau PD Dr. Kerstin Fey danke ich für die Übernahme dieses Themas und ihre engagierte Betreuung. Vielen Dank für die konstruktive und prompte Beantwortung aller aufgetretenen Fragen.

Bei Frau Dr. Heike Kühn bedanke ich mich für die Herstellung der Kontakte und die Hilfestellungen bei der Planung und Durchführung.

Der Firma RUKU, Illertissen, danke ich für die Finanzierung dieser Arbeit und die Überlassung ihres mobilen Thermiums® für die Dauer der Messungen. Vielen Dank auch an die Mitarbeiter der Firma RUKU, die bei technischen und organisatorischen Fragen stets kompetente und zuverlässige Ansprechpartner waren.

Mein besonderer Dank geht an alle Pferdebesitzer, die mir ihre Pferde und ihre Freizeit für die Messungen zur Verfügung gestellt haben. Ohne sie wäre eine Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Zusätzlich bedanke ich mich bei Familie Greiml, Familie Daxenberger, Familie Willinger und Herrn Michael Geitner für die Erlaubnis zur Benutzung ihrer Trainingsbahnen und Felder.

Mein besonderer Dank geht an Herrn Dr. Rainer Grassler, der die Durchführung dieser Arbeit in vielen Belangen mit sehr viel Engagement unterstützt hat.

Für die Auswertung der Proben danke ich den Mitarbeitern des Zentrallabors der Klinik für Kleintiere, Innere Medizin und Laboratoriumsdiagnostik der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Herrn Dr. Failing und seinen Mitarbeitern danke ich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Mein weiterer Dank richtet sich an Frau Dr. Martina Steineck und Frau Verena Hölzer, die mir Messgeräte zur Verfügung stellten.

Auch möchte ich mich bei allen bedanken, die hier nicht namentlich erwähnt sind, aber durch ihr Mitwirken das Anfertigen dieser Arbeit unterstützt haben.

Der größte Dank gilt meinen Eltern, deren fortwährende Unterstützung mir den Abschluss des Studiums und das Anfertigen dieser Dissertation erst ermöglicht hat.

## Erklärung

### Erklärung

Ich erkläre:

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

TÄ Sonja Kotzinger

**EINFLUSS VON LANGWELLIGER INFRAROTSTRAHLUNG  
(RUKU THERMIUM®) AUF AUSGEWÄHLTE, DURCH  
KÖRPERLICHE BELASTUNG VERÄNDERTE PARAMETER  
BEIM PFERD**

**SONJA REBEKKA KOTZINGER**



**INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung des Grades eines  
Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen



*schön nicht ohne*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**