

Aus der Medizinischen und Gerichtlichen Veterinärklinik

Professur für Innere Krankheiten der Pferde

der Justus-Liebig-Universität Gießen

**Verhalten und körperliche Beanspruchung von Pferden
auf dem Laufband im Wasser**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades beim Fachbereich Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Giessen

Eingereicht von

SILKE WURM

Giessen 2004

Aus der Medizinischen und Gerichtlichen Veterinärklinik

Professur für Innere Krankheiten der Pferde

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. H.H.L. Sasse

**Verhalten und körperliche Beanspruchung von Pferden
auf dem Laufband im Wasser**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades beim Fachbereich Veterinärmedizin

der Justus-Liebig-Universität Giessen

Eingereicht von

SILKE WURM

Tierärztin aus Leonberg (Baden-Württemberg),

Giessen 2004

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

Dekan: Prof. Dr. Dr. h. c. B. Hoffmann

1. Berichterstatter: Prof. Dr.H.H.L.Sasse

2. Berichterstatter: PD Dr. J. Roth

Tag der mündlichen Prüfung: 14. Januar 2004

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	17
2	Literatur	18
2.1	Verhalten von Pferden auf einem Laufband.....	18
2.2	Bedeutung der kontrollierten Belastung mittels eines Laufbandes zur Rehabilitation beim Menschen	19
2.2.1	Außerhalb des Wassers	19
2.2.2	Aquajogging	24
2.3	Bedeutung der kontrollierten Belastung zur Rehabilitation bei Pferden	27
2.3.1	Im Wasser	27
2.3.1.1	Schwimmen.....	27
2.4	Bestimmung der Beanspruchung: Definition und Variablen	31
2.4.1	Biochemische Variablen.....	32
2.4.1.1	Laktat	32
2.4.1.2	Kreatinkinase	35
2.4.2	Physiologische Variablen	35
2.4.2.1	Herzschlagfrequenz	35
2.4.2.2	Körpertemperatur	38
2.4.3	Bestimmung der Ausdauer.....	38
2.5	Wirkung von Belastung im Wasser	40
2.6	Der Einfluss der Temperatur des Wassers	41
2.6.1	Laktat	41

2.6.2	Noradrenalin.....	41
2.6.3	Herzschlagfrequenz	42
2.6.4	Körpertemperatur	44
2.6.5	Schmerztilgung	46
2.6.6	Aquajogging beim Menschen	46
2.6.7	Schwimmen beim Pferd	54
2.6.8	Laufband im Wasser beim Pferd	56
2.7	Wirkung von Training im Wasser	57
2.7.1	Beim Menschen	57
2.7.2	Bei Versuchstieren	57
2.7.3	Beim Pferd	60
2.7.3.1	Anfälligkeit gegenüber Erkrankungen.....	68
3	Eigene Untersuchungen.....	69
3.1	Ziele der Untersuchungen.....	69
3.2	Material und Methode	70
3.2.1	Pferde.....	70
3.2.1.1	Verhaltensstudie	70
3.2.1.2	Studie über die Beanspruchung auf dem Wasserlaufband:	71
3.2.1.3	Studie über Testvorschrift	71
3.2.2	Haltung und Fütterung.....	72
3.2.3	Laufband	72
3.3	Versuchsdurchführung	74

3.3.1	Allgemeine Vorbereitung der Pferde	74
3.3.2	Verhaltensstudie	74
3.3.2.1	Statistische Auswertung	75
3.3.3	Beanspruchungsstudie	76
3.3.3.1	Blutprobenentnahme und Blutprobenanalyse	77
3.3.3.2	Herzfrequenz	77
3.3.3.3	Rektaltemperatur	78
3.3.3.4	Statistische Auswertung	78
3.3.4	Studie über Testvorschrift	78
3.3.4.1	Statistische Auswertung	79
4	Ergebnisse	80
4.1	Verhaltensstudie	80
4.1.1	Betretten des Laufbandes in Abhängigkeit vom Laufdurchgang	80
4.1.2	Regelmäßigkeit im Schritt in Abhängigkeit vom Laufdurchgang	81
4.1.3	Unarten in Abhängigkeit vom Laufdurchgang	81
4.1.4	Häufigkeit des Kotens in Abhängigkeit vom Laufdurchgang	82
4.2	Beanspruchungsstudie	83
4.2.1	Betrachtung der Laktatkonzentrationen im Blut	83
4.2.2	Betrachtung der Herzfrequenz	87
4.2.3	Betrachtung der Kreatinkinaseaktivität im Plasma	89
4.2.4	Betrachtung der Körpertemperatur	91
4.3	Studie über die Testvorschrift	94

4.3.1	Studie 1) Wirkung der konstanten Wasserhöhe mit zunehmender Laufgeschwindigkeit während des Belastungstests.....	94
4.3.1.1	Laktat	94
4.3.1.2	Herzfrequenz.....	95
4.3.1.3	Kreatinkinase	96
4.3.1.4	Körpertemperatur:	97
4.3.2	Studie 2 in der Testvorschrift: Wirkung zunehmender Wasserhöhe während des Belastungstests bei konstanter Laufgeschwindigkeit von 5,5m/s (19,8 km/h)	98
4.3.2.1	Laktat	98
4.3.2.2	Herzfrequenz.....	99
4.3.2.3	Kreatinkinase	100
4.3.2.4	Körpertemperatur	101
5	Diskussion.....	102
5.1	Diskussion der Methoden.....	102
5.1.1	Blutentnahme	102
5.1.2	Laktatbestimmung	102
5.1.3	Kreatinkinaseaktivitätsbestimmung mittels Reflotron	103
5.1.4	Herzfrequenzmessung	103
5.1.5	Körpertemperaturmessung.....	104
5.1.6	Testvorschriften.....	104
5.2	Diskussion der Ergebnisse.....	106

5.2.1	Verhaltensstudie	106
5.2.2	Beanspruchungsstudie.....	107
5.2.2.1	Laktat	107
5.2.2.2	Herzfrequenz.....	109
5.2.2.3	Kreatinkinaseaktivität	110
5.2.2.4	Körpertemperatur	111
5.2.3	Studie über Testvorschrift	112
6	Ausblick	114
7	Zusammenfassung	115
8	Summary.....	119
9	Literaturverzeichnis	122
10	Anhang.....	145
11	Danksagung	160

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ATP	Adenosintriphosphat
AAS	aerob - anaerobe Schwelle
ASAT	Aspartataminotransferase
ASIA	American Spinal Injury Association Impairment Scale
BAPN	Beta-aminopropionitrile
BWS	Body weight support
°C	Grad Celsius
CK	Kreatinkinase
DWR	Deep Water Running
EMG	Elektromyographiewerte
FTH Fibers	fast twitch-high oxidative Fasern
FT Fibers	fast twitch-low oxidative Fasern
GLDH	Glutamat-Dehydrogenase
GLU	Glukose
γ -GT	Gamma-Glutamyltransferase
HF	Herzfrequenz
HF _{norm}	normierte Einheit der high-frequency power
HKT	Hämatokrit
km/h	Kilometer pro Stunde
IAS	individuelle anaerobe Schwelle
LF _{norm}	normierte Einheit der low-frequency power

LF/HF ratio	$LF_{\text{norm}} / HF_{\text{norm}}$
LLK	Laktat-Laufgeschwindigkeitskurve
LM	Lebendmasse
M.	Musculus
min	Minuten
mph	miles per hour
m/s	Meter pro Sekunde
n	Anzahl
NA	Noradrenalingehalt
O ₂	Sauerstoff
OBLA	onset of blood lactate accumulation
PaCO ₂	Kohlendioxidpartialdruck
ppm	parts per million
r	Korrelationskoeffizient
RER	respiratorische Austauschrate
s	Sekunde
s.c.	subcutan
SET	standardized exercise test
Stb	Standardbred
SWR	Shallow Water Running
TBArS	Free Fatty Acid-like reactive Substances
v	Geschwindigkeit

VIII

V _{1,5;2,5;4}	Geschwindigkeit, bei der eine Laktatkonzentration von 1,5; 2,5; 4 mmol/l bzw. 12 mmol/l Blut erreicht wird
V _{150;170;200}	Geschwindigkeit, bei der das Pferd eine Herzschlagfrequenz von 150, 170 bzw. 200 Schläge/Minute erreicht
VB	Vollblut
$\dot{V} O_2$	Sauerstoffaufnahmekapazität
WB	Warmblut
WI	Wasserimmersion
WIR	Water Immersion Running

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Bedingungen bei den Untersuchungen über das Verhalten von Pferden auf Laufbändern	19
Tabelle 2:	Bedingungen und wichtigste Ergebnisse der Untersuchungen bei der Rehabilitation von Rückenmark geschädigten Patienten mit Laufbandtherapie gegenüber der konservativen Therapie	20
Tabelle 3:	Bedingungen und Ergebnisse von Untersuchungen über den Einsatz von BWS (Body Weight Support) bei spastischen Patienten, Schlaganfallpatienten und Patienten mit Gehirnlähmungen	23
Tabelle 4:	Bedingungen und Ergebnisse einer Untersuchung in Bezug auf die unterschiedliche Belastung der Muskulatur beim Einsatz auf dem Laufband	24
Tabelle 5:	Bedingungen und Ergebnisse mehrerer Untersuchungen über den Einsatz des Aquajogging in der Rehabilitation	26
Tabelle 6:	Belastungen im Wasser verglichen mit Belastungen an Land	52
Tabelle 7:	Belastung von Pferden im Wasser	55
Tabelle 8:	Arbeit in der Ratten auf dem Laufband und im Wasser belastet wurden	58
Tabelle 9:	Arbeiten, in denen die Wirkung von Training im Wasser auf Ratten untersucht wurde	60
Tabelle 10:	Effekt des Trainings im Wasser	65
Tabelle 11:	Referenzwerte von Pferden im Wasser	67
Tabelle 12:	Variablen zur Bestimmung der Beanspruchung	77
Tabelle 13:	Belastungen, zwischen denen signifikant differierende Zunahmen der Laktatkonzentrationen auftraten (Fisher's PLSD Test)	86

Tabelle 14:	Belastungen zwischen denen signifikant differierende Zunahmen der Herzfrequenzen auftraten (Fisher's PLSD Test)	89
Tabelle 15:	Kreatinkinaseaktivität im Plasma der Pferde mit Median, 10-, 25-, 75- und 90- Perzentilen, vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastungen auf dem Laufband im Wasser	90
Tabelle 16:	Belastungen zwischen denen signifikant differierende Zunahmen der Rektaltemperaturen auftraten (Fisher's PLSD Test)	93
Tabelle 17:	Die kardiovaskulären Auswirkungen bei Kaltwasserimmersion auf Gesicht und Unterarme und den Einfluss der unterschiedlichen Immersionen auf den menschlichen Körper.....	145
Tabelle 18:	Der Einfluss der Wassertemperatur auf Probanden im Wasser.....	146
Tabelle 19:	Auswirkungen der Belastung an Pferden auf die Muskulatur auf dem Laufband im Wasser.....	147
Tabelle 20:	Einfluss von Belastung auf ausgewählte Blutparameter und die Herzfrequenz von Pferden auf einem Laufband im Wasser	147
Tabelle 21:	Pferde der Verhaltensstudie	148
Tabelle 22:	Pferde der Beanspruchungsstudie.....	148
Tabelle 23:	Trainingszustand, der für die Beanspruchungsstudie genutzten Pferde	148
Tabelle 24:	Anzahl der Pferde bei den 27 unterschiedlichen Belastungen.....	150
Tabelle 25:	Pferde der Testvorschrift.....	151
Tabelle 26:	Betreten des Laufbandes in Abhängigkeit vom Laufdurchgang.....	152
Tabelle 27:	Regelmäßigkeit im Schritt in Abhängigkeit vom Laufdurchgang	152
Tabelle 28:	Unarten von Pferden auf dem Laufband im Wasser in Abhängigkeit vom Durchgang.....	152
Tabelle 29:	Häufigkeit des Kotabsatzes in Abhängigkeit vom Laufdurchgang	152

Tabelle 30:	Laktatkonzentrationen der einzelnen Pferde im Blut nach Belastung in Abhängigkeit vom Belastungsinhalt	153
Tabelle 31:	Mittlere Laktatkonzentrationen im Blut mit Standardabweichung vor und nach der Belastung auf dem Wasserlaufband.	153
Tabelle 32:	Herzfrequenzen der einzelnen Pferde in Abhängigkeit vom Belastungsinhalt	154
Tabelle 33:	Mittlere Herzfrequenzen mit Standardabweichung vor und nach der Belastung auf dem Wasserlaufband	154
Tabelle 34:	Kreatinkinaseaktivitäten Abhängigkeit vom Belastungsinhalt (Wilcoxon).....	155
Tabelle 35:	Körpertemperaturen der einzelnen Pferde in Abhängigkeit vom Belastungsinhalt	155
Tabelle 36:	Mittlere Rektaltemperatur mit Standardabweichung von Pferden vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastungen auf einem Laufband im Wasser	156
Tabelle 37:	Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe auf den Mittelwert der Laktatkonzentration im Blut von Pferden bei Studie 1 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit zunehmender Laufgeschwindigkeit	157
Tabelle 38:	Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf die Herzfrequenz von Pferden bei Studie 1 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit zunehmender Laufgeschwindigkeit ...	157
Tabelle 39:	Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe auf den Mittelwert der Kreatinkinaseaktivität im Plasma von Pferden bei Studie 1 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit zunehmender Laufgeschwindigkeit.....	158

Tabelle 40:	Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf die mittlere Körpertemperatur von Pferden bei Studie 1 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit zunehmender Laufgeschwindigkeit ...	158
Tabelle 41:	Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf den Mittelwert der Laktatkonzentration von Pferden bei Studie 2 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit konstanter Laufgeschwindigkeit	158
Tabelle 42:	Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf die Herzfrequenz von Pferden bei Studie 2 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit konstanter Laufgeschwindigkeit	159
Tabelle 43:	Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf den Mittelwert der Kreatinkinaseaktivität von Pferden bei Studie 2 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit konstanter Laufgeschwindigkeit	159
Tabelle 44:	Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf die Körpertemperatur von Pferden bei Studie 2 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit konstanter Laufgeschwindigkeit	159

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Art des Betretens des Laufbandes im Wasser von Pferden in den ersten drei Arbeitsdurchgängen (56 Pferde)	80
Abbildung 2: Regelmäßigkeit im Schritt von Pferden in den ersten drei Arbeitsdurchgängen auf dem Laufband im Wasser (56 Pferde)	81
Abbildung 3: Unarten von Pferden in den ersten drei Arbeitsdurchgängen auf dem Laufband im Wasser (56 Pferde)	82
Abbildung 4: Häufigkeit des Kotabsatzes von Pferden in den ersten drei Arbeitsdurchgängen auf dem Laufband im Wasser (56 Pferde)	83
Abbildung 5: Laktatkonzentrationen im Blut von Pferden vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastungen auf einem Laufband im Wasser (Mittelwert \pm Standardabweichung; siehe Tabelle 31 im Anhang)	84
Abbildung 6: Herzfrequenz von Pferden vor und während verschiedener Belastungen auf einem Laufband im Wasser (Mittelwert \pm Standardabweichung; siehe Tabelle 33 im Anhang)	88
Abbildung 7: Rektaltemperatur von Pferden vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastungen auf einem Laufband im Wasser (Mittelwert \pm Standardabweichung; siehe Tabelle 36 im Anhang)	92
Abbildung 8: Einfluss der Wasserhöhe auf die Laktatkonzentration im Blut von Pferden (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde)	94
Abbildung 9: Einfluss der Wasserhöhe (% der Widerristhöhe) auf die Herzfrequenz (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde).....	95
Abbildung 10: Einfluss der Wasserhöhe (%) und des Zeitpunktes auf die Kreatinkinaseaktivität (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde).....	96

Abbildung 11: Einfluss der Wasserhöhe und des Zeitpunktes auf die Rektaltemperatur (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde, Wassertemperatur 20 °C)	97
Abbildung 12: Der Einfluss der Wasserhöhe und des Zeitpunktes auf die Laktatkonzentration (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde)....	98
Abbildung 13: Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe auf die Herzfrequenz (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde).....	99
Abbildung 14: Der Einfluss der Wasserhöhe und des Zeitpunktes auf die Kreatinkinaseaktivität (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde).....	100
Abbildung 15: Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe auf die Körpertemperatur (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde, Wassertemperatur 20 °C)	101

Ansichtsverzeichnis

Ansicht 1:	Protokollbogen zur Erfassung des Verhaltens von Pferden bei Belastungen im Wasserlaufband	149
Ansicht 2:	Beanspruchung von Pferden bei Belastungen auf dem Wasserlaufband.....	150
Ansicht 3:	Protokolle der Studien 1 und 2 der Studie über eine Testvorschrift..	151

1 Einleitung

Beim Menschen spielt die frühzeitige Bewegung zur Wiederherstellung der Funktion nach orthopädischen Schäden eine große Rolle. Beim Pferd sollte dies auch zutreffen, jedoch ist die Voraussetzung dafür eine kontrollierte Bewegung. Dazu trägt seit Ende des letzten Jahrhunderts das Laufband bei. Vorteile gegenüber Feldbedingungen sind der geringe Platzbedarf, die Möglichkeit des ganzjährigen Trainings unter gleichen Bedingungen und der optimale Zugang zum Pferd für Trainer, Wissenschaftler und Tierärzte. Laufbandtraining wird bei Pferden seit Ende des 19. Jahrhunderts betrieben. Die Zeitung "Scientific American" beschreibt 1891, wie in Theatern und Vergnügungsparks Rennen auf mit Motoren angetriebenen Endlosbändern veranstaltet wurden. Laufbänder im Wasser hingegen gibt es erst seit ca. 15 Jahren, anfänglich vor allem in den USA. Inzwischen sind diese Geräte auch in Deutschland im Gebrauch. Es gibt bisher nur zwei wissenschaftliche Arbeiten: Tokuriki et al. (1999) und Voss et al. (2002) über die Belastung von Pferden auf einem Laufband im Wasser. Personen, deren Pferde wegen einer klinischen Indikation oder zwecks Trainings auf einem Laufband im Wasser gearbeitet werden sollen, erkundigen sich häufig nach der Akzeptanz dieser Geräte bei Pferden und deren Risiken. Deshalb entschlossen wir uns, das Verhalten von Pferden bei ihren ersten drei Arbeitsdurchgängen auf einem Laufband im Wasser zu verfolgen.

Die meisten Pferde, die auf dem Laufband im Wasser belastet werden sind Pferde, die sich in der Rehabilitationsphase befinden und somit über keine gute Kondition verfügen. Deshalb sollte untersucht werden, ob die Belastung auf dem Laufband den Organismus überfordern kann. Der zweite Teil der Untersuchungen befasste sich darum mit der messbaren Beanspruchung bei Belastung von Pferden auf dem Laufband im Wasser.

Im dritten Teil sollte bei gesunden Pferden untersucht werden, ob die Bestimmung der Ausdauer auf dem zur Verfügung stehenden Laufband im Wasser möglich ist. Dies wäre nämlich die Voraussetzung, um Effekte von Training zu prüfen.

2 Literatur

2.1 Verhalten von Pferden auf einem Laufband

Über das Verhalten auf einem Wasserlaufband wurden keine Veröffentlichungen gefunden. Das Verhalten von Pferden auf Laufbändern wurde von zwei Arbeitsgruppen untersucht (Tabelle 1).

KING et al. (1995) beobachteten das Verhalten von Pferden beim Betreten und Arbeiten auf einem Laufband, das nicht mit Wasser geflutet wurde. Dafür wurde das Verhalten der Pferde in vier Kategorien eingeteilt. KING et al. (1995) haben nach ihren Untersuchungen keine definitive Anzahl Durchgänge festgelegt, nach denen die Pferde voll an das Laufband akklimatisiert sind. Mit jedem Durchgang wurden die Pferde ruhiger, spätestens von der vierten Belastung an liefen alle Pferde ruhig und arbeiteten mit. Sie befürworteten aber, dass vor der Messung mindestens ein Lauf durchgeführt wird. Sie bemerkten außerdem, dass das Verhalten kein guter Indikator für den Stress der Pferde war, da einige der Pferde während den späteren Testbelastungen höhere Laktatwerte und Herzfrequenzen hatten, als während den Akklimatisierungsläufen. Da bei den Testläufen mehr Personen anwesend waren als bei den Akklimatisierungsläufen stimmte die Umgebung zwischen Testlauf und Akklimatisierungslauf nicht überein, so dass die Pferde anders reagierten. Deshalb empfahlen sie, dass die Umgebung bei der Testphase nicht anders sein sollte, als während der Akklimatisierungsphase.

BUCHNER et al. (1994) beschäftigten sich mit der Zeit, die Pferde brauchten, um einen regelmäßigen Schritt und Trab auf dem Laufband zu erreichen. Sie zeigten, dass bei den ersten Schritten des ersten Laufes auf dem Laufband die Pferde ängstlich und unsicher waren. Sichtbar wird dies durch eine gesenkte Kruppe und eine weitere Gliedmaßenfußung. Innerhalb der ersten zwei Minuten passten sie sich jedoch bereits an, nach fünf Minuten hatte sich der Bewegungsablauf stabilisiert. Das Gleichgewicht und somit eine stabile Körperhaltung und Stellung war innerhalb von zwei Läufen erreicht, die Gleichmäßigkeit der Schrittlänge und der Gliedmaßenfußung verbesserte sich dagegen mit jedem weiteren Durchgang. Im Trab waren die Werte aller untersuchten Variablen schon nach dem dritten Durchgang konstant. Eine höhere Geschwindigkeit führt anscheinend schneller zu einer exakten Fußung,

und das Pferd erreicht auch schneller eine stabile Körperhaltung. Einige unsichere Schritte zu Beginn jeden Durchganges blieben. Die Zeit, bis eine gleichmäßige Schrittlänge mit einer konstanten Gliedmaßenfußung bei jeweils individuell angepasster Schritt- und Trabgeschwindigkeit erreicht wurde, sank mit jedem Durchgang. Zusammenfassend meinten BUCHNER et al. (1994), dass Pferde sich innerhalb von fünf Minuten dem Laufband anpassen, man jedoch Messungen nicht vor dem dritten Durchgang durchführen sollte und nie während der ersten Minute eines Laufes.

Tabelle 1: Bedingungen bei den Untersuchungen über das Verhalten von Pferden auf Laufbändern

Autor	Pferde (n)	Rasse und Alter	Belastungen (n)	Geschwindigkeit	Dauer der Belastung
King et al. (1995)	6	VB, 3-5 jährig	An 4 Tagen je eine Belastung	Akklimatisierungsläufe bei 6 % Steigung: 1. Stufe: 1,5-2 m/s; Schritt 2. Stufe: 4 m/s; Trab 3. Stufe: 6 m/s; Trab/Galopp 4. Stufe: 8 m/s; Galopp	1. Stufe: 4 min 2. Stufe: 3 min 3. Stufe: 2 min 4. Stufe: 1 min
	12	VB- und Stb Rennpferde, 2-6 jährig	An 2 Tagen je 2 Akklimationierungsläufe und je 1 Testlauf	Testlauf bei 6 % Steigung: 1. Stufe: 4 m/s Trab 2. Stufe: 6 m/s; Trab/Galopp 3. Stufe: 8 m/s; Galopp 4. Stufe: 10 m/s; Galopp 5. Stufe: 11 m/s; Galopp	1. Stufe: 3 min 2. Stufe: 2 min 3. Stufe: 1 min 4. Stufe: 1 min 5. Stufe: 1 min
Buchner et al. (1994)	10	WB, \varnothing 9,5 Jahre	An Tag 1 bis 4 2 Belastungen / Tag, ab Tag 5 1 Belastung/Tag	Schritt (1,6-1,8 m/s) und Trab (3-3,9 m/s)	5 min

Erläuterungen:

VB = Vollblut

n = Anzahl

\varnothing = durchschnittlich

m/s = Meter pro Sekunde

WB = Warmblut

Stb = Standardbred

min = Minute

2.2 Bedeutung der kontrollierten Belastung mittels eines Laufbandes zur Rehabilitation beim Menschen

Die folgenden Untersuchungen und Studien zeigen zuerst den vielseitigen Einsatz und die Erfolge des Laufbandes außerhalb des Wassers bei verschiedenen Erkrankungen des Menschen. Anschließend wird die Rehabilitation im Wasser mittels Aquajogging und Deep Water Running (DWR) beleuchtet.

2.2.1 Außerhalb des Wassers

Die in Tabelle 2 aufgeführten Arbeitsgruppen beschäftigten sich mit dem Einsatz des Laufbandes bei der Rehabilitation neurologischer Erkrankungen des Rückenmarks.

Tabelle 2: Bedingungen und wichtigste Ergebnisse der Untersuchungen bei der Rehabilitation von Rückenmark geschädigten Patienten mit Laufbandtherapie gegenüber der konservativen Therapie

Autor	Probanden	Belastung (n) und Behandlung	Ergebnis
Wernig et al. (1995)	Gruppe 1: 44 chronisch partiell gelähmte Patienten, von denen 11 ohne fremde Hilfe und 6 Treppe laufen konnten	3-20 Wochen an 5 Tagen pro Woche, 1 bis 2 x pro Tag 30 min lang Laufbandtherapie mit 0-40 % BWS bei 0,02-0,55 m/s	34 der Probanden konnten ohne Hilfe und 7 mit Hilfe gehen; 34 der Patienten konnten Treppen steigen; Bei 11 Patienten, die bereits vor der Therapie Gehen konnten, verbesserte sich Ausdauer und Geschwindigkeit; nur 1 Patient zeigte keine Besserung
	Gruppe 2: 12 postakute an den Rollstuhl gebundene Patienten, die bereits das Gehen nach erfolgter konservativer Therapie mit manueller Unterstützung oder Gehwagen erlernt hatten	gleiche Belastungen wie Gruppe 1	9 der 12 Probanden konnten ohne Hilfe gehen
	Gruppe 3: 29 seit Jahren chronisch gelähmte Patienten. Die Kontrollgruppe bestand aus 24 Patienten, die konservativ behandelt wurden	Belastung wie bei Gruppe 1 und 2	14 der 18 Probanden konnten ohne Hilfe gehen; Kontrollgruppe: 1 von 14 Probanden konnte ohne Hilfe gehen
	Gruppe 4: 45 akut nach spinalem Trauma gelähmte Patienten; 36 sind an den Rollstuhl gefesselt; Kontrollgruppe mit konservativer Therapie: 40 akut nach spinalem Trauma gelähmte Patienten	Belastung wie bei Gruppe 1-3; 2-22 Wochen lang, 5 Tage die Woche	92 % erlernten das Gehen; 7 Patienten, die bereits vor der Therapie gehen konnten, verbesserten die Geschwindigkeit; Kontrollgruppe: 50% erreichten Klasse 3 (gehen mit Gehhilfe möglich)
	Gruppe 5: 7 tetraplegisch gelähmte Patienten	3,5-9 Wochen lang, 1x täglich	keine Besserung sichtbar
Behrman/Harkema (2000)	4 Patienten mit Rückenmarksverletzungen: Fall 1: 20 jährige Patientin mit komplettem Verlust des sensorischen und motorischen Zentrums (ASIA = American Spinal Injury Association Impairment Scale A)	85 mal manuell unterstütztes Gehen mit BWS 1-3 x pro Tag, bis zu 10 min; steigend bis Schrittgeschwindigkeit	bis zu 10 selbstständige Schritte mit mind. 1 Bein, dabei Aufnahme bis zu 90 % des eigenen Körpergewichts; Muskeltonus verbessert
	Fall 2: 20 jähriger Patient; Sensorium vorhanden, Muskeltonus reduziert, kein selbstständiges Gehen möglich; (ASIA C)	64 Einheiten, anfangs unterstützt durch BWS	freies Gehen auf dem Laufband; außerhalb mit Gehhilfe

Autor	Probanden	Belastung (n) und Behandlung	Ergebnis
	Fall 3: 43 jähriger Patient, Sensorium vorhanden, Muskeltonus minimal reduziert; (ASIA D) an den Rollstuhl gebunden	27 Einheiten mit 45 % BWS zu Beginn, später nur 20 % BWS	assistiertes Gehen, bzw. mit Gehhilfe
	Fall 4: 45 jähriger Patient (ASIA D, siehe Fall 3)	5 Einheiten ohne BWS; 30 min bei 1,3 m/sec	erreicht motorische Selbstständigkeit, kein Rollstuhl mehr nötig; Steigerung der maximalen Gehgeschwindigkeit von 1,2 m/sec auf 1,8 m/sec, (normale Gehgeschwindigkeit)

Erläuterungen:

BWS = Body weight support
min = Minuten

ASIA = American Spinal Injury Association Impairment Scale

WERNIG et al. (1995) zeigten, dass die Laufbandtherapie bei der Rehabilitation Rückenmarksverletzter einer konservativen Therapie überlegen ist. Sie führten dies auf die abwechselnde Belastung der distalen Gliedmaßen zurück, welche sogar bei nicht vorhandener aktiver Muskularbeit durch Assistenz von außen ein Gehen ermöglicht. Außerdem fördert das Gehen mit wechselnder Gewichtsbelastung der Gliedmaßen die Propriozeption mehr als das konservative Krabbeln. Die Muskeln werden aufgebaut und der motorische Ablauf des Gehens eingeübt. Auch die geschwächte und gelähmte Rumpfmuskulatur wird gefördert, was wiederum hilfreich zur Findung des Gleichgewichts ist. Nicht vollständig geklärt ist die Tatsache, dass viele Patienten in Ruhe deutlich weniger aktive Muskelbewegungen durchführen können, als aus der Bewegung heraus. Es scheint, dass somit das Üben von Bewegungsabläufen und die Propriozeption erst aktive Muskularbeit ermöglichen. Die Tatsache, dass Patienten mit Tetraplegien das Laufen dennoch nicht erlernen, zeigt wiederum, dass die Rückenmarkssensibilität und Propriozeption beim Zweibeiner sich zumindest quantitativ vom Vierbeiner unterscheiden.

BEHRMANN und HARKEMA (2000) zeigten ebenfalls, dass die kontinuierliche Vorwärtsbewegung des Laufbandes das Erlernen der Fortbewegungsfähigkeit der Patienten nach Rückenmarksverletzungen fördert. Das Aufnehmen von Gewicht der unteren Gliedmaßen fördert die Aktivität der Motoneurone. BWS (Body weight support) unterstütztes Gehen auf dem Laufband ermöglicht eine schnellere Grundgeschwindigkeit und diese wiederum erleichtert das Laufen lernen. Das Ermöglichen einer ausreichenden Streckung in der Hüfte und die Gewichtsentslastung der Gliedmaßen am Ende der Fußung erleichterten das Ausführen der Schwungphase. Die Reaktion des sensorischen Nervensystems beim Laufen auf dem Laufband fördert

die Aktivität der motorischen Nerven und somit ein aktives Gehen lernen. Außerdem kompensiert der Aufbau der Muskeln neurologische Defizite.

Im Folgenden wird der Einsatz des Laufbandes bei zerebral bedingten neurologischen Erkrankungen dargestellt.

VISINTIN et al. (1989) zeigten, dass bei spastischen Patienten die körpergewichtsreduzierte Belastung auf dem Laufband den Patienten ermöglicht, die Schrittlänge und Schrittgeschwindigkeit zu vergrößern und eine geradlinigere Schrittführung zu erlangen.

VISINTIN et al. (1998) untersuchten den Einfluss von BWS bei der Rehabilitation von Schlaganfallpatienten. Der Vergleich des Laufbandtrainings bei auf 40 % reduziertem Körpergewicht durch Unterstützung, im Gegensatz zu nicht reduziertem Körpergewicht bei Patienten nach Schlaganfall zeigte, dass die Patienten mit Körpergewichtsunterstützung das Gehen leichter wieder erlernten als die Kontrollgruppe ohne Unterstützung.

Eine andere Studie von SCHINDL et al. (2000) belegte, dass regelmäßige Bewegung auf dem Laufband ebenfalls bei reduziertem Körpergewicht eine viel versprechende, nichtambulante Therapiemöglichkeit bei Kindern mit spastischen Paresen, ausgelöst durch Gehirnlähmungen, ist. Sie unterstreichen, dass das Laufband die Fähigkeit der Kinder mit zerebraler Lähmung Gehen zu lernen erheblich unterstützt und die Beweglichkeit fördert.

Tabelle 3: Bedingungen und Ergebnisse von Untersuchungen über den Einsatz von BWS (Body Weight Support) bei spastischen Patienten, Schlaganfallpatienten und Patienten mit Gehirnlähmungen

Autor	Probanden	Belastung (n) und Behandlung	Ergebnis
Visintin et al. (1989)	7 spastische Patienten	Belastung mit 0 % BWS und 40 % BWS; bei individuell maximaler Geschwindigkeit	40 % BWS senkt die Elektromyographiewerte (EMG) für die distale Gliedmaßenmuskulatur und zeigt bessere Werte bei Bodenkontakt und Belastung der Gelenke; Schrittlänge und Geschwindigkeit erhöhen sich im Gegensatz zu 0 % BWS
Visintin et al. (1998)	100 Schlaganfallpatienten mit Gehschwierigkeiten	6 Wochen lang 1x tgl. 5 Tage pro Woche; Gruppe 1: 50 Patienten mit bis zu 40 % BWS Gruppe 2: 50 Patienten ohne BWS	Gruppe 1 erzielte signifikant bessere Werte beim Erreichen des Gleichgewichts, Ausdauer beim Gehen, Gehgeschwindigkeit und dem Wiedererlangen der motorischen Fähigkeiten
Schindl et al. (2000)	10 Kinder mit Gehirnlähmung	3 Monate lang, 3x pro Woche, jeweils 25 min mit BWS	das Stehvermögen der Probanden verbesserte sich um 47 %, das Laufvermögen um 50 %; 4 der 6 unbeweglichen Probanden verbesserten ihre Beweglichkeit; 1 Proband kann kurze Distanzen frei, 2 mit Hilfe zurücklegen; bei 4 Patienten, die bereits vor der Therapie mit Hilfe laufen konnten, erlernte 1 Treppen steigen, 3 benötigten lediglich verbale Unterstützung; 1 Proband konnte selbstständig aufstehen

Erläuterungen:

BWS = Body weight support

EMG = Elektromyographiewerte

min = Minuten

Der Einsatz von Laufbändern bei der orthopädischen Kniegelenksrehabilitation wurde von COLBY et al. (1999) untersucht. Der Einsatz des Laufbandes bei reduziertem Körpergewicht (BWS) bei der Knierehabilitation ist ebenfalls sinnvoll, da der Energieverbrauch reduziert, die Muskelaktivität, außer bei 40% BWS, beim Musculus quadrizeps jedoch kaum verringert ist. Das Gewicht, das auf den verletzten Strukturen lastet, ist verringert und die Schmerzen werden reduziert. Es ist den Patienten so möglich die Gliedmaßen zu belasten, und dabei die Muskulatur bei reduzierten Schmerzen und geringerer Anstrengung wieder aufzubauen.

Tabelle 4: Bedingungen und Ergebnisse einer Untersuchung in Bezug auf die unterschiedliche Belastung der Muskulatur beim Einsatz auf dem Laufband

Autor	Probanden	Belastung (n)	Ergebnis
Colby et al. (1999)	10 gesunde Athleten	5 min Stufen bei 1,34 m/s 1. Stufe: volles Körpergewicht 2. Stufe: 20 % BWS 3. Stufe: 40 % BWS	Bei allen Stufen blieb die HF =, das BWS ↓ den Energieverbrauch, die Muskelaktivität war außer bei Stufe 3 kaum verändert. Bei der 2. Stufe ↓ der O ₂ - Verbrauch um 6 %, bei der 3. Stufe um 12 %. Zusätzlich ↓ sich bei Stufe 3 der Elektromyographiewert (EMG) des M. Quadrizeps

Erläuterungen:

> = größer als

< = kleiner als

↑ = Zunahme

= = unverändert

M. = Musculus

n = Anzahl

HF = Herzfrequenz

↓ = Abnahme

O₂ = Sauerstoff

2.2.2 Aquajogging

Aquajogging ist die in Deutschland gebräuchliche Bezeichnung für das Laufen in tiefem Wasser mit Auftriebshilfe in Form einer Weste oder eines Gürtels. Man unterscheidet je nach Wassertiefe zwischen Shallow Water Running (SWR) und Deep Water Running (DWR), bei beiden besteht kein Bodenkontakt. Beim DWR ist eine Wet Vest, die durch den nötigen Auftrieb eine aufrechte Körperhaltung im Wasser ermöglicht, erforderlich. Kopf, Hals und Schulter ragen aus dem Wasser ("head out immersion"). Es werden Laufbewegungen wie an Land durchgeführt. Die Geschwindigkeit und der Laufstil sind der Indikation anzupassen. Seit ca. 30 Jahren wird Aquajogging im Rehabilitationsbereich erfolgreich eingesetzt und fand dann auch sehr schnell Zugang zum Leistungssport. Die folgenden Arbeitsgruppen untersuchten systematisch den Einsatz des Aquajogging bei der Rehabilitation.

KÜHNE (1993) untersuchte den Nutzen des Aquajogging als einen therapeutischen Weg nach Kreuzbandverletzungen. Nach Kreuzbandoperationen ist der Einsatz der Aquajogging-Therapie als sehr sinnvoll einzustufen. Im Vergleich zur Kontrollgruppe schnitten die Aqua-Jogging-Programtteilnehmer deutlich besser ab. Nicht nur, dass sie im Durchschnitt sieben Wochen früher ihren vollen Bewegungsumfang erreichten, sondern auch die Tatsache, dass sie im Mittel nach zwölf Wochen in der Lage waren, ohne Probleme und mit guter Lauftechnik wieder ein Landtraining zu beginnen, spricht für sich. KÜHNE (1993) verweist weiterhin auf die Erfolge bei der Rehabilitation bei Patienten mit Hüftgelenk-Totalendoprothesen, Osteoporosefällen, Verletzungen des oberen und unteren Sprunggelenkapparates, sowie bei Frakturen der

unteren Extremitäten (20 % schnellere Bruchheilung im Wasser). Bei der Prävention von Fehlstellungen und Haltungsschwächen im Wirbelsäulenbereich, sowie bei der Vermeidung von Rezidivverletzungen am Kniegelenk erzielt Aquajogging bereits gute Erfolge.

MELTON-ROGERS et al. (1996) verglichen die kardiorespiratorischen Veränderungen von Patienten mit Gelenkrheumatismus bei der Belastung auf dem Fahrrad und beim Aquajogging. Aquajogging erwies sich als eine gute Trainingsmöglichkeit, da die Patienten bei gleicher Kreislaufbelastung wie an Land im Wasser erst später die Schmerzschwelle erreichten, und somit ein schmerzfreieres Training möglich war.

BIRKNER et al. (1997) zeigten in ihrer Studie die psychischen und physischen Aspekte des Aquajogging. Nicht zu vernachlässigen sei der nachgewiesene positive psychische Effekt des Aquajogging. Besonders bei Nervosität, Müdigkeit, Ärger und Depressivität waren positive Befindensaspektveränderungen festzustellen. Die Teilnehmer fanden, dass sie viel besser das Gleichgewicht halten konnten.

WEIMANN et al. (1999) untersuchten, ob Aquajogging als Ausdauertrainingsform bei orthopädischer Beeinträchtigung, insbesondere bei Rückenbeschwerden geeignet ist. Folgende Fragen wurden erörtert: a) kann eine ausreichende Belastungsintensität erreicht werden, b) wie sind die Schmerzen während und nach der Belastung, c) wie ausgeprägt sind die Schmerzen im Vergleich zur Belastung an Land und d) wie fühlen sich die Patienten vor, während und nach dem Aquajogging. Sie zeigten, dass das Erreichen einer ausreichenden Belastungsintensität gemessen anhand der zu erreichenden Herzfrequenz gewährleistet ist, wenn die Patienten dies zulassen. Aquajogging trägt eindeutig zur Schmerzlinderung bei. 46 % der Patienten, die an der Wirbelsäule erkrankt waren, hatten nach dem Aquajogging signifikant geringere Schmerzen als vorher. Bei 40 % waren die Schmerzen unverändert und nur 14 % hatten größere Schmerzen. 97 % der befragten Patienten ziehen ein Wassertraining dem Landtraining vor, da 70 % der Patienten beim Aquajogging weniger Schmerzen haben als bei einer vergleichbaren Belastung an Land. Als mögliche Erklärung hierfür sehen sie das Aquajogging selbst. Der Auftrieb entlastet die Gelenke. Das ermöglicht den Patienten sich bei reduzierten Schmerzen zu bewegen. Die Bewegung hilft Verspannungen zu lösen, die Durchblutung zu fördern und die gelenkumgebende Muskulatur zu festigen. Aufgrund der physikalischen

Eigenschaften des Wassers ist eine optimale Kombination von Bewegung und Entlastung möglich. Die Aktiviertheit, etwas zu tun, war tendenziell nach dem Aquajogging höher als davor. Die Erklärung hierfür könnte der gesteigerte Stoffwechsel, sowie die dadurch erhöhte Körpertemperatur und ein daraus resultierendes Wohlbefinden sein. 53 % der Patienten zeigten hinterher durch geringeren Schmerz und das Phänomen Sport an sich, ein freundlicheres Gesicht. Besonders in der Frührehabilitation ist Aquajogging einzusetzen, 40 % der Patienten hätten außerhalb des Wassers noch keinen Sport betreiben können.

Tabelle 5: Bedingungen und Ergebnisse mehrerer Untersuchungen über den Einsatz des Aquajogging in der Rehabilitation

Autor	Probanden	Belastung (n)	Ergebnis
Kühne (1993)	Patienten mit operativ versorgten Kreuzbandverletzungen; Kontrollgruppe mit konservativer Therapie	Aquajogging bei submaximaler Belastung	Aquajogging-Gruppe erreichte durchschnittlich 7 Wochen früher den vollen Bewegungsumfang; nach 12 Wochen war bei guter Lauftechnik Bewegung an Land möglich
Melton et al. (1996)	8 Patienten Ø 36 (30-40) Jahre	Gruppe 1: maximaler Belastungstest auf einem stationären Fahrrad Gruppe 2: maximaler Belastungstest im Wasser	Gruppe 1: höheres Minutenvolumen als Gruppe 2 Gruppe 2: später empfundene Ermüdung, respiratorisches Austauschvolumen, O ₂ -Aufnahme und maximale HF waren bei beiden Belastungen vergleichbar
Birkner et al. (1997)	41, Ø 38 (25-60) Jahre, Gruppe 1: 23 Personen Aquajogging Gruppe 2: 10 Personen Laufkurs Gruppe 3: Kontrollgruppe 8 Personen	Aquajogging: 2 Trainingseinheiten pro Woche 45-60 min für 4 Wochen; Wassertemperatur 26,3 °C	Physisch: Gruppe 1 und 2: Mittelwerte der körperlichen Ausdauertrainiertheit verbesserten sich; Psychisch: nur bei Gruppe 1 signifikante Änderungen: Mittelwerte Nervosität, Ärger, Depressiertheit ↓; Gehobene Stimmung ↑; gegenüber Kontrollgruppe subjektiv verbessertes Gleichgewichts- Muskulatur- und Konditionsgefühl
Weiman et al. (1999)	43 Patienten Ø 44 (15-61) Jahre, mit orthopädischen Problemen, hauptsächlich Rückenpatienten mit Bandscheibenschäden	Aquajogging Intervalltraining 4 mal 4 min mit jeweils 1 min Pause	HF: ↑ sich von durchschnittlich 107 Schlägen pro min auf 120 Schläge Schmerzen: 46 % nachher weniger Schmerzen, 40 % gleich, 14 % größere; vor Therapie 24 % schmerzfrei, hinterher 44 %; weniger bei Aquajogging Schmerzen < zur Belastung an Land 79 %; die Aktiviertheit der Probanden hinterher etwas zu tun, war tendenziell ↑; die Ruhe ↑; Ärger und Energielosigkeit ↓; 53 % zeigten ein freundlicheres, 28 % das gleiche und 19 % ein unfreundlicheres Gesicht nach dem Aquajogging

Erläuterungen:

> = größer als
< = kleiner als
↑ = Zunahme
Ø = durchschnittlich
O₂ = Sauerstoff

n = Anzahl
HF = Herzfrequenz
↓ = Abnahme
min = Minuten
°C = Grad Celsius

2.3 Bedeutung der kontrollierten Belastung zur Rehabilitation bei Pferden

Nachfolgend werden Studien über die Rehabilitation bei Pferden im Wasser beschrieben.

2.3.1 Im Wasser

Aufgrund der Tatsache, dass keine Studien über Rehabilitation von Pferden auf Laufbändern im Wasser vorhanden sind, wurden Studien über schwimmende Pferde herangezogen.

2.3.1.1 Schwimmen

Nach SWANSTROM u. LINDY (1973) dient Schwimmen zur Rekonvaleszenz nach Operationen, zur Therapie, zur Trainingsergänzung, zur psychologischen Therapie von rennmüden und leistungsgeminderten Pferden, zur Aufwärmung vor dem Rennen, zur Entspannung, zum Abbau von Stoffwechselprodukten nach dem Rennen und zur Therapie des „Tying-up“ beim Rennpferd. Dabei würden andere Muskelgruppen als beim Lauftraining beansprucht, hauptsächlich die Pektoral- und die Gluteusmuskulatur. Die Pferde begannen 5 Tage bis 5 Wochen nach der Operation mit dem Schwimmtraining, abhängig von den durchgeführten Operationen, z.B. 14 Tage nach kleineren Operationen wie Metakarpal/Metatarsal Ostektomie, 30 Tage nach Arthrotomien und 90 Tage nach invasiven Fixationen von Frakturen. Die Schwimmdauer steigerte sich Minutenweise von 2-mal täglich 2 Minuten, auf 15 - 25 Minuten 2-mal täglich. Die Aufbereitung des Wassers sollte nach SWANSTROM u. LINDY (1973) mittels Filtern durchgeführt werden, gechlort und mit ca. 2-4 ppm Salzsäure bis zu einem pH-Wert von 7,2-7,4 angesäuert werden. Die Kotballen wurden mittels Netzen abgefangen. Die Wassertemperatur sollte bei 70°F liegen (21°C). Die meisten Schwimmbecken würden auf einem Chlorlevel von 2-4 ppm gehalten, manche Betreiber würden 8-10 ppm zu besserer Reinhaltung bevorzugen. Ein Indikator für zu starkes Chloren sei eine daraus resultierende Konjunktivitis oder Dermatitis. Bei zu geringem Chloren wurden infektiöse Dermatosen beobachtet. Ein negativer Einfluss des Schwimmens wurde bei nahezu ankylosierten Gelenken und bei Kniegelenks-, Rücken-, und Schultergelenkslahmheiten beobachtet.

DOWNER (1979) befürwortete die Wassertherapie bei Pferden, da warmes und kaltes Wasser Schmerzen und Muskelspasmen reduzierend wirken können. Nachdem der Schmerz verringert war, konnte der Patient sich mit geringerer Anstrengung in alle Richtungen bewegen. Somit wurden Regionen mit paralysierten Muskeln in Bewegung versetzt und besser durchblutet. Der gleichmäßige Wasserdruck auf das Tier gibt ihm Sicherheit und Stabilität. Der Druck auf den Thorax erschwerte jedoch die Atemaktivität, das sollte bei Patienten mit respiratorischen oder kardialen Problemen berücksichtigt werden. Außerdem gibt es im Wasser keine statische Position, da durch die ständige Arbeit der Fixatoren und ihrer Synergisten zur Stabilisation alle Muskeln stetig in Bewegung sind. Durch den Einsatz einer Turbine kann dieser Arbeitsaufwand noch vergrößert werden. DOWNER (1979) sah dies als ideale Möglichkeit und Ergänzung der Behandlung von Schäden im Skelett- und Muskelapparat, insbesondere der Sehnen und Gelenken. Er wies neben der Bewegung der Tiere ohne statische Belastung der Gliedmaßen besonders auf die physikalischen Eigenschaften des Wassers hin, den Auftrieb, hydrostatischen Druck und die Wassertemperatur. Er meinte, das Wasser bewirke neben der Anregung des Kreislaufs vor allem eine Massage der Gliedmaßen, was wiederum zu einer verstärkten Durchblutung führen würde. DOWNER (1979) befürwortete den Einsatz der Wassertherapie bei Gelenkssteifheit, neurologischen Krankheiten, die meist mit Muskelatrophien einhergehen und nach akuten entzündlichen Gelenkserkrankungen. Kontraindiziert seien die Warmwassertherapie bei erhöhter Körpertemperatur, bei Patienten mit Herzinsuffizienz, hohem oder niedrigem Blutdruck, respiratorischen Erkrankungen, Augenerkrankungen und akuten Gelenksentzündungen. Der Nachteil der Wassertherapie sei die Angst der Tiere vor Wasser, wenn sie nie zuvor in tiefem Wasser gewesen sind (DOWNER 1979). Bei der Bewegung auf einem Laufband sollte der Untergrund eben und nicht rutschig sein. Die Tiere sollten langsam mit der neuen Umgebung vertraut gemacht werden. Die Dauer, die die Tiere im Wasser bleiben können, ist abhängig von der Temperatur, der Anstrengung, der Aufregung und der physischen Konstitution. Entsprechend der Wassertemperatur der Körpertemperatur oder war sie höher, ermüdete das Tier schnell, war die Wassertemperatur zu niedrig, begannen die Tiere zu zittern. Bei aktivem Training meinte DOWNER (1979), sollte die Wassertemperatur zwischen 18,3 °C und 23,1 °C liegen, bei geringerer Anstrengung zwischen 35,6 und 40 °C.

Die Belastungsdauer sollte von 5 Minuten auf maximal 30 Minuten gesteigert werden.

Die Indikation des Schwimmens von Pferden bestand nach IRWIN et al. (1980) in der Rekonvaleszenz und der Therapie von Schäden des Bewegungsapparates und der traumatischen Arthritis des Kniegelenkes. Des Weiteren bei Fesselgelenksverletzungen, Verletzungen der Gleichbeine, der Hufe, als Trainingsergänzung und Ersatz langsamer Ausdauerarbeit an Land. Sie erwogen zur Reinhaltung des Wassers vor dem Schwimmen Klistiers zu verwenden.

In Frankreich existiert ein Therapiezentrum für Pferde, in dem kranke und verletzte Pferde durch Schwimmen behandelt wurden. Ebenso wurde der positive Effekt von Schwimmen auf die Psyche von rennmüden und sehr nervösen Pferden beschrieben. Pferde mit einem Verlust von Muskelmasse wurden nach einer längeren Arbeitspause wieder an die Belastung gewöhnt (DESCOMPTS 1980).

Bei der Rehabilitation von degenerativen Gelenkserkrankungen befürwortete AUER (1980) in Kombination mit intraartikulären Gelenksinjektionen das Schwimmtraining für Pferde. Ebenso nach Gelenkoperationen, da die Gewichtsbelastung auf die Gliedmaßen verringert, die Vorwärtsbewegung jedoch durch den Wasserwiderstand erhöht ist. Der Massageeffekt, meinte AUER (1980), verringere die Fibrosierung an der Kapsel. Einen Monat nach der Operation begannen sie mit der Belastung im Wasser. Die Heilungszeit würde so seiner Meinung nach um 1-2 Monate verringert. Die knöchernen Strukturen verlieren jedoch ihre volle Belastbarkeit. Darum erschien es AUER (1980) nicht sinnvoll, die Pferde direkt danach an Rennen teilnehmen zu lassen.

STECHELE (1995) sah bei dem Schwimmtraining einige Probleme wie Infektionsübertragung, Unfallgefahr und vor allem die nicht ganz ergonomische Körperhaltung für das Reitpferd, z.B. der gestreckte Hals. Er befürwortete die Benutzung eines sogenannten Aquatrainers: ein Container, in dem sich ein Laufband befand, und das bis oben hin geflutet werden konnte. Die Indikationen könnten durch die zwei Variablen Wasserstand und Bandgeschwindigkeit in Kombination mit der Gegenstromanlage wesentlich erweitert werden. Dadurch, dass die Pferde die Wasseroberfläche anvisierten, hoben sie Unterarm und Unterschenkel wesentlich mehr an.

Um diese enorme Arbeit leisten zu können wird der Rumpf zur Mitarbeit angeregt. Somit erreichte der optische Reiz ein rascheres und energiereicheres Abfußen des Pferdes mit gleichzeitiger Schwungentfaltung und einer hohen Rückentätigkeit, so dass nach STECHELE (1995) eine gewaltige Rückenmuskulatur aufgebaut würde. Die Schwebephase im Trab wurde maximal verlängert und die Belastung auf ein Minimum reduziert. Somit wurde ein Maximum an Arbeit bei minimal möglicher Belastung erreicht. Ein weiterer Effekt sei die Kühlung der Beine. Im Schritt bei hohem Wasserstand bis zum Schweben und langsamer Bandgeschwindigkeit würde eine Beanspruchung der Muskulatur und des Kreislaufes bei gleichmäßiger Gewichtsreduzierung erzielt, die bei Pferden nötig ist, deren Stützapparat nicht belastet werden darf und die sonst absolute Boxenruhe einhalten müssten, z.B. bei Rehe oder anderen Hufproblemen. Wenn die Belastungsfähigkeit des Bewegungsapparates nur dosiert gesteigert werden soll, wie bei den meisten Verletzungen, so kann bei täglich sinkendem Wasserstand die Bandgeschwindigkeit langsam erhöht werden, bis die Patienten 20 Minuten im stark kadenziierten Trab gearbeitet werden. Die Indikationen zur aktiven Therapie im Aquatrainer sah STECHELE (1995) im Trainingsbereich, vor allem bei Rückenschwächen, zur Vorbereitung auf die Hengstkörung, der Schwungentfaltung und der Taktregulierung. Ein weiteres Einsatzgebiet sei die Rehabilitation und unterstützende Therapie, z.B. bei Hufproblemen (Rehe), Sehnerkrankungen, bis hin zum Niederbruch und nahezu nach jeder orthopädischen Operation, um das Pferd den Besitzern in einem Zustand zurückzugeben, in dem es wieder normal belastet werden kann.

HUNT (2001) zeigte in seiner Studie an 27 Pferden mit der „cold spa bath hydrotherapy“ (kalten Mineralwassertherapie), wie erfolgreich die kühlende, hypertensive Wassertherapie sein kann. Er beobachtete die Rehabilitation von Pferden mit Tendinitis der Beugesehnen, Verletzungen des Unterstützungsbandes, chronischer Gelenkentzündung des Fesselgelenkes, nach einer arthroskopischen Chipentfernung, eine chronische Wundinfektion, sowie Pferde mit Verstauchungen, Ödemen und Steifheit. Vor allem die Schwellung in der akuten Phase der Tendinitis ginge in dem 5-9 °C kalten Wasser innerhalb einer Woche sichtbar zurück. Die Wasserhöhe wurde bis zur Hälfte des Radius eingelassen. Die Ultraschallkontrolluntersuchungen in den nächsten 3 Wochen zeigten einen Rückgang der echoarmen Zonen durch die Auflösung der Hämatome und der entzündlichen Infiltrate, eine beginnende Parallelvernetzung der Fasern wurde sichtbar. Der analgetische und

ödemreduzierende Effekt des kalten Wassers erlaube Sportpferden die Rückkehr in den Wettkampf ohne Medikamente. Bewegtes kaltes Wasser enthalte mehr Sauerstoff als unbewegtes wärmeres Wasser. Die Kombination der Hypertonizität des Wassers, des Massageeffekts, der Bewegung und der hydrostatische Druck durch die Tiefe des Wassers gewährleisteten nach HUNT (2001) somit optimale Heilungschancen für Haut- und Unterhautläsionen. Somit sollte die „cold spa bath hydrotherapy“ als Alternative oder Kombinationstherapie zum Sehnenplitting, Desmotomie des Unterstützungsbandes, lokalen BAPN (Beta-aminopropionitrile) oder Hyaluronsäureinjektionen, entzündungshemmenden Therapie oder des Bandagierens zu sehen sein. Der Vorteil des bewegten kalten Wassers, meinte HUNT (2001), sei die höhere Dichte und Sauerstoffkapazität.

2.4 Bestimmung der Beanspruchung: Definition und Variablen

Im folgenden Teil der Arbeit werden physiologische Belastungen und deren Auswirkungen auf den menschlichen oder tierischen Organismus beschrieben. Hierzu einige Grundlagen.

In den folgenden Abschnitten wird erläutert, inwiefern Belastung, Leistung und Energiegewinnung miteinander im Zusammenhang stehen.

Eine Belastung ist ein Reiz, auf den der Organismus mit verschiedenen physiologischen Vorgängen, insbesondere im Bereich des Energiestoffwechsels, reagiert. Diesem Reiz kann eine physische Beanspruchung im Sinne von Muskelarbeit oder Verdauung oder aber eine psychische Beanspruchung (Angst, Erregung) zu Grunde liegen. Eine physische Belastung, die durch Bewegung des Pferdes und folglich durch Muskelkontraktionen entsteht, kann, beeinflusst von vielen Faktoren, mit unterschiedlicher Intensität erfolgen. Die Belastungsintensität wird bei Bewegung durch das Ausmaß der Erhöhung des Energiestoffwechsels gekennzeichnet, verursacht beispielsweise durch die Geschwindigkeit, und wird durch die Herzfrequenz repräsentiert (COUROUCÉ 1998). Die Dauer beschreibt die Zeit, über die eine Belastung aufrechterhalten wird (COUROUCÉ 1998). Die Physiologie der Leistungsfähigkeit basiert auf der Umwandlung chemischer Energie in mechanische Energie der Muskelkontraktion. Die Befähigung zu dieser Umwandlung kann als

Leistungsfähigkeit bezeichnet werden (MC MIKEN 1983). Die Leistungsfähigkeit wird durch die maximale Sauerstoffaufnahme limitiert. Diese wiederum ist durch die Diffusionskapazität der Lunge, die Möglichkeiten der Sauerstoff Utilisation im Muskel und die Sauerstofftransportkapazität begrenzt (KRZYWANEK et al. 1977). Häufig wurde versucht, die Leistungsfähigkeit von Pferden abzuschätzen. Als Kriterien wurden dabei in erster Linie die Herzfrequenz (EHRLEIN et al. 1973, SEXTON et al. 1987), Laktat (BAYLY et al. 1987, EVANS et al. 1993) und verschiedene hiervon abhängige Leistungskennwerte wie z.B. v_2 ; v_4 bzw. v_{12} (die Geschwindigkeit, bei der eine Laktatkonzentration von 2 mmol/l, 4 mmol/l, bzw. 12 mmol/l Blut erreicht wird) und v_{150} ; v_{170} bzw. v_{200} (Geschwindigkeit, bei der das Pferd eine Herzschlagfrequenz von 150, 170 bzw. 200 Schläge/Minute erreicht) (CIKRYTOVA et al. 1991, HARKINS et al. 1993, COUROUCÉ et al. 1997), herangezogen.

2.4.1 Biochemische Variablen

2.4.1.1 Laktat

Laktat wird schon seit geraumer Zeit in der Humanmedizin zur Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung eingesetzt. Zahlreiche Untersuchungen in der Veterinärmedizin befassen sich aber auch mit den Zusammenhängen zwischen Laktatkonzentration im Blut, Training, Trainingserfolg und Turnier- bzw. Rennleistung. Bei gesunden Tieren entsteht Laktat bei körperlicher Belastung nicht durch Sauerstoffmangel. Laktat entsteht vermehrt, wenn die pro Zeiteinheit benötigte Energiemenge nicht durch die Stoffwechselprozesse, die vom Sauerstoff abhängig sind (aerob), geliefert werden kann. Große Mengen an Energie pro Zeiteinheit können nur die nicht vom Sauerstoff abhängigen Stoffwechselwege liefern (anaerob) (LINDNER 1998). Wird nun mit intrazellulären Enzymen als Endprodukt der anaeroben Glykolyse aus Glukose Laktat gebildet, so wird es zunächst von nicht, bzw. weniger arbeitenden Muskelzellen zur Energiegewinnung genutzt. Nach der Belastung wird es der Leber zugeführt, kann hier durch die Gluconeogenese wieder zu Glukose aufgebaut werden und dann erneut über das Blut in den Muskel gelangen (Cori-Zyklus). Laktat kann außerdem oxidativ im Herzmuskel verstoffwechselt werden (MC MIKEN 1983). Bei physiologischem pH-Wert ist die Milchsäure fast vollständig dissoziiert in H^+ Ionen und Laktat, deshalb kann man die Begriffe Milchsäure und Laktat synonym verwenden. Obwohl Laktat ein Endprodukt des

anaeroben Stoffwechsels ist, existiert Laktat im Blut auch in Ruhe. Im Ruhezustand liegt die Laktatkonzentration von Pferden im Blut bei 0,52 mmol/l (ART 1990) bis 1,5 mmol/l Blut (LINDNER 1997). Bei einem Vergleich der Angaben von absoluten Laktatwerten muss jeweils die Methode zur Bestimmung der Laktatkonzentration Beachtung finden. Diese kann sowohl im Plasma als auch im Blut erfolgen. Bei dem Vergleich absoluter Werte ist die Laktatkonzentration bis 2 mmol/l gleich, bei höheren Werten ist sie im Plasma höher als im Blut (LINDNER 1997). Das Problem des unterschiedlichen Mediums, in dem gemessen wurde, lässt sich noch annäherungsweise lösen. So gibt LINDNER (1997) für die Umrechnung der Plasmalaktatwerte in die Blutlaktatwerte für Blutlaktatwerte über 2 mmol/l folgende Formel an: „Blutlaktat = 0,61 * Plasmalaktat + 0,4 mmol/l“ mit $r = 0,99$; $p < 0,001$; $n = 328$.

a) Reaktion auf Belastung

Unter Belastung hängt die Entwicklung der Laktatkonzentration von der Belastungsintensität und der Entwicklung des aeroben Stoffwechsels ab. Findet eine Belastung auf einem Niveau statt, auf dem die Energiegewinnung allein mit Hilfe der aeroben Glykolyse erfolgt, kommt es zu keiner signifikanten Veränderung des Blutlaktatspiegels gegenüber dem Ruhewert (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991). Erreicht die Belastung aber eine Intensität, die vermehrt der anaeroben Energiegewinnung bedarf, reichert sich vermehrt Laktat im Blut an. Der Punkt, an dem aufgrund der Belastungsintensität verstärkt die anaerobe Energiegewinnung einsetzt, wird in der Humansportwissenschaft auch als aerob – anaerobe Schwelle (MADER et al. 1976) oder kurz als „OBLA“ (onset of blood lactate accumulation“) bezeichnet (GONDIM et al. 1998). Bis zu diesem Punkt kann eine kontinuierliche Belastung toleriert werden, ohne dass die Laktatkonzentration deutlich im Blut ansteigt. Diese Schwelle liegt beim laufenden Menschen bei einem Laktatspiegel von 4 mmol/l. Bei Pferden konnte dieser Schwellenwert nicht bestätigt werden. Angaben von LINDNER (1997) zufolge ist dieser Wert beim Pferd im Bereich von 1,3-1,8 mmol/l Blut anzusiedeln. Je intensiver eine Belastung ist, desto stärker verschiebt sich das Verhältnis aerober zu anaerober Glykolyse zugunsten der anaeroben Glykolyse, das heißt, Laktat akkumuliert. Trägt man die Laktatkonzentration bei steigender Belastungsintensität gegen die Geschwindigkeit auf, so nimmt die Laktatkurve einen exponentiellen Verlauf (BIRKS 1991), die Akkumulationsrate nimmt dabei bei jeder Steigerung der Belas-

tungsintensität zu (GALLOUX et al. 1995). Bei maximalen Belastungen kann die Laktatkonzentration im Blut bis zu 30 mmol/l erreichen (KEENAN 1979).

b) Erholung

Der Verlauf der Laktatkonzentration nach Beendigung der Belastung hängt von verschiedenen Faktoren ab. Wenn die Laktatkonzentration im Blut 8 mmol/l nicht überschreitet, sinkt sie in der Regel unmittelbar nach Ende der Belastung. Liegt die Laktatkonzentration über 8 mmol/l kommt es zu einem weiteren Anstieg, und der Höhepunkt der Laktatkonzentration im Blut kommt umso später, desto höher die maximale Laktatkonzentration ist (LINDNER et al. 1992). Auch die Aktivität des Pferdes in der Erholungsphase ist von Bedeutung. Sind die Pferde in der Erholungsphase in Bewegung, sinkt die Laktatkonzentration wesentlich schneller ab als im Stehen (MARLIN et al. 1987). MARLIN et al. (1987) untersuchten in einer Arbeit die Halbwertzeiten der Blutlaktatkonzentration nach einer definierten Belastung (2 Minuten Galopp bei 12 m/s auf einem Laufband mit 8,7 % Steigung) bei unterschiedlicher Aktivität in der Erholungsphase. Sie konnten zeigen, dass die Halbwertszeit bei 70-minütigem Stehen im Anschluss an die Belastung bei 26,8 (\pm 5,2) Minuten lag, während sie bei der Erholungsphase, die 30 Minuten Trab und 40 Minuten Schritt beinhaltete, 12,2 (\pm 3,9) Minuten ausmachte.

c) Beeinflussung der Reaktion

Die Laktatkonzentration im Blut ist in ihrer Reaktion auf Belastung von verschiedenen Faktoren abhängig. Exogene Faktoren, die die Laktatkonzentration beeinflussen, wurden, abgesehen vom Trainingszustand des Pferdes, wenig untersucht. Der Trainingszustand ist jedoch zweifelsohne der wichtigste Faktor überhaupt. WITTKE (1991) untersuchte in seiner Dissertation die Wirkung des üblichen Trainings von Galopprennpferden während einer Rennsaison auf die v_4 . Er stellte fest, dass die v_4 zunahm, wenn die Trainingseinheiten länger waren und der Umfang der Belastungen größer. Ebenso prüfte LINDNER (1997) die Wirkung des Trainings von Pferden mit bestimmten, laktatgesteuerten Belastungen. In einer Studie wurden 5 Galopprennpferde je elfmal 5,15 oder 25 min bei ihrer individuellen $v_{2,5}$ oder v_4 belastet. In einer zweiten Studie arbeiteten sechs Haflinger je 21 mal 25 Minuten bei ihrer individuellen v_4 und 45 Minuten lang bei ihrer individuellen $v_{1,5}$ oder $v_{2,5}$. Für diese Untersuchungen wurden die Pferde auf Laufbändern beansprucht. Die Belastungen fanden immer im

Zwei-Tagesrhythmus statt. Vor und jeweils nach einem bestimmten Trainingsprogramm wurden die Pferde zur Berechnung ihrer v_4 einem Stufenbelastungstest unterzogen. Es zeigte sich, dass Training bei v_4 und $v_{1,5}$ oder $v_{2,5}$, vorgegeben durch Tests mit einer Belastungsdauer von 5 Minuten je Stufe, auf die Ausdauer einen positiven Einfluss hat. DAHL et al. (1987) postulierte, dass die Außentemperatur die Laktatkonzentration nicht beeinflusst.

2.4.1.2 Kreatinkinase

Die Kreatinkinase (CK) und die Aspartataminotransferase (ASAT) gelten beim Pferd als muskelspezifisch, wobei die ASAT geringfügig auch als leberspezifisch gilt. Darum konzentriert sich diese Arbeit auf die CK. Zu der Reaktion der Enzyme sind in der Literatur Untersuchungen sowohl in Ruhe als auch unter Belastung von Pferden angefertigt worden. JUDSON et al. (1983) untersuchten bei Vollblütern Serumenzyme bei kurzer submaximaler und maximaler Belastung. Die CK änderte sich nach submaximaler Belastung nicht signifikant, während maximale Arbeit einen signifikanten Anstieg während der folgenden Stunde bedeutete. KERR u. SNOW (1983) untersuchten die CK bei 70 Pferden vor und nach der Belastung bei einem Distanzritt. Die Werte sind dabei sehr variabel und stehen in keiner Beziehung zum Erschöpfungsgrad der Pferde.

2.4.2 Physiologische Variablen

2.4.2.1 Herzschlagfrequenz

Die Herzfrequenz war in den letzten Jahrzehnten Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Es wurde insbesondere die Reaktion auf submaximale und maximale Belastung und Veränderungen im Verlauf von Trainingsperioden analysiert. Die physiologischen Werte der Herzfrequenz bei Pferden bewegen sich zwischen 30 Schlägen/min in Ruhe (GRAUWILER 1965) und 240 Schlägen/min oder höher bei extremer Belastung (BAYER 1968).

a) Reaktion auf Belastung

Zu Beginn einer Belastung besteht ein erhöhter Sauerstoffbedarf im Muskel. Um diesen zu decken, erhöht sich zum einen das Schlagvolumen, zum anderen die

Herzfrequenz (SILBERNAGL u. DESPOPOULOS 1991). Die Beschleunigung der Herztätigkeit während der Arbeit wird reflektorisch durch einen Anstieg des Blutdrucks in der rechten Vorkammer ausgelöst (Bainbridge-Reflex) (KOLB 1989). Die Herzfrequenz (angegeben in Schlägen/Minute) reagiert auf einen erhöhten Bedarf innerhalb von Sekunden (v. ENGELHARDT 1977). Die Intensität der Belastung spiegelt sich in der Höhe des Anstiegs der Herzfrequenz wieder, da auch der Sauerstoffbedarf bei höherer Belastungsintensität ansteigt. Jeder Geschwindigkeitswechsel während der Belastung kommt einem Anstieg der Belastungsintensität gleich und geht mit einer Anpassung der Herzfrequenz einher. Bis zu 210 Schlägen/min besteht eine lineare Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und der Herzschlagfrequenz (WILSON et al. 1983). Zu Beginn erreicht die Herzfrequenz ihren maximalen Wert innerhalb von 45 Sekunden. Danach fällt sie wieder ab und erreicht etwa 2-3 Minuten nach Belastungsbeginn eine Plateauphase, die bei Aufrechterhaltung des Arbeitsniveaus bestehen bleibt (v. ENGELHARDT 1977). Bei großer Belastungsintensität tritt diese „überschießende“ Reaktion nicht mehr auf, und die Herzfrequenz erreicht die Plateauphase („steady state“) in 45-120 Sekunden (PERSSON 1967; BASSAN und OTT 1968). PERSSON (1967) erklärte sich den bei submaximaler Belastung stark über die Plateauphase hinausgehenden Anstieg der Herzfrequenz anhand zweier Phänomene: 1. Bei der Beschleunigungsphase muss mehr Energie aufgewandt werden, als zur Aufrechterhaltung einer konstanten Belastung; 2. Die Entspeicherung der Milz findet verzögert statt, so kann eine Anpassung an das erhöhte Arbeitsniveau nur allmählich stattfinden. Beim Menschen, der keine derartige Speicherung besitzt, fehlt eine überschießende Reaktion dieses Ausmaßes (KARRASCH und MÜLLER 1951; BRODAN und KUHN 1966). Nach Beginn der Belastung von Pferden kann die maximale Herzfrequenz bei maximaler Belastung nach durchschnittlich 22 Sekunden erreicht werden (KRZYWANIEK et al. 1970). Einige Autoren geben die maximale Belastungsintensität des Menschen als Herzfrequenz in Abhängigkeit zum Lebensalter des Sportlers an: „220 minus Lebensalter“ (BRANNASCH 1996), bzw. „200 minus Lebensalter“, (KEUL 1996), wobei hier der einzige individuelle Einfluss, das Alter des Sportlers, die Schwankungen in der Leistungsfähigkeit zwischen Gleichaltrigen nicht berücksichtigt. Andere Autoren verwenden die Formel „180 minus Lebensalter“ (GROSS 1994, KLEINMANN 1996). Für ältere Sportler hingegen ist die so berechnete Herzfrequenz aber deutlich unterhalb der optimalen Trainingsherzfrequenz (HEINSBERG et al. 1980), wohingegen sie

für gewisse Sportarten wie Radfahren und Schwimmen zu hoch angesetzt sein soll (GROSS 1994).

b) Belastungen konstanter Belastungsintensität

Autoren, die die Herzfrequenz bei Belastungen konstanter Geschwindigkeit untersuchten, stellten während der Belastung einen Anstieg der Herzfrequenz fest (PERSSON 1967; BAYER 1968). EHRLEIN et al. (1973) untersuchten die Reaktion der Herzfrequenz zweier Pferde bei verschiedenen Belastungsintensitäten (Geschwindigkeiten) auf der Bahn im Trab (4-4,2 m/s) über 44-54 Minuten und im Galopp (5,3-7 m/s) über 25-33 Minuten. Sie stellten fest, dass der Anstieg der Herzfrequenz umso größer ist, je höher die konstante Laufgeschwindigkeit ist. In einem zweiten Versuch, bei dem sie insgesamt 29 Pferde bei Geschwindigkeiten von 8,3-9,6 m/s über 5-8 Minuten laufen ließen, fanden sie nur bei der Hälfte der Tiere einen signifikanten Anstieg der Herzfrequenz. Bei den übrigen war zum Teil während der Belastung sogar ein Abfall der Herzfrequenz zu verzeichnen. EHRLEIN et al. (1973) vermuteten, dass der Anstieg der Herzfrequenz bei gleich bleibender Belastung mit thermoregulatorischen Mechanismen in Zusammenhang steht und nicht zwangsläufig Ausdruck von Ermüdung ist.

c) Erholung

Nach dem Ende der Belastung fällt die Herzschlagfrequenz innerhalb der ersten Minute zunächst sehr rasch ab, während sie dann im Folgenden langsamer absinkt, bis sie wieder den Ruhewert erreicht (PERSSON 1967). EHRLEIN et al. (1969) definierten diese Phase nach Belastungsende über die „Erholungspulssumme“: die Zahl der Pulsschläge nach der Arbeit bis zum Erreichen der Ruhfrequenz. Diese wird ihren Beobachtungen zufolge u.a. von der Körpertemperatur und der Schweißsekretion beeinflusst, da eine hohe Herzfrequenz die Durchblutung der Haut fördert und so maßgeblich an der Regulierung der Körpertemperatur beteiligt ist. Der Ruhewert wird, abhängig von der vorangegangenen Belastungsintensität, Fitness des Pferdes und verschiedenen anderen Faktoren, in 2-20 Minuten wieder erreicht (PERSSON 1967).

d) Beeinflussung der Reaktion

Die Reaktion der Herzfrequenz soll rasseabhängig sein (CIKRYTOVA et al. 1991), außerdem wird sie durch verschiedene exogene Faktoren beeinflusst. Dieser Einfluss ist umso größer, je kleiner die Belastung ist (PERSSON 1983). Bei sehr intensiver Belastung und folglich hoher Herzfrequenz hat das Umfeld weniger Auswirkungen auf die Herzfrequenz. Mögliche Einflussfaktoren sind neben psychogenen Faktoren wie Angst und Unruhe, (PERSSON 1983) auch Krankheiten (LITTLEJOHN et al. 1977; 1983) und das Tragen einer Atemmaske (PERSSON 1983). Oberhalb einer Herzfrequenz von 120 Schlägen/min ist eine weitere Erhöhung der Herzfrequenz aufgrund der psychischen Komponente nicht mehr möglich (PERSSON 1983; EVANS u. ROSE 1988). Bei submaximaler Belastung wurde bei vielen Studien festgestellt, dass bei trainierten Pferden bei gleicher Belastungsintensität die Herzfrequenz auf einem niedrigeren Niveau lag (EHRLEIN et al. 1973). Dieser Trainingseffekt zeigte sich bereits nach 4 Wochen und blieb nach Einstellen des Trainings (Belastungstest nach vier Wochen ohne Training) erhalten (GOTTLIEB-VEDI et al. 1995).

2.4.2.2 Körpertemperatur

Die Körpertemperatur ist ein Indikator für die Belastungsintensität. Je höher die Belastungsintensität desto stärker steigt die Rektaltemperatur der Probanden an (KONDO et al. 1996). HAVENITH et al. (1995) meinten, dass jedoch mehrere Faktoren, wie die Größe und Umfang der Probanden, Einflüsse auf die Höhe der Anstiege bei Belastungen haben.

2.4.3 Bestimmung der Ausdauer

Die v_4 bezeichnet die Geschwindigkeit bei der theoretisch oder rechnerisch 4 mmol/l Laktat im Blut oder Plasma bestimmt werden. Theoretisch oder rechnerisch deswegen, weil die v_4 als Parameter auf einer Kurve abgelesen oder aus dem Kurvenverlauf berechnet wird. Diese Kurve wird mit Hilfe eines standardisierten Belastungstests erstellt. Die Kurve beschreibt die Beziehung zwischen der Laktatkonzentration im Blut oder Plasma und einer definierten Belastung, im Falle einer Laufbelastung also der Laufgeschwindigkeit: Sie heißt deswegen Laktat-Laufgeschwindigkeitskurve (= LLK). In den 80er Jahren begann man damit, die v_4 von

Pferden zu bestimmen. Die Heterogenität der Bezeichnungen für v_4 in der Literatur ist groß. Auch die Testvorschriften zur Bestimmung der v_4 differieren stark. Dies hat zur Folge, dass die v_4 -Werte der in den verschiedenen Studien getesteten Pferde nicht miteinander verglichen werden können. Für die v_4 spricht, dass sie a) ausreichend gut reproduzierbar bestimmt werden kann, (standardisierte Bedingungen!) und dass b) für ihre Bestimmung die Pferde bei einer Intensität belastet werden, bei der auch zwischen erfolgreichen Sportpferden häufig eine Differenzierung der Leistungsfähigkeit möglich ist (LINDNER 1997).

Die Ausdauer ist die Grundlage, dafür, dass jede der anderen körperlichen Eigenschaften mehr und besser trainiert werden kann. Also macht es Sinn, die Ausdauer bei allen Sportpferden zu verbessern. Bei den Sportdisziplinen Distanzreiten, Vielseitigkeit, Trabrennen, Galopprennen und Fahren ist sie zudem die wichtigste körperliche Eigenschaft, um den Wettkampf selbst erfolgreich zu bestreiten. Die Methode die Ausdauer zu diagnostizieren ist dabei für alle dieselbe, und auch die Methode, um sie durch Training zu verbessern. Der wesentliche Unterschied liegt für die verschiedenen Sportdisziplinen in der Häufigkeit derjenigen Trainingseinheiten, in denen Ausdauer erzielt wird. Zum Beispiel werden für ein Dressurpferd in einer Trainingsperiode weniger Trainingseinheiten zur Verbesserung oder Erhaltung der Ausdauer eingesetzt, als für ein Pferd, das im Distanzreiten eingesetzt wird. Die Konsequenz davon ist, dass nach einem Ausdauertraining bei Wiederholung der gleichen Belastungen ein größerer Anteil der benötigten Energie aerob zur Verfügung gestellt wird. Dadurch ist der anaerobe Stoffwechsel weniger beansprucht. Das messbare Anzeichen dieser Anpassung ist die niedrigere Laktatkonzentration im Blut. Deshalb kann man Laktat für die Diagnostik der Ausdauerleistungsfähigkeit verwenden (LINDNER 1997).

Um die Ausdauer bei Leistungssportlern gezielt zu trainieren, wird die Beanspruchung im Training über die Intensität festgelegt, die Laktatkonzentrationen im Blut innerhalb bestimmter Bereiche hervorruft. Man nennt dies auch Blutlaktatsteuerung. Andere Parameter wie Cortisol, Plasma Free Fatty Acid-like reactive Substances (TBARS), können weitere Informationen liefern, aber einzig und allein die v_4 korreliert positiv linear mit der Geschwindigkeit (LINDNER 2000), deshalb wird in der Praxis die Ausdauer von Pferden am besten durch Berechnung der v_4 bestimmt (LINDNER 2000). Die Intensitäten der Belastungen, die zu diesen

Konzentrationen führen, werden mittels vorgeschalteter Belastungstests ermittelt. V.WITTKE (1991) untersuchte in seiner Dissertation die Wirkung des üblichen Trainings von Galopprennpferden während einer Rennsaison auf die v_4 . Er stellte fest, dass die v_4 zunahm, wenn die Trainingseinheiten länger waren und der Umfang der Belastungen größer. Durch die Leistungsdiagnostik mit der v_4 kann man die Wirkung jeder Art von Trainingsmaßnahmen überprüfen und dadurch nutzlose Trainingsinhalte weglassen. Durch die Trainingssteuerung mit von Laktatwerten abgeleiteten Geschwindigkeiten kann man dazu beitragen, Pferde objektiv und systematisch auf ihren Sporeinsatz vorzubereiten (LINDNER 1997).

2.5 Wirkung von Belastung im Wasser

In den letzten Jahren befasste sich eine Vielzahl an Arbeiten mit der Untersuchung der physiologischen Einflüsse der Tauchbradykardie beim Menschen bzw. deren Entstehung. ANDERSSON et al. (2000) untersuchten die kardiovaskulären Auswirkungen bei Kaltwasserimmersion auf das Gesicht und die Unterarme und den Einfluss der unterschiedlichen Immersionen (Tabelle 17 im Anhang). Sie konnten zeigen, dass sich die Ergebnisse der Gruppe der Probanden mit Atempause und Gesichtsimmersion zu den restlichen Gruppen am signifikantesten differierten. Die Herzfrequenzreduktion war unter diesen Bedingungen am stärksten ausgeprägt. Aus der Stimulation der Gesichtsrezeptoren resultierte eine Parasympathikusaktivierung und somit eine Herzfrequenzreduktion und ein verminderter peripherer Blutfluss. Eine zusätzliche Unterarmimmersion hatte keinen weiteren Einfluss auf die Herzfrequenz. Bei unverminderter Atemtätigkeit und Gesichtsimmersion wurde der chronotrope Einfluss des Parasympathikus gemindert durch Unterarmimmersion und deren nachfolgende Sympathikusaktivierung. Die Hautdurchblutung differierte kaum zwischen den Tests, sie war konstant reduziert. Der durchschnittliche arterielle Blutdruck stieg bei den Probanden mit Atempause stärker an als bei normaler Atemtätigkeit. Am stärksten stieg der Blutdruck bei Atempause mit Gesichts- und Unterarmimmersion.

2.6 Der Einfluss der Temperatur des Wassers

Der Einfluss der Wassertemperatur auf verschiedene Variablen bei humanen Probanden im Wasser wurde von WEISS et al. (1988), MOUGIOS et al. (1993), SHIMIZU et al. (1998) und NUCKTON et al. (2000) untersucht (Anhang Tabelle 18).

2.6.1 Laktat

Der Einfluss der Wassertemperatur auf den Laktatgehalt im Blut bei submaximaler und maximaler Anstrengung untersuchten MOUGIOS et al. (1993) in ihrer Studie. Der höchste Laktatgehalt wurde bei 32°C Wassertemperatur und maximaler Anstrengung erreicht. Bei 20°C Wassertemperatur waren diese Werte deutlich niedriger. Bei submaximaler Leistung war der Laktatgehalt unabhängig von der Wassertemperatur. Die positive Korrelation der Laktatkonzentration zur Wassertemperatur bei maximaler Belastung und die Unabhängigkeit der Konzentration bei submaximaler Belastung stimmte nicht mit den Ergebnissen von HOLMER et al. (1979) überein. Sie maßen Laktatanstiege bei gleich bleibender Belastung bei von 34°C auf 18°C sinkender Wassertemperatur. Anschließend wurden bei maximaler Belastung keine signifikanten Anstiege mehr gemessen. Diese Diskrepanz der Studien lässt sich nur durch die unterschiedlichen Versuchsprotokolle erklären. Um die Studien vergleichen zu können, sollte auf vergleichbare Ruhelaktatgehalte der Probanden Wert gelegt werden. Dies war bei den zwei Vergleichsgruppen von MOUGIOS et al. (1993) nicht gegeben. Die Autoren stellten jedoch eine direkte Beziehung zwischen Wassertemperatur, Schwimmgeschwindigkeit, Herzfrequenz und Laktatkonzentration im Blut her. Sie erklärten die leichter erreichbaren schnelleren Geschwindigkeiten bei wärmeren Wassertemperaturen mit einer verbesserten Schwimmökonomie und/oder mit einem höheren metabolischen Umsatz, was sich wiederum in den höheren Laktatkonzentrationen widerspiegelt.

2.6.2 Noradrenalin

WEISS et al. (1988) untersuchten die Auswirkungen der Wasserimmersion bei unterschiedlichen Wassertemperaturen an Probanden im Ruhezustand. Gemessen wurden die NoradrenalinKonzentration, der Adrenalingehalt und der Blutdruck. Bei kalten Temperaturen stieg die NoradrenalinKonzentration an, ausgelöst durch Thermore-

zeptoren auf der Haut. Der vasokonstriktorische Effekt des erhöhten Noradrenalin-gehalts scheint dem sonstigen Immersionseffekt des erniedrigten peripheren venösen und arteriellen Druckes entgegen zu wirken. Dies führt nach WEISS et al. (1988) zu einer Blutdrucksteigerung bei erhöhtem Schlagvolumen.

2.6.3 Herzschlagfrequenz

DOWZER et al. (1998) verglichen in ihrer Arbeit verschiedene Studien und deren Erkenntnisse über die physiologischen Auswirkungen des Deep-water-runnings. Der hydrostatische Druck, der auf den aufrechten Thorax im Wasser wirkt, beträgt nach ARBORELIUS (1972) 20 cm H₂O (15 mm Hg). Dieser äußere Druck auf den Thorax erzeugt mit dem intrathorakalen Druck in den Alveolen eine Imbalanz. Deshalb kommt es zu einer Neuverteilung von ca. 700 ml des Blutes im zentralen Blutkreislauf, wobei 200 ml davon das Herz bewältigen muss. Beim Ruhezustand im Wasser wird ein bis zu 30-35 % höheres Herzschlagvolumen gemessen als bei Ruhe an Land. Das gesteigerte Volumen lässt sich mit Hilfe des Frank - Sterlingmechanismus als Resultat der gesteigerten Vorlast erklären und ist nicht Folge eines erhöhten linksventrikulären Auswurfes (CHRISTIE et al. 1990). Die Konsequenzen sind mehr hämodynamischer als metabolischer Art. Die Herzfrequenz sank bei erhöhtem Schlagvolumen und erhöhtem peripheren Widerstand. Eine steigende Belastung erzielt keine weitere Erhöhung des Schlagvolumens. Man erklärt sich das aufgrund des bereits in Ruhe in den zentralen Kreislauf verlagerten Blutes und das bereits erhöhte links ventrikuläre diastolische Volumen. Die reduzierte Lungenfunktion entsteht durch den hydrostatischen Druck auf den Thorax, der das Zwerchfell bis zur Position der fast vollständigen Expiration anhebt und so die Inspiration erschwert (WEISS et al. 1988). Die Vitalkapazität bei einer bis zum Xiphoid reichenden Immersion beträgt 3-9 % (AGOSTONI 1966).

MC ARDLE et al. (1976) maßen bradykarde Herzfrequenzen bei Belastung im Wasser bei Wassertemperaturen von 18 °C und 25 °C. Die sinkende Herzfrequenz bei Belastung würde durch ein proportional steigendes Schlagvolumen kompensiert. Durch die Vasokonstriktion des abkühlenden Körpers vergrößert sich das zentrale Blutvolumen, das wiederum hat ein vergrößertes Schlagvolumen zufolge. Der Sauerstoffgehalt des Herzschlagvolumens bleibt nach MC ARDLE et al. (1976) bei allen Temperaturen gleich. Der Einfluss der Wassertemperatur auf die Herzfrequenz bei

submaximaler Leistung und maximaler Leistung untersuchten MOUGIOS et al. (1993) in ihrer Studie. Bei maximaler Anstrengung wurde bei dem Versuch mit 32 °C Wassertemperatur die höchste Herzfrequenz erreicht. Bei 26 °C und 20 °C Wassertemperatur waren die Herzfrequenzen bei gleicher Belastung niedriger. Bei submaximaler Anstrengung korrelierten die durchschnittlichen Herzfrequenzen ebenso positiv mit der Wassertemperatur. Ähnliche Ergebnisse erzielten SHIMIZU et al. (1998), die in ihrer Studie Probanden bei 50 % ihrer $\dot{V}O_{2\max}$ (maximale Sauerstoffaufnahme) auf einem Laufband im Wasser belasteten. Der Einfluss verschiedener Wassertemperaturen auf die Herzfrequenz im Vergleich zur entsprechenden Belastung an Land bei konstanter Umgebungstemperatur wurde geprüft. Die höchsten Herzfrequenzen wurden bei einer Wassertemperatur von 35 °C gemessen, vermutlich bedingt durch die verstärkte Durchblutung der Haut. Bei 25 °C Wassertemperatur jedoch war die Herzfrequenz höher als bei 30 °C. Dies vermuteten SHIMIZU et al. (1998), sei bedingt durch die Steuerung des Sympathikus aufgrund der Kältesignale der Hautrezeptoren. Bei subthermoneutralen Wassertemperaturen ist die Herzfrequenz niedriger als bei der entsprechenden Belastung an Land. Bei thermoneutraler Wassertemperatur ist die Frequenz in Ruhe und bei submaximaler Belastung ähnlich wie an Land (ARBORELIUS 1972). Eine mögliche Erklärung hierfür sahen CHRISTIE et al. (1990) in dem Anstieg des atrialen Blutvolumens und dem daraus resultierenden Bainbridge-Reflex, der der erwarteten Reflexbradykardie entgegen wirkt. Bei maximaler Belastung im Wasser wurden konstant niedrigere maximale Sauerstoffaufnahmen und maximale Herzfrequenzen gemessen als bei submaximaler Belastung (SVEDENHAG et al. 1992, FRANGOLIAS et al. 1995). Die niedrigeren maximalen Sauerstoffaufnahmen resultierten vermutlich aus den unterschiedlich beanspruchten Muskelpartien. Im Wasser werden verstärkt kleine Muskeln des Oberkörpers eingesetzt. DOWZER et al. (1998) plädiert für die Erstellung einheitlicher Testprotokolle, nicht wie z.B. TOWN und BRADLEY (1991), deren Stufendauer zu Land und Wasser differiert. Die Uneinheitlichkeit der Studien mit oder ohne Weste lässt wiederum keine exakten Vergleiche zu. GEHRING et al. (1997) konnten eine um 16 % niedrigere Sauerstoffaufnahme und 15 % niedrigere Herzfrequenz bei Einsatz einer Weste messen. Die Herzfrequenzverlaufskurve bei MOUGIOS et al. (1993) verhielt sich jedoch auffällig different. Bei der submaximalen Belastung blieben sie nach einem zu Beginn ca. 10 min steilen Anstieg anschließend relativ konstant auf diesem Niveau. Bei maximaler Belastung stiegen die Herzfrequenzen im

Verlauf des Versuchs kontinuierlich an. Einen vergleichbaren Verlauf hatte die Herzfrequenzkurve bei SHIMIZU et al. (1998).

Über die genaue Ursache der verringerten Herzfrequenz bei maximaler Belastung im Wasser sind sich die verschiedenen Wissenschaftler noch nicht einig. SVEDENHAG, et al. (1992) vertreten die Theorie, dass der Baroreflex bei subthermoneutralen Temperaturen verantwortlich sein könnte. CHRISTIE et al. (1990) stellten die Theorie auf, dass der Einfluss des Sympathikus im Wasser durch veränderte Stimulation der Barorezeptoren reduziert ist. Eventuell ist diese Reduktion verbunden mit dem Anstieg des zentralen Blutvolumens und/oder mit der reduzierten chemischen Aktivierung der neuralen afferenten Fasern der bewegten Muskulatur, wodurch wiederum ein verstärkter Blutfluss in der Muskulatur bewirkt wird. Eine andere Erklärung ist, dass der hydrostatische Druck einen verstärkten venösen Rückfluss erzeugt, und somit ein erhöhtes Schlagvolumen zustande kommt. Um dieses zu kompensieren wird die Frequenz gesenkt. CHRISTIE (1990) und CONNELLY (1990) vertreten die Theorie, dass eine gesteigerte Aktivität den Plasmakatecholamingehalt beeinflusst und somit für die beschriebenen Veränderungen verantwortlich ist. Einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss haben jedoch, wie YAMAJI et al. (1990) bewiesen, die Gewöhnung der Probanden an die Belastung. Je besser die Akklimatisierung, desto niedriger die gemessenen Herzfrequenzen. Die durchschnittlichen Erholungsherzfrequenzen lagen bei 20 °C Wassertemperatur niedriger als bei 32 °C Wassertemperatur (MOUGIOS et al. 1993).

2.6.4 Körpertemperatur

WEISS et al. (1988) untersuchten die Auswirkungen der Wasserimmersion bei unterschiedlichen Wassertemperaturen an Probanden im Ruhezustand. Bei 10 min in 21 °C Wassertemperatur wurde Muskelzittern und Hyperventilieren der Probanden beobachtet. Bei Schwimmern in der Studie von MOUGIOS et al. (1993) bei 20 °C Wassertemperatur stieg die Körpertemperatur bei allen Probanden nach Belastung an. Ebenso einen Körpertemperaturanstieg bei der Belastung im Wasser bei 17,4 °C maßen COSTILL et al. (1967). Dieses Ergebnis differiert zu Studien von (HOLMER and BERGH (1974) und GALBO et al. 1979), bei denen die Körpertemperatur bei 18 und 21 °C Wassertemperatur nach der Belastung sank. MOUGIOS et al. (1993) erklärten sich dies aufgrund der höheren Fettgehalte ihrer Probanden und der unter-

schiedlichen Testbedingungen. Der Körper schützt sich außerdem bei einem Temperaturabfall auf der Haut durch Vasokonstriktion und vermindert somit seine Hautdurchblutung. Die Hauttemperatur selbst sinkt zusätzlich ab, so dass die Temperaturdifferenz Hauttemperatur zu Körperinnentemperatur größer wird, und der Körper sich dadurch gegen Auskühlung schützt. Dank dieser Schutzmechanismen wird ein um lediglich den Faktor 2-3fach erhöhter Wärmeverlust bei 20 °C Wasser gegenüber 20 °C Luft erreicht (DE MAREES 1981). SHIMIZU et al. (1998) zeigten in ihrer Studie, bei der sie Männer auf einem Wasserlaufband und eine Vergleichsgruppe mit gleicher Intensität auf einem Trockenlaufband belasteten, dass die rektale Körpertemperatur bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C auf dem Trockenlaufband stärker ansteigt, als bei der gleichen Wassertemperatur auf dem Laufband im Wasser. Der langsamere Anstieg der Rektaltemperatur im Wasser ist unabhängig von der Temperatur des Wassers. Die Hauttemperatur erhöhte sich im Wasserlaufband minimal bei 25 °C und 30 °C, markant hingegen bei 35 °C. Der Körpergewichtsverlust nahm mit zunehmender Wassertemperatur aufgrund der erhöhten Durchblutung der Haut und des vermehrten Schwitzens zu. Die Probanden zitterten bei Körpertemperaturen von 35 °C noch nicht, im Gegensatz zur Studie von KRUK et al. (1991), nach denen Zittern bei Körpertemperaturen von 35,2-35,4 °C auftrat. NUCKTON et al. (2000) untersuchten das Verhalten der Körpertemperatur bei 11 Probanden, die bei einer Wassertemperatur von 11,7 °C 45 Minuten schwammen. Nach ihnen ist das Aufrechterhalten der Körpertemperatur bei einer Wassertemperatur von 11,7 °C bei einem Aufenthalt im Wasser von 45 Minuten nicht mehr gegeben. 5 der 11 Probanden litten unter Hypothermie, die Körpertemperatur lag unter 36 °C. Je kleiner die Probanden, desto niedriger war die rektale Temperatur nach dem Schwimmen. Die Temperatur des Wassers spielt somit eine entscheidende Rolle. Bei Temperaturen, die niedriger als thermoneutral sind, kommt es zur Vasokonstriktion, und bei Temperaturen, die höher als thermoneutral sind, zur Vasodilatation. In Ruhe beträgt die thermoneutrale Temperatur des Menschen 33-35 °C. Die Körperkonstitution, insbesondere das subkutane Fett, beeinflusst diese. Je stärker die Belastung, desto niedriger die thermoneutrale Temperatur.

2.6.5 Schmerztilgung

Schmerz ist eine subjektive Empfindung der Lebewesen, die wissenschaftliche Bearbeitung schwierig macht. WEIMANN et al. (1999) untersuchten das Verhalten der Schmerzen während und nach der Belastung des Aquajogging, bzw. die Ausprägung der Schmerzen im Vergleich zur Belastung an Land. Die Studie, die eine eindeutige Schmerzlinderung durch Aquajogging belegt, zeigt aber nicht, ob und welchen Einfluss die Wassertemperatur hat, da keine unterschiedlichen Wassertemperaturen untersucht wurden.

2.6.6 Aquajogging beim Menschen

Aufgrund der physikalischen Eigenschaften des Wassers ist der Bewegungswiderstand im Wasser im Vergleich zur Luft 790-800 mal höher (AMELUNG et al. 1985). Dies bewirkt eine stärkere Belastung der Extremitätenmuskulatur, vor allem in der horizontalen Ebene. In der vertikalen Ebene kann das Wasser die Stütz- und Haltemuskulatur durch den hydrostatischen Auftrieb entlasten. Dies ist fast eine isokinetische Belastung, d.h. die Bewegungsgeschwindigkeit und der Bewegungswiderstand bleiben über einen Bewegungszyklus weitgehend konstant (MC WATERS 1988). Die Größe der Auftriebskraft entspricht der Gewichtskraft der vom Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge (FROBOESE 1994). Je schneller die Geschwindigkeit und je größer die Oberfläche desto größer wird der Wasserwiderstand (SHANEBROCK et al. 1976). Mit dem Einfluss der Belastung des Deep Water Running (DWR) auf Herzfrequenz, Atmung, Laktatkonzentration und respiratorischen Quotient im Vergleich zu den Belastungen auf dem Trockenlaufband, der Belastung an Land oder dem Shallow Water Running (SWR) befassten sich die in Tabelle 6 (Seite 52) aufgeführten Autoren.

Die Beanspruchung durch Deep Water Running (DWR) untersuchten RITCHIE et al. (1991). Sie wollten die maximal erzielbare Belastung beim DWR im Verhältnis zur Belastung auf einem Laufband und einem Hochgeschwindigkeitslaufband setzen. Sie belegten, dass der Sauerstoffverbrauch beim DWR dem auf dem Hochgeschwindigkeitstrockenlaufband gleicht und signifikant höher ist, als bei gemäßigttem Tempo auf dem Laufband. Dies gilt ebenso für den respiratorischen Quotient und die gemessene Anstrengung. Die Herzfrequenz verhält sich gegensätzlich. Sie entspricht dem normalen Landtraining und ist signifikant niedriger als beim Hochgeschwindigkeits-

laufband. TOWN u. BRADLEY (1991) untersuchten die Stoffwechselaktivität bei maximaler Belastung auf dem Laufband, beim DWR und Shallow Water Running (SWR) und somit den Einfluss der Wasserhöhe. Die Probanden des SWR hatten mit 90,3 %, verglichen mit 74 % beim DWR, einen höheren Sauerstoffverbrauch. 100 % entspricht dem Verbrauch auf dem Trockenlaufband. Die im Vergleich mit anderen Studien beim DWR gemessenen Stoffwechselaktivitäten sind sehr hoch. TOWN et al. (1991) führten dies auf das hohe Leistungsniveau der Probanden zurück und die Tatsache, dass die Belastung ohne Weste statt fand. Die Herzfrequenz ist bei entsprechender Belastung auf dem Laufband signifikant höher als beim SWR und beim DWR. Der Sauerstoffverbrauch beim DWR betrug 74 % des Verbrauchs auf dem Laufband, die Herzfrequenz jedoch betrug 90 %. Das Verhältnis Herzfrequenz zu Sauerstoffverbrauch verhält sich bei SWR zum Laufband wie 2,63 zu 2,66. Beim DWR beträgt sie 3,4. Somit differiert die Effektivität des Herzschlages. TOWN et al. (1991) führten dies wie YAMAJI et al. (1990) auf die gesteigerte Armaktivität zurück. LEWIS et al. (1983) und VOKAC et al. (1975) bewiesen, dass Armaktivität im Vergleich zur Beinaktivität erhöhte Herzfrequenzen verursachte. SWR ist als Trainingsmöglichkeit für Gesunde besser geeignet, da höhere Herzfrequenzen und Atemvolumina erreicht werden als beim DWR und bei zusätzlich geringerem Aufwand keine Weste notwendig ist. Zusätzlich entfällt die Angst vor der Tiefe. Dieses konträre Verhalten zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz beim „Deep Water Running“ erklärten sie sich durch eine durch Wasserimmersion verursachte verstärkte venöse Rückfuhr. Die Probanden in den Studien von BISHOP et al. (1989) erreichten geringere Sauerstoffaufnahmen. RITCHIE et al. (1991) vermuteten, die selbst gewählten und somit unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Probanden könnten die Ursache sein. Eine weitere Differenz der Studien war die längere Dauer der Belastung bei BISHOP et al. (1989). SVEDENHAG et al. (1992) verglichen auf dem Laufband und im Wasser den Einfluss der Wasserimmersion auf Herz-Kreislaufapparat und das Blutlaktat. Bei 25 °C Wassertemperatur und submaximaler Arbeit zitterten bei MCARDLE et al. (1976) die Probanden, dies verhinderten SVEDENHAG et al. (1992) in ihrer Studie mit 5 min leichtem Aufwärmtraining. Bei Belastungen im Wasser mit vergleichbarer Sauerstoffaufnahme zu der an Land lag die durchschnittliche Herzfrequenz mit einer Ausnahme um zehn Schläge niedriger. Die starke individuelle Differenz der Probanden korrelierte signifikant mit der Größe der Probanden. Größere Probanden hatten durch ihre längeren Beine einen besseren venösen Return und

somit ein erhöhtes Schlagvolumen. Das durch die Vorbelastung induzierte höhere Schlagvolumen erklärt wohl den höheren Sauerstoffpuls (Quotient aus Sauerstoffaufnahme in ml und Pulsfrequenz pro Minute). Die empfundene Beanspruchung war im Wasser sowohl relativ als auch absolut, gemessen an der Sauerstoffaufnahme, höher als an Land. Die für einen Ausdauertrainingseffekt angestrebte Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute ist im Wasser auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Nach SVEDENHAG et al. (1992) sollte sie niedriger angesetzt werden, da sie nur für wenige Versuchspersonen mit gesteigerter Geschwindigkeit erreichbar war. SCHLUMBERGER et al. (1997) untersuchten, um welchen Betrag die Herzfrequenz im Wasser verringert sein muss, um eine ähnliche metabolische Beanspruchung wie beim Laufen an Land zu erzielen. Außerdem beobachteten sie das Verhalten des Stoffwechsels beim Aquajogging bei identischer Herzfrequenz zu der entsprechenden Belastung an Land. Nach SCHLUMBERGER et al. (1997) beträgt die Reduktion der Herzfrequenz gegenüber der vergleichbaren Beanspruchung an Land im unteren Intensitätsbereich 40 Schläge pro Minute, das würde bei diesem Test den Belastungen der ersten 3 Stufen entsprechen. Ermittelt wurden diese Angaben mit dem Vergleich der Laktat-Herzfrequenzkurven an Land und im Wasser bei den Probanden und den verschiedenen Belastungsintensitäten. Im oberen Bereich, d.h. in den letzten 2 Stufen, würden die Autoren eine Reduktion von 20 Schlägen/min empfehlen. Diese Reduktion lässt sich nach SCHLUMBERGER et al. (1997) durch die so genannte Tauchbradykardie erklären. Der Dehnungsreiz im Herzmuskel und der damit verbundene erhöhte Sauerstoffgehalt im Blut lässt den Parasympathikus im verlängerten Rückenmark aktiv werden, was wiederum eine Senkung der Herzfrequenz bewirkt. Pulsmessungen ergaben durchschnittlich 10-12 Schläge in der Minute weniger. DOWZER et al. (1999) untersuchten die Form der Bewegung des SWR und DWR als eine alternative Trainingsmöglichkeit zum Laufband, bzw. Landtraining. Eine Versuchsgruppe erreichte beim SWR 94,1 % und DWR 87,2 % der Herzfrequenz vom Peak bei entsprechender Laufbandbelastung. Die Wassertemperatur war nicht thermoneutral, was auch die niedrigeren Herzfrequenzen beim DWR und SWR verursacht haben könnte. Leider machten TOWN et al. (1991) keine Angaben über die Wassertemperatur, denn sie maßen unterschiedliche Herzfrequenzen beim SWR und DWR. Die Sauerstoffaufnahme im Wasser mit 75,3 % beim DWR und SWR 83,7 % verglichen mit 100 % auf dem Laufband, sowie das Verhältnis Herzfrequenz zu Sauerstoffverbrauch war beim SWR und DWR niedriger als auf dem Laufband.

Sie erklärten sich dies durch die Reduzierung des Körpergewichts und die geringere Muskelarbeit der großen Beinmuskulatur. Die vermehrte Arbeit der Muskulatur der oberen Extremitäten hätte hierbei keinen Einfluss. Einflüsse durch unterschiedliche Fähigkeiten der Probanden wie z.B. bei der Studie von YAMAJI et al. (1990) bestanden bei dieser Studie nicht. NAKANISHI et al. (1999) untersuchten den Einfluss des Alters der Probanden, insbesondere den Einfluss auf das Herz-Kreislaufsystem bei gleicher Trainingsintensität auf dem Laufband an Land, verglichen mit dem DWR. Die maximale Ventilation, der absolute Sauerstoffverbrauch und die maximale Herzfrequenz waren unabhängig vom Alter beim DWR niedriger als bei der Belastung an Land. Obwohl die maximale Sauerstoffaufnahme und die maximale Herzfrequenz der jüngeren Gruppe höher waren als die der Älteren, meinten NAKANISHI et al. (1999), sei der Einfluss des Alters auf die unterschiedliche Belastung beim DWR und der Belastung an Land zu vernachlässigen. Die Temperatur während der Belastung wurde thermoneutral gehalten, um einen Einfluss auszuschließen. Die Beurteilung der empfundenen Beanspruchung differiert nicht zwischen DWR und dem Laufband, trotz ungewohnter Umgebung und Muskelarbeit überfordert das DWR nicht. Der signifikant niedrigere absolute Sauerstoffverbrauch beim DWR wird durch mehrere Faktoren beeinflusst: Einerseits durch den Einfluss des hydrostatischen Druckes auf das Herz und die unterschiedlich beanspruchte Muskulatur, andererseits werden im Wasser die Muskeln, die gegen die Schwerkraft arbeiten, nicht benötigt. Der Effekt des Wassers auf das Herz scheint somit noch nicht vollständig geklärt. Die Verringerung der Herzfrequenz von 20-30 % beim Eintauchen (Tauchbradykardie) erklärt man sich aufgrund von Blutvolumenverschiebungen von der Körperperipherie in den Brustraum (ARBORELIUS et al. 1972). Die Blutvolumenverschiebung wird durch den hydrostatischen Druck auf den Körper und die Extremitäten verursacht, dies wiederum führt zu einer Entlastung der Venen und somit zu einem erhöhten Schlagvolumen (CHRISTIE et al., 1990). Im Ruhezustand ziehen sich die Gefäße aufgrund des Kältereizes zusammen, sobald die Temperatur nicht mehr thermoneutral ist. Je nach Intensität der Bewegung müssen sie sich aber zur besseren Versorgung der arbeitenden Muskulatur wieder weiten (IKEGAMI 1997). Das Gefäßsystem wird deshalb bei Belastung im Wasser besonders trainiert.

GREEN et al. (1990) und YAMAJI et al. (1990) zeigten den Einfluss der Psyche, bzw. Erfahrung der Probanden. GREEN et al. (1990) untersuchten vergleichend an Land

und im Wasser die Herzfrequenz in Abhängigkeit zur Sauerstoffaufnahme unter der Verwendung einer Weste. Bei dieser Studie, bei der eine Gruppe von Männern und Frauen vergleichend an Land und im Wasser liefen, vermuteten die Autoren, dass die Ursache der erhöhten Herzfrequenzen im Wasser, verglichen mit anderen Studien, psychischer Natur ist. Sie empfehlen eine individuelle Anpassung der Belastung im Wasser und keine Übertragung der Bedingungen vom Land. Dieses Phänomen spiegelte die Studie von YAMAJI et al. (1990) ebenfalls wieder. Sie untersuchten vergleichend Laufband und DWR in Bezug auf die Abhängigkeit der Herzfrequenz zur Sauerstoffaufnahme. Im Mittel entspricht sie beim DWR der entsprechenden Belastung auf dem Trockenlaufband. Die Probanden, die DWR unerfahren waren, erzielten vermutlich durch rudernde Armbewegungen und die nicht vorhandene Weste gleiche oder höhere Herzfrequenzen als an Land. Im Gegensatz hierzu hatten Probanden, welche DWR-Rehabilitation erfahren waren, bei gleicher Sauerstoffaufnahme signifikant niedrigere Herzfrequenzen. Dies wiederum zeigt erneut den Einfluss der Psyche, bzw. Erfahrung der Probanden. Ebenfalls nicht zu vernachlässigen ist der Einfluss einer Weste.

Das Verhalten der Laktatkonzentration wird kontrovers diskutiert. Der Laktatpeak ist nach NAKANISHI et al. (1999) unabhängig vom Alter der Probanden. SVEDENHAG et al. (1992) maßen im Wasser konstant höhere Laktatwerte im Blut im Verhältnis zur Kontrollgruppe auf dem Laufband. Sie erklärten dies mit einem vermehrt anaeroben Stoffwechsel bei Wasserimmersion durch den verstärkten Druck auf den Körper, sowie die dadurch verminderte Durchblutung der Extremitäten und die veränderte Lauftechnik. Die Diskrepanz zu TOWN et al. (1991), die niedrigere Laktatkonzentrationen im Wasser gemessen haben, konnten sie sich nicht erklären, vermuteten aber, dass die unterschiedlichen Trainingszustände der Probanden und die somit unterschiedlich ausgebildete Muskulatur oder unterschiedliche Wassertemperaturen Ursache der Diskrepanzen waren. Die Wasserhöhe hatte bei diesen Autoren keinen Einfluss auf die Laktatkonzentration im Blut. Den niedrigeren Laktatpeak beim DWR erklärten NAKANASHI et al. (1999) nach CONNELLY et al. (1990) mit einer niedrigeren Plasmaepinephrinkonzentration während der maximal empfundenen Beanspruchung und widersprachen hiermit WILBER et al. (1996). SCHLUMBERGER et al. (1997) meinten, dass ihre gemessenen erhöhten Laktatwerte beim Aquajogging nicht durch eine immersionspezifische Verschlechterung der Muskeldurchblutung zustande kommen. Sie waren der Auffassung, dass die zusätzliche Muskelarbeit, die

für das Halten der Position im Wasser erforderlich ist, und die rein konzentrische Arbeitsweise der Beinstrecker bei der Streckung und der Hüftbeuger bei der Beinhebung für diese Steigerung verantwortlich sind. Der sinkende Laktatgehalt während der Belastung zweier Probanden sei vermutlich auf die ungewohnte Belastung zurückzuführen. Bei dem Test von FRANGOLIAS u. RHODES (1995) ist der Laktatgehalt bei "Water Immersion Running" (WIR) vergleichbar mit dem an Land. Sie erklärten sich die Diskrepanz zwischen ihren Ergebnissen und den Resultaten von SVEDENHAG et al. (1992) durch den unterschiedlichen Trainingsstatus der Probanden, außerdem hielten sie ebenfalls einen Einfluss der Wassertemperatur für möglich.

SHONO et al. (2000) untersuchten den Einfluss der Geschwindigkeit eines Laufbandes im Wasser auf Herzfrequenz, Laktatgehalt, Energieverbrauch, Sauerstoffverbrauch und die empfundene Beanspruchung bei Frauen. Herzfrequenz, Laktatgehalt, Energieverbrauch und Sauerstoffverbrauch stiegen exponentiell mit der Geschwindigkeit. Die Herzfrequenzen verhielten sich zu Sauerstoffverbrauch und der empfundenen Beanspruchung linear. Der höchste Laktatgehalt wurde bei der größten Geschwindigkeit gemessen: 2,4 mmol/l, bei einem Ruhewert von 1,1 mmol/l. Verglichen mit anderen Studien kamen SHONO et al. (2000) zu dem Ergebnis, dass das Laufen im Wasser mit halber Geschwindigkeit den gleichen Energieverbrauch hat wie das Laufen mit einfacher Geschwindigkeit auf einem Laufband an Land.

FRANGOLIAS u. RHODES (1995) verglichen die respiratorischen Auswirkungen bei der Belastung auf dem Laufband im Vergleich zur Belastung im Wasser. Sie zeigten, dass bei gleichem Laktatmaximalwert der Sauerstoffverbrauch im Wasser niedriger liegt. Sie erklärten dies mit der höheren Viskosität des Wassers und der gewichtsreduzierenden Wirkung beim Laufen im Wasser und evtl. durch die reduzierte Durchblutung der Extremitäten. Das maximale Atemvolumen wird durch den hydrostatischen Druck nicht negativ beeinflusst, da durch den Druck auf das Abdomen das Zwerchfell angehoben wird und somit in eine Position stärkerer Expiration gebracht wird. Der Kraftaufwand bei der Inspiration erhöht sich. Dies wiederum bewirkt eine Erniedrigung der Compliance und der Vitalkapazität. Die Atmung wird durch das Wasser ebenfalls beeinflusst. Die Einatmung wird durch den ständig wirkenden hydrostatischen Druck auf den Brustraum erschwert, die passive Ausatmung jedoch wird unterstützt. Das Gesetz von Boyle - Mariotte wirkt sich nur im tiefen Wasser bei An-

fängern aus, wenn die Lunge unter Wasser ist. Der hydrostatische Druck wird dort am Körper spürbar, wo sich im Inneren des Körpers Hohlräume befinden. Durch die intensivere Ausatmung gelangt mehr sauerstoffreiche Luft und weniger kohlendioxidreiche Luft in die Lunge (GRAUMANN 1999). Insgesamt verringert sich der Atemungsaufwand im Wasser, so dass man von einer verbesserten Atemökonomie im Wasser sprechen kann (HOLLMANN und HETTINGER 1990). Die Atemmuskulatur hingegen wird durch das kräftigere Einatmen gestärkt.

Tabelle 6: Belastungen im Wasser verglichen mit Belastungen an Land

Autor	Probanden	Belastung (n)	Ergebnis
Ritchie et al. (1991)	8 ♂, 2 mit DWR Erfahrung	Laufband und DWR: 5 min aufwärmen, 1. Lauf: 20 min gemäßigt Tempo 2. und 3. Lauf: 30 min rasches Tempo; Laufbandtest: 1 min bei 3,33 m/s (12 km/h) - 4,17 m/s (15 km/h); Intervalle 0,28 m/s (1 km/h); bei zunehmender Steigung um 1,5 % /min bis zur Erschöpfung; Wassertemperatur: 28,5°C	DWR: der O ₂ -Verbrauch, respiratorischer Quotient und Anstrengung ≅ der Belastung auf dem Hochgeschwindigkeitstrockenlaufband; sie sind > als auf dem Laufband bei gemäßigt Tempo; die HF ≅ der Belastung an Land oder der Belastung bei gemäßigt Tempo auf dem Laufband, aber < als auf dem Hochgeschwindigkeitslaufband.
Green et al. (1990)	5 ♂, 5 ♀	Laufband und DWR mit Weste: 3 Stufen à 6 min subjektiv: 1. Stufe: langsam 2. Stufe: gemäßigt 3. Stufe: rasch Wassertemperatur: 28°C	Frauen: durchschnittliche maximale O ₂ -Aufnahme und HF Land > Wasser. Männer: durchschnittliche maximale O ₂ -Aufnahme und HF : Wasser > Land.
Yamaji et al. (1990)	10 lauferfahrene ♂	Laufband: 5 Min bei 0 %, 3,56 m/s 5 Minutenintervallsteigerung um 0,22 m/s, bis zur Erschöpfung oder 4,67 m/s; DWR: 3 Stufen à 6 min subjektiv: 1. Stufe: langsam 2. Stufe: gemäßigt 3. Stufe: rasch Wassertemperatur: 26-28°C	Laufband zu DWR: Vergleichbares HF- O ₂ - Aufnahmeverhältnis; bei gleicher $\dot{V} O_2$ nicht differierendes Herzschlagvolumen
Town et al. (1991)	9 DWR-erfahrene, trainierte Probanden (7 ♂, 2 ♀)	Laufband, DWR (2,5-4 m Tiefe) und SWR (1,3 m Tiefe), ohne Weste; 3 randomisierte Belastungstests an 3 Tagen bis zur Verausgabung; Laufband Beginn bei 5 %: Stufen à 3 min; gleich bleibende v (♀ 3,58-3,93 m/s, ♂ 4,02-4,47 m/s), bei zunehmender Steigung um 3 % bis zur Erschöpfung; SWR and DWR: 6 min aufwärmen; Intervalle à 4 min, ↑ der Geschwindigkeit jede min bis zur Erschöpfung ; 2 min Dauer bei maximaler Belastung; Wassertemperatur: keine Angabe	O ₂ -Aufnahme: DWR 74 %, SWR 90 % des Laufbandes; HF: Laufband signifikant > SWR > DWR; [La]: DWR, SWR 81 % des Laufbandes; Schrittfrequenz: SWR > DWR; HF zu O ₂ -Verbrauch: SWR 2,63, Laufband 2,66, DWR 3,4

Autor	Probanden	Belastung (n)	Ergebnis
Svedenhag et al. (1992)	10 lauf-fahrene, trainierte ♂	DWR mit Weste: 5 min aufwärmen; 4 Stufen à 2 min; nach jeder Stufe 1 min Pause; 1. Stufe: 115 Schläge/min 2. Stufe: 130 Schläge/min 3. Stufe: 145 Schläge/min 4. Stufe: 155-160 Schläge/min 3-4 min Dauer bei maximaler Belastung und maximaler HF letzte min Messungen; Wassertemperatur: 25°C; 2 Wochen danach: Laufbandtest: gleiches Protokoll wie im Wasser; v verrechnet anhand der vergleichbaren Sauerstoffaufnahme. 1. Stufe: 3,11 m/s 2. Stufe: 3,61 m/s 3. Stufe: 4,14 m/s 4. Stufe: 4,5 m/s Stufen à 30 sec bis 4 min dann jede min; gleich bleibende v, 4,42 m/s (15,9 km/h) aber zunehmende Steigung um 0,5 %	DWR: signifikant niedrigerer O ₂ -Verbrauch, Sauerstoffkapazität und HF; durchschnittliche HF 10 Schläge < im Wasser mit einer Ausnahme eines Probanden; der Zeitpunkt der empfundenen Beanspruchung war im Wasser > als an Land; relative (zur O ₂ -Aufnahme) und absolute [La] waren > als an Land; RER war im Wasser >, die RER bei maximaler Belastung < Land.
Frangolias et al. (1995)	13 lauf- und Wasserimmersions erfahrene, trainierte Probanden (5 ♀, 8 ♂) (21-35 Jahre)	Laufbandtest: 1. Stufe: 2,2 m/s nach 1 min Zunahme um 3,66 m/s bis 5,33 m/s; v konstant bei \dot{V} O ₂ Steigung um 2% bis zur Erschöpfung; Rennen mit Wasserimmersion: vergleichbares Protokoll mit Laufband; höhere v, errechnet anhand der vergleichbaren O ₂ -Aufnahme; zusätzliches Gewicht (Steigungsersatz) 500 g ♂, 750 g ♀ jede min Zunahme um 400 g Wassertemperatur: 28 °C	Rennen mit Wasserimmersion bei maximaler Anstrengung: niedrigere O ₂ - Aufnahme und HF; identisch empfundene Beanspruchung, [La] und Atmung; niedrigere Schrittfrequenz.
Schlumberger et al. (1997)	10 lauf-fahrene, trainierte ♂, Aquajogging unerfahren	Intervalltests an Land: 5x1200 m, Stufenlänge je nach individuellem Ausdauerlevel zwischen 7.12 und 6.48 min, Reduktion pro Stufe um 24 s; Aquajogging Stufentests: Aqua 1: Intensität Herzfrequenz ↓ um 40 Schläge/min Aqua 2: Intensität Herzfrequenz ↓ um 20 Schläge/min Wassertemperatur: 26-27°C	Exponentieller Laktat ↑ bei den Belastungsstufen im Wasser > Land; 2 Probanden als Ausnahmen mit ↓ Laktat; Herzfrequenz ↓ im Mittel auf niedrigen und extensiven Stufen > intensiven; Aquajogging: HF 20 Schläge/min reduziert damit gleiche [La]
Dowzer et al. (1999)	15 lauf-fahrene, trainierte ♂	Laufband: 4 min aufwärmen, Stufen à 3 min; v von 3,8 m/s; zunehmende Steigung um 2,5 % bis zur Erschöpfung; Messdauer 1 min bei dieser maximalen Belastung vor der Erschöpfung; DWR: 120 Schritte/min, mit Weste; SWR: 132 Schritte/min; Von Stufe 1 zu Stufe Steigerung um 12 Schritte/min, dann von Stufe zu Stufe um 8 Schritte/min steigern bis zur Erschöpfung; Wassertemperatur: 29°C	O ₂ -Aufnahme: DWR 75,3 % und SWR 83,7 % des Laufbandes; HF: DWR 87,2 %, SWR 94,1% des Laufbandes; Maximales Minutenvolumen: Laufband 137 l/min, DWR 110 l/min, SWR 124 l/min; HF zu O ₂ -Verbrauch: SWR und DWR vergleichbar, aber ↓ als auf dem Laufband

Autor	Probanden	Belastung (n)	Ergebnis
Nakanishi et al. (1999)	2 Gruppen: Gruppe 1: 14 ♂ (Ø 20 Jahre) im Vergleich zu Gruppe 2: 14 ♂ (Ø 38 Jahre) DWR - und Laufband- unerfahren	Laufband / DWR mit Weste: Laufband: 4 min aufwärmen bei 2,66 m/s und 0 % Steigung; Stufen à 2 min um 0,33 m/s bis 3,66 m/s steigern; zunehmende Steigung um 2 % bis zur Erschöpfung; DWR: 4 min aufwärmen bei 96 Schritten/min, Stufen à 2 min; 1. Stufe: Steigerung auf 132 Schritte/min, dann jeweils 6-8 Schritte pro min bis zur Erschöpfung; 1 min Dauer bei maximaler Belastung; Wassertemperatur: 33°C	DWR: ↓ maximale Belüftung, relativer und absoluter O ₂ -Verbrauch, Laktatpeak und maximale HF unabhängig vom Alter; Gruppe 1: absolute und relative HF ↑ im Vergleich zu Gruppe 2; Absoluter O ₂ -Verbrauch, RER, maximale Belüftung, empfundene Beanspruchung und Laktatpeak differieren bei beiden Gruppen nicht
Shono et al. (2000)	20 ♀ (Ø 59 Jahre) schwimmerfahren	Laufband im Wasser: Beginn 0,33 m/s (angepasst dem Schritt des Probanden) Stufen à 4 min steigend um 2,77 m/s bis 13,88 m/s steigern; nach jeder Stufe 1 min Pause; Wasserhöhe bis Xiphoid; Wassertemperatur: 30,3°C	HF, [La], Energieverbrauch und O ₂ -Verbrauch ↑ exponentiell mit der v; HF zu O ₂ -Verbrauch und empfundene Beanspruchung verhielten sich linear

Erläuterungen:

DWR = Deep Water Running
SWR = Shallow Water Running

↑ = Zunahme

↓ = Abnahme

> = größer als

< = kleiner als

♀ = Frauen

♂ = Männer

min = Minuten

$\dot{V} O_2$ = Sauerstoffaufnahme Kapazität

n = Anzahl

O₂ = Sauerstoff

HF = Herzfrequenz

v = Geschwindigkeit

[La] = Laktatkonzentration im Blut

RER = respiratorische Austauschrate

°C = Grad Celsius

2.6.7 Schwimmen beim Pferd

Schwimmen ist bei Pferden als Traininginhalt seit Jahrhunderten bekannt. Die Römer ließen ihre Kriegspferde schwimmen, um ihre Ausdauer zu verbessern. Indianerstämme dagegen, um ihnen Gehorsam beizubringen (BRADY 1969). Pferdetrainer haben Pferde im pazifischen Ozean schwimmen lassen, seit die Del Mar 1937 die Rennbahn eröffnete. Man bemerkte frühzeitig, dass Pferde Schwimmen als willkommene Abwechslung in der täglichen Trainingsroutine akzeptierten. Die ersten Schwimmbäder für Pferde wurden in den USA nach dem 2. Weltkrieg gebaut (SWANSTROM u. LINDY 1973).

Tabelle 7: Belastung von Pferden im Wasser

Autor	Pferde (n) und Rasse	Geschwindigkeit und Dauer	Ergebnisse
Garcia et al. (1986)	2 identische Experimente A: n=31 B: n= 17 WB und VB	4 Gruppen nach Schwimmdauer: 1.) 1<5 min, 2.) 5-10 min, 3.) > 15 min v = freies Schwimmen der Pferde	A: je länger die Schwimmdauer, desto ↑ die Plasmainsulinkonzentration; HF: ↓, je länger die Schwimmdauer; Cortisolkonzentration: ↑ bei längerer Schwimmdauer; B: ø HF 110 Schläge/min; HKT direkt nach der Belastung am höchsten (Milzkontraktion)
Hobo et al. (1998)	5 WB (34-48 Monate)	Aufwärmen: 20 min Schritt, 2 min Schwimmen, 10 min Schritt; Experiment: Jede 2. Runde ↑ der v; ab 2. Runde 1,08±0,09 m/sec ab 4. Runde 1,07±0,08 m/sec ab 6. Runde 1,15±0,06 m/sec Abkühlen 30 min Schwimmen	HF < 200 Schläge/min; [La] ↑ direkt nach dem Aufwärmen ≤ 3,8mmol/l; Respirationsrate: 25 pro min, HKT ↑ mit jeder Runde bis 57 %; PaCO ₂ > 50 torr nach der 6. Runde; pulmonale arterielle Temperatur ↑ bis 39°C

Erläuterungen:

= = gleich bleibend

↑ = Zunahme

↓ = Abnahme

> = größer als

< = kleiner als

WB = Warmblüter

VB = Vollblüter

GLU = Glukose

HKT = Hämatokrit

HF = Herzfrequenz

n = Anzahl

[La] = Laktatkonzentration im Blut

v = Geschwindigkeit

PaCO₂ = Kohlendioxidpartialdruck

CK = Kreatinkinaseaktivität

°C = Grad Celsius

GARCIA u. BEECH (1986) untersuchten bei 48 Pferden den Einfluss einer Schwimmdauer von 5 bis zu 20 Minuten auf Herzfrequenz und verschiedene Blutparameter. Die Herzfrequenz sank bei den Pferden ab einer Schwimmdauer von 15 Minuten. GARCIA u. BEECH (1986) erklärten dies mit der zunehmenden Anpassung des kardiovaskulären Systems an die Belastung.

HOBO et al. (1998) untersuchten Atmungsparameter bei schwimmenden Pferden. Bei einer langsam ansteigenden Schwimmgeschwindigkeit bis maximal 5,4 km/h (1,15 m/sec) stiegen die Laktatkonzentrationen im Blut bis maximal 3,8 mmol/l an. Die Herzfrequenz überschritt nie 200 Schläge pro Minute. Die Respirationsrate von 25 Atemzügen/min war, unabhängig vom Schwimmstil, um 25 % niedriger als bei Belastung an Land. In der Studie von NICHOLL et al. (1978) stieg die Atemfrequenz der schwimmenden Pferde bis zu 45/min, bei BARTMANN (1991) auf 50/min. Wie schon NICHOLL et al. (1978) festgestellt hatten, war die Expirationszeit deutlich länger als die Inspirationszeit. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zur Landbelastung, bei der Ex- und Inspirationszeit fast gleich sind. HOBO et al. (1998) vermuteten, dass so ein Trachealkollaps verhindert wird.

2.6.8 Laufband im Wasser beim Pferd

TOKURIKI et al. (1999) untersuchten vergleichend die elektromyographische Aktivität der Hals- und Vordergliedmaßenmuskulatur von Pferden bei vergleichbarer Belastung auf dem Laufband, auf dem Laufband im Wasser und beim Schwimmen. Sie meinten, dass der *Musculus extensor digitorum communis* die größte Aktivität auf dem Laufband im Wasser, verglichen zur entsprechenden Belastung an Land und beim Schwimmen, zeigt. Vermutlich sei dies bedingt durch den Wasserwiderstand, der auf die distalen Gliedmaßen einwirkt. Der Schritt erzeugte mehr Aktivität in den Vordergliedmaßen auf dem Laufband im Wasser als das Traben. Hierfür könnte der Auftrieb des Wassers, der beim Trab durch eine verstärkte Auf- und Abwärtsbewegung vermehrt zum Tragen kommt, verantwortlich sein. Die Aktivität des *Musculus brachiocephalicus* und *Triceps brachii* ist beim Schwimmen größer als auf dem Laufband im Wasser, aber wiederum größer als auf dem Trockenlaufband. Diese Ergebnisse zeigten verstärkte Vorderhandaktivität bei Belastung im Wasser verglichen zur Belastung an Land.

VOSS et al. (2002) (Anhang Tabelle 20) belasteten 7 Warmblüter im Schritt ($1,56 \pm 0,08$ m/s) und Trab ($2,9 \pm 0,13$ m/s), ohne Wasser und bei Wasserhöhen oberhalb des Karpus und oberhalb des Ellbogen auf dem Laufband. Sie stellten bei keinem der Pferde einen Laktatanstieg im Blut fest. Die Laktatkonzentrationen im Blut variierten zwischen $0,59$ mmol/l und höchstens $1,24$ mmol/l. Die Hämoglobinkonzentration nahm auch zu, differierte jedoch nicht zwischen den Testbedingungen. Die Herzfrequenz stieg von 32 ± 16 Schlägen pro min in Ruhe durchschnittlich auf 69 ± 15 bei der Schrittbelastung ohne Wasser und auf 96 ± 12 Schläge pro min bei der Trabelastung im Wasser bis Ellbogenhöhe. Sie erreichte maximal 125 Schläge pro Minute. Innerhalb einer Gangart wurden in Bezug auf die verschiedenen geprüften Wasserhöhen keine signifikanten Unterschiede gemessen. Beim Vergleich der mittleren Herzfrequenzen im Schritt und Trab wurden Unterschiede von 18 Schlägen pro min gemessen. Bei der Belastung im Trab und Schritt mit Wasser oberhalb des Karpus und Ellbogens stieg die Herzfrequenz mehr als ohne Wasser. Bei Belastung stieg der Sympathikus und sank der Parasympathikuseinfluß. Voss et al. (2002) vermuteten, dass die Belastungen der Pferde ihres Versuches aufgrund der niedrigen Herzfrequenzen und Blutlaktatkonzentrationen als submaximal

einzuordnen sind, da sie sich nicht weit von den Ruhekonzentrationen und Ruhefrequenzbereichen entfernen.

2.7 Wirkung von Training im Wasser

2.7.1 Beim Menschen

WILBER et al. (1996) verglichen an 16 männlichen Probanden den 6-wöchigen aeroben Trainingseffekt zwischen einem Intervalltraining auf dem Laufband und DWR ohne Weste. Die Personen wurden an 5 Tagen pro Woche 30 min lang bei 90-100 % $\dot{V}O_{2max}$ (maximale Sauerstoffaufnahmekapazität) und max 60 min bei 70- 75 % $\dot{V}O_{2max}$ belastet. Die Wassertemperatur betrug 27°C. Es ergaben sich keine Unterschiede bei den maximalen Blutglukose- und Blutlaktatwerten, der Körperzusammensetzung, sowie den Plasmanoradrenalin-konzentrationen. Somit scheidet eine erhöhte sympathikoadrenale Aktivität im Wasser als Ursache für erhöhte Laktatwerte, wie von z.B. SVEDENHAG et al. (1992) vorgeschlagen, aus. Auch WILBER et al. (1996) befürwortet die Theorie, dass DWR aufgrund des hydrostatischen Druckes verstärkt die proximale und weniger die distale Extremitätenmuskulatur beansprucht. Der Bewegungsablauf und die involvierte Muskulatur sind jedoch nahezu identisch. DWR sei demnach als aerobes Training dem Laufbandtraining ebenbürtig.

2.7.2 Bei Versuchstieren

Es existieren einige Arbeiten, in denen Versuchstiere im Wasser belastet oder trainiert wurden. Über Untersuchungen auf dem Laufband im Wasser wurden noch keine Befunde publiziert.

Tabelle 8: Arbeit in der Ratten auf dem Laufband und im Wasser belastet wurden

Autor	Versuchstiere	Belastung	Ergebnis
Sturek et al. (1984)	5 Gruppen ♂ Ratten mit Bluthochdruck Jeweils 4-6 Tiere pro Gruppe: 1. Nichtschwimmer 2. unerfahrene Schwimmer 3. erfahrene Schwimmer 4. erfahrene mit Gewichten (2 % des Körpergewichts) versehene Schwimmer 5. Laufbandratten	Schwimmdauer 75 min bei 32-34 °C; Laufband: 26 m/min bei 10 % Steigung, bei 70-75 % $\dot{V} O_{2max}$ für 75-90 min pro Tag	1. Nichtschwimmer: gesamte Dauer der Belastung HF ↑ 2.-4. Schwimmer: bei allen zeigte sich anfangs HF ↑, dann ↓; vor allem bei Unterwasserphasen; 5. Laufbandratten: HF dauerhaft ↑, bis ca. 75 % der maximalen Kapazität

Erläuterungen:

↓ = Abnahme

 $\dot{V} O_{2max}$ = maximale Sauerstoffaufnahme Kapazität

↑ = Zunahme

♂ = männlich

HF = Herzfrequenz

STUREK et al. (1984) verglichen die Herzfrequenzen schwimmender Ratten mit Bluthochdruck mit der Herzfrequenz von Ratten auf dem Laufband, ebenfalls mit Bluthochdruck, die bei vergleichbarer Anstrengung belastet wurden. Die Ratten, die auf dem Laufband belastet wurden, hatten über die gesamte Schwimmdauer im Vergleich zu den erfahreneren Gruppen eine erhöhte Herzfrequenz. Die Ursache war vermutlich Stress aufgrund ungewohnt nasser Umgebung und Tätigkeit. Die Herzfrequenz sank während der Belastung. Verantwortlich gewesen scheint die Aufregung und nicht die Anstrengung an sich gewesen zu sein. Während der Unterwasserphasen sank sie noch weiter. Als Ursache hierfür postulierten sie die Tauchbradykardie. HARRI u. KUUSELA (1986) untersuchten die Körpertemperaturen, Gewichtsentwicklung, Futteraufnahme, Herzmuskelmasse und Laktatdehydrogenaseaktivität bei Ratten, die bei unterschiedlichen Wassertemperaturen schwammen. Außerdem verglichen sie die genannten Parameter bei Ratten auf dem Laufband und variierender Umgebungstemperatur. Die Futteraufnahme hingegen war abhängig von der Umgebungstemperatur an Land und im Wasser. Bei thermoneutraler und kälterer Wassertemperatur nahm die Futteraufnahme und Herzmuskelmasse zu, der Körper wurde hypotherm. Beim Schwimmen in wärmerem Wasser und daraus resultierender Hyperthermie hingegen nahm die Futteraufnahme und Herzmuskelmasse ab (HARRI u. KUUSELA 1986). Je kälter die Wasser- bzw. Umgebungstemperatur, umso größer ist die braune Fettsubstanzzunahme gewesen. Die Laktatdehydrogenaseaktivität in den Muskeln sank bei allen Schwimmern mit der Fortdauer des Experiments unabhängig von der Temperatur.

TAN et al. (1992) untersuchten Laktat- und Glukosekonzentrationen bei schwimmenden und laufenden Ratten im Vergleich zu deren Kontrollgruppen. Gemessen wurde vor und nach Belastung. Das Gewicht der verschiedenen Ratten nach der Belastung variierte nicht. Daraufhin vermuteten TAN et al. (1992), dass die Ratten nur submaximal belastet wurden. Trainierte Ratten zeigten unter Belastung im Wasser einen geringeren Anstieg des Blutlaktatgehaltes als untrainierte Ratten. Je länger das Training andauerte, desto ausgeprägter war die Differenz. Sie erklärten sich dies aufgrund der steigenden oxidativen Kapazität der Skelettmuskulatur, da der Gehalt der Succinatdehydrogenase höher war als bei der Kontrollgruppe. Der Ruhelaktatgehalt differierte zwischen den Ratten mit Lauftraining und der Gruppe der Ratten mit Schwimmtraining nicht. Das Lauftraining bewirkte bei Schwimmbelastung, dass die Laktatkonzentration weniger anstieg als bei der Kontrollgruppe. Dieser Trainingseffekt war unabhängig von der Art der Belastung. Die Glukosekonzentration stieg bei der Gruppe Ratten, die im Wasser trainiert wurde, geringer an, als bei der an Land trainierten. TAN et al. (1992) vermuteten, dass die Akklimatisierung der im Wasser trainierten Ratten größer war, und somit kein psychischer Stress die Glukosekonzentration beeinflusste.

Tabelle 9: Arbeiten, in denen die Wirkung von Training im Wasser auf Ratten untersucht wurde

Autor	Versuchstiere	Belastung (n)	Ergebnis
Harri u. Kuusela (1986)	♂ erwachsene Ratten bei durchschnittlich 270 g, Gruppen mit je 10 Tieren	Gruppe 1: Laufbandtraining 10 min bei täglicher Steigerung um 3 min bis zu 1 Stunde, 8 % Steigung bei 0,42 m/sec, 5 Tage pro Woche, bei 20 °C; Gruppe 2: Belastung wie 1, T: 5 °C; Gruppe 3, 4, 5: Schwimmtraining bei 30,36 bzw. 38 °C; 1 Stunde bei täglicher Steigerung um 15 min bis zu 3 Stunden, 5 Tage pro Woche; Körpertemperatur: 37,7 °C; Versuchsdauer mindestens 6 Wochen	Gruppe 1: Herzmuskelmasse und Futteraufnahme stagnierte Gruppe 2: Futteraufnahme und braune Fettsubstanz ↑, Gruppe 3,4,5: Bei 38 °C Wassertemperatur: Hyperthermie, Futteraufnahme und Herzmuskelmasse ↓; Bei 30 °C Wassertemperatur: Hypothermie, Herzmuskelmasse ↑. Bei 36 °C Wassertemperatur: Körpertemperatur =; Herzmuskelmasse und Futteraufnahme ↑; braune Fettsubstanzzunahme war bei den schwimmenden Probanden > als auf dem Laufband; bei allen Gruppen ↓die Laktatdehydrogenaseaktivität in den Muskeln unabhängig von der Temperatur
Tan et al. (1992)	6 Wochen alte ♂ Ratten (160-180 g LM) 5 Gruppen mit 8 Tieren	Gruppe 1: 4 Wochen Schwimmtraining; 1 Stunde am Tag 5 Tage pro Woche bei 36°C Gruppe 2: 4 Wochen Lauftraining; 1. Woche bei 15 m/min, ab 2. Woche 20 m/min 5 Tage die Woche 1 Stunde pro Tag; Gruppe 3: 10 Wochen Lauftraining; Blutentnahmen in Ruhe und 30 min nach Schwimmbelastung der trainierten und untrainierten Kontrollgruppen	Körpergewichtsveränderungen und Ruhelaktatgehalt der Probanden und Kontrolltiere =, der Laktatgehalt nach der Schwimmbelastung ↑ außer bei Gruppe 2, bei den trainierten Gruppen. Laktatgehalt < als bei der Kontrollgruppe Glukosekonzentration bei Gruppe 1 < Gruppe 2

Erläuterungen:

↓ = Abnahme

↑ = Zunahme

♂ = Männlich

LM = Lebendmasse

min = Minute

= = gleich bleibend

> = größer als

< = geringer als

°C = Grad Celsius

2.7.3 Beim Pferd

NICHOLL et al. (1978) wollten im Gegensatz zu MURAKAMI et al. (1976) physiologische Daten der Pferde nicht nach der Belastung, sondern währenddessen messen. Sie befürworteten ebenso Schwimmtraining als Trainingsvariante, wiesen aber auf den anfänglichen Arbeitsaufwand hin, die Pferde mit dem Pool vertraut zu machen und zeigten die Gefahren auf, die für Pferd und Trainer bestanden. Die ersten Tage wurde das Pferd 3- bis 4-mal täglich in das Becken geführt, um es mit dem Ablauf vertraut zu machen. Die Schwimmdauer variierte anfangs zwischen 1 und 10 Minuten, abhängig von der Kondition des Pferdes.

BARTMANN (1991) untersuchte in seiner Dissertation 48 schwimmende Pferde in 6 Tests während einer Dauer von 5-6 Wochen. 5 Tests mit freier und der 6. bei forcierter Geschwindigkeit. Untersucht wurde Harnstoff, ASAT, GLDH, Bilirubin und γ -GT, Kreatinkinase, Laktat, Glukose, Atemfrequenz und die Herzfrequenz. Die Testdauer bei 18 °C Wassertemperatur steigerte sich von 4 auf 24 min.

MURAKAMI et al. (1976) untersuchten an 4 frei schwimmenden Pferden 1.) die physiologischen Auswirkungen des Schwimmens, 2.) die Effekte eines Schwimmtrainings und 3.) die Auswirkungen einer 60 minütigen Schwimmbelastung. Die maximalen Laktatwerte im Blut wurden, unabhängig von der Belastungsdauer, sofort nach der Belastung gemessen. Die Laktatkonzentration korrelierte positiv mit der Schwimmdauer. Die Blutglukose reagierte bei den 48 Pferden in BARTMANN (1991)'s Tests mit einem Abfall und einem schnellen Wiedererreichen des Ruhewertes, wie bei submaximaler Laufarbeit von PARIJA et al. (1985) beschrieben. Der Belastungswert entspricht demnach in etwa 14,9 % des Ruhewertes und entspricht damit einem mittelmäßigen Verbrauch an Energie (BARTMANN 1991). Im Gegensatz dazu liegt der Glukoseverbrauch in der Arbeit von MURAKAMI et al. (1976) beim Schwimmen von Pferden über 50 %, und es würde damit bei der Schwimmarbeit mehr Energie verbraucht als bei einer Rennbelastung. MURAKAMI et al. (1976) vermuteten, dass der starke Verbrauch von Glukose (bis zu 50 % des Ausgangswertes) auf einen großen Energieverbrauch in der Körperperipherie zurückzuführen ist. Die CK-Aktivitäten in den Tests von BARTMANN (1991) liegen in etwa um das doppelte höher als bei MURAKAMI et al. (1976). Mit zunehmender Schwimmdauer kam es in BARTMANN (1991) 's Studie zu einem zunehmenden Anstieg der CK-Aktivitäten. Die CK-Aktivität ist nach BARTMANN (1991) abhängig von der Schwimmdauer und der Belastungsintensität im Gegensatz zum Lauftraining, bei dem JUDSON et al. (1983) unter submaximaler Belastung für die Kreatinkinase keine Veränderungen im Vergleich zu den Ruhewerten beobachten konnten. Bei MURAKAMI et al. (1976)'s Untersuchungen bestand keine Beziehung zwischen der Schwimmdauer und der Kreatinkinaseaktivität. Die Kreatinkinaseaktivität stieg direkt nach der Belastung, fiel dann wieder ab und stieg erneut 5 Stunden nach der Belastung wieder an (MURAKAMI et al. 1976). Der Ausgangswert wurde nach 24 Stunden wieder erreicht. Bei BARTMANN et al. (1991) 's Studie betrug der Anstieg der Laktatkonzentration im Blut das ca. 3-fache des Ruhewertes.

Diese Erhöhung ist größer als andere Autoren durch Schwimmbelastung feststellten: MURAKAMI et al. (1976) 2,8-fach, ASHHEIM et al. (1970) 2,5-fach. Bei freiem Schwimmen liegt die mittlere Erhöhung des Laktats unabhängig von der Schwimmdauer unterhalb von 4 mmol/l (BARTMANN et al. 1991). Die zunehmende Schwimmdauer, wie sie im Trainingsablauf verlangt wurde, führte gegenüber der Schwimmdauer von 4 min, wie sie als Kontrolle über alle Testtage beibehalten wurde, zu einem leichten Absinken der Laktatkonzentrationen. In der Arbeit von BARTMANN (1991) betrug im Belastungstest 6 die mittlere Laktatkonzentration 7,16 mmol/l. Dies bedeutet eine 12-fache Steigerung des Ruhewertes, wohingegen MURAKAMI et al. (1976) lediglich eine maximale Steigerung um das 4-fache feststellten. Der mittlere Wert des Hämatokrit von 53,7 % beim Schwimmen stimmt etwa mit den von FREGIN u. NICHOLL (1977) gemachten Beobachtungen überein (BARTMANN 1991). Die Hämatokritwerte sanken bei längerer Belastung, die Hämoglobinkonzentration nicht (MURAKAMI et al. 1976). Durch die erhöhten Anforderungen im Test 6 zeigte sich noch mal eine Erhöhung der Hämatokritwerte bis auf Werte, wie sie nach ASHHEIM et al. (1970) bei maximaler Laufarbeit, wie z.B. bei Rennen, erreicht wird. Harnstoff, ASAT, GLDH, Bilirubin und γ -GT ergaben keine schwimmbedingten Veränderungen.

MISUMI et al. (1994 a) untersuchten, ob ein Belastungstest im Wasser Auskunft über die Leistung trainierter Pferde geben kann, vergleichbar zu einem Leistungstest an Land. Sie zeigten, dass die Geschwindigkeit positiv mit der Laktatkonzentration korrelierte, während die Belastungsdauer negativ mit dem Laktatanstieg korrelierte. MISUMI et al. (1994 a) erklärten dies aufgrund des zunehmend weniger beanspruchten anaeroben Stoffwechsels. Eine verbesserte Kondition lässt sich somit nach MISUMI et al. (1994 a) ebenso an dem Schwimmleistungstest feststellen, der alternativ zum Belastungstest an Land durchgeführt werden kann.

Bei MURAKAMI et al. (1976) erreichten frei schwimmende Pferde bei einer Schwimmdauer von 20 Minuten und einer maximalen Geschwindigkeit von 4,8 km/h (80 m/min) Herzfrequenzen zwischen 144 und 171 Schlägen pro Minute, durchschnittlich 160. MURAKAMI et al. (1976) maßen in der ersten Runde eine höhere Herzfrequenz als in den folgenden. Sie erklärten die sinkende Herzfrequenz nach der ersten Runde, bzw. mit zunehmender Schwimmdauer, einerseits aufgrund der psychischen Anpassung der Pferde an die Umgebung, andererseits schwammen die Pferde in der ersten Runde meist schneller. Die Herzfrequenz während des

Schwimmens mit im Mittel 170 Schlägen pro Minute, lag bei BARTMANN (1991)'s Dissertation wesentlich höher. MURAKAMI et al. (1976) erklärten sich die niedrigeren Herzfrequenzen im Vergleich zu den Experimenten von ASHHEIM et al. (1970) entweder aufgrund der unterschiedlichen Ausbildung der Pferde oder den differierenden Pools.

Bei MISUMI et al. (1994 a) 's Studie, bei denen 7 Pferde 3 mal bei drei unterschiedlichen Geschwindigkeiten 100 m schwammen, korrelierte die maximale Herzfrequenz bei den Schwimmtests positiv mit der Geschwindigkeit. Bei steigender Schwimmdauer von 5 über 10 bis zu 20 min bei selbst gewählter Geschwindigkeit der Pferde korrelierte die Herzfrequenz bei MURAKAMI et al. (1976) 's Schwimmtests positiv mit der Geschwindigkeit, war jedoch unabhängig von der Schwimmdauer. Bei einer Belastungsdauer von 60 min blieb die Herzfrequenz ebenfalls relativ konstant mit Maximalwerten von 160 Schlägen/min. Bei MURAKAMI et al. (1976) 's zweitem Experiment, bei dem in der 1. Woche die Pferde 5 min pro Tag, 6 Tage pro Woche schwammen, wurde die Schwimmdauer jede Woche um 5 min bis 20 min gesteigert. Mit fortschreitender Dauer des Experiments sank die Herzfrequenz, was nach MURAKAMI et al. (1976) eventuell auf einen Trainingseffekt schließen lässt. MISUMI et al. (1994 b) wollten den Einsatz des Schwimmtrainings für junge Pferde rechtfertigen. Sie verglichen dafür die Veränderungen in der Wettbewerbsfähigkeit von Pferden mit kombiniertem Landtraining und Schwimmtraining, bei verschiedener Schwimmdauer und Pferden, die ausschließlich mit Landtraining beansprucht wurden. Die Veränderungen der Kondition wurden ebenfalls untersucht. Die Pferde, die schwammen und an Land beansprucht wurden, wuchsen mehr als die ausschließlich an Land beanspruchten. Das Körpergewicht und der Umfang des Rumpfes nahmen jedoch bei den Pferden ab, die auch schwimmend beansprucht wurden. MISUMI et al. (1994 b) vermuteten, dass nicht die Belastungsart für die Unterschiede verantwortlich waren, sondern die größere Beanspruchung durch die doppelte Belastung der Pferde. Den Einfluss des Schwimmtrainings im Gegensatz zum Training an Land auf das Faserverhältnis der Muskulatur zeigten MISUMI et al. (1995) in ihrer 3. Studie. Das signifikant gestiegene FTH/FT (fast twitch-high oxidative Fasern / fast twitch-low oxidative Fasern) Verhältnis in der Muskulatur nach 3 Monaten deuteten sie als eine Verbesserung der oxidativen Kapazität der Musku-

latur. Bei den Pferden in der Studie von MURAKAMI et al. (1976) sank der Fettanteil im Körper, und die Glutealmuskulatur nahm während des Trainings zu.

Bei MURAKAMI et al. (1976) sank die Herzfrequenz jeweils sofort nach den Belastungen. Nach 60 min Schwimmdauer war die Ruhefrequenz erst wieder nach 70-80 min erreicht, langsamer als bei 5, 10 und 20 min Schwimmdauer.

Bei MURAKAMI et al. (1976) verhielt sich die Atemfrequenz zur Herzfrequenz 6 zu 9. Sie beschrieben die Atmung als schmerzhaft aussehend.

MURAKAMI et al. (1976) beschrieben, dass ihre Pferde von den Ohren bis über den ganzen Kopf schwitzten. Je höher die Geschwindigkeit, desto mehr schwitzten sie. Bei einer Wassertemperatur von durchschnittlich 30°C stieg die Körpertemperatur der Pferde bei 5 Minuten Schwimmen zwischen 0,2-0,4 °C und bei 20 Minuten um 1,7 °C an. Die Ausgangstemperatur wurde nach der 5-minütigen Belastung nach 1 h wieder erreicht und nach 20-minütiger Belastung nach 2 h. Die Körpertemperatur stieg bei längerer Schwimmbelastung nicht weiter an. Im Gegenteil, bei 20 min sogar geringer als bei 10 min.

Tabelle 10: Effekt des Trainings im Wasser

Autor	Pferde (n) und Rasse	Geschwindigkeit und Dauer	Ergebnisse
Mura-kami et al. (1976)	4 WB	Experiment 1: 5, 10, 20 min Schwimmen; schnellere v als bei Experiment 2 Experiment 2: 5 min pro Tag 1. Woche, jede Woche Steigerung um 5 min auf 20 min, 6 Tage pro Woche Experiment 3: 60 min Schwimmen; jeweils freie Wahl der v der Pferde, Wassertemperatur 27,5-30 °C; Ø 30 °C	Experiment 1: Schwitzen: je länger (>10 Min.) und schneller ↑; Blutwerte: [La] mit zunehmender Schwimmdauer ↑, 1 Stunde nach Belastung wieder Ruhewert; Glukose ↓ bis zu 50 % des Ausgangswertes, Schwimmdauer unabhängig; HKT zunehmender Schwimmdauer ↑, keine Korrelation zur v; CK ↑ direkt nach der Belastung, ↓ 1 Stunde danach und wieder ↑ 5 Stunden nach Belastung; Körpertemperatur: ↑ mit zunehmender Schwimmdauer um 0,2-1,7 °C; Experiment 2: HF: abhängig von v, unabhängig von der Schwimmdauer; Ø 144-171/ min; Körpertemperatur: ↑ bei 5 min um 0,3 °C, bei 20 min um 1 °C; Blutwerte: HKT während Dauer des Experiments ↓, mit zunehmender Schwimmdauer HKT ↓; Hb =; [La] ↑ unabhängig von der Schwimmdauer; CK zeigt kaum Veränderungen; Körpergewicht: geringfügig ↑ im Laufe des Experiments (bis 14 kg), ↓ während einer Belastung Experiment 3: HF: konstant bei 160 Schlägen /min, Körpertemperatur: ↑ 0,7-1°C (< als bei 20 min); Körpergewicht: ↓ stärker als bei Experiment 2 (10-17 kg); Blutwerte: HKT wie bei Experiment 1; [La] wie bei 20 min Experiment 2; Glukose ↓ weniger als bei Experiment 1 mit 5 min Belastung; CK wie bei 20 min Experiment 1
Nicholl et al. (1978)	10 Pferde verschiedener Rasse	Variable Schwimmdauer 1 bis 10 min abhängig von der Kondition des Pferdes Wassertemperatur 29-31°C	Atemfrequenz: 24 pro min, kurze schnelle Inspiration, lange langsame Expiration HF: von der 1. min ↓
Bartmann (1991)	48 Pferde (9 VB, 22 WB, 18 Traber, 6 Sonstige, Ø 7,4 Jahre) Schwimmen 18 Pferde (2 VB, 6 WB, 7 Traber, 3 Sonstige)	Trainingsdauer 5-6 Wochen, 5 Tests: freie v 1. Test: 4 min Schwimmen 2. Test: 4 + 5 min 3. Test: 4 + 10 min 4. Test: 4 + 15 min 5. Test: 4 + 20 min Test 6 in 6. Woche: 10 min in 2 min Intervallen, forcierte v; 18 °C Wassertemperatur	Test 1-5: CK bei Belastung (Ø 50 U/l, 18,4 - 241 U/l) CK ↑ mit der Belastung und zunehmender Schwimmdauer; [La] bei Belastung (Ø 1,58 mmol/l, 0,33 - 23 mmol/l), [La] ↑ mit der Belastung, ↓ ab 5-20 min Dauer wieder, jedoch nicht unter Ruhewert; GLU ↓ ab 5-20 min Belastung, jedoch nicht unter Ruhewert (Ø 4,69 mmol/l, 2,26 - 9,32 mmol/l), HKT ↑ bis zu 4 min, dann konstant (Ø 53,7 %, 43 - 69 %) Atmung bei Belastung (24 - 51 Züge /min) ↑ mit der Belastung bis zu 4 min, dann konstant ; HF ↑ bei Belastung, nach Belastung (64 - 204 Schläge /min) ; HF ↑ bis zu 4 min, dann konstant ↓; kontinuierlicher ↓ von Test 1-5; Test 6: CK bei Belastung Ø 62,2U/l; [La] bei Belastung Ø 7,16 mmol/l, > Test 5, überschreitet die 4mmol/l Grenze; GLU bei Belastung Ø 5,37 mmol/l, > Test 5; HKT Ø 57,3 % > Test 5; HF bei Belastung Ø 170 Schläge /min, > Test 5

Autor	Pferde (n) und Rasse	Geschwindigkeit und Dauer	Ergebnisse
Misumi et al. (1994 a)	7 2-jährige WB (3 Stuten, 4 Wallache)	Vorbereitung: 2 Monate 2 mal wöchentlich 200 m Schwimmen; Training: 1. Monat leichte Beanspruchung 2. Monat langsame Geschwindigkeit auf weichem Untergrund 3. Monat Ausdauerbeanspru- chung mit schnellem Galopp auf weichem Grund; zusätzlich 200 m Schwimmen 1 mal pro Woche; Leistungstests nach jedem Monat; Schwimmtest: 100 m mit 3 verschiedenen v; Laufstest: 800 m bei 3 verschiedenen v	Schwimmtest: [La] und HF korrelieren positiv mit der v; positiver Trainingseffekt der [La]: geringerer ↑; zwischen Trainingsdauer und der HF besteht keine Beziehung; Laufstest: : [La] und HF korrelieren positiv mit der v
Misumi et al. (1994 b)	24 2-jährige WB (12 Stuten, 12 Walla- che)	Vorbereitung: 2 Monate 2 mal wöchentlich 200 m Schwimmen; Gruppe A: Lauftraining; zur Ge- wöhnung 1 mal/Woche 200 m Schwimmen; Gruppe B: 2 Monate Lauftraining und 300 m Schwimmen täglich, dann 3 Monate Lauftraining und 500 m Schwimmen täglich; Gruppe C: Lauftraining und 300 m Schwimmen täglich für 5 Monate; Lauftraining jeweils 6 Tage die Woche, Schwimmtraining 4 Tage/Woche Wettkampffähigkeitsbeurteilung durch Schwimmbelastungstest; Kontrolle von Größe, Umfang, Gewicht; Krankheiten: Beobachtung	Leistung: bei allen Gruppen korrelieren [La] und HF sowie die Maxima positiv mit der v; keine Abhängigkeit Training zu [La] und HF, somit kein Trainingseffekt; physikalische Daten: B und C wuchsen mehr als A, wobei das Gewicht im Gegensatz zu A ↓; Krankheiten: Gruppe A: Prävalenz 62,5 %, (Tendinitis 3, Schulterlahmheit und Hüftgelenkslahmheit 1). Tendenz zur Chronizität; Gruppe B: 12,5 %, (Tendinitis 1) Gruppe C: 25 % (Tendinitis1); Gruppe A > als B
Misumi et al. (1995)	18 2-jährige WB s. Misumi et al. 1994/b)	gleiche Beanspruchung wie Misumi et al. (1994) 1 Muskelbiopsie aus M. gluteus medius pro Monat	Gruppe A: keine Veränderungen nach 3 Monaten; Gruppe B und C: FT Fasern prozentual ↓, FTH Fasern ↑; B>C; ↑ FTH/FT Verhältnis nach 3 Monaten

Erläuterungen:

= = gleich bleibend

↑ = Zunahme

↓ = Abnahme

> = größer als

< = kleiner als

RER = respiratorische Austauschrate

v = Geschwindigkeit

O₂ = Sauerstoff

s.c. = subcutan

GLU = Glukose

CK = Kreatinkinaseaktivität

FTH Fibers = fast twitch-high oxidative Fasern

FT Fibers = fast twitch-low oxidative Fasern

HF = Herzfrequenz

n = Anzahl

[La] = Laktatkonzentration im Blut

HKT = Hämatokrit

WB = Warmblüter

VB = Vollblüter

CK = Kreatinkinaseaktivität

M. = Musculus

In der nachfolgenden Tabelle 11 sind Referenzwerte von Pferden bei Beanspruchung im Wasser aus verschiedenen Arbeiten aufgeführt.

Tabelle 11: Referenzwerte von Pferden im Wasser

Autor	Anzahl (n), Art der Belastung	Wassertemperatur (°C)	Belastungsdauer (min)	Geschwindigkeit (m/s)	Laktat (mmol/l)	Puls (Schläge/min)	Temperaturdifferenz (°C)	CK (U/l)					
BART MANN (1991)	48, Schwimmen	18	4	Freies Schwimmen	2,88	148		49,9					
			4 + 5		2,08 1,69	145 145		47,1 50,6					
			4 + 10		1,69 1,20	138 139		46,3 53,8					
			4 + 15		1,77 1,2	133 135		45,3 52,4					
			4 + 20		1,54 1,38	131 132		47,1 54,1					
			MURA-KAMI et al. (1976)		4, Thb, Exp. 1: 1-malig 5, 10, 20 min Schwimmen an 3 verschiedenen Tagen	30 (27,5-31,5)		5	0,97	Exp. Dauer ↑ proportional zur [La]	159	+ 0,2 - 0,4	23,1
10	0,97	163		23,1									
20	0,97	≤ 3-fache der Ausgangskonzentration		159			+ 0,7 - 1,7	17,1					
Exp. 2: 1. Woche 5 min, Steigerung um 5 min jede Woche bis zu 20 min/Woche an 5 Tagen / Woche	30	5		0,92	Exp. 2 keine Korrelation zur Dauer	151	+ 0,3	25,7					
								10	0,87	139	+1	22,4	
								15	0,82	139	+ 1	22,6	
								20	0,83	4,4 -fache der Ausgangskonzentration	137		23,6
								Exp. 3: 1 maliges Schwimmen	30	60	0,87		146
Garcia u. Beech (1986)	2 identische Experimente A: n=31 B: n= 17 WB und 4 VB Gruppen nach Schwimmbelastungsdauer eingeteilt	29-31	1. Exp: 1.) 0<5 2.) 5-10 3.) 10-15 4.) 15-20 2. Exp: 1.) 0<5	freies Schwimmen		nach Belastung: 1.) 117 2.) 117 3.) 119 4.) 80 1.) 110							
Voss (2003)	Laufband RR ST SK SE TT TK TE	unbekannt		Schritt (1,56±0,08 m/s) oder Trab (2,9±0,13 m/s)	0,83 0,99 0,97 0,85 0,87 1,01 0,90	32 69 80 81 93 96 96		64 72 67 69 79 75 75					

Erläuterungen:

RR = Ruhewert

TT = Trab auf trockenem Laufband

TE = Trab bei Wasserhöhe Ellenbogen

TK = Trab bei Wasserhöhe Karpalgelenk

M. = Musculus

[La] = Laktatkonzentration

SE = Schritt bei Wasserhöhe Ellenbogen

ST = Schritt auf trockenem Laufband

SK = Schritt bei Wasserhöhe Karpalgelenk

↑ = Anstieg

n = Anzahl

Hkt = Hämatokrit

2.7.3.1 Anfälligkeit gegenüber Erkrankungen

MURAKAMI et al. (1976) befürworten Schwimmtraining für Pferde als eine Abwechslung des normalen Trainings und zur Rehabilitation nach Verletzungen. Da jedoch unterschiedliche Muskelgruppen bei der Belastung im Wasser zu der an Land beansprucht werden, befürworten sie die Kombination aus Schwimmen und Landbelastung. Bei NICHOLL et al. (1978)'s Studie traten Probleme wie „Tying Up“, respiratorische Infektionen oder Kolik bei der Schwimmbelastung nicht auf. Systematisch untersuchten MISUMI et al. (1994 a) das Auftreten von Erkrankungen des Bewegungsapparates. Die ausnahmslos an Land beanspruchten Pferde hatten eine Prävalenz für Krankheiten von 62,5 % (Tendinitis, Schulterlahmheit und Hüftgelenklahmheit) mit Tendenz zur Chronizität. Die Gruppen, die auch schwimmend beansprucht wurden, hatten eine Prävalenz von 12,5 %, (Tendinitis) bzw. die stärker beanspruchte Gruppe von 25 % (Tendinitis). Aufgrund des verbesserten Leistungstestergebnisses nach der Trainingsperiode wurde die Wettkampffähigkeit ebenso verbessert.

3 Eigene Untersuchungen

3.1 Ziele der Untersuchungen

In dieser Arbeit sollten drei Fragen zur Anwendung von Wasserlaufbändern bei Pferden untersucht werden.

Teil 1: Verhaltensstudie

Prüfen, wie Pferde die Arbeit auf einem Laufband im Wasser annehmen.

Teil 2: Beanspruchungsstudie

Feststellen, wie stark die Beanspruchung von Pferden bei verschiedenen Belastungen auf einem Laufband im Wasser ist. Die Bandbreite der geprüften Belastungen entsprach in etwa der, die in unserer Pferdepraxis für die Rehabilitation von Pferden eingesetzt wurde.

Teil 3: Studie über Testvorschrift

Erstellen einer Testvorschrift, um die Ausdauer von Pferden auf einem Laufband im Wasser zu diagnostizieren.

3.2 Material und Methode

3.2.1 Pferde

3.2.1.1 Verhaltensstudie

Die Untersuchungen fanden an 56 Patienten des Rehabilitationszentrums Sohlengrund in Ostelsheim statt. Das Alter der Pferde betrug zwischen 3 und 20 Jahren. Stuten, Hengste und Wallache gingen in die Untersuchungen ein. Die Pferde hatten ausnahmslos keine Laufbänderfahrung. Der Trainingszustand war unterschiedlich, die meisten jedoch befanden sich in der so genannten Schrittphase nach einer Verletzung.

Gesamt: 56 Pferde

- 35 Wallache, 18 Stuten, 3 Hengste
- 50 Warmblüter, 1 Vollblüter; 3 Araber, 2 Ponys
- Alter $10,7 \pm 4,4$ Jahre (Anhang Tabelle 21)
- Widerristhöhe $165 \text{ cm} \pm 7 \text{ cm}$
- Lebendmasse $514 \text{ kg} \pm 61 \text{ kg}$
- Indikation weshalb die Pferde im Rehaszentrum eingestellt wurden

Indikation	Anzahl	Indikation	Anzahl
Arthritis	2	Rückenprobleme	9
Chronische Lymphangitis	1	Sehnenscheidenverletzung	1
Muskelfaserriß	1	Spat	1
Gonitis	1	Tendinitis	21
Griffelbeinfraktur OP	1	Konditionierung	10
Hufrehe	6	Zerrung	1
Hufrolle	1		

3.2.1.2 Studie über die Beanspruchung auf dem Wasserlaufband:

Gesamt 89 Pferde

- 58 Wallache (53 Warmblüter, 2 Traber, 2 Ponys, 1 Araber), 26 Stuten (25 Warmblüter, 1 Vollblut), 5 Hengste (3 Warmblüter, 2 Araber)
- Alter 10,8 Jahre \pm 3,4 Jahre (Anhang Tabelle 22)
- Widerristhöhe 156 cm \pm 7,8 cm
- Lebendmasse 505 kg \pm 69 kg
- Indikation, weshalb die Pferde im Rehasentrum eingestellt wurden

Indikation	Anzahl	Indikation	Anzahl
Arthritis	2	Kreuzbandriss	1
Chronische Lymphangitis	1	Rückenprobleme	21
Fesselgelenksentzündung	1	Sehnenscheidenverletzung	1
Gleichbeinfraktur	1	Spat	2
Gonitis	1	Tendinitis	39
Griffelbeinfraktur OP	1	Tendinose	1
Hufrehe	6	Konditionierung	9
Hufrolle	1	Zerrung	1

Einteilung der Phasen in der Rehabilitation nach einer Verletzung im Rehasentrum
Sohlengrund, in der sich die Pferde befanden:

Schrittphase 1: 10 Min. Schritt /Tag

Schrittphase 2: 20 Min. Schritt / Tag

Schrittphase 3: 30 Min. Schritt / Tag

Trainingszustand der für die Untersuchung genutzten Pferde ist im Anhang (Tabelle 23) beschrieben.

3.2.1.3 Studie über Testvorschrift

- Gesamt 7 Pferde
- 4 Stuten, 2 Wallache, 1 Hengst
- Alter 10,7 Jahre \pm 4,2 Jahre (Anhang Tabelle 25)
- Widerristhöhe 157 cm \pm 6 cm

- Lebendmasse 516 kg \pm 58 kg
- Indikation, weshalb die Pferde im Rehaszentrum eingestellt wurden

Indikation	Anzahl
Konditionierung	5
Konditionierung nach Tendinitis	1
Konditionierung nach Verletzung	1

3.2.2 Haltung und Fütterung

Die Pferde waren während der Zeit ihres Rehaszentrumaufenthaltes in Einzelboxen von 3 m x 3 m untergebracht.

Die Pferde wurden gleich gefüttert. Die tägliche Grundration setzte sich aus 3 kg Kraftfutter (Struktur-Energetikum der Firma St. Hippolyt) und 3 kg Heu zusammen. Das Heu und Kraftfutter wird auf dreimal täglich verteilt. Die Pferde, die es gewöhnt sind, stehen auf Stroh, welches sie somit ad libitum zur Verfügung haben. Alternativ werden Sägespäne eingestreut und Stroh nach Bedarf zugefüttert.

Die Pferde wurden während ihres meist zweiwöchigen Aufenthaltes außerhalb des Wasserlaufbandes nicht bewegt.

3.2.3 Laufband

Zur Verfügung stand das Wasserlaufband des Typs Aquafit nach Jung (Emil-Bernhard Jung D-24326 Nehnten). Dieses ist in einem geschlossenen Raum aufgestellt und gleicht einem schmalen, nach oben offenen Pferdeanhänger. Die Breite des Bandes beträgt 0,82 m, die gesamte Länge 7,5 m.

Die Pferde betreten das Laufband von hinten und verlassen es rückwärts durch eine wasserdichte Tür. Sie werden vorne und hinten von herausnehmbaren Plastikstangen begrenzt. Die Pferde werden entweder lose am Führstrick gehalten, oder es besteht auch die Möglichkeit, das Pferd zusätzlich mit dem Strick an einer auf Bughöhe angebrachten Öse zu befestigen. Die direkt parallel zum Kopf stehende Person ist durch die Wand des Laufbandes vor dem Pferd geschützt. Das Wasser strömt unterhalb des gummibeschichteten Laufbandes ein. Seitlich sind parallel zu den Gliedmaßen sechs Massagedüsen angebracht, die nach Bedarf zugeschaltet werden können. Eine Wasserhöhe von 80 % der Widerristhöhe wird in 5 Minuten erreicht, abgelassen werden kann das Wasser in 45 Sekunden. Zur Spritzwasser-

reduzierung sind an der Tür Wellenbrecher angebracht. Das Wasser kann bis zu einer Höhe von 1,50 m stufenlos eingelassen werden. Die Geschwindigkeit des Laufbandes kann von 0 m/s auf 5,5 m/s (0-20,8 km/h) ebenfalls stufenlos reguliert werden. Das Band ist jederzeit zu stoppen und läuft am Ende langsam aus, um ein Stolpern der Pferde zu verhindern. Unter dem Wasserlaufband befindet sich ein Tank mit 12 000 l Wasser. Es ist auf 20 °C temperiert und mit Meersalz zur Desinfektion angereichert. Die Raumtemperatur beträgt zwischen 15 °C und 23 °C. Eine integrierte Filteranlage reinigt kontinuierlich das Wasser. Gewechselt wird es spätestens alle 5 Tage. Um das Wasser nicht zu verschmutzen wird den Pferden der Schweiß einbandagiert und werden vor dem Betreten des Laufbandes die Hufe gewaschen. Die während des Laufens abgesetzten Kotballen, werden mit einem Eimer abgefangen.

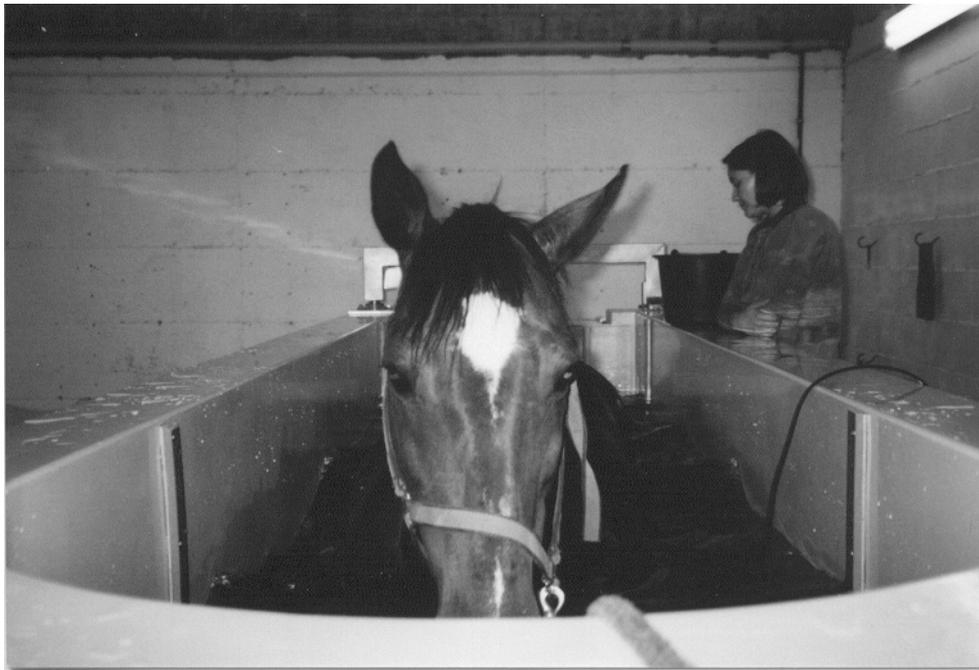


Bild 3.1: Pferd auf dem Laufband im Wasser

3.3 Versuchsdurchführung

3.3.1 Allgemeine Vorbereitung der Pferde

Nach dem Auskratzen und dem Abwaschen der Hufe wird den Pferden der Schweif mit einer elastischen Schweifbandage eingebunden. Die Pferde werden in das Wasserlaufband hereingeführt. Beim ersten Betreten betritt die führende Person vor dem Pferd das Laufband und steigt dann vorne wieder aus. Vom zweiten Durchgang an werden die Pferde von außerhalb auf das Laufband geführt. Mohrrüben und der Futtereimer sind zusätzliche Lockmittel, die eingesetzt werden. Als Absicherung nach hinten dient bei Bedarf die Longe. Nachdem die Pferde auf dem Laufband stehen, wird die Tür hinter ihnen geschlossen, anschließend das Laufband und die Wasserzufuhr eingeschaltet. Die Laufgeschwindigkeit wurde auf 1 m/s eingestellt, bzw. auf höchstens 1,1 m/s, wenn dadurch der Schritttakt besser wurde, dazu wurde das Wasser bis zur gewünschten Höhe eingelassen. Die Pferde sind beim ersten Durchgang 10 Minuten auf dem Laufband, beim zweiten 20 Minuten und beim dritten Durchgang 30 Minuten.

3.3.2 Verhaltensstudie

Um das Verhalten von 56 Pferden bei ihren ersten drei Belastungen auf dem Wasserlaufband zu untersuchen, wurden der Name des Pferdes, die Rasse, das Alter, die Widerristhöhe und das Geschlecht protokolliert (Anhang Ansicht 1). Es wurde erfragt, ob Laufbänderfahrung vorhanden war, und der Allgemeinzustand wurde beurteilt. Lag eine Störung des Allgemeinzustandes vor, so wurde eine Diagnose gestellt und diese ebenfalls festgehalten. Der Trainingszustand des Pferdes wurde aufgenommen, wobei zwischen „Stehphase“, „Phase 1“ (10 Min. Schritt am Tag), „Phase 2“ (20 Minuten Schritt), „Phase 3“ (30 Minuten Schritt) und „im Training“ unterschieden wurde.

Folgende Variablen der jeweils ersten drei Durchgänge wurden untersucht:

Die Art des Betretens des Laufbandes: Betreten die Pferde das Laufband nicht, verzögert oder sofort. „Sofort“ bedeutete, dass das Pferd mit gleichmäßigem Tempo an der Hand das Laufband betrat und bis zur Stange folgte. „Verzögert“ bedeutete, dass das Pferd am Einlass wartete und das Band innerhalb von 30 Sekunden betrat,

bzw. als Lockmittel Mohrrübe oder Futtereimer eingesetzt werden mussten. Als „nicht Betreten“ des Bandes wurde das Verweigern des Betretens des Bandes gewertet oder die Notwendigkeit der Benutzung von Hilfsmitteln wie die Longe.

Das Erreichen eines regelmäßigen Schrittes: Wird eine regelmäßige Gangart im Schritt nicht, verzögert oder sofort erreicht. Die ersten Schritte nach dem Starten des Laufbandes wurden auf ihre Regelmäßigkeit hin beobachtet. „Sofort“ bedeutete, das Pferd passte sich sofort der Laufgeschwindigkeit des Bandes an, ohne sich zurückfallen zu lassen, zu trippeln, anzuspringen oder zu schwanken. „Verzögert“ bedeutete, dass die ersten drei bis vier Schritte unregelmäßig, schwankend oder auch trippelnd sein konnten, bis es in ein gleichmäßiges Schrittempo verfiel. „Nicht in regelmäßigen Schritt verfallen“ bedeutete, dass das Pferd während der gesamten Laufdauer kein regelmäßiges, dem Band angepasstes Schrittempo finden konnte.

Die Art und Häufigkeit der Unarten der Pferde im Wasserlaufband: Das Auftreten von Steigen, Ausschlagen oder Durchgehen während der ersten drei Läufe. Das Auftreten von Steigen, Ausschlagen oder Durchgehen wurde protokolliert. „Steigen“ bedeutete, dass das Pferd mit beiden Vordergliedmaßen gleichzeitig das Laufband verließ. Die Höhe spielte dabei keine Rolle. „Ausschlagen“ beschrieb das Überstrecken einer oder beider Hintergliedmaßen in einer Art und Weise, die nicht zur physiologischen Schrittabfolge erforderlich war. „Durchgehen“ bezeichnete die Unart des Angaloppierens bzw. Antrabens bei Schrittgeschwindigkeit. „Kopfschlagen“ beschrieb das dorso-ventrale Bewegen des Kopfes außerhalb des Taktes.

Die Häufigkeit des Kotabsatzes: Die Häufigkeit des Kotens innerhalb eines Laufdurchganges auf dem Laufband wurde protokolliert. Der Kot der Pferde wurde während der gesamten Belastung mit einem Eimer unter der Schweifrübe abgefangen. Die Kotmenge wurde nicht berücksichtigt.

3.3.2.1 Statistische Auswertung

Die Statistiken wurden mit Statview 5.0 auf einem Mac-PC erstellt.

Die Ergebnisse von der Beobachtung des Betretens des Laufbandes, der Regelmäßigkeit des Schritts und der Art und Häufigkeit der Unarten wurden beschreibend

ausgewertet. Sie sind in Form von Häufigkeitsdiagrammen dargestellt. Die mittlere Häufigkeit des Kotabsatzes wurde auf signifikante Unterschiede zwischen den drei Durchgängen mit einer Varianzanalyse für wiederholte Messungen geprüft. Diese Daten werden mit ihrem Mittelwert und der Standardabweichung angegeben. $p < 0,05$ wurde als Signifikanzniveau akzeptiert.

3.3.3 Beanspruchungsstudie

Die Beanspruchung der Pferde durch die folgenden Belastungen wurde geprüft:

Dauer: 10, 20 und 30 Minuten

Geschwindigkeit: 3,6 km/h, 4,6 km/h und 5,6 km/h (1 m/s, 1,3 m/s und 1,6 m/s)

Wasserhöhe: 50 und 80 % der Widerristhöhe, sowie Buggelenkhöhe (etwa 65 % der Widerristhöhe)

Jede Kombination der Belastungsparameter Geschwindigkeit, Wasserhöhe und Laufdauer sollte von 10 Pferden durchgeführt werden. 6 der Belastungen wurden jedoch nur von 9 Pferden durchgeführt, 3 Belastungen von 13 Pferden und 2 Belastungen von 11 Pferden (Tabelle 24 im Anhang). Die Belastungen wurden den Pferden nach dem Zufallsprinzip zugelost. Die Variablen wurden erst vom 4. Lauf an gemessen, da die Werte bei den ersten Läufen noch durch die Anstrengung der Pferde, den Takt und das Gleichgewicht zu finden, verfälscht hätten sein können. Es wurden nicht bei allen Belastungen alle Variablen gemessen. Innerhalb von maximal fünf Minuten wurde die angestrebte Wasserhöhe erreicht, so wurde eine Aufwärmphase von fünf Minuten festgesetzt. Anschließend begann die Zeitmessung. Die Ergebnisse wurden in dem Protokoll (Ansicht 2 im Anhang) zur Erfassung der Beanspruchung von Pferden bei Belastungen auf dem Wasserlaufband erfasst.

Die Beanspruchung der Pferde durch die Belastungen wurde mit den folgenden Variablen bestimmt: Herzfrequenz, Laktatkonzentration im Blut, Kreatinkinaseaktivität im Plasma (CK) und Rektaltemperatur.

Tabelle 12: Variablen zur Bestimmung der Beanspruchung

Variable	Messmethode	Zeitpunkt der Messung oder der Probenentnahme
Herzfrequenz	Polar Horse Trainer®	Mittelwert aller Werte während der Belastung
Temperatur	Thermometer, im After	Vor Beginn der Arbeit im Laufband und unmittelbar nach Ende derselben
CK	Photometrisch, im Plasma	
Laktat	Accusport, im Vollblut	

3.3.3.1 Blutprobenentnahme und Blutprobenanalyse

In den Belastungstests wurde nur venöses Blut zur Untersuchung verwendet. Die Blutprobenentnahme erfolgte aus der Vena jugularis externa direkt vor und nach der Belastung mit Hilfe einer Injektionskanüle G (Terumo, Neolus 20 G, 0,9 mm) in ein heparinisiertes Röhrchen (Lithium-Heparin, 15 IE Heparin/ml Blut, Sarstedt, 75x12 mm LH, 4 ml). Es wurde sofort mittels genormter Micropipette (Blaubrand, intra Mark, Richtigkeit: $\leq \pm 0,25\%$; Präzision: $\leq 0,5\%$) 20 μl des Vollblutes auf den Teststreifen des Accusportgerätes (Boehringer Mannheim Roche Diagnostics Corporation) aufgebracht und der Wert ins Protokoll eingetragen. Jede fünfte Probe wurde zur Kontrolle der ermittelten Laktatwerte doppelt gemessen und der Mittelwert verwendet. Der Kreatinkinasegehalt wurde mittels eines Reflotrongerätes (Roche Diagnostics Corporation) aus dem Plasma in den Lithium-Heparinröhrchen gemessen.

3.3.3.2 Herzfrequenz

Die Herzfrequenzmessung erfolgte kontinuierlich mittels des Polar Horsetrainer-Pulsmeßgerätes. Dazu wurde am Pferd ein Gummigurt mit zwei Elektroden so befestigt, dass die eine Elektrode am Brustbein auf Sattelgurthöhe und die andere Elektrode auf der linken Brustseite unter der linken Sattellage zu liegen kam. Die Elektroden leiteten hierbei die etwa 1 mV starken Herzaktionspotentiale ab. Die Elektroden benötigen zur Reizweiterleitung eine feuchte Verbindung zum Pferd. Um auch bei niedriger Wasserhöhe eine gute Übertragung zu gewährleisten wurden die Elektroden und das Fell, auf dem sie zu liegen kamen, mit einem Schwamm angefeuchtet. Beide Elektroden waren mit einem Transmitter verbunden, der die Herzfrequenzen über ein Kabel auf eine Uhr übertrug. Die ermittelten Frequenzen wurden alle 2 Minuten aufgezeichnet und der Durchschnittswert für die Dauer der

Belastung ermittelt. Der Ruhewert wurde manuell an der in der Incisura facialis liegenden Vena facialis in der Box gemessen.

3.3.3.3 Rektaltemperatur

Die Messung der Rektaltemperatur erfolgte mittels eines digitalen Thermometers (DIGITEMP, Clinical Thermometer Seropharma, Wesel) unmittelbar vor und nach der Belastung.

3.3.3.4 Statistische Auswertung

Nach jeder Belastung wurde die Differenz zwischen den Ruhewerten und den Nachbelastungswerten gemessen. Die Ergebnisse aller Variablen außer Kreatinkinase waren normal verteilt, deshalb konnten parametrische Verfahren zur Auswertung verwendet werden. Bei einem signifikanten Ergebnis der Varianzanalyse für wiederholte Messungen wurde mittels Fisher's Test geprüft, welche Belastungen sich unterschieden; $p < 0,05$ wurde als Signifikanzniveau akzeptiert.

Die Daten werden mit ihrem Mittelwert und ihrer Standardabweichung dargestellt. Bei den nicht normal verteilten Werten der Kreatinkinase wurden nicht parametrische Verfahren angewandt. Die Daten werden deshalb mit ihrem Median, 10-, 25-, 75- und 90- Perzentilen dargestellt. Bei einem signifikanten Gesamtergebnis nach Kruskal-Wallis fand die paarweise Prüfung der Belastungsinhalte mit dem Wilcoxon-Test statt.

3.3.4 Studie über Testvorschrift

In dieser Studie sollte festgestellt werden, ob auf diesem Wasserlaufband die v_4 (Geschwindigkeit, bei der der Laktatgehalt 4 mmol/l im Blut beträgt) bestimmbar ist. Dazu wurden mehrere Mehrstufenbelastungstests bei 7 gesunden Pferden durchgeführt. Die Studie bestand aus zwei Teilen.

Studie 1.) Wirkung konstanter Wasserhöhe bei zunehmender Laufgeschwindigkeit: Jedes Pferd absolvierte den standardisierten Mehrstufentest bei 10 %, 50 % und 80 % der Widerristhöhe. Jeder Test bestand aus 5 Stufen à 5 Minuten. Die Geschwindigkeit der 1. Stufe betrug 3,5 m/s. Danach stieg die Geschwindigkeit mit jeder Stufe um 0,5 m/s.

Studie 2.) Wirkung zunehmender Wasserhöhe bei einer konstanten Laufgeschwindigkeit von 5,5 m/s (19,8 km/h). Der Mehrstufentest bestand wieder aus 5 Stufen à 5 Minuten, die Geschwindigkeit jedoch betrug konstant 5,5 m/s bei variierender Wasserhöhe. Bei Stufe 1 maß sie 20 % der Widerristhöhe, in den folgenden Stufen 35 %, 49 %, 63 % und 77 %.

Die 7 ausgewählten Pferde, die eine Woche Laufbanderfahrung hatten, als sie mit dieser Studie begannen, absolvierten nach dem Zufallsprinzip den Test bei 10 %, 50 % und 80 % der Widerristhöhe. Innerhalb von maximal fünf Minuten wurde die angestrebte Wasserhöhe erreicht, so wurde eine Aufwärmphase von fünf Minuten festgesetzt. Anschließend begann die Zeitmessung. Die Ergebnisse wurden in Protokollbögen (Anhang Ansicht 3) für beide Teile dieser Studie festgehalten. Die Beanspruchung der Pferde durch die Belastungen wurde mit den gleichen Variablen wie bei der Beanspruchungsstudie (Tabelle 12) gemessen. In 5-minütigen Intervallen wurde aus der externen Vena jugularis 5 mal bis Stufe 5 innerhalb einer 1-minütigen Pause Blut entnommen. Die Untersuchungsmethoden entsprachen denen der Beanspruchungsstudie. Die Herzfrequenz wurde kontinuierlich mit einem Polarsportgerät überwacht, und vor und nach der Belastung wurde rektal die Körpertemperatur gemessen. Wenn ein mittels Accusport gemessener Nachbelastungslaktatwert größer als 4 mmol/l gemessen worden wäre, so hätte der Test dieses Pferdes sofort geendet, sofern es nicht sowieso die fünfte und somit letzte Stufe gewesen wäre.

3.3.4.1 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse wurden mittels der Varianzanalyse für wiederholte Messungen analysiert. Bei einem signifikanten Ergebnis der Varianzanalyse wurde mittels Fisher's Test geprüft, welche Belastungen sich unterschieden, dabei wurde $p < 0,05$ als Signifikanzniveau akzeptiert. Die Daten werden mit ihrem Mittelwert und ihrer Standardabweichung dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Verhaltensstudie

4.1.1 Betreten des Laufbandes in Abhängigkeit vom Laufdurchgang

Von den 56 Pferden, deren Betreten des Laufbandes protokolliert wurde, betraten beim ersten Durchgang 82,1 % das Laufband verzögert, 16,1 % sofort und nur 1,79 % nicht (1 Pferd) (Abbildung 1). Beim zweiten Durchgang wurde das Laufband von 69,6 % der Pferde sofort betreten, 28,6 % zögerten und 1,79 % betraten das Band nicht, bzw. erst mit Hilfsmaßnahmen (nicht dasselbe Pferd wie im ersten Durchgang). Beim dritten Durchgang stieg der prozentuale Anteil der Pferde, die das Laufband sofort betraten, auf 85,7 % an, der Anteil der Zögernden sank dagegen auf 12,5 % und ein Pferd weigerte sich, 1,79 % (nicht das Pferd aus dem ersten oder zweiten Durchgang) (Anhang Tabelle 26).

Die Häufigkeitsverteilung ist in dem folgenden Histogramm (Abbildung 1) graphisch dargestellt.

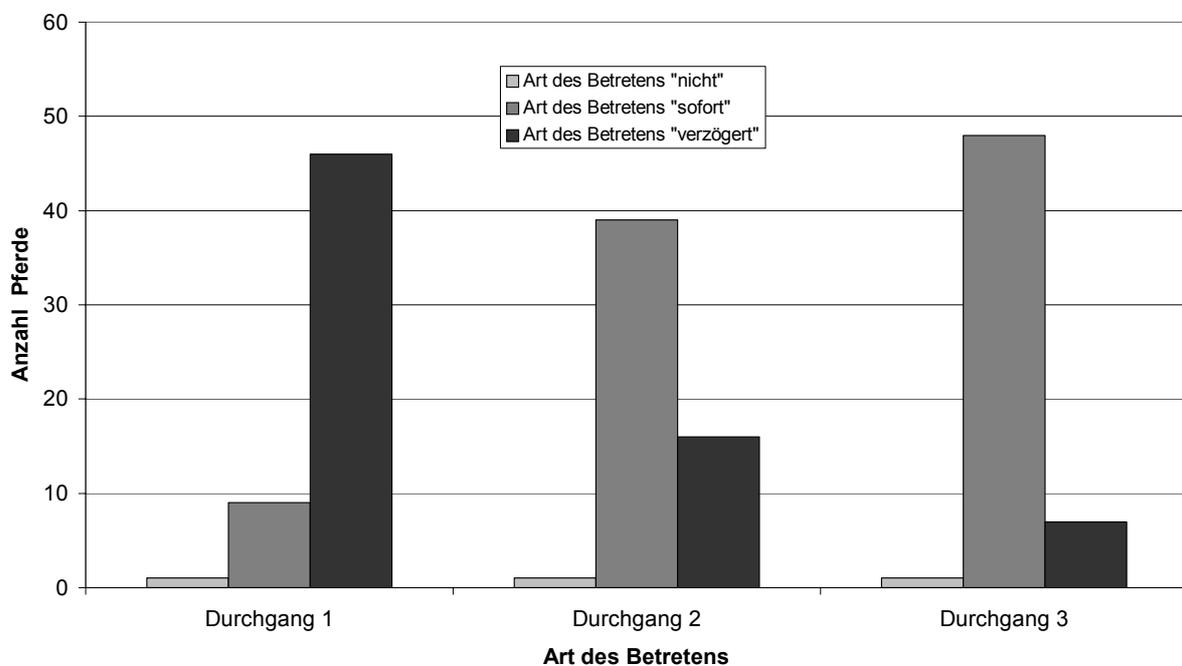


Abbildung 1: Art des Betretens des Laufbandes im Wasser von Pferden in den ersten drei Arbeitsdurchgängen (56 Pferde)

4.1.2 Regelmäßigkeit im Schritt in Abhängigkeit vom Laufdurchgang

5,36 % der Pferde verfielen sofort beim ersten Durchgang auf dem Laufband in ein regelmäßiges Schrittempo, 94,64 % der Pferde erreichten nur verzögert einen regelmäßigen Schritt (Abbildung 2). Alle Pferde konnten das Schrittempo dem Laufband anpassen. Bereits beim zweiten Durchgang fielen 69,6 % sofort in ein regelmäßiges Schrittempo und nur noch 30,4 % verzögert. Im dritten Laufdurchgang begannen 89,3 % der Pferde sofort mit regelmäßigem Schritt und nur noch 10,7 % verzögert (Anhang Tabelle 27).

Das folgende Histogramm (Abbildung 2) zeigt die Häufigkeitsverteilung für das Verfallen in einen regelmäßigen Schritt.

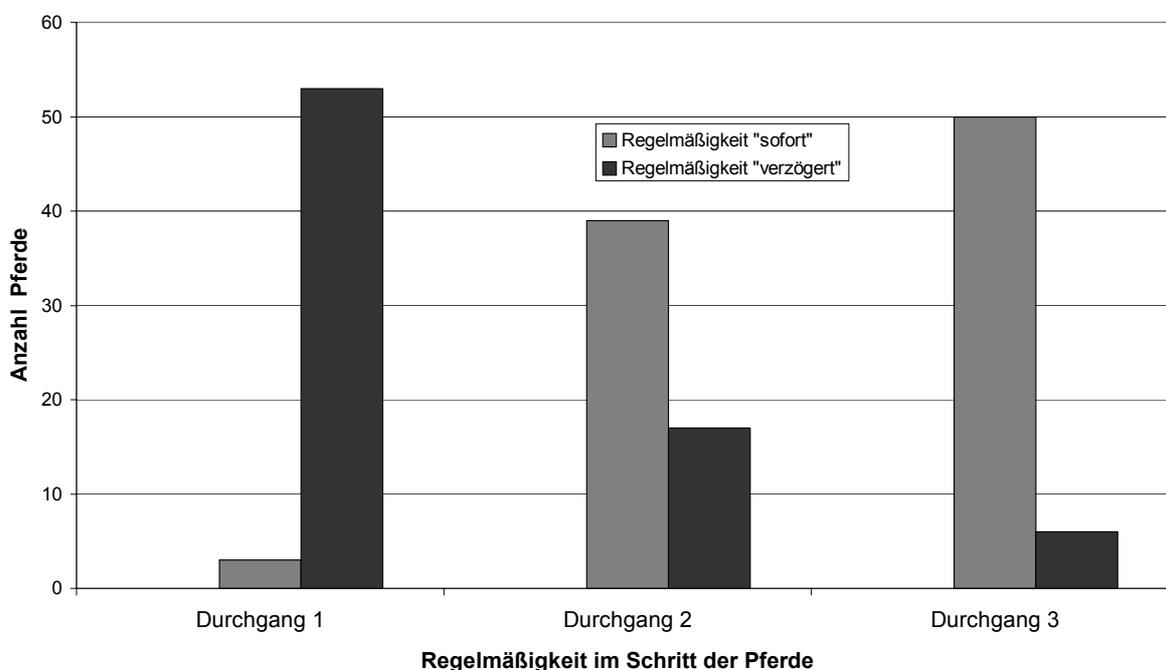


Abbildung 2: Regelmäßigkeit im Schritt von Pferden in den ersten drei Arbeitsdurchgängen auf dem Laufband im Wasser (56 Pferde)

4.1.3 Unarten in Abhängigkeit vom Laufdurchgang

Während des ersten Durchganges zeigte ein Pferd (1,79 %) alle Unarten (Ausschlagen, Durchgehen, Kopfschlagen, Steigen). Ausschließlich „Ausschlagen“ und „Kopf schlagen“ zeigte kein Pferd, zwei Pferde „gingen durch“ (3,57 %) und „gestiegen“ ist eines (1,79 %). 92,9 % der Pferde zeigten somit keinerlei Unarten

(Abbildung 3). Beim zweiten Durchgang zeigte keines der Pferde alle Unarten, „ausgeschlagen“ hat eines (1,79 %), „durchgegangen“ sind vier (7,14 %), „mit dem Kopf“ schlug eines (1,79 %) und „gestiegen“ sind zwei (3,57 %). 85,7 % der Pferde zeigten keine Unarten. Beim dritten Durchgang „stieg“ kein Pferd und zeigte wiederum keines der Pferde alle Unarten. „Ausgeschlagen“ hat ein Pferd (1,79 %), „durchgegangen“ sind vier (7,14 %) und „mit dem Kopf schlug“ ein Pferd (1,79 %). Keine Unarten zeigten beim dritten Durchgang im Wasserlaufband 89,3 % der Pferde (Anhang Tabelle 28).

In dem folgenden Histogramm (Abbildung 3) wird diese Häufigkeitsverteilung der Unarten, die in den ersten drei Durchgängen bei den Pferden im Wasserlaufband auftraten, graphisch dargestellt.

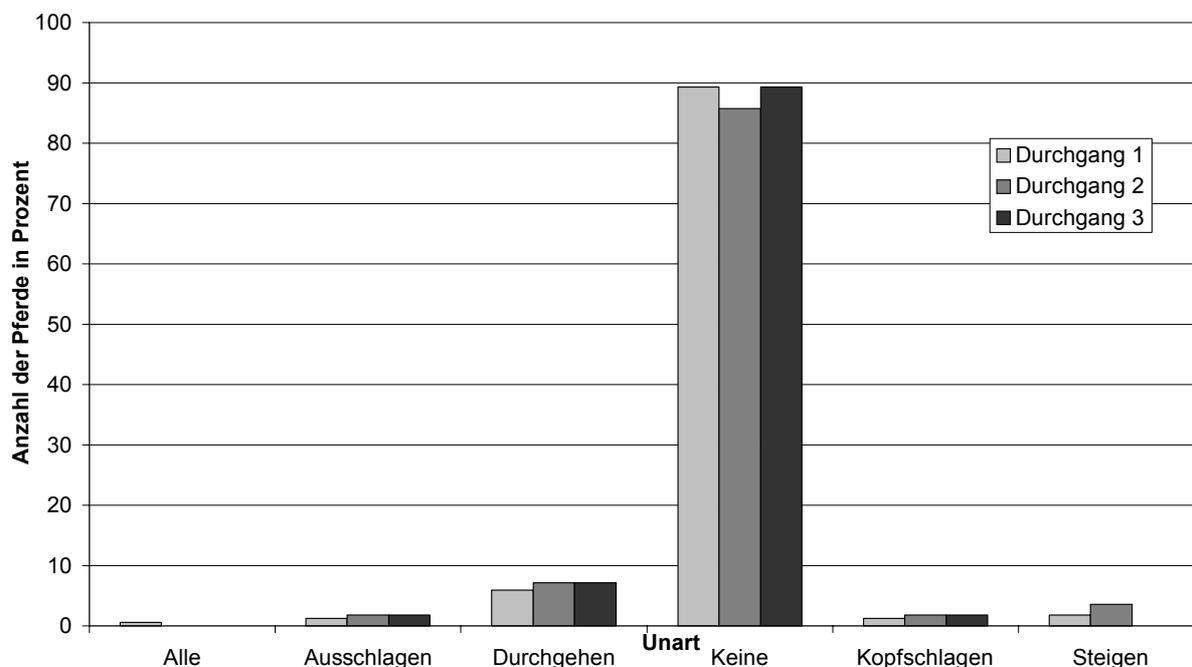


Abbildung 3: Unarten von Pferden in den ersten drei Arbeitsdurchgängen auf dem Laufband im Wasser (56 Pferde)

4.1.4 Häufigkeit des Kotens in Abhängigkeit vom Laufdurchgang

In der Abbildung 4 wird die mittlere Häufigkeit des Kotabsatzes dargestellt. Im Mittel wurde im 1. Durchgang 1,29 mal, im 2. Durchgang 1,48 mal und im 3. Laufdurchgang 1,39 mal Kot abgesetzt. Zwischen den Durchgängen besteht kein Unterschied ($p > 0,05$) (Anhang Tabelle 29). Das Alter und das Geschlecht der Pferde hatte ebenfalls keinen Einfluss auf die Häufigkeit des Kotabsatzes ($p > 0,05$).

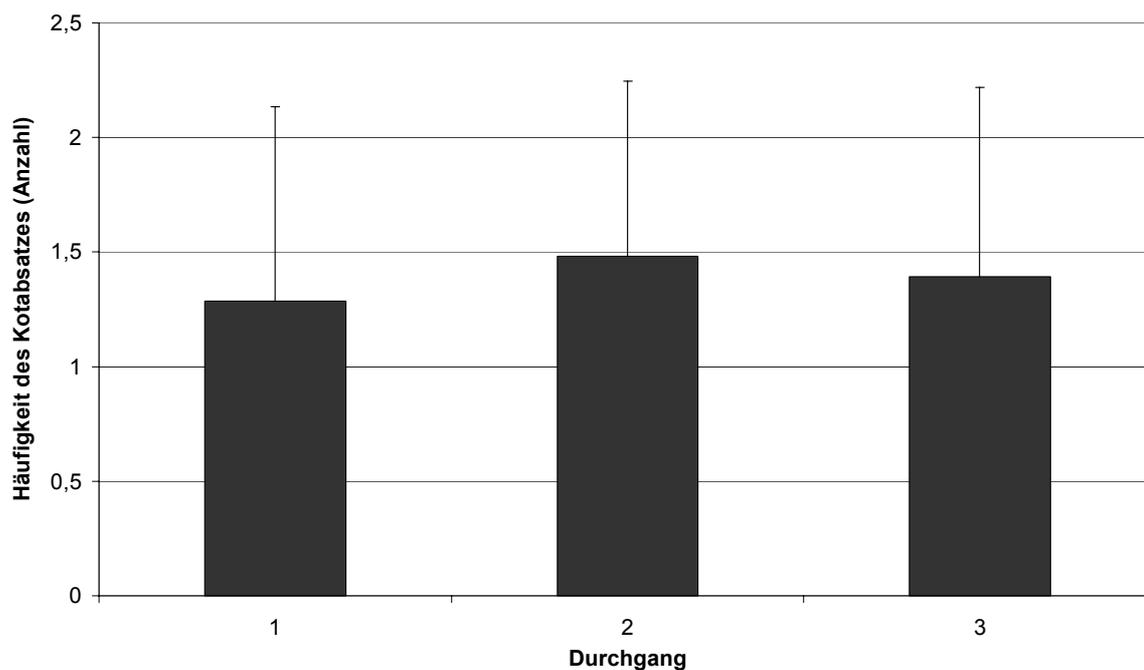


Abbildung 4: Häufigkeit des Kotabsatzes von Pferden in den ersten drei Arbeitsdurchgängen auf dem Laufband im Wasser (56 Pferde)

4.2 Beanspruchungsstudie

4.2.1 Betrachtung der Laktatkonzentrationen im Blut

Im Mittel waren die Laktatkonzentrationen im Blut vor der Belastung 1,23 mmol/l und stiegen durchschnittlich auf 1,4 mmol/l nach der Belastung an. Der Maximalgehalt im Blut betrug 1,8 mmol/l. Die Nachbelastungslaktatwerte waren signifikant höher als die Ruhelaktatwerte ($p < 0,010$). Eine Abhängigkeit der Laktatkonzentration im Blut zur Belastung war erkennbar ($p < 0,01$).

Die Abbildung 5 zeigt die mittlere Laktatkonzentration mit Standardabweichung vor und unmittelbar nach den verschiedenen Belastungen auf dem Laufband im Wasser. Die Laktatkonzentration war nach allen Belastungen höher als vor den Belastungen. ($p < 0,001$ Tabelle 30 im Anhang).

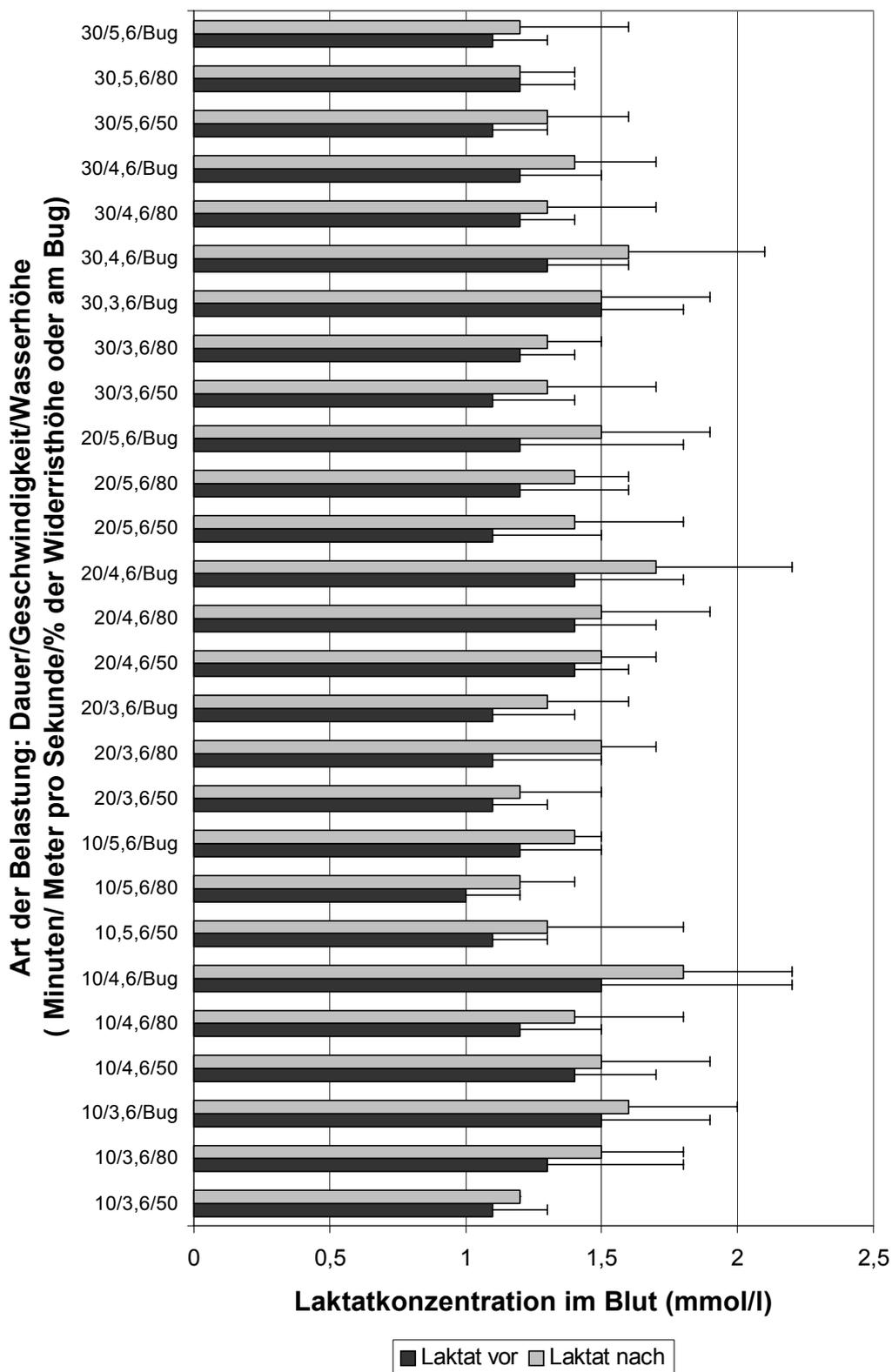


Abbildung 5: Laktatkonzentrationen im Blut von Pferden vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastungen auf einem Laufband im Wasser (Mittelwert \pm Standardabweichung; siehe Tabelle 31 im Anhang)

Die Laktatkonzentrationszunahmen im Blut nach Belastung verhielten sich sehr unterschiedlich bei verschiedenen Belastungen. In der folgenden Tabelle (Tabelle 13) sind nur die Belastungen, die sich unterschieden, aufgelistet. Der Nachbelastungslaktatwert bei gleicher Laufdauer und gleicher Geschwindigkeit stieg umso mehr, je höher die Wasserhöhe war. Bei gleicher Dauer und gleicher Wasserhöhe korreliert der Nachbelastungslaktatwert positiv mit der Geschwindigkeit. Bei gleicher Geschwindigkeit und gleicher Wasserhöhe besteht eine Abhängigkeit von der Laufdauer. Je länger die Laufdauer, desto höher der Laktatwert ($p < 0,05$).

Es besteht also eine Gesetzmäßigkeit für die Laktatkonzentration im Blut zwischen Geschwindigkeit und Wasserhöhe. Die Geschwindigkeit jedoch hatte immer größeren Einfluss als die Wasserhöhe ($p < 0,05$).

Tabelle 13: Belastungen, zwischen denen signifikant differierende Zunahmen der Laktatkonzentrationen auftraten (Fisher's PLSD Test)

Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Mittlere Laktat - Differenz (mmol/l)	P- Wert	Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Mittlere Laktat- Differenz (mmol/l)	P- Wert
10/3,6/50, 10/3,6/Bug	-3,87	0,01	10/4,6/Bug, 30/5,6/50	0,43	0,01
10/4,6/50, 10/4,6/Bug	-0,46	0,01	10/4,6/Bug, 30/5,6/80	0,41	0,01
10/3,6/50, 20/4,6/50	-0,29	0,04	10/4,6/Bug, 30/5,6/Bug	0,49	0,001
10/3,6/50, 20/4,6/Bug	-3,84	0,01	10/5,6/50, 20/4,6/50	-0,29	0,001
10/3,6/50, 30/3,6/Bug	-2,90	0,04	10/5,6/50, 20/4,6/Bug	-0,38	0,01
10/3,6/80, 10/5,6/80	0,29	0,03	10/5,6/50, 30/3,6/Bug	-0,29	0,04
10/3,6/Bug, 10/5,6/50	0,39	0,01	10/5,6/80, 20/4,6/50	-0,37	0,01
10/3,6/Bug, 10/5,6/80	0,47	0,001	10/5,6/80, 20/4,6/80	-0,34	0,01
10/3,6/Bug, 20/3,6/50	0,39	0,01	10/5,6/80, 20/4,6/Bug	-0,46	0,001
10/3,6/Bug, 20/3,6/Bug	0,34	0,02	10/5,6/80, 30/3,6/Bug	-0,37	0,01
10/3,6/Bug, 20/5,6/50	0,35	0,02	10/5,6/80, 30/4,6/50	-0,35	0,01
10/3,6/Bug, 30/3,6/50	0,36	0,01	20/3,6/50, 20/4,6/50	-0,3	0,03
10/3,6/Bug, 10/3,6/Bug	0,31	0,03	20/3,6/50, 20/4,6/Bug	-0,39	0,01
10/3,6/Bug, 30/4,6/80	0,31	0,03	20/3,6/50, 30/3,6/Bug	-0,3	0,03
10/3,6/Bug, 30/5,6/50	0,36	0,02	20/3,6/50, 30/4,6/50	-0,28	0,04
10/3,6/Bug, 30/5,6/80	0,34	0,02	20/3,6/Bug, 20/4,6/Bug	-0,33	0,01
10/3,6/Bug, 30/5,6/Bug	0,42	0,01	20/4,6/50, 30/5,6/Bug	0,33	0,02
10/4,6/50, 10/5,6/80	0,30	0,02	20/4,6/80, 30/5,6/Bug	0,30	0,03
10/4,6/80, 10/4,6/Bug	-0,34	0,02	20/4,6/Bug, 20/5,6/50	0,35	0,01
10/4,6/80, 20/4,6/Bug	-0,27	0,04	20/4,6/Bug, 20/5,6/80	0,27	0,04
10/4,6/Bug, 10/5,6/50	0,46	0,001	20/4,6/Bug, 30/3,6/50	0,36	0,01
10/4,6/Bug, 10/5,6/80	0,54	0,001	20/4,6/Bug, 30/3,6/80	0,30	0,02
10/4,6/Bug, 10/5,6/Bug	0,32	0,02	20/4,6/Bug, 30/4,6/80	0,30	0,02
10/4,6/Bug, 20/3,6/50	0,46	0,001	20/4,6/Bug, 30/4,6/Bug	0,27	0,03
10/4,6/Bug, 20/3,6/80	0,30	0,03	20/4,6/Bug, 30/5,6/50	0,36	0,01
10/4,6/Bug, 20/3,6/Bug	0,41	0,01	20/4,6/Bug, 30/5,6/80	0,34	0,01
10/4,6/Bug, 20/5,6/50	0,42	0,01	20/4,6/Bug, 30/5,6/Bug	0,42	0,01
10/4,6/Bug, 20/5,6/80	0,34	0,02	30/3,6/Bug, 30/5,6/Bug	0,33	0,02
10/4,6/Bug, 20/5,6/Bug	0,3	0,04	30/4,6/50, 30/5,6/Bug	0,31	0,03
10/4,6/Bug, 20/5,6/80	0,43	0,01	10/4,6/Bug, 30/4,6/Bug	0,35	0,01
10/4,6/Bug, 30/3,6/80	0,38	0,01			
10/4,6/Bug, 30/4,6/80	0,38	0,01			
10/4,6/Bug, 30/4,6/Bug	0,35	0,01			

4.2.2 Betrachtung der Herzfrequenz

Im Mittel betragen die Herzfrequenzen vor der Belastung 43 Schläge/min und stiegen auf durchschnittlich 69 Schläge/min an (Anhang Tabelle 32). Die Belastungs-herzfrequenzen waren höher als die Ruhefrequenzen ($p < 0,001$). Eine Abhängigkeit von der Belastungsart und dem Zeitpunkt der Messung war erkennbar ($p < 0,05$).

In dem Histogramm (Abbildung 6) wird die mittlere Herzfrequenz mit Standardabweichung vor und während verschiedener Belastungen auf dem Laufband im Wasser dargestellt. Die Herzfrequenz während und nach allen Belastungen war höher als vorher. ($p < 0,001$ Tabelle 32).

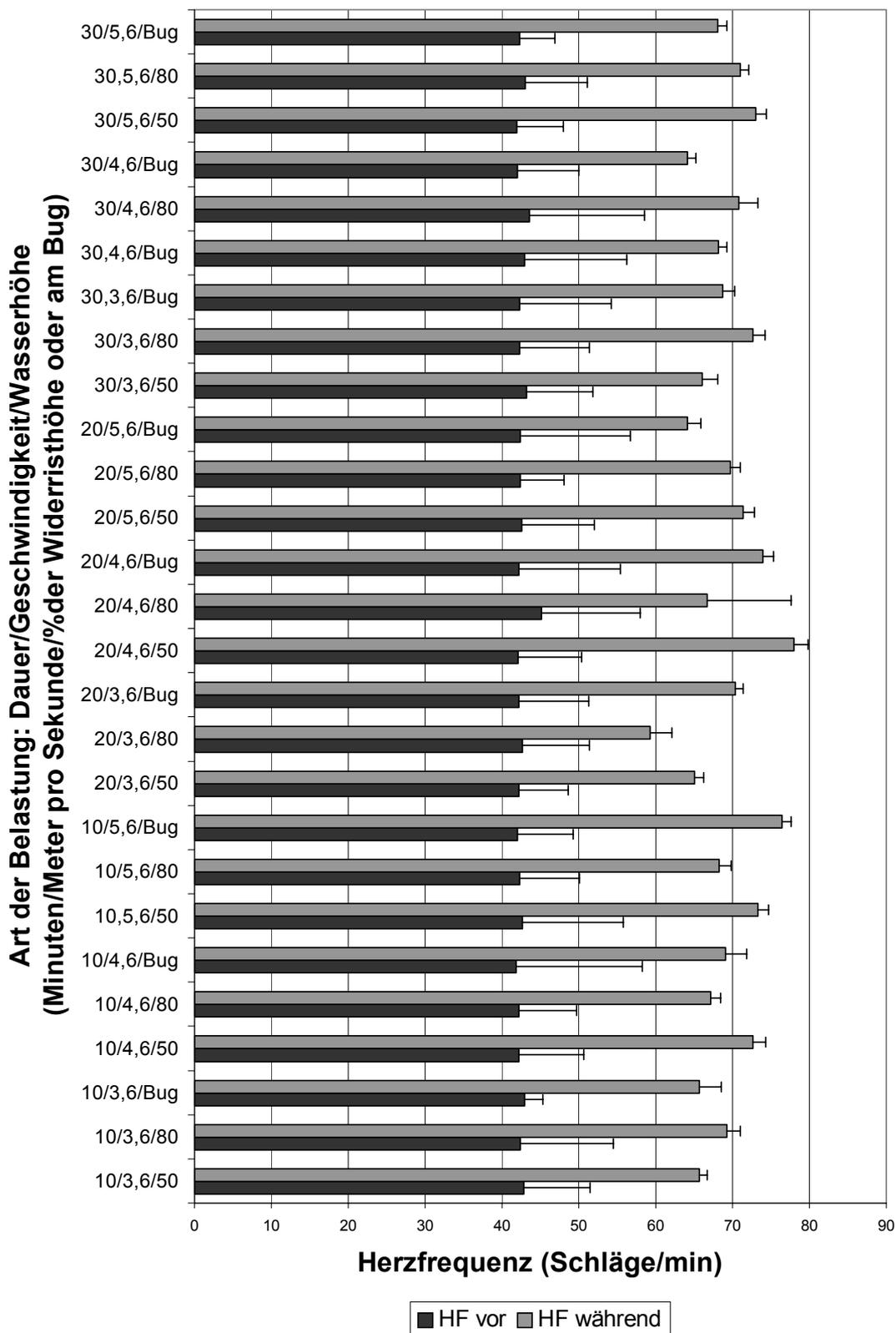


Abbildung 6: Herzfrequenz von Pferden vor und während verschiedener Belastungen auf einem Laufband im Wasser (Mittelwert \pm Standardabweichung; siehe Tabelle 33 im Anhang)

Die Herzfrequenzzunahmen während der Belastungen verhielten sich sehr unterschiedlich bei den verschiedenen Belastungen. In der folgenden Tabelle (Tabelle 14) sind nur die Belastungen, die sich unterschieden, aufgelistet. Laufgeschwindigkeit, Laufdauer und Wasserhöhe der Belastungen hatten einen Einfluss auf die Höhe des Herzfrequenzanstieges. Bei gleicher Geschwindigkeit und Wasserhöhe bedingte eine längere Laufdauer eine höhere Herzfrequenz. Die Höhe der Herzfrequenz korreliert bei gleicher Laufdauer und Wasserhöhe positiv mit der Geschwindigkeit ($p < 0,05$).

Tabelle 14: Belastungen, zwischen denen signifikant differierende Zunahmen der Herzfrequenzen auftraten (Fisher's PLSD Test)

Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Mittlere Herzfrequenz- Differenz (Schläge/min)	P- Wert	Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Mittlere Herzfrequenz- Differenz (Schläge/ min)	P- Wert
10/3,6/50, 10/5,6/Bug	-4,93	0,03	20/3,6/80, 20/4,6/80	-4,90	0,04
10/3,6/50, 20/4,6/50	-5,80	0,01	20/3,6/80, 20/4,6/Bug	-7,04	0,01
10/3,6/80, 20/3,6/80	4,89	0,04	20/3,6/80, 20/5,6/50	-6,00	0,02
10/3,6/Bug, 20/4,6/50	-5,76	0,03	20/3,6/80, 20/5,6/80	-5,05	0,03
10/4,6/50, 20/3,6/80	6,44	0,01	20/3,6/80, 30/3,6/80	-6,50	0,01
10/4,6/80, 20/4,6/50	-5,33	0,02	20/3,6/80, 30/4,6/80	-6,20	0,01
10/5,6/50, 20/3,6/80	7,00	0,01	20/3,6/80, 30/5,6/50	-6,44	0,01
10/5,6/50, 30/4,6/Bug	4,94	0,05	20/3,6/80, 30/5,6/80	-6,00	0,01
10/5,6/80, 20/4,6/50	-4,74	0,03	20/4,6/50, 20/5,6/Bug	6,80	0,01
10/5,6/Bug, 20/3,6/50	5,57	0,02	20/4,6/50, 30/3,6/50	5,41	0,02
10/5,6/Bug, 20/3,6/80	8,18	0,001	20/4,6/50, 30/4,6/Bug	6,99	0,01
10/5,6/Bug, 20/2,6/Bug	5,93	0,02	20/4,6/50, 30/5,6/Bug	4,85	0,04
10/5,6/Bug, 30/3,6/50	4,55	0,04	20/4,6/Bug, 20/5,6/Bug	4,79	0,05
10/5,6/Bug, 30/4,6/Bug	6,12	0,01	20/4,6/Bug, 30/4,6/Bug	4,98	0,05
20/3,6/50, 20/4,6/50	-6,44	0,01			
20/3,6/80, 20/3,6/Bug	-5,31	0,03			
20/3,6/80, 20/4,6/50	-9,05	0,001			

4.2.3 Betrachtung der Kreatinkinaseaktivität im Plasma

Der Median der Kreatinkinaseaktivitäten im Plasma vor den Belastungen betrug 34,1 U/l und stieg durchschnittlich auf 42,3 U/l nach der Belastung an (Tabelle 15). Die maximale Aktivität betrug 82,3 U/l. Die CK- Aktivität nach Belastung war bei fast allen, mit drei Ausnahmen immer mindestens $p < 0,05$. Die Veränderung der CK- Aktivität unterschied sich nicht zwischen den Belastungen (Kruskal-Wallis $p > 0,05$) (Tabelle 34 im Anhang).

In der folgenden Tabelle 15 wird die mittlere Kreatinkinaseaktivität mit Median sowie 10-, 25-, 75- und 90- Perzentilen vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastun-

gen auf dem Laufband im Wasser aufgezeigt. Die Kreatinkinaseaktivität nach allen Belastungen war höher als vor den Belastungen ($p < 0,001$).

Tabelle 15: Kreatinkinaseaktivität im Plasma der Pferde mit Median, 10-, 25-, 75- und 90- Perzentilen vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastungen auf dem Laufband im Wasser

Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Kreatinkinaseaktivität im Plasma vor Belastung					Kreatinkinaseaktivität im Plasma nach Belastung				
	10 (U/l)	25 U/l)	50 (U/l)	75 (U/l)	90 (U/l)	10 (U/l)	25 (U/l)	50 (U/l)	75 (U/l)	90 (U/l)
10/3,6/50	28,0	32,5	37,0	42,0	48,0	34,4	41,2	43,0	48,8	60,0
10/3,6/80	25,3	28,0	29,0	45,0	52,9	33,2	34,5	49,0	55,4	59,4
10/3,6/Bug	19,2	28,5	30,0	33,9	67,9	31,2	36,5	38,2	52,5	73,5
10/4,6/50	30,4	36,8	39,0	43,8	48,4	34,8	41,9	44,0	49,5	70,9
10/4,6/80	28,6	30,5	40,0	44,2	66,3	36,0	40,5	49,0	64,3	87,1
10/4,6/Bug	*	30,6	37,6	41,9	*	*	39,1	47,1	53,9	*
10/5,6/50	27,0	27,0	34,0	40,0	51,5	32,0	35,0	38,5	48,0	62,5
10/5,6/80	30,0	30,0	34,2	40,5	47,4	32,8	35,0	40,0	53,2	71,6
10/5,6/Bug	27,0	28,9	29,0	32,0	40,0	30,7	32,0	35,5	39,0	45,0
20/3,6/50	25,4	26,8	32,3	37,8	46,6	29,6	32,0	40,0	51,5	61,4
20/3,6/80	27,6	29,5	32,7	36,5	67,9	32,3	33,0	53,0	68,0	87,2
20/3,6/Bug	26,4	28,0	29,0	41,0	43,8	32,2	33,0	33,0	47,8	53,8
20/4,6/50	29,6	32,8	38,3	42,8	47,1	33,8	38,0	41,0	50,8	73,2
20/4,6/80	29,4	30,0	35,5	42,1	52,8	34,1	37,1	43,6	52,0	71,7
20/4,6/Bug	27,7	30,2	33,0	34,0	43,2	32,9	33,0	37,8	40,0	70,1
20/5,6/50	27,0	35,0	35,0	42,0	50,8	29,2	38,5	45,0	56,8	61,4
20/5,6/80	27,2	29,8	36,0	39,2	47,2	34,0	38,3	41,0	45,2	51,0
20/5,6/Bug	21,2	23,5	28,0	38,5	44,0	28,0	28,5	36,0	54,1	64,8
30/3,6/50	24,8	27,0	31,0	37,0	38,0	32,4	35,0	39,6	42,0	43,0
30/3,6/80	25,5	30,0	34,0	42,0	44,8	34,4	38,5	41,5	51,2	59,3
30/3,6/Bug	28,5	30,4	38,0	41,0	43,0	32,5	35,0	37,9	43,1	49,5
30/4,6/50	29,5	32,0	38,2	42,7	49,0	30,0	36,0	51,0	58,2	82,3
30/4,6/80	24,8	28,0	30,9	38,0	45,5	33,0	34,5	35,1	42,5	53,1
30/4,6/Bug	21,3	25,5	36,5	43,5	52,0	27,3	32,0	45,5	59,5	67,3
30/5,6/50	22,2	27,4	29,0	42,5	48,8	29,5	32,2	36,0	60,5	66,8
30/5,6/80	22,1	26,6	32,0	46,2	52,4	30,2	35,0	45,0	52,8	55,0
30/5,6/Bug	31,8	36,8	43,0	52,2	53,6	36,9	45,0	56,5	60,5	63,1

Erläuterungen:

* = fehlende Daten

4.2.4 Betrachtung der Körpertemperatur

Im Mittel betrug die Rektaltemperatur vor der Belastung 37,2 °C und stieg auf durchschnittlich 37,4 °C an. Die Körpertemperatur war nach allen Belastungsarten höher als vor der Belastung ($p < 0,001$). Die Temperaturerhöhungen unterschieden sich zwischen den Belastungen ($p < 0,001$). Die Wechselwirkung zwischen der Belastungsart und dem Zeitpunkt der Messung war signifikant ($p < 0,001$ Anhang Tabelle 35). In dem folgenden Histogramm (Abbildung 7) wird die mittlere Rektaltemperatur mit Standardabweichung vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastungen auf dem Laufband im Wasser dargestellt. Die Rektaltemperatur nach allen Belastungen war höher als vor den Belastungen ($p < 0,001$).

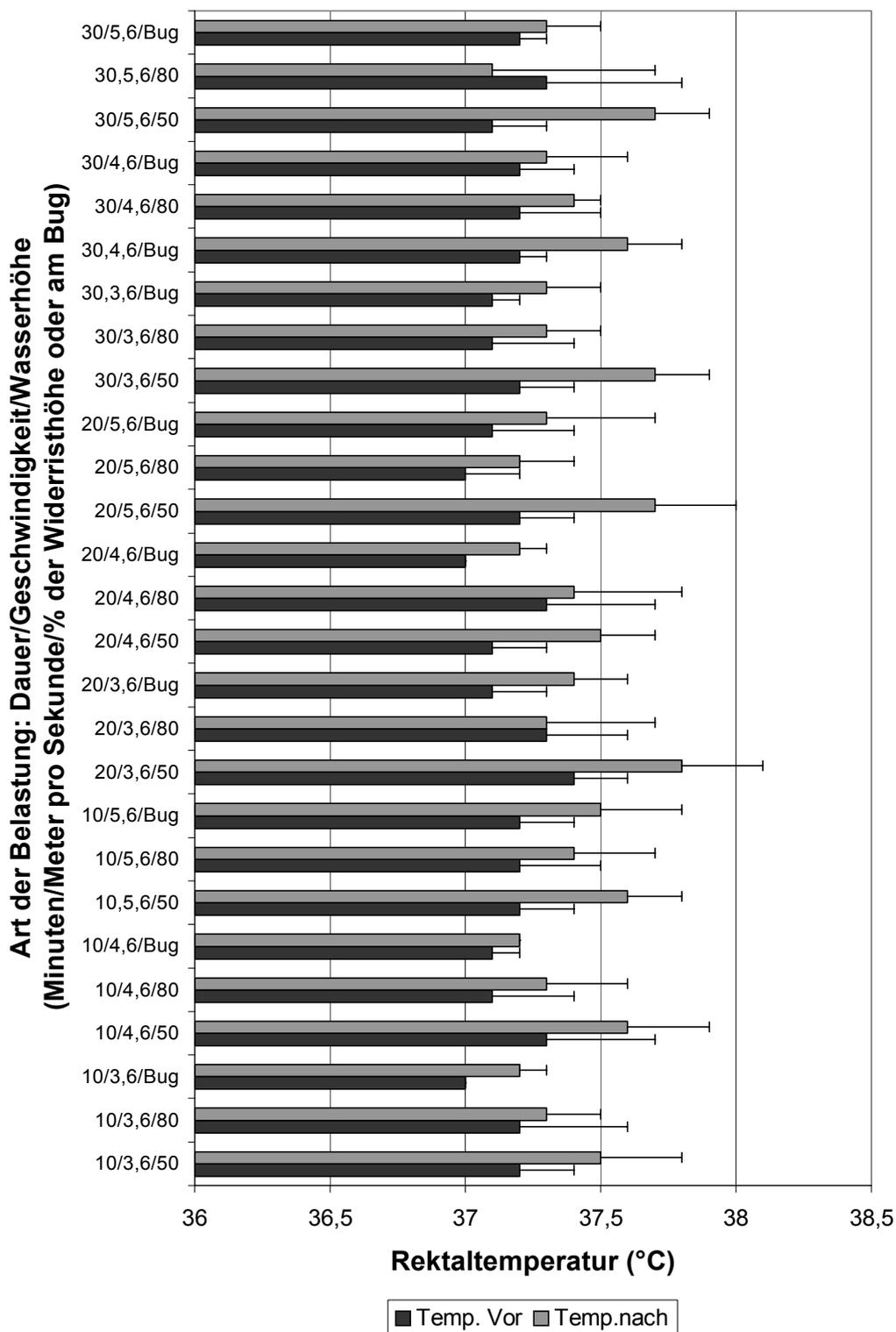


Abbildung 7: Rektaltemperatur von Pferden vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastungen auf einem Laufband im Wasser (Mittelwert \pm Standardabweichung; siehe Tabelle 36 im Anhang)

Die Rektaltemperaturen nach Belastung verhielten sich sehr unterschiedlich bei den verschiedenen Belastungen. In der Tabelle 16 sind nur die Belastungen, die sich unterschieden, aufgelistet.

Tabelle 16: Belastungen, zwischen denen signifikant differierende Zunahmen der Rektaltemperaturen auftraten (Fisher's PLSD Test)

Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Mittlere Rektaltem- peratur- Differenz (°C)	P- Wert	Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Mittlere Rektaltem- peratur- Differenz (°C)	P- Wert
10/3,6/50, 20/4,6/Bug	0,24	0,05	10/4,6/50, 30/3,6/80	0,28	0,03
10/3,6/80, 20/3,6/50	-0,32	0,03	10/4,6/50, 30/5,6/80	0,26	0,05
10/3,6/Bug, 10/4,6/50	-0,41	0,01	10/4,6/80, 20/3,6/50	-0,39	0,01
10/3,6/Bug, 10/5,6/50	-0,32	0,03	10/4,6/80, 20/5,6/50	-0,26	0,05
10/3,6/Bug, 20/3,6/50	-0,51	0,001	10/4,6/80, 30/3,6/50	-0,25	0,05
10/3,6/Bug, 20/5,6/50	-0,39	0,01	10/4,6/Bug, 20/3,6/50	-0,45	0,01
10/3,6/Bug, 30/3,6/50	-0,38	0,01	10/5,6/50, 20/4,6/Bug	0,27	0,02
10/3,6/Bug, 30/4,6/50	-0,33	0,04	10/5,6/50, 20/5,6/80	0,25	0,03
10/3,6/Bug, 30/5,6/50	-0,36	0,02	10/5,6/80, 20/3,6/50	-0,33	0,01
10/4,6/50, 10/4,6/80	0,28	0,04	10/5,6/Bug, 20/3,6/50	-0,24	0,04
10/4,6/50, 10/4,6/Bug	0,35	0,05	20/3,6/50, 20/3,6/80	0,3	0,03
10/4,6/50, 20/4,6/Bug	0,36	0,01	20/3,6/50, 20/3,6/Bug	0,34	0,01
10/4,6/50, 20/5,6/80	0,34	0,01	20/3,6/50, 20/4,6/Bug	0,46	0,001
10/4,6/50, 20/5,6/Bug	0,28	0,05			

Die Wasserhöhe hatte den stärksten Einfluss auf die Körpertemperatur. Sie korreliert negativ mit den Körpertemperaturen, unabhängig von Geschwindigkeit und Laufdauer.

4.3 Studie über die Testvorschrift

4.3.1 Studie 1) Wirkung der konstanten Wasserhöhe mit zunehmender Laufgeschwindigkeit während des Belastungstests

4.3.1.1 Laktat

Die mittleren Laktatkonzentrationen im Blut vor Belastung lagen bei 0,98 mmol/l (Tabelle 37 im Anhang). In dem folgenden Histogramm (Abbildung 8) wird der Einfluss der Wasserhöhe (%) auf die Laktatkonzentration im Blut (Mittelwert mit Standardabweichung) während des Mehrstufentestes auf dem Laufband im Wasser dargestellt. Bei einer Wasserhöhe von 10 % der Widerristhöhe stieg die Laktatkonzentration bis zur 5. Stufe an ($p > 0,05$). Bei 50 % und 80 % der Widerristhöhe stieg die Laktatkonzentration bis zur 4. Stufe und sank anschließend wieder ($p > 0,05$).

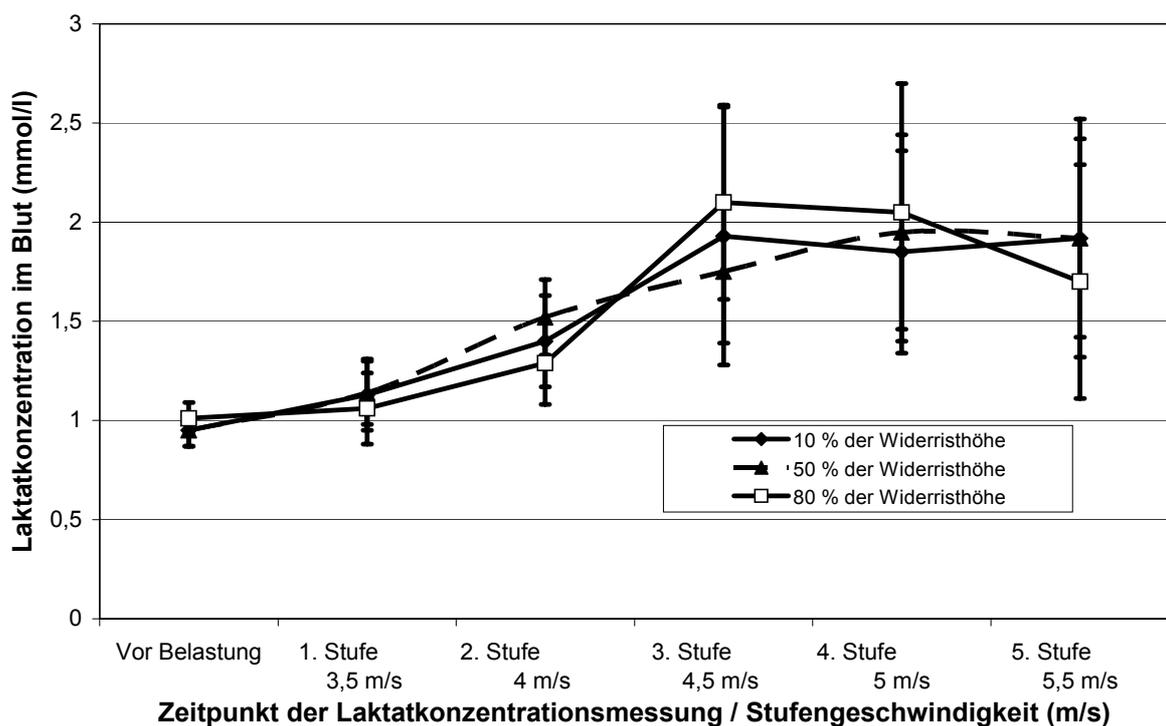


Abbildung 8: Einfluss der Wasserhöhe auf die Laktatkonzentration im Blut von Pferden (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde)

4.3.1.2 Herzfrequenz

Im folgenden Histogramm (Abbildung 9) wird der Einfluss der Wasserhöhe (%) auf die mittlere Herzfrequenz vor und während der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser dargestellt (Tabelle 38 im Anhang). Die mittlere Herzfrequenz der Pferde vor den Belastungen lag bei 45 Schlägen pro Minute. Während der Belastungen erreichte sie maximal 139 Schläge pro Minute. Nach dem Erreichen der 1. Stufe blieb die Herzfrequenz auf dem jeweilig pferdespezifischen Herzfrequenzlevel (zwischen 120 und 160 Schlägen/Minute) relativ konstant ($p < 0,05$). Die Herzfrequenz vor der Belastung war niedriger als zu jedem Zeitpunkt während der Belastung ($p < 0,001$).

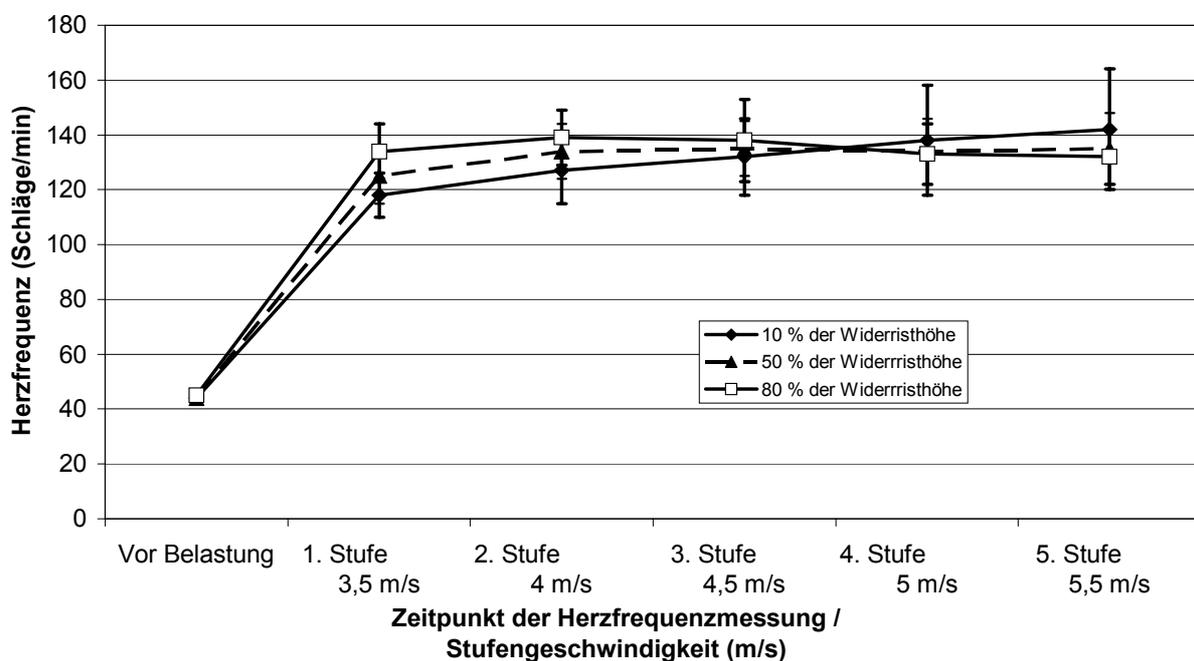


Abbildung 9: Einfluss der Wasserhöhe (% der Widerristhöhe) auf die Herzfrequenz (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde)

4.3.1.3 Kreatinkinase

In dem folgenden Histogramm (Abbildung 11) wird der Einfluss der Wasserhöhe (% der Widerristhöhe) auf die Kreatinkinaseaktivität im Plasma (Mittelwert mit Standardabweichung) vor und während des Mehrstufentestes auf dem Laufband im Wasser dargestellt. Die mittlere Kreatinkinaseaktivität vor den Belastungen betrug 38,1 U/l und stieg bis maximal 67,7 U/l an. Diese Zunahme war signifikant ($p < 0,001$), unterschied sich aber zwischen den Belastungen nicht (Tabelle 39 im Anhang).

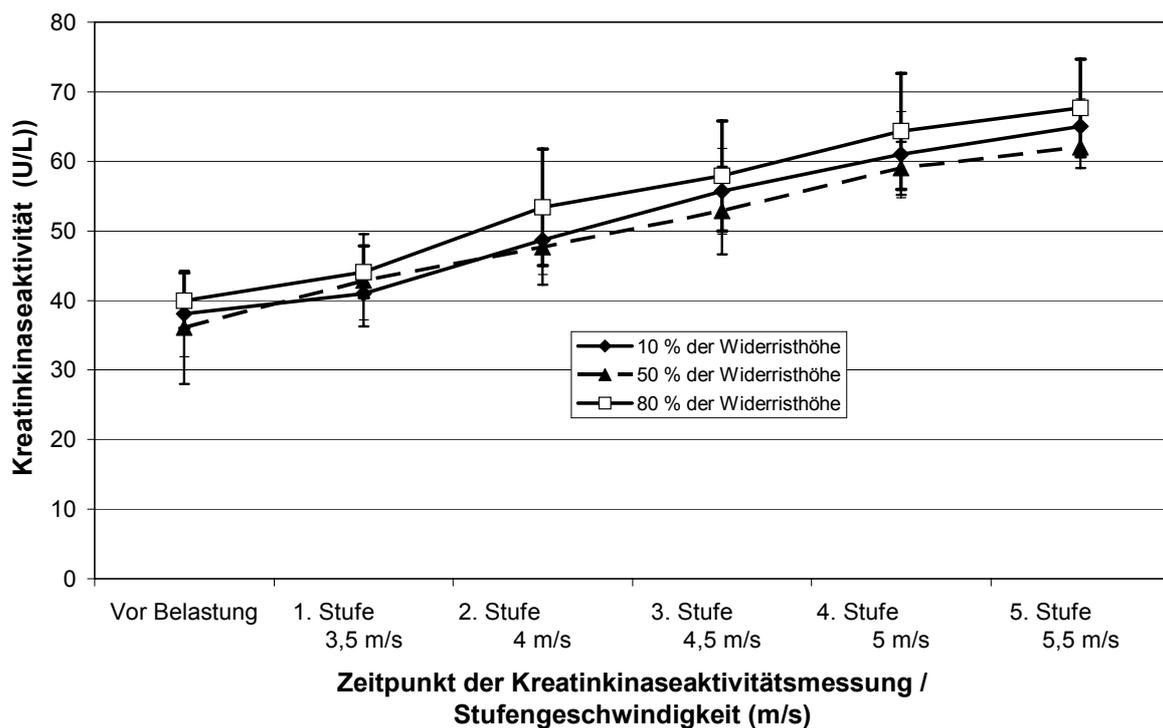


Abbildung 10: Einfluss der Wasserhöhe (%) und des Zeitpunktes auf die Kreatinkinaseaktivität (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde)

4.3.1.4 Körpertemperatur:

In dem folgenden Histogramm (Abbildung 11) wird der Einfluss der Wasserhöhe (% der Widerristhöhe) auf die Rektaltemperatur (Mittelwert mit Standardabweichung) vor und unmittelbar nach der 5. und letzten Stufe des Mehrstufentestes auf dem Laufband im Wasser dargestellt. Die durchschnittliche Rektaltemperatur vor den Belastungen betrug 37 °C. Die höchste Temperaturzunahme auf 38,4 °C wurde bei den Pferden gefunden, die bei 10 % der Widerristhöhe belastet wurden. Die Temperaturzunahme war bei Wasserhöhen von 50 % und 80 % der Widerristhöhe geringer als bei einer Wasserhöhe von 10 % der Widerristhöhe ($p < 0,001$; Tabelle 40 im Anhang).

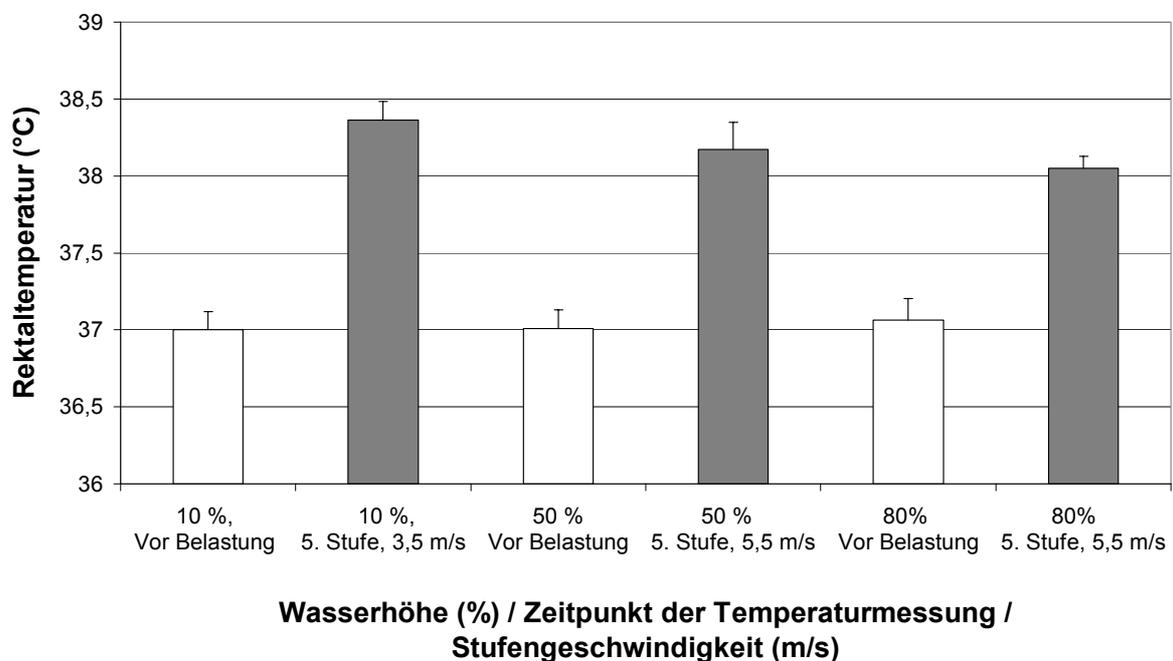


Abbildung 11: Einfluss der Wasserhöhe und des Zeitpunktes auf die Rektaltemperatur (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde, Wassertemperatur 20 °C)

4.3.2 Studie 2 in der Testvorschrift: Wirkung zunehmender Wasserhöhe während des Belastungstests bei konstanter Laufgeschwindigkeit von 5,5m/s (19,8 km/h)

4.3.2.1 Laktat

Die mittlere Laktatkonzentration im Blut vor den Belastungen betrug 0,94 mmol/l und stieg auf maximal 1,91 mmol/l an (Tabelle 41 im Anhang). In dem folgenden Histogramm (Abbildung 12) wird der Einfluss der Wasserhöhe (%) auf die Laktatkonzentration (Mittelwert mit Standardabweichung) dargestellt. Die Blutlaktatkonzentration stieg mit zunehmender Dauer bis Stufe 3 ($p < 0,001$), danach sank sie wieder ($p < 0,01$). Kein Pferd erreichte eine Blutlaktatkonzentration von 4 mmol/l.

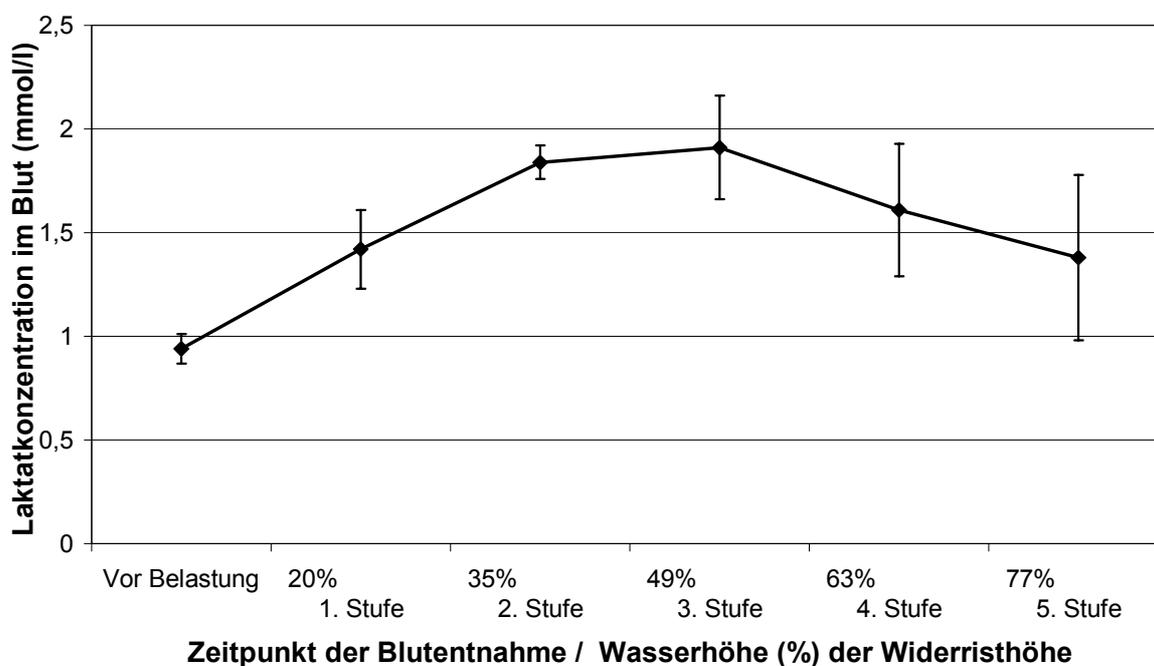


Abbildung 12: Der Einfluss der Wasserhöhe und des Zeitpunktes auf die Laktatkonzentration (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde)

4.3.2.2 Herzfrequenz

Die durchschnittliche Herzfrequenz vor der Belastung betrug 43 Schläge/min und stieg maximal auf 148 Schläge/min an (Tabelle 42 im Anhang). In dem folgenden Histogramm (Abbildung 13) wird der Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe (%) auf die Herzfrequenz dargestellt. Nach dem Erreichen der 1. Stufe bleibt die Herzfrequenz auf dem jeweilig pferdespezifischen Herzfrequenzlevel (zwischen 120 und 160 Schlägen/Minute) konstant.

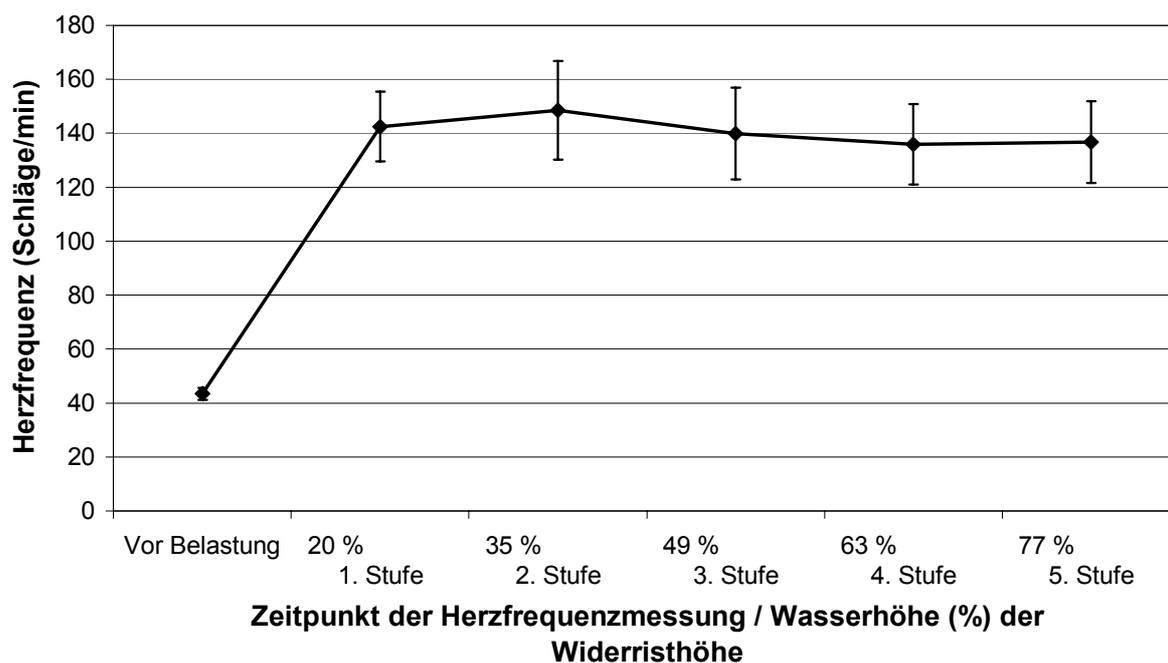


Abbildung 13: Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe auf die Herzfrequenz (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde)

4.3.2.3 Kreatinkinase

Die durchschnittliche Kreatinkinaseaktivität im Plasma von 30,9 U/L vor der Belastung stieg bis 55,4 U/L bei Stufe 5 (77 % der Widerristhöhe) ihrer maximalen Aktivität an (Tabelle 43 im Anhang). In dem folgenden Histogramm (Abbildung 14) wird der Einfluss der Wasserhöhe (% der Widerristhöhe) dargestellt. Die Kreatinkinaseaktivität korreliert positiv mit der Wasserhöhe.

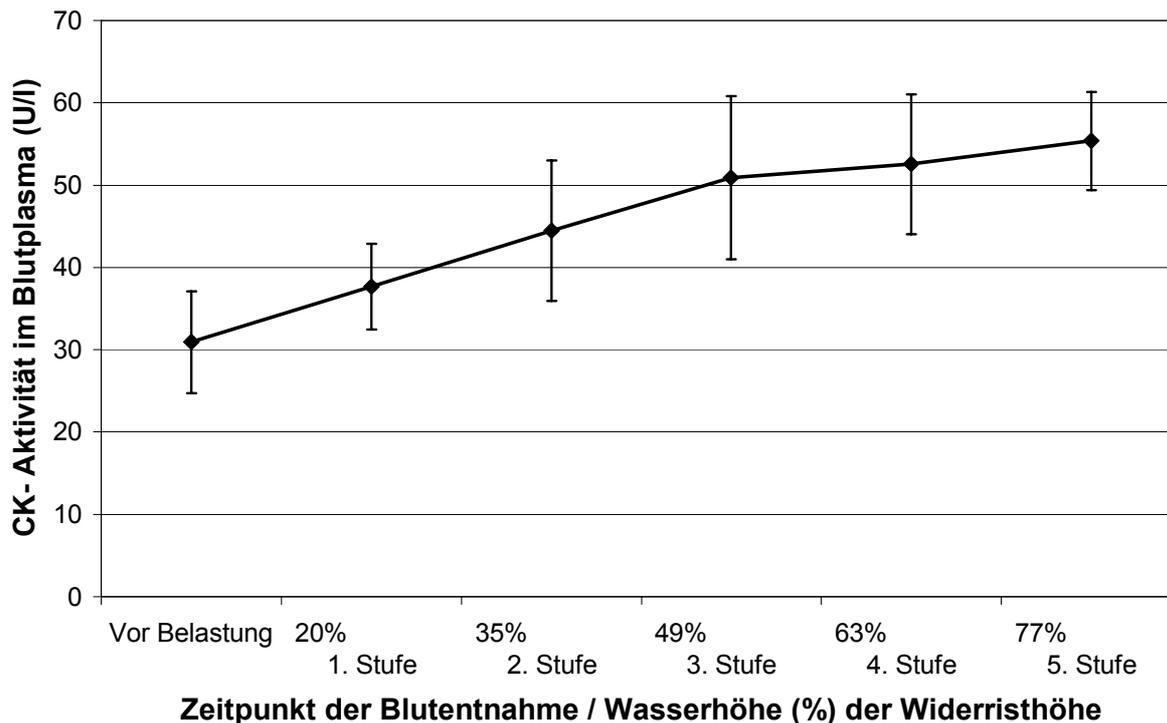


Abbildung 14: Der Einfluss der Wasserhöhe und des Zeitpunktes auf die Kreatinkinaseaktivität (Mittelwert \pm Standardabweichung; 7 Pferde)

4.3.2.4 Körpertemperatur

Die durchschnittliche Körpertemperatur von 37,1 °C vor der Belastung war niedriger als nach der Belastung 38,2°C ($p < 0,001$) (Tabelle 44 im Anhang). In dem folgenden Histogramm (Abbildung 15) wird der Einfluss der Wasserhöhe (% der Widerristhöhe) auf die Rektaltemperatur unmittelbar nach der 5. und letzten Stufe des Mehrstufentestes auf dem Laufband im Wasser dargestellt. Der Einfluss des Zeitpunktes war signifikant ($p < 0,001$).

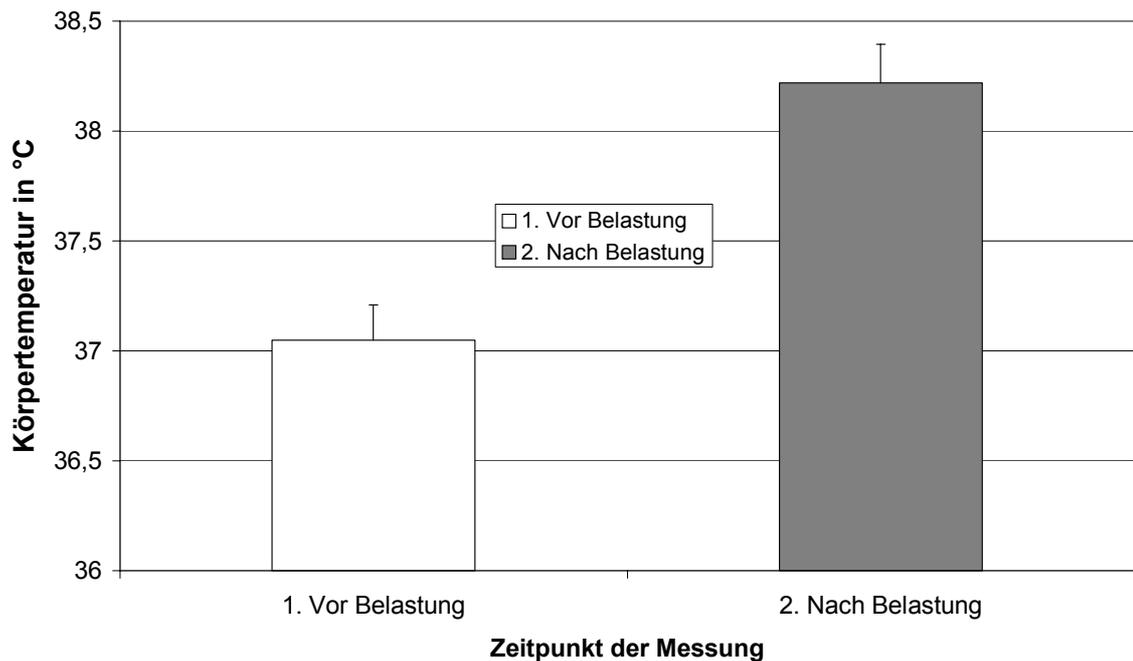


Abbildung 15: Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe auf die Körpertemperatur (Mittelwert ± Standardabweichung; 7 Pferde, Wassertemperatur 20 °C)

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methoden

5.1.1 Blutentnahme

In dieser Arbeit wurde das venöse Blut aus der Vena jugularis externa entnommen. Die Blutentnahme aus der Vena jugularis ist wohl die gängigste Methode der Blutentnahme beim Pferd und wurde schon Ende des 13. Jahrhunderts in einer Illustration der *Medicina equorum* des Jordanus Rufus mit dem Titel „Libro delle Mariscalcie die Cavallie“ für Aderlässe dargestellt (v.d. DRIESCH 1989). Vorteile dieser Entnahmetechnik ist die Einfachheit gegenüber der arteriellen und der gemischt venösen Blutentnahme (Pulmonalarterie). Sie gilt außerdem nach GRABER-MILLER et al. (1988) als repräsentativer Messort des Laktatgehaltes für den gesamten Blutkreislauf des Pferdes.

5.1.2 Laktatbestimmung

Die Frage, ob die Bestimmung des Laktatgehaltes im Plasma- oder Blut genauer ist, beantworten FORREST et al. (1990) mit der Formel: $\text{Blood Lac} = \text{Red Cell Lac} \times \text{HCT} + ((1 - \text{HCT}) \times \text{Plasma Lac})$, dabei ist "Lac" Laktat und "HCT" Hämatokrit. Sie erklären diesen Sachverhalt mit der, beim Pferd im Gegensatz zum Menschen während extremer Belastung, enormen Speicherkapazität der Erythrozyten in der Milz. Da die Messung des Laktatgehaltes im Plasma aber wesentlich aufwendiger ist, geben sie zu, dass die Messung des Blutlaktatgehaltes die praktikablere Variante ist. In dem aeroben Bereich, in dem die Messwerte dieser Studie liegen, ist die Messung des Laktatgehaltes im Blut aussagekräftig. Bis zu etwa 2 mmol/l gibt es keinen Unterschied zwischen Plasma und Blut (LINDNER 1997). Danach steigt die Differenz der Laktatkonzentration zwischen Blut und Plasma mit zunehmender Laktatkonzentration stetig an (LINDNER 1997). EVANS et al. (1996) konkretisieren den genauen Messbereich für das in dieser Studie verwendete Gerät zur Messung der Laktatkonzentration. Zwischen 0,8-20 mmol/l misst Accusport exakte Plasmalaktatkonzentrationen. Blutlaktatkonzentrationen werden bis zu 10 mmol/l bei einem Hämatokrit <53 % exakt gemessen. Da die Belastungen in den Versuchen alle deutlich Blutlaktatkonzentrationen unter 8 mmol/l verursachten, reicht eine einmalige

Blutentnahme direkt nach der Belastung aus. Es ist wesentlich, bei einem Substrat zu bleiben. Wichtig ist, dass die Blutproben vor der Messung geschwenkt werden, um eine homogene Verteilung der Blutzellen zu bekommen, da sonst eine Verfälschung des Ergebnisses stattfindet. Der Zusatz von Heparin beeinflusst den Laktatgehalt nicht (LINDNER 1996).

5.1.3 Kreatinkinaseaktivitätsbestimmung mittels Reflotron

Mehrere Untersuchungen zeigen, dass die Kreatinkinaseaktivitätsbestimmung mittels Reflotron eine Methode ist, um schnell und vor Ort exakte Ergebnisse zu erhalten. KRIDDE et al. (1991) bestätigten dies, wiesen aber auf den Einfluss des Hämatokrit hin. Sie erreichten nur genaue Ergebnisse bei einem Hämatokrit unter 50 %. HORDER et al. (1991) bestätigten mit Korrelationen von $r > 0,99$ bei Messungen im Blut und Plasma die Messgenauigkeit von Reflotron, grenzten die Bedingungen aber weiter ein. Das Blut darf nicht hämolytischer als Hb 6 g/l sein, Bilirubinkonzentration kleiner 0,2 g/l sind tolerierbar. Des Weiteren verursachten Medikamente in therapeutischen Dosierungen keine Messbeeinträchtigungen. BICKHARDT et al. (1992) maßen beim Vergleich mit Standard UV-Methoden Übereinstimmungen von r (Regressionskoeffizient) $> 0,96$. Der Variationskoeffizient war höher als 7,5 %. Bei der vorliegenden Untersuchung wurden die Proben direkt nach den Tests untersucht, doch allein die Testdauer von bis zu 30 Minuten könnte die CK-Aktivitäten im Blut verfälschen. Darum wurde nur im Plasma gemessen.

5.1.4 Herzfrequenzmessung

Die Herzfrequenzmessung mittels Polar Horse Trainer ist eine gängige und häufig angewandte Methode. Untersuchungen mit bauähnlichen Vorgängermodellen des Polar Horse Trainer zeigten Korrelationen mit der tatsächlichen Herzfrequenz. So ermittelten EVANS und ROSE (1986) einen Regressionskoeffizienten von $r = 0,994$, und SLOET van OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN (1990) einen $r = 0,998$ unter Laufbandbedingungen und $r = 0,997$ unter Feldbedingungen. Ein Nachteil der Arbeit mit technisch aufwendigeren Geräten ist sicher ihre Anfälligkeit gegenüber Störungen von Außen. So sind die Drähte und Kontakte nicht nur dem Pferdeschweiß und dem Spritzwasser, sondern auch durch die Bewegung im Trab starken mechanischen Kräften ausgesetzt, was bisweilen zu einem Kontaktverlust und damit Ausfall

der Messung führen kann. Solche Ausfälle sind in den vielen Arbeiten, in denen die Herzfrequenz beim Pferd untersucht wurde, bisweilen vorgekommen (WILSON et al. 1983, GYSIN 1983). In dieser Arbeit waren von 254 Mehrstufentestherzfrequenzen 253 auswertbar, das bedeutet einen Anteil von 99,6% und spricht für die Zuverlässigkeit dieser Herzfrequenzmessung.

5.1.5 Körpertemperaturmessung

Die Messung der rektalen Körpertemperatur beim Pferd ist leider nur bedingt aussagekräftig über die Temperaturverhältnisse unter Belastung. Bei Untersuchungen differierte die gemessene maximale Temperatur im Muskel und im Körperinneren um bis zu 2,2°C zur gemessenen Rektaltemperatur. Dies ist vermutlich auf die unterschiedliche Blutversorgung (Arteria Mesenterica caudalis) und/oder die intraperitoneale und somit isolierte Lage des Rektums zurückzuführen (WEISHAUPT et al. 1996). PAN et al. (1986) differenzierten die Messgenauigkeit. In Ruhe und bei geringer Belastung stimmten die arteriell gemessenen mit den rektal gemessenen Temperaturen überein ($p > 0,05$), auch Außentemperaturunterschiede von 16 °C beeinflussten diese nicht. Bei mittlerer und starker Belastung differierten sie jedoch signifikant. Da die Methode jedoch von den nicht invasiven die Genaueste ist, wurde sie bei unserer Untersuchung verwendet. Aufgrund der gemessenen Herzfrequenzen ist die Belastung dieser Untersuchung, zumindest die der Beanspruchungsstudie, als moderat anzusehen und somit sind die Temperaturmessungen wahrscheinlich ausreichend genau. Eine Kontrolluntersuchung mit einer arteriellen Temperaturmessung wäre jedoch sinnvoll. Beim Menschen wurden bei Vergleichsmessungen der Temperatur in der Pulmonalarterie und im Rektum Korrelationenkoeffizienten von $>0,79$ berechnet (HENKER et al. 1995).

5.1.6 Testvorschriften

Eine Vielzahl von Mehrstufentests oder standardisierter Belastungstests sind beim Pferd zur Bestimmung von Parametern der Leistung in zahlreichen Arbeiten im Feld, aber auch auf dem Laufband verwendet worden (LINDNER u. KRÜGER 1990, SLOET V. OLDRUITENBORGH-OSTERBAAN 1990, v. WITTKE 1991, LINDNER et al. 1997). Auf dem Laufband im Wasser sind Testvorschriften bisher nicht beschrieben worden, darum ist hier kein Vergleich möglich.

Die Leistungsdiagnostik muss genau sein. Deshalb sollte das Verhalten der Laktatkonzentration im Blut vom Vorbelastungswert bis über 4 mmol/l während Belastung möglichst lückenlos verfolgt werden (LINDNER 1997). Dazu ist es notwendig, viele Stufen in einem Test zu haben, damit die Erhöhung der Laufgeschwindigkeit von Stufe zu Stufe gering gehalten werden kann, und somit auch die Veränderungen der Laktatkonzentration im Blut langsamer vonstatten gehen. Vier Stufen sind das absolute Minimum. Falls ein Pferd sehr ausdauerstark ist, kann diese Zahl erhöht werden, bis die Laktatkonzentration im Blut mehr als 4 mmol/l beträgt. Häufig wird die v_4 in Tests mit nur drei Stufen bestimmt. Damit spart man zwar Zeit, es leidet aber die Genauigkeit der Diagnose der Ausdauer-Leistungsfähigkeit (LINDNER 1997). Die Aufwärmphase von 5 Minuten, bevor der Test beginnt, ist notwendig, da bei nicht ausreichend aufgewärmten Pferden die Laktatkonzentrationen im Blut nach der ersten Teststufe sonst häufig höher sind als nach der 2. Teststufe. Die Pausendauer von einer Minute Länge war erforderlich um zu gewährleisten, dass von allen Pferden in der Pause genug Blut genommen werden konnte und auch bei Verzögerungen der Blutentnahme keine Pausenverlängerung stattfinden musste. Das Blut sollte jedoch immer so bald wie möglich nach Belastung entnommen werden, denn nur dann entspricht die Laktatkonzentration im Blut der bei Belastung (LINDNER 1997). In kürzeren Pausen wäre eine Blutentnahme in manchen Fällen schwer möglich gewesen und eine Pausenverlängerung bei dem einen oder anderen Pferd nötig geworden. Des Weiteren ist der Einfluss der Pausendauer auf die Laktatkonzentration im Test bei einem Verhältnis von Stufendauer zu Pausendauer von 5:1 gering. Wichtig ist eine identisch gestaltete, also standardisierte Pausendauer, um zu verhindern, dass das Anfangsniveau von Test zu Test schwankt (LINDNER 1997). Die Belastungsdauer wurde den üblichen Tests angepasst und damit auf 5 Minuten festgesetzt. Bei einer kürzeren Stufendauer ist eine Unterscheidung bei leistungsstarken Pferden schwieriger. Außerdem werden niedrigere Laktatkonzentrationen im Blut gemessen und dadurch muss die Stufengeschwindigkeit höher sein, um die gleichen Laktatkonzentrationen zu erreichen. Eine längere Stufendauer ist aus praktischen Gründen nicht sinnvoll und erscheint auch nicht notwendig (LINDNER 1997). Die Wahl der Geschwindigkeit hängt von der Ausdauer-Leistungsfähigkeit der Pferde ab: je schlechter die Ausdauer, desto geringer die Geschwindigkeit, da sonst zu schnell die 4 mmol/l Grenze überschritten wird (LINDNER 1997). Da keine Erfahrungswerte auf dem

Laufband im Wasser vorlagen, wurde in dieser Studie mit einer niedrigen Geschwindigkeit angefangen. Für die Geschwindigkeitserhöhung gilt das gleiche wie für die Anfangsgeschwindigkeit: je niedriger die Ausdauer, desto niedriger muss sie sein. Wichtig ist, dass die Erhöhung von Stufe zu Stufe konstant ist, damit die Zunahme der Laktatkonzentration im Blut exakt berechenbar ist (LINDNER 1997). Die höchste Geschwindigkeit unseres Laufbandes betrug 5,5 m/s, somit wurden die Stufengeschwindigkeiten entsprechend berechnet. Bei der Beanspruchungsstudie wurde eine positive Korrelation zwischen der Wasserhöhe und den gemessenen Laktatkonzentrationen im Blut nach Belastung festgestellt, deshalb wurde bei der Testvorschrift von der niedrigsten bis zur höchst möglichen Wasserhöhe belastet.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Verhaltensstudie

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass beim dritten Durchgang bereits 86 % der Pferde ohne zu zögern das Laufband im Wasser betraten. Dies wird als gute Akzeptanz interpretiert, und es erleichtert sehr den Umgang mit den Pferden bei diesem Vorgang. KING et al. (1995) verfolgten auch das Verhalten. Sie folgerten, dass Pferde auf jeden Fall einen Probelauf auf dem Laufband bekommen sollten, bevor mit der Messung physiologischer Variablen begonnen wird. Sie erwähnten, dass bei einigen Pferden mit zunehmender Zahl der Läufe auf dem Laufband die Toleranz gegenüber den Maßnahmen abnehmen kann. Dies könnte aber auch auf den Einsatz der Maske in dieser Studie zurückzuführen sein. In der vorliegenden Arbeit wurde dieser Effekt bisher beim Einsatz auf dem Wasser-Laufband in der täglichen Routine nicht festgestellt. Nachdem in dieser Studie vom zweiten zum dritten Durchgang der Prozentsatz der Pferde, die das Laufband ohne Zögern betraten, von 70 % auf 86 % stieg, kann erst vom dritten Lauf an von einer ausreichenden Gewöhnung der Pferde ausgegangen werden. Der Schritt der meisten Pferde war beim dritten Lauf auf dem Laufband von Beginn der Belastung an regelmäßig. Dieses Ergebnis wird von BUCHNER et al. (1994) bestätigt. Mittels eines ganganalytischen Meßsystems wurde ermittelt, wann eine stabile Stellung, gleichmäßige Körperbewegung und eine konstante Schrittlänge mit konstanter Gliedmaßenfußung erreicht waren. Im Trab waren die Werte aller Variablen schon nach drei Gängen optimal. Sie empfahlen daher, dass ganganalytische Messungen

nicht vor dem dritten Lauf auf dem Laufband durchgeführt werden sollten und nie während der ersten Minute eines Laufs. Bei KING et al. (1994) musste ein Pferd wegen seiner Intoleranz der Arbeitsbedingungen ausgesondert werden. Wie schon erwähnt, könnte diese Intoleranz auch ausschließlich auf die Anwendung einer Maske am Kopf des Pferdes zurückzuführen sein. Weitere Hinweise dazu aus der Literatur wurden nicht gefunden. Es kann außerdem angenommen werden, dass die große Mehrheit der Pferde die Belastung auf dem Laufband im Wasser ohne Entwicklung von Unarten annehmen wird. Dies kann aufgrund mehrjähriger eigener Erfahrung inzwischen bestätigt werden.

Sowohl KING et al. (1995) als auch BUCHNER et al. (1994) berücksichtigten nicht, ob und wie häufig Kot während der Arbeit auf dem Laufband abgesetzt wurde. Um die Psyche der Pferde auf dem Laufband besser beurteilen zu können, ist das Beobachten des Kotabsatzes sinnvoll, da die Häufigkeit des Kotabsatzes als Zeichen für Nervosität bewertet werden kann. Nach ZEITLER-FEICHT (2001) deutet das häufige Absetzen nicht voll geformten Kotes auf Angst hin. Der Kotabsatz kann, abhängig von der Fütterung, auch bis zu zwanzigmal am Tag erfolgen (PIRKELMANN 1991). Durchschnittlich setzen Pferde 8-12-mal pro 24 Stunden Kot ab. Bei der vorliegenden Studie auf dem Wasserlaufband setzten sie im Mittel 1,39-mal Kot ab. Die Häufigkeit änderte sich während der drei beobachteten Arbeitsdurchgänge nicht. Berücksichtigt man die Dauer der Belastungen nahm mit zunehmender Zahl der Läufe die Absatzfrequenz sogar ab, da die Pferde immer länger beansprucht wurden. Somit spricht auch die Häufigkeit des Kotabsatzes gegen eine übermäßige Erregung der Pferde. Vergleichbare Daten hierzu wurden in der Literatur nicht gefunden. Subjektiv gesehen erschienen die Pferde während der Arbeit im Wasser ebenso nicht über die Norm aufgeregt.

5.2.2 Beanspruchungsstudie

5.2.2.1 Laktat

Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass die Nachbelastungslaktatwerte höher waren als die Ruhelaktatwerte. Insgesamt steigen sie jedoch nur in geringem Umfang an, bis maximal 1,8 mmol/l. Bei VOSS et al. (2002), der einzig der Autorin bekannten Untersuchung der Belastung von Pferden auf einem Wasserlaufband, in

der auch Laktatkonzentrationen gemessen wurden, konnten ebenfalls nur geringe Laktatanstiege gemessen werden. Ursache hierfür war die geringe Beanspruchung. Dieses bedeutet, dass die Belastung weitgehend aerob bewältigt werden konnte. Der Nachbelastungslaktatwert bei gleicher Laufdauer und gleicher Geschwindigkeit stieg mehr an, je höher der Wasserstand war. Bei TOWN u. BRADLEY (1991)'s Studie mit Menschen beim DWR (Deep Water Running) und SWR (Shallow Water Running) hatte die Wasserhöhe keinen Einfluss auf die Laktatproduktion. Die Laktatkonzentrationen der Probanden im Wasser bei DWR und SWR betrug 81 % der Werte der Probanden auf dem Laufband. Eine Erklärung dafür, dass sich bei den Pferden die Wasserhöhe auf die Laktatkonzentration auswirkt, könnte der höhere Kraftaufwand sein, der durch den erhöhten Widerstand und die größere Oberfläche gegenüber dem Menschen notwendig ist (SHANE BROCK et al. 1976). Eine andere Erklärung wäre, dass bei einem höheren Wasserstand die Gleichgewichtsfindung schwieriger, bzw. mehr Muskelarbeit erforderlich ist (WILBER et al. 1996) und auch andere Muskeln eingesetzt werden (TOWN u. BRADLEY 1991).

Bei gleicher Dauer und konstanter Wasserhöhe korrelierte der Nachbelastungslaktatwert in dieser Beanspruchungsstudie positiv mit der Geschwindigkeit. Diese Korrelation wiesen SHONO et al. (2000) ebenfalls nach. Sie untersuchten den Einfluss der Geschwindigkeit auf einem Laufband im Wasser bei Frauen. Herzfrequenz, Laktatgehalt, Energieverbrauch und Sauerstoffverbrauch stiegen hierbei exponentiell mit der Geschwindigkeit an.

Bei gleicher Geschwindigkeit und gleicher Wasserhöhe war die Laktatkonzentration im Blut abhängig von der Laufdauer. Das heißt, je länger die Dauer, desto höher der Laktatwert. Dies stimmt mit den Verhältnissen auf dem Trockenlaufband überein (LINDNER 1997). Leider wurden bisher selten Untersuchungen über Belastungen konstanter Belastungsintensität durchgeführt.

Eventuell ist ein Einfluss der Wassertemperatur auf die Laktatkonzentration im Blut zu berücksichtigen. Das untersuchten mehrere Arbeitsgruppen an Menschen. Nur die Studien, in denen die Auswirkungen der Wasserimmersion von sich bewegenden Athleten beschrieben sind, sind mit dieser Studie vergleichbar. Bei MOUGIOS et al. (1993)'s Studie wurde der höchste Laktatgehalt bei 32°C Wassertemperatur und maximaler Anstrengung erreicht. Bei 20°C Wassertemperatur waren diese Werte deutlich niedriger, vermutlich durch die reduzierten biochemischen Prozesse in der

Muskulatur, die eine gesteigerte Laktatproduktion verhindern. Eine Indikation, dass Wasser diesen Effekt haben könnte ist, dass die Rektaltemperatur der Pferde bei der Beanspruchung in höherem Wasser weniger ansteigt als bei Belastung in niedrigerem Wasser. Somit wäre die niedrige Wassertemperatur von 20°C bei unserer Studie auf dem Laufband im Wasser eine Erklärung für die niedrigen Laktatkonzentrationen im Blut. Bei submaximaler Anstrengung korrelierte der Laktatgehalt nicht mit der Wassertemperatur. Laut Studie drei ist in dieser Studie die Belastung auf dem Laufband im Wasser submaximal. Die großen Diskrepanzen der Studien lassen jedoch keinen exakten Vergleich und somit Schlussfolgerungen zu. Es existieren viele Studien über das Tauchen und seine Auswirkungen auf den Organismus. Sie beinhalten jedoch die Gesichtsimmersion und das Unvermögen zu atmen. Da sich der Kopf der Pferde der vorliegenden Untersuchung nicht unterhalb des Wasserspiegels befindet, sind die Ergebnisse der Tauchliteratur, deren Haupteffekte die Wasserimmersion und die Apneu sind, nicht zur Erklärung der Phänomene auf dem Wasserlaufband heranziehbar.

5.2.2.2 Herzfrequenz

Die Belastungsherzfrequenzen waren signifikant höher als die Ruhefrequenzen. Im Mittel jedoch stiegen sie nur sehr gering. Die maximale mittlere Belastungsherzfrequenz lag bei 78 Schlägen pro Minute.

In dieser Beanspruchungsstudie wurden die Messungen erst vom vierten Lauf an durchgeführt, um psychische Einflüsse, wie bei GREEN et al. (1990)'s Studie an Menschen beobachtet, weitgehend zu verhindern. Die Pferde der Studie hatten fast ausschließlich keine Wasserlaufbänderfahrung. Somit waren alle auf dem gleichen Stand, wobei sicherlich jedoch individuelle Unterschiede in dem Verhalten der Pferde nicht zu vernachlässigen sind. Bei submaximaler Belastung, wie sie in unserer Studie vorlag, hat die Psyche der Pferde größeren Einfluss auf die Herzfrequenz und erklärt Schwankungen innerhalb der Herzfrequenzkurve. Der Effekt des Wassers auf das Herz ist noch nicht vollständig geklärt. Bei subthermoneutralen Temperaturen im Wasser ziehen sich die Gefäße in Ruhe aufgrund des Kältereizes zusammen. Je nach Intensität der Bewegung müssen sie sich aber zur besseren Versorgung der arbeitenden Muskulatur wieder weiten (IKEGAMI 1997). Das Gefäßsystem wird deshalb durch die Belastung im Wasser besonders trainiert. Dieses Phänomen könnte

beim Pferd zutreffen, da der Thorax zumindest ab einer Wasserhöhe von 50 % der Widerristhöhe von Wasser umgeben ist.

Bei gleicher Geschwindigkeit und Wasserhöhe bedingte eine längere Laufdauer eine höhere Herzfrequenz. Die Höhe der Herzfrequenz korrelierte bei gleicher Laufdauer und Wasserhöhe positiv mit der Geschwindigkeit. Das gleiche Ergebnis erzielten SHONO et al. (2000) bei einer vergleichbaren Studie. Sie untersuchten den Einfluss der Geschwindigkeit bei Frauen auf einem Laufband im Wasser. Die Herzfrequenz stieg exponentiell mit der Geschwindigkeit an. Entsprechende Ergebnisse erzielte auch EHRLEIN et al. (1973). Sie untersuchten die Reaktion der Herzfrequenz zweier Pferde bei verschiedenen Belastungsintensitäten (Geschwindigkeiten) auf der Bahn im Trab über 44-54 Minuten und im Galopp über 25-33 Minuten. Sie stellten ebenso fest, dass der Anstieg der Herzfrequenz umso größer, je höher die konstante Laufgeschwindigkeit ist.

5.2.2.3 Kreatinkinaseaktivität

Die CK-Aktivität nach Belastung war mit wenigen Ausnahmen bei fast allen Belastungsarten höher als vor der Belastung. Die maximale CK-Aktivität betrug 82 U/l, dies entspricht dem physiologischen Bereich des Pferdes (< 90 U/l), das heißt, die Belastung beansprucht den Muskelstoffwechsel wenig. Die Veränderung der CK-Aktivität unterschied sich zwischen den Belastungen nicht. Dies wiederum bedeutet, alle untersuchten Belastungen überfordern die Muskulatur nicht. Lumbago, "Tying Up" oder ähnliche Erkrankungen sind somit unwahrscheinlich. MURAKAMI et al. (1976) untersuchten an vier Pferden die Auswirkungen einer 60-minütigen Schwimmbelastung. Die Kreatinkinaseaktivität zeigte keine signifikanten Veränderungen mit fortschreitender Schwimmdauer, so dass keine häufigeren Blutentnahmen während der Belastung notwendig waren. Der Zeitpunkt der Blutentnahme für die CK-Wertmessung nach der Belastung ist von Bedeutung. MURAKAMI et al. (1976) zeigten in ihrer Studie, dass die Kreatinkinaseaktivität bei schwimmenden Pferden direkt nach der Belastung steigt, dann wieder abfällt und 5 Stunden nach der Belastung erneut ansteigt. Der Ausgangswert war nach 24 Stunden wieder erreicht. Die Nachbelastungs-CK-Werte haben wir 8 und 24 Stunden nach der Belastung ebenfalls stichprobenartig als Kontrollwerte gemessen. Da sie sich nicht signifikant unterschieden und ebenfalls nicht im pathologischen Bereich anzusiedeln waren, sind sie nicht aufgeführt.

5.2.2.4 Körpertemperatur

Die Körpertemperatur nach Belastung war nach allen Belastungsarten höher als vor der Belastung. Die Temperaturerhöhungen unterschieden sich signifikant zwischen den Belastungen. Die Rektaltemperatur stieg maximal um 0,6 °C auf 37,6 °C nach der Belastung an. MURAKAMI et al. (1976) ließen Pferde 20 Minuten schwimmen. Sie schwitzten von den Ohren bis über den ganzen Kopf, je höher die Geschwindigkeit, desto mehr schwitzten sie. Bei einer Wassertemperatur von durchschnittlich 30 °C stieg die Körpertemperatur der Pferde zwischen 0,2-0,4 °C bei 5-minütigem Schwimmen und 1,7 °C bei 20 Minuten an. Die um 10 °C niedrigere Wassertemperatur bei unserer Studie ist eine Erklärung für die geringeren Temperaturanstiege. Außerdem ist es möglich, dass Schwimmen mehr beansprucht als Laufen im Wasser auf einem Band. DOWNER (1979) befürwortet bei aktivem Training von Tieren unter Wasser eine Wassertemperatur zwischen 18,3 °C und 23,1 °C und bei geringerer Anstrengung zwischen 35,6 und 40 °C, denn wenn die Wassertemperatur der Körpertemperatur entspricht oder sie höher ist, ermüdet das Tier schnell. Ist die Wassertemperatur sehr niedrig, beginnen die Tiere zu zittern. Dieses Phänomen konnten wir bei ausgefallenem Thermostat und 10 °C kaltem Wasser beobachten, wenn wir die Pferde im Wasser mit einer Höhe von 50 % der Widerristhöhe und höher arbeiten ließen. SHIMIZU et al. (1998) zeigten in ihrer Studie, bei der sie Männer auf dem Wasserlaufband und eine Vergleichsgruppe mit der gleichen Intensität auf einem Trockenlaufband belasteten, dass die rektale Körpertemperatur bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C auf dem Trockenlaufband und der gleichen Wassertemperatur auf dem Land stärker anstieg. Dennoch gilt bei SHIMIZU et al. (1998), je höher die Wassertemperatur, desto höher ist die nach der Belastung gemessene Rektaltemperatur. Die Hauttemperatur erhöhte sich bei Menschen im Wasserlaufband minimal bei 25 °C und 30 °C, markant hingegen bei 35 °C. Der Körpergewichtsverlust stieg mit zunehmender Wassertemperatur aufgrund des vermehrten Schwitzens (SHIMIZU et al. 1998). Bei der vorliegenden Untersuchung war die Wechselwirkung zwischen der Belastungsart und dem Anstieg der Rektaltemperatur signifikant, bei gleicher Laufdauer und Geschwindigkeit wirkte sich die Wasserhöhe zunehmend negativ aus. Bei keinem Pferd sank die Körpertemperatur durch die Belastung. Der maximale Temperaturanstieg auf 37,6 °C liegt ebenfalls im physiologischen Bereich, somit scheint die Belastung der

vorliegenden Studie auf dem Laufband im Wasser bei 20 °C unbedenklich für den Temperaturhaushalt der Pferde zu sein.

5.2.3 Studie über Testvorschrift

Bei der niedrigsten gleich bleibenden Wasserhöhe von 10 % der Widerristhöhe stieg die Laktatkonzentration bis zur 5. Stufe. Bei 50 % und 80 % Wasserhöhe der Widerristhöhe stieg sie nur bis zur 4. Stufe und sank anschließend wieder. Bei steigender Wasserhöhe fiel sie ebenfalls nach Stufe 3. Die Wassertemperatur könnte hierfür verantwortlich sein. Die konstant bei 20 °C gehaltene Wassertemperatur kann während dem Test, der 25 Minuten dauerte, die Muskeltemperatur ausreichend verändern, um biochemische Prozesse in dem arbeitenden Muskel zu beeinflussen, so dass eine geringere Laktatkonzentration im Blut die Folge ist (MOUGIOS et al. 1993). Eine Indikation, dass die Wassertemperatur diesen Effekt haben könnte ist, dass bei einer Wasserhöhe von 80 % der Anstieg der Rektaltemperatur nach der Belastung niedriger war als bei der Belastung mit niedrigerem Wasserstand (10 %, 50 %). Bei 10 % Wasserhöhe wurde die höchste Temperaturzunahme von durchschnittlich 37 °C vor der Belastung auf 38,4 °C gemessen.

Die Herzfrequenz war zu jedem Zeitpunkt der Belastung höher als vor der Belastung. Sie blieb aber nach dem initialen Anstieg auf einem pferdespezifischen Level relativ konstant auf einem Niveau, trotz Zunahme der Geschwindigkeit oder Wasserhöhe. MURAKAMI et al. (1976) beobachteten bei einer Schwimmstudie, dass sich die meist höheren Herzfrequenzen in der ersten Runde mit der Aufregung der Pferde begründen lassen. Die sinkende Herzfrequenz nach der ersten Runde bzw. auch bei zunehmender Schwimmdauer vermuteten sie, sei mit der zunehmenden Anpassung der Pferde an die ungewohnte Umgebung zu erklären. Bei GARCIA u. BEECH (1986) zeigte sich dieser Einfluss ebenfalls. Die Herzfrequenz sank bei schwimmenden Pferden ab einer Dauer von 15 Minuten. Ein weiterer Aspekt könnte die maximale Geschwindigkeit unseres Laufbandes im Wasser sein. Sie ist scheinbar nicht hoch genug gewesen, um dem möglichen Einfluss der Wassertemperatur auf die Herzfrequenz zu entgehen. Die Wassertemperatur kann durch eine Vasokonstriktion der peripheren Gefäße und demzufolge einer Blutvolumenverschiebung von der Körperperipherie in den Brustraum zu einer Entlastung der Venen und somit zu einem erhöhten Schlagvolumen bei erniedrigter Frequenz führen (CHRISTIE et al. 1990).

Ebenfalls könnte der hydrostatische Druck dafür verantwortlich sein. Dieser äußere Druck auf den Thorax verursacht mit dem intrathorakalen Druck in den Alveolen eine Druckimbalance. Deshalb kommt es zu einer Neuverteilung des Blutes im Zentralen Blutkreislauf, welche das Herz bewältigen muss (DOWZER et al. 1998). Zusammenfassend kann man sagen, dass die Geschwindigkeit größer als 5,5 m/s sein muss, um Ausdauerdiagnostik und daraus folgend Konditionierung betreiben zu können. Zu dieser Geschwindigkeitsbestimmung und dem Effekt der Wassertemperatur auf arbeitende Pferde werden weitere Studien folgen müssen.

Die CK-Aktivität im Plasma nahm bei allen Wasserhöhen mit zunehmender Dauer und Geschwindigkeit zu. Je schneller die Geschwindigkeit, desto größer wird der Wasserwiderstand (SHANE BROCK et al. 1976). Ebenso wäre möglich, dass bei einem höheren Wasserstand die Gleichgewichtsfindung schwieriger ist und dadurch auch mehr Muskelarbeit erforderlich ist, die zu den höheren CK-Aktivitäten im Plasma führen (WILBER et al. 1996).

Bei konstanter Geschwindigkeit stieg die CK-Aktivität bis zur dritten Stufe signifikant an, anschließend nur noch tendenziell. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass bis zur dritten Stufe die Belastung durch den sich ständig erhöhenden Wasserwiderstand stieg. Nachdem das Wasser den Rumpf umspült, ändert sich der Widerstand weniger als beim Übergang Gliedmaßen zu Rumpf.

Abschließend ist festzustellen, dass bei Laufbändern im Wasser, die nur bis 5,5 m/s beschleunigt werden können, die v_4 nicht bestimmt werden kann. Somit besteht keine Möglichkeit Leistungsdiagnostik durchzuführen. Weiterhin muss festgestellt werden, dass weder die Herzfrequenz noch die Laktatkonzentration im Blut sich so verhalten, wie dies bekannt ist bei Belastung außerhalb des Wassers. Die Wirkung von Wasser auf die Herzfrequenz und die Laktatkonzentration im Blut muss untersucht werden um festzustellen, wie sie als Parameter zur Bewertung der Beanspruchung eingesetzt werden können.

6 Ausblick

Die Ergebnisse der Verhaltensstudie zeigen, dass Pferde das Laufband und die Arbeit im Wasser sehr schnell akzeptieren. Die Wahrscheinlichkeit von Verletzungen der Pferde während der Arbeit kann als sehr gering eingeschätzt werden. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die meisten Pferde bereit sind, wiederholt auf das Laufband zu gehen, um einer Arbeit im Wasser zwecks Rehabilitation und eventuell sogar zum Training, unterzogen zu werden. Der Hauptanteil der Pferde, die an der Studie teilnahmen, wurde wegen Tendinitis, gefolgt von Rückenproblemen, eingestellt. Des Weiteren kamen sie zur Konditionierung, mit den Indikationen Hufrehe, Gonitis, Hufrolle, Spat, Fesselgelenksentzündung, chronische Lymphangitis, Gleichbeinfraktur, Sehnenscheidenverletzung, Tendinose, Distorsion, nach operierter Griffelbeinfraktur und zum Anreiten. Die Belastung auf dem Laufband über zwei bzw. vier Wochen war empirisch gesehen sehr erfolgreich. Zur Objektivierung sind jedoch Studien, die diese Eindrücke verifizieren, erforderlich. Subjektiv reagieren die Pferde mit einem Muskelzuwachs, vor allem im Bereich der Kruppe und des Rückens. Die Objektivierung dieser Wahrnehmungen mittels Messungen und/oder Biopsien wäre interessant. Bei der Beanspruchungsstudie und der Studie zur Testvorschrift hat die Wassertemperatur sehr großen Einfluss auf die Laktatkonzentration im Blut und die Herzfrequenz, deshalb sind auf diesem Gebiet weitere Studien durchzuführen. Aufgrund der mit maximal 5,5 m/s zu geringen Geschwindigkeit kann auf diesem Laufband im Wasser keine Leistungsdiagnostik betrieben werden. Falls ein anderes Laufband im Wasser höhere Geschwindigkeiten zulässt, sollte erneut eine Testvorschrift ausgearbeitet und weitere Pferde getestet werden um zu prüfen, ob Leistungsdiagnostik und evtl. Laktatgesteuertes Training auf dem Laufband im Wasser möglich ist. Dazu werden Studien folgen müssen, in denen die erforderlichen Geschwindigkeiten definiert werden. Die längste Belastungsdauer dieser Studie betrug 30 Minuten. Da keine pathologischen Ergebnisse erzielt wurden, wäre es interessant, längere Belastungsdauern zu testen.

7 Zusammenfassung

Im ersten Teil dieser Arbeit, der Verhaltensstudie, wurde das Verhalten von 56 Pferden bei ihren ersten drei Arbeitsdurchgängen auf einem Laufband im Wasser mit einer Temperatur von 20 °C beobachtet. Von diesen Pferden waren 46 Patienten, 10 sollten trainiert werden. Das mittlere Alter der Pferde betrug $10,7 \pm 4,4$ Jahre. Protokolliert wurde: 1) die Art des Betretens des Laufbandes; 2) wann ein regelmäßiger Schritt erreicht wurde; 3) die Art und Häufigkeit der Unarten; 4) die Häufigkeit des Kotabsatzes während der Arbeit. Ergebnisse: zu 1) Beim ersten Durchgang betraten 82 % der Pferde das Laufband verzögert, beim dritten sank der Anteil auf 12 %, während 86 % der Pferde das Band sofort betraten; zu 2) Sofort in ein regelmäßiges Schrittempo verfielen beim ersten Durchgang im Laufband 5 % der Pferde, 95 % der Pferde erreichten nur verzögert einen regelmäßigen Schritt. Im dritten Durchgang begannen 89 % der Pferde sofort mit regelmäßigem Schritt, und nur noch 11 % verzögert; zu 3) im ersten Durchgang zeigten 92 % der Pferde keine Unarten auf dem Laufband im Wasser, im dritten Durchgang waren es 89 %; zu 4) Die Häufigkeit des Kotabsatzes bei den Pferden unterschied sich nicht zwischen den drei Arbeitsdurchgängen. Zwischen dem Alter und dem Geschlecht der Pferde bestand ebenfalls keine Abhängigkeit zur Häufigkeit des Kotabsatzes.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Pferde das Laufband und die Arbeit im Wasser sehr schnell akzeptieren. Die Wahrscheinlichkeit von Verletzungen der Pferde während der Arbeit kann als sehr gering eingeschätzt werden. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die meisten Pferde bereit sind, wiederholt auf das Laufband zu gehen, um einer Arbeit im Wasser zwecks Rehabilitation und eventuell sogar zum Training, unterzogen zu werden.

Im zweiten Teil, der Beanspruchungsstudie, wurden 89 Pferde vom vierten Laufdurchgang an untersucht. 80 Pferde waren Patienten, 9 waren zum Training eingestellt. Das mittlere Alter der Pferde betrug 10,8 Jahre. 270 Belastungen wurden ausgewertet. Diese Zahl ergab sich aus der Kombination der drei Belastungsparameter mit ihren Variationen (27 Kombinationen) und der Versuchsbedingung, je zehn Pferde jede dieser Belastungskombinationen durchführen zu lassen. Die untersuchten Belastungsparameter und ihre Kombinationen waren „Wasserhöhe“ (50 %, Bugelenkhöhe und 80 % der Widerristhöhe), „Geschwindigkeit“ (1 m/s, 1,3 m/s und

1,6 m/s) und „Laufdauer“ (10, 20 und 30 Minuten), die Wassertemperatur betrug immer 20 °C. Gemessen und protokolliert wurden die Laktatkonzentrationen im Vollblut, die Kreatinkinaseaktivitäten im Blutplasma und die rektal gemessenen Körpertemperaturen der Pferde vor und nach der Belastung auf dem Laufband im Wasser. Die Herzfrequenz wurde während der Belastung kontinuierlich beobachtet.

Die Nachbelastungslaktatwerte waren signifikant höher als die Ruhelaktatwerte, jedoch erreichten sie maximal 1,8 mmol/l. Dies bedeutet, dass die Belastungen alle im aeroben Bereich lagen. Die Nachbelastungslaktatkonzentration im Blut korrelierte bei gleicher Laufdauer und gleicher Geschwindigkeit positiv mit der Wasserhöhe. Bei gleicher Laufdauer und Wasserhöhe korrelierte der Nachbelastungslaktatwert auch positiv mit der Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit hatte jedoch größeren Einfluss als die Wasserhöhe. Je länger die Laufdauer, desto höher war die Laktatkonzentration im Blut. Die maximale mittlere Herzfrequenz lag bei 78 Schlägen pro Minute. Die Belastungsdauer und Geschwindigkeit korrelieren jeweils positiv mit der Herzfrequenz. Die CK- Aktivität nach Belastung war bei fast allen Belastungsarten höher als vor der Belastung, die maximale CK-Aktivität betrug 82 U/l. Die CK-Aktivität war unabhängig von der Belastungsart. Die Körpertemperatur nach Belastung war nach allen Belastungsarten höher als vor der Belastung. Die Rektaltemperatur stieg um maximal 0,6 °C auf 37,6 °C nach der Belastung an. Bei gleicher Laufdauer und Geschwindigkeit korreliert die Wasserhöhe negativ mit der Rektaltemperatur, das bedeutet, je höher die Wasserhöhe ist, desto niedriger ist der Anstieg der Körpertemperatur nach der Belastung. Dieser Einfluss der Wassertemperatur auf den gesamten Organismus scheint sich auf die Laktatkonzentrationen, Herzfrequenzen und evtl. auch die CK-Aktivitäten auszuwirken. Die Belastungen beanspruchten den Muskelstoffwechsel nur aerob, das bedeutet, keine der Belastungen überforderten die Muskulatur. Lumbago, "Tying Up" oder ähnliche Erkrankungen sind somit unwahrscheinlich.

Im dritten Teil der Arbeit wurde untersucht, ob auf einem Laufband im Wasser mit Maximalgeschwindigkeit von 5,5 m/s, Leistungsdiagnostik mit den am häufigsten eingesetzten Variablen Herzfrequenz und Laktatkonzentration im Blut betrieben werden kann. Deshalb sollte untersucht werden, ob es bei einem Mehrstufenbelastungstest möglich ist, die v_4 (die Geschwindigkeit bei der die Laktatkonzentration im Blut unter den definierten Bedingungen 4 mmol/l beträgt) zu

bestimmen. Dazu wurden 7 gesunde Pferde, die trainiert werden sollten, eingesetzt. Das mittlere Alter der Pferde betrug $12,5 \pm 3,4$ Jahre. Diese Studie bestand aus zwei Teilen.

In Studie 1 wurde die Wirkung einer konstanten Wasserhöhe bei zunehmender Laufgeschwindigkeit untersucht. Jedes Pferd absolvierte den standardisierten Mehrstufentest bei 10 %, 50 % und 80 % der Widerristhöhe. Der Test bestand aus 5 Stufen à 5 Minuten. Die Geschwindigkeit der 1. Stufe betrug 3,5 m/s, danach stieg die Geschwindigkeit mit jeder Stufe um 0,5 m/s an. Von Stufe 1 bis 3 stieg die Laktatkonzentration immer an. Bei 10 % Wasserhöhe stieg die Laktatkonzentration bis zur 5. Stufe an. Bei einer Wasserhöhe von 50 und 80 % der Widerristhöhe stieg sie bis zur 4. Stufe und sank anschließend wieder. Die mittlere Herzfrequenz der Pferde vor den Belastungen lag bei 45 Schlägen pro Minute, maximal erreichte sie 139 Schläge pro Minute. Nach dem Erreichen der 1. Stufe blieb die Herzfrequenz auf dem jeweilig pferdespezifischen Herzfrequenzlevel (zwischen 120 und 160 Schlägen/Minute) relativ konstant. Die Wasserhöhe hatte keinen Effekt auf die Herzfrequenz. Die CK-Aktivität im Plasma nahm bei allen Wasserhöhen mit zunehmender Dauer und Geschwindigkeit zu. Die Rektaltemperatur war nach allen Belastungen höher als vorher, aber je höher die Wasserhöhe, desto niedriger ihr Anstieg. Bei 10 % Wasserhöhe wurde die höchste Temperaturzunahme von durchschnittlich 37 °C vor der Belastung auf 38,4 °C gemessen.

In der zweiten Studie des dritten Arbeitsteiles wurde die Wirkung zunehmender Wasserhöhe bei einer konstanten Laufgeschwindigkeit von 5,5 m/s (19,8 km/h) untersucht. Der Mehrstufentest bestand wieder aus 5 Stufen à 5 Minuten, die Geschwindigkeit jedoch betrug konstant 5,5 m/s bei variierender Wasserhöhe. Bei Stufe 1 maß sie 20 % der Widerristhöhe, in den folgenden Stufen 35 %, 49 %, 63 % und 77 %. Die Laktatkonzentration im Blut und die CK-Aktivität im Plasma stiegen bis zur 3. Stufe an. Die Blutlaktatkonzentration sank anschließend, während die CK-Aktivität weiterhin zunahm. Die Laktatkonzentration im Blut erreichte bei keinem Pferd 4 mmol/l. Die Herzfrequenz aller Pferde, während jeder Wasserhöhe blieb nach dem initialen Anstieg auf einem pferdespezifischen Level relativ konstant. Die Werte variierten abhängig vom Pferd zwischen 120 und 160 Schlägen pro Minute. Die durchschnittliche Rektaltemperatur vor der Belastung war niedriger als nach der Belastung (durchschnittlich 37,1 °C vor Belastung zu 38,2 °C nach Belastung). Die

mit maximal 5,5 m/s Geschwindigkeit konnte den möglichen Einfluss der Wassertemperatur nicht verhindern. Abschließend ist festzustellen, dass es nicht möglich ist, auf Laufbändern im Wasser, die nicht schneller als 5,5 m/s beschleunigt werden können, die v_4 zu bestimmen. Deshalb müssen Laufbänder im Wasser schneller als 5,5 m/s beschleunigt werden können, so dass Leistungsdiagnostik betrieben werden kann und daraus folgend Pferde laktatgesteuert konditioniert werden können.

8 Summary

In the first part of this study, the behavior of 56 horses during their first three workouts on a treadmill submerged in water, temperature 20 °C, was observed. Of these horses 46 were patients and 10 were being exercised. The mean age was 10,7 ± 4,4 years. We recorded: 1) the manner the horses stepped on the treadmill; 2) the time until horses fell into a regular gait; 3) type and frequency of unexpected behavior; 4) frequency of defecation during workout. Results: 1) When stepping on the treadmill for the first time, 82 % of the horses hesitated. By the third time only 12 % hesitated and 86 % stepped on the treadmill straight away. 2) During the first attempt, 5 % of the horses reached a regular gait immediately while 95 % required some time to adjust. At the third workout 89 % of the horses resumed a regular gait immediately and only 11 % required extra time; 3) When first exposed to the treadmill, 92 % of the horses showed no unexpected behavior. During the third workout the result was 89 %. 4) The frequency of defecation did not differ between the three workouts. There also was no correlation between age, sex and frequency of defecation. These results indicate that horses accept the treadmill and the water workout very quickly. The estimated risk of injuries during workouts on the water treadmill is low. We conclude that horses will accept the treadmill submerged in water readily and repeatedly for physical rehabilitation as well as conditioning.

In the second part of the study, the exercise evaluation phase of the study, 89 horses were observed beginning with their fourth workout on the water treadmill, water temperature was 20 °C. Eighty horses were patients, nine participated for conditioning purposes. The mean age was 10.8 years. We evaluated 270 workouts. This figure was the result of combining the three exercise parameters (27 possible combinations) and the premise of the study to test 10 horses each of the possible combinations. The stress variables examined were: "Water level" in the treadmill tank 50 % of shoulder joint and 80 % withers` height, "speed" (1 m/s, 1.3 m/s and 1.6 m/s) and " duration of workout " (10 min, 20 min and 30 min). The biochemical and physiological variables measured were: lactate concentration in whole blood, creatinine kinase (CK) activity in plasma and rectal temperature and heart rate.

Blood lactate concentrations after exercise were significantly higher than resting values but did not exceed 1.8 mmol/l, indicating mainly aerobic conditions through-

out. Post exercise blood lactate levels correlated positively with the water level in the treadmill tank when duration of workout and speed were kept constant. At constant duration of workout and water level, post exercise blood lactate concentration also correlated positively with speed. Speed had a greater influence on lactate concentration than water level. The longer the workout, the higher the lactate concentration in blood. Mean heart rate was 78 bpm. Duration and speed of workout correlated positively with heart rate. Plasma CK activity after exercise was nearly always higher than at rest. Peak CK activity was 82 U/l. CK activity was independent of the type of exercise. Body temperature was higher after all types of exercise compared to baseline. Maximal rectal temperature increase was 0.6 °C to 37.6 °C after exposure. At the same duration of workout and speed there was a negative correlation with rectal temperature, which means the higher the water level, the lower the increase in temperature. The observed influence of water temperature on the entire body seems to affect lactate concentration, heart rate and potentially CK activity. Muscular metabolism during exercise remained aerobic, which means that none of the exercise types studied caused muscular strain. Lumbago, "Tying Up" or similar conditions are improbable.

In the third part of the study we explored whether water treadmills with maximal attainable speeds of 5.5 m/s, can be used for endurance diagnosis by the mainly used variables heart rate and lactate concentrations in blood. We determined the feasibility of using a standardized exercise test (SET) to determine v_4 (v_4 is the speed which results in a blood lactate concentration of 4 mmol/l in horses exercising on a treadmill submerged in water). Seven healthy horses were studied. The mean age was 12.5 ± 3.4 years. This study had two parts:

Study 1 examined the impact of increasing treadmill speed at constant water levels. Each horse completed the SET at a water level of 10 %, 50 % and 80 % of withers' height. The SETs consisted of five steps each of which lasted 5 minutes. The speed of the initial step was 3.5 m/s. Thereafter speed was increased by 0.5 m/s each step. There was a continuous rise in blood lactate concentration between phases 1 and 3. At 10 % withers' height, blood lactate concentration increased until the fifth step. When horses were working at a water level of 50 and 80 % of withers' height, respectively, blood lactate concentration increased until 4th step then began to fall. The mean heart rate before exercise was 45 bpm and it increased up to 139 bpm.

After reaching step 1, individual heart rates remained constant for each horse throughout all steps of SET. The water level had no effect on heart rate. Plasma CK activity increased in all horses with increasing duration and speed of exercise. Rectal temperature increased after all exercises compared to baseline, but higher water levels induced smaller temperature increases. We observed the greatest temperature increase, from an average of 37 °C before exercise to 38.4 °C after, at a water level of 10 % of withers' height.

In Study 2 in the third part of the study we examined the effect of increasing the water level at a constant treadmill speed of 5.5 m/s (19.8 km/h). The SET consisted again of five steps each 5 minutes' duration, but speed was kept constant at 5.5 m/s with varying water levels. Water level was at 20 % of withers' height in phase 1, and at 35 %, 49 %, 63 % and 77 % of withers' height, respectively, in the following step. Blood lactate concentration and plasma CK activity increased during SET until step 3 was reached. Blood lactate concentration fell thereafter, while CK activity continued to rise. Blood lactate concentration did not reach 4 mmol/L in any horse. In all horses heart rate remained constant at the level reached in the first step throughout all consecutive step of SET. The values ranged from 120 to 160 bpm depending on the individual horse. Rectal temperature rose after SET (mean 37.1 °C before vs. 38.2 °C after exercise). The maximum speed horses could be exposed to on our water treadmill was not high enough to overcome the likely influence of water temperature.

In conclusion, it appears impossible to determine v_4 in horses exercising on water treadmills with belt speeds not exceeding 5.5 m/s. Water treadmills need to be capable of speeds greater than 5.5 m/s if they are to be used for performance diagnosis and blood lactate guided conditioning of horses.

9 Literaturverzeichnis

AGOSTONI E.G., GURTNER G., TORRI G. u. H. RAHN (1966):

Respiratory mechanics during submersion and negative-pressure breathing.

J. Appl. Physiol. 21, 251-258

AMELUNG W. u. G. HILDEBRANDT (1985):

Balneologie und medizinische Klimatologie.

Balneologie. Springer Berlin, Heidelberg, New York , Vol. 2,

ANDERSSON J., SCHAGATAY E., A. GISLÉN u. B. HOLM (2000):

Cardiovascular responses to cold-water immersions of the forearm and face, and their relationship to apnoea.

Eur. J. Appl. Physiol. 83, 566-572

ANONYMUS (1891):

The horse race on the stage.

Scientific American 25, 263-264

ARBORELIUS M., BALLDRIN V.I., LIGA B. u. C. LUNDGREN (1972):

Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water.

Aerospace Med. 43, 592-598

ART T., DESMECHT, AMORY H., DELOGNE O., BUCHET M., LEROY P. u. P.

LEKEUX (1990):

A field study of post-exercise values of blood biochemical constituents in jumping horses: relationship with score, individual and event.

J. vet. Med. A. 37, 231-239

ASHHEIM A., KNUDSON O., KINDHOLM A., RÜCKER C. u. B. SALTIN (1970):

Heart rates and blood lactate concentrations of standardbred horses during racing and training

J.A.V.M.A. 157, 304-312

AUER J.V. (1980):

Diseases of the carpus.

Large Animal Pract. 2, 81-99

BARREY E., P. GALLOUX, JP. VALETTE, B. AUVINET u. R. WOLTER (1993):

Stride characteristics of overground versus treadmill locomotion in the saddle horse.

Acta Anat. (Basel) 146, 90-94

BARTMANN M. (1991):

Leistungsphysiologische Untersuchungen zum Schwimmtraining von Sportpferden

Diss. Med. Vet. München

BASSAN, L., u. W. OTT (1968):

Radio-telemetrische Untersuchungen der Herzschlagfrequenz beim Sportpferd in Ruhe und in allen Gangarten (Schritt, Trab, Galopp).

Arch. Exp. Veterinärmed. 22, 57-75

BAYER, A. (1968):

Das Verhalten der Herzschlagfrequenz von Trabrennpferden im Training und im Rennen.

Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr. 81, 8-11

BAYLY, W.M., B.D.GRANT u. R.C. PEARSON (1987):

Lactate concentrations in thoroughbred horses following maximal exercise under field conditions.

In: J.R. Gillespie u. N.E. Robinson (Hrsg.): Equine Exercise Physiology 2.

ICEEP Publications, Davis, 426-437

BEHRMANN, A.L. u. S.J. HARKEMA (2000):

Locomotor training after human spinal cord injury: a series of case studies.

Phys. Ther. 80, 688-700

BICKHARD K. u. CARSTENSEN C.A. (1992):

Use of the Reflotron system for the determination of creatine kinase (CK) in the blood of swine, sheep, cattle, horses and dogs.

Tierärztl. Prax. 3, 326-31

BIRKNER, H.A. u. D. HACKFORT (1997):

Psychische und physische Effekte eines Aquajogging-Trainings.

Spektrum 2, 56-69

BIRKS, E. K., J.H. JONES, L.J. VANDERVORT, A.K. PRIEST u. J.D. BERRY (1991):

Plasma lactate kinetics during exercise.

In: S.G.B. Persson, A. Lindholm u. L.B. Jeffcott (Hrsg.):

Equine Exercise Physiology 3.

ICEEP Publications, Davis, 179-187

BISHOP P.A.V., FRAZIER S., SMITH J. u. JACOBS D. (1989):

Physiological responses to treadmill and water running.

Physician Sports Med. 17, 87-94

BOENICK, Prof. Dr.-Ing. U. (1996):

Entwicklung eines Laufband – Ergometers für die Tierphysiotherapie.

Konstruktive Gruppenübung

Fachgebiet Biomedizinische Technik im Institut für Mikrotechnik und Medizintechnik

BRADY J.T. (1969):

More about equine swimming.

Symposium Backstretch

BRANNASCH A. (1996):

Großes Herzklopfen beim Sport? Pulsmessgeräte sorgen für effektives Training

Sports, 4, 183-141

BRODAN, V. u. E. KUHN (1966):

A contribution to the analysis of the pulse rate during a load and recovery.

Physiol. Bohemoslov. 15, 68-76

BUCHNER H.H.F., H.H.C.M.SAVELBERG, H.C.DSCHAMHARDT, H.W.MERKENS
u. A. BARNEVELD (1994):

Habituation of horses to treadmill locomotion.

Equine vet. J. Suppl. 17,13-15

CHRISTIE J.L., SHELDAHL L.M., TRISTANI F.E., WANN L.S., SAGAR K.B.,
LEVANDOSKI S.G., PTACIN M.J., SOBOCINSKI K.A. u. R.D. MORRIS (1990):

Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise.

J. Appl. Physiol. 69, 657-664

CIKRYTOVA, B. KOSTELECTA, J. KOVAR u. J. HANÁK (1991):

Standardised exercise test on a track to evaluate exercise capacity in different
breeds of horses.

In: S. G. B. Persson, A. Lindholm u. L. B. Jeffcott (Hrsg.): Equine Exercise
Physiology 3.

ICEEP Publications, Davis, 37-40

COLBY S.M., D.T. KIRKENDALL u. R.F. BRUZGA (1999):

Electromyographic analysis and energy expenditure of harness supported treadmill
walking: implications for knee rehabilitation.

Gait Posture, 10, 200-205

CONNELLY T.P., SHELDAHL L.M., TRISTANI F.E., LEVANDOSKI S.G.,
KALKHOFF R.K., HOFFMANN R.K. u. J.H. KALBFLEISCH (1990):

Effect of increased central blood volume with water immersion on plasma
catecholamines during exercise.

J. Appl. Physiol. 69, 651-656

COSTILL D.L. (1967):

Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperatures.

J. Appl. Physiol. 22, 628-32

COUROUCÉ, A. (1998):

Endurance and sprint training.

In: A. Lindner (Hrsg.): Conference on Equine Sports Medicine and Science.

Wageningen Pers, Wageningen, 190-202

COUROUCÉ, A., J.C. CHATARD u. B. AUVINET (1997):

Estimation of performance potential of standardbred trotters from blood lactate concentrations measured in field conditions.

Equine vet. J. 29, 365-369

DAHL, L.G., J.R.GILLESPIE, P. KALLINGS, S.G.B. PERSSON u. J.R. THORNTON (1987):

Effects of a cold environment on exercise tolerance in the horse.

In: J.R. Gillespie u. N.E. Robinson (Hrsg.): Equine Exercise Physiology 2

ICEEP Publications, Davis, 235-242

DE MAREES H (1981):

Sportphysiologie. Schriftenreihe Medizin von heute, Troponwerke

DESCOMPTS E. (1980):

Thalassootherapie equine.

Action Veterinaire 809, 26-27

DOWNER, A. (1979):

Underwater exercise for Animals.

Modern Veterinary Practice 60, 116-118

DOWZER, C.N. u. T. REILLY (1998):

Deep-water running.

Sports Exerc.and Injury 4, 56-61

DOWZER, C.N., T. REILLY, N. T. CABLE, A. NEVILL (1999):

Maximal physiological responses to deep and shallow water running.

Ergonomics 42, 275-281

DRIESCH, A. v.d. (1989):

Geschichte der Tiermedizin.

Verlag Callwey München, ISBN 3-7667-0934-8

EHRLEIN, H.-J., W. v. ENGELHARDT, H. HÖRNICKE, G. TOLKMITT u. J. DUSÉK (1969):

Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Herzschlagfrequenz und Leistung bei Pferden.

Zbl. Vet. Med. A, 17, 577-591

EHRLEIN, H.-J., H.HÖRNICKE, W. v. ENGELHARDT u. G. TOLKMITT (1973):

Die Herzschlagfrequenz während standardisierter Belastungen als Maß für die Leistungsfähigkeit von Pferden.

Zbl. Vet. Med. A, 20, 188-208

ENGELHARDT, W.v. (1977):

Cardiovascular effects of exercise and training in horses.

Adv. Vet. Sci.comp. Med. 21, 173-205

EVANS D.C., R.C. HARRIS u. D.H. SNOW (1993):

Correlation of racing performance with blood lactate, and heart rate after exercise in Thoroughbred horses.

Equine vet. J. Suppl. 18, 422-425

EVANS, D.L. u. R.J. ROSE (1986):

Methode of investigation of the accuracy of four digitally displaying heart rate meters suitable for use in the exercising horse.

Equine vet. J. 18, 129-132

EVANS, D.L. u. R.J. ROSE (1988):

Cardiovascular and respiratory responses to sub maximal exercise training in the thoroughbred horse.

Pflügers Arch. Eur. J. Physiol. 411, 316-321

EVANS D.L. u. L.C. GOLLAND (1996):

Accuracy of Accusport for measurement of lactate concentrations in equine blood and plasma.

Equine vet. J. 28, 398-402

FABIAN K., D. SCHLEGEL u. H. ZERBES (1992):

Erfahrungen bei der Trainingssteuerung mit dem Parameter Serumkreatinkinase im Marathonlauf.

Dtsch. Z. Sportmed. 43, Nr. 8, (1992), 350-356

FORREST A.R.W., S. MORTON u. C. LAMBARDARIOS (1990):

Blood or plasma lactate?

Br. J. Sports Med., Vol 24, No. 2; 132

FRANGOLIAS D.D. u. E.C. RHODES (1995):

Maximal and ventilatory threshold responses to treadmill and water immersion running.

Med. Sci. Sports Exerc. 27, 1007-1013

FREGIN G.F. u. T.K. NICHOLL (1977):

Swimming: It's influences on heart rate respiration rate and some haematological values in the horse.

J. Eq. Med. and Surgery 1, 288-293

FROBOESE I. (1994):

Aquajogging - Einsatzmöglichkeiten in der Therapie.

Dtsch. Z. Sportmed. 45, 65-67

GALBO H., M. HOUSTON, N. CHRISTENSEN, J. HOLST, B. NIELSEN, E. NYGAARD u. J. SUZUKI (1979):
The effect of water temperature on the hormonal response to prolonged swimming
Acta Physiol. 105, 326-37

GALLOUX, P., E. BARREY, B. AUVINET, J.P. VALETTE u. R. WOLTER (1995):
Kinematics of blood lactate concentrations during an incremental treadmill test in saddle horse.
Equine vet. Suppl. 18, 435-438

GARCIA M.C. u. J. BEECH (1986):
Endocrinologic, hematologic, and heart rate changes in swimming horses.
Am. J. Vet. Res. Vol 47, No. 9

GEHRING M.M, KELLER B.A u. BREHM B.A (1997):
Water running with and without a flotation vest in competitive and recreational runners.
Med. Sci. Sports Exerc. 29, 1374-1378

GONDIM F., C.C. ZOPPI, L. PEREIRA-DA-SILVA u. D.V. MACEDO (1998):
Determination of the aerobic (anaerobic threshold in equines using the lactate minimum speed (LMS) protocol.
In: A. Lindner (Hrsg.): Conference on Equine Sports Medicine and Science.
Wageningen Pers, Wageningen, 238-245

GOTTLIEB-VEDI, M., S. PERSSON, H. ERICKSON u. E. KORBUTIAK (1995):
Cardiovascular, respiratory and metabolic effects of intervaltraining at VLA 4.
J. Vet. Med. 42, 165-175

GRABER-MILLER P., L. LAWRENCE, J. FOREMAN, J. SMITH u. K. BUMP (1987):
Lactate, pyruvate and blood gases in the carotid artery, jugular vein and pulmonal artery during submaximal exercise.
J. Eq. Vet. Sci. 8, 322-325;
Proceedings of the 10th meeting of the equine Nutrition and Physiology Society held at Colorado State University in June; 7 ref.

GRAUMANN D. (1999):

Physikalische Grundlagen des Aqua-jogging.

Wirkungen des Wassers auf den Aqua-Jogger.

Das Schwimmbad und sein Personal 25. Jahrgang, 2, 15-17

GRAUWILER, J. (1965):

Herz und Kreislauf der Säugetiere.

Verlag Birkhaeuser, Basel

GREEN J., N.T. CABLE u. N. ELMS (1990):

Heart rate and oxygen consumption during walking on land and in deep water.

J. Sports Med. Phys. Fitness 30, 49-52

GROSS M. (1994):

Nasse Raserei. Puls-Probleme, oder: Warum Sport im Wasser anstrengender ist als auf dem Land.

Sports; Juli , 94

GYSIN J. (1983) :

Arbeits- und Trainingsbedingte Anpassungsprozesse im Stoffwechsel von Halbbluthengsten.

Diss. Med. Vet. Bern, 1983

HARKINS, J.D., R.E. BEADLE u. S.G. KAMERLING(1993):

The correlation of running ability and physiological variables in thoroughbred racehorses.

Equine vet. J. 25, 53-60

HARRI M. u. P. KUUSELA (1986):

Is swimming exercise or cold exposure for rats?

Acta Physiol. Scand. 126, 189-197

HARRIS P. u. D.H. SNOW (1988):

The effects of high intensity exercise on the plasma concentration, lactate, potassium and other electrolytes.

Equine vet. J. 20, 109-13

HAVENITH G, LUTTIKHOLT V.G. u. T.G. VRIJKOTTE (1995):

The relative influence of body characteristics on humid stress response.

Eur. J. Physiol. Occup. Physiol. 70, 270-9

HEINSBERG K.E., H. LIESEN, N. STEIN u. W. HOLLMANN (1980):

Vergleichende Untersuchungen über die aerob-anaerobe Schwelle bei untrainierten Männern und Frauen im Alternsgang.

In: Sportmed. f. Breiten- u. Leistungssport. Demeter, Giessen

HENKER R. u. C. COYNE C. (1995):

Comparison of periphral temperature measurements with core temperature

AACN Clin. Issues 6, 21-30

HOBO S., K. YOSHIDA u. T. YOSHIHARA (1998):

Characteristics of Respiratory Function during Swimming Exercise in Thoroughbreds.

J. Vet. Med. Sci 60, 687-689

HOLLMANN W. u. T.HETTINGER (1990):

Sportmedizin, Arbeits-und Trainingsgrundlagen.

Schattauer, Stuttgart, New York

HOLMER I. (1979):

Physiology of swimming man.

Exerc. Sport Sci. Rev. 7, 87-123

HOLMER I. u. U. BERGH (1974):

Metabolic and thermal responses to swimming in water at varying temperatures.

J. Appl. Physiol. 37, 702-705

HORDER M., JORGENSEN P.J., HAFKENSCHIED J.C., CARSTENSEN C.A., BACHMANN C., BAUER K., NEUWALD C., ROSALKI S.B., FOO A.Y. u. W. VOGT (1991):

Creatinkinase determination: a European evaluation of the creatine kinase determination in serum, plasma and whole blood with the Reflotron system. Eur. J. Clin. Biochem. 29, 691-6

HUNT E.R. (2001):

Response of twenty-seven horses with lower leg injuries to cold spa bath hydrotherapy.

J. Eq. Vet. Sci. 21, 188-193

IKEGAMI H. (1997):

Shintai-Kinou-no Chosetsusei, Asakura Co. Tokyo, 98-99

IRWIN D. u. D. HOWELL (1980):

Some thoughts on swimming horses in a pool.

J. South African Vet. Ass. 51, 189-191

JUDSON G., FRAUENFELDER H. u. G. MOONEY (1983):

Biochemical changes in Thoroughbred racehorses following submaximal and maximal exercise.

Eq. Exerc. Physiol., Granta Editions, Cambridge, 408-415

KARRASCH, K. u. E.A. MÜLLER (1951):

Das Verhalten der Pulsfrequenz in der Erholungsphase nach körperlicher Arbeit. Arbeitsphysiologie 14, 369-382

KEENAN, D.M. (1979)

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

Aust. Vet. J. 55, 54-57

KEUL J. (1996):

Fit für den Winter – fit für das ganze Jahr.

Ski, Nr. 4-5; 38-39

KERR M. u. D.H. SNOW (1983):

Plasma enzyme activities in endurance horses.

Eq. Exerc. Physiol. Granta Editions, Cambridge, 432-440

KINDERMANN W. (1986):

Das Übertraining als Ausdruck einer vegetativen Fehlsteuerung.

Dtsch. Z. Sportmed. 37, 238-245

KING C.M, D.L. EVANS u. R.J. ROSE (1995):

Acclimation to treadmill exercise.

Equine vet. J., Suppl. 18, 453-456

KLEINMANN H. (1996):

Laufen: Sportmedizinische Grundlagen, Trainingslehre und Risikoprävention; für
Mediziner, Sportlehrer und Trainer, Physiotherapeuten und anspruchsvolle Läufer.
Schattauer, Stuttgart, ISBN 3-7945-1623-0

KOLB E. (1989):

Lehrbuch der Physiologie der Haustiere.

5. Auflage Teil I

Verlag Fischer, Stuttgart, New York

KÖSTER A. (1996):

Reproduzierbarkeit von in Belastungstests ermittelten Leistungskennwerten
(v_{2,3,4,12} und v_{150, 180, 200}) und deren Beeinflussbarkeit durch die Stufendauer
bzw. Streckenlänge bei Pferden auf dem Laufband.

Diss med. vet. Gießen, 1996

KONDO N., NISHIYASU T. u. H. IKEGAMI (1996):

The influence of exercise intensity on sweating efficiency of the whole body in a mild thermal condition.

Ergonomics 39, 225-31

KRIDDE G. u. J. HIRSCHBERGER (1991):

The determination of creatine in blood and plasma of small animals using the dry chemical system Reflotron.

Tierärztl. Prax. 19, 447-9

KRUK B., PEKKARINEN H. u. O.HANNINEN (1991):

Comparison in men of physiological responses to exercise of increasing intensity at low and moderate ambient temperatures.

Eur. Appl. Physiol. 62, 353-357

KRZYWANEK, H. u. G. WITTKE (1970):

Parameter des Energiestoffwechsels und des Sauerstofftransportsystems bei Vollblutrennpferden in Perioden unterschiedlicher Trainingsintensität.

Int. Z. angew. Physiol. 28, 228-238

KRZYWANEK, H., G. WITTKE u. A. BAYER et al. (1970):

The heart rates of thoroughbred horses during a race.

Equine vet. J. 2, 115-117

KRZYWANEK, H., G. WITTKE u. A. SCHULZ (1977):

Wirkungen des Trainings auf leistungsabhängige Blutparameter bei Trabrennpferden.

Berl. Münch. tierärztl. Wochenschr. 90, 89-92

KÜHNE, C. (1993):

Neue Wege in der Rehabilitation von Kreuzbandverletzungen.

Hochschulsport 2, 32-35

- LEHMANN M., G. HUBER, A. BERG, U. SPÖRI u. J. KEUL (1983):
Zum Verhalten von Plasma und Harn, Dopamin, Noradrenalin und Adrenalin bei körperlich-konzentrativen Belastungen.
Herz/Kreisl. 15, 94-101
- LEWIS S.F, TAYLOR W.F., GRAHAM R.M., PETTINGER W.A., SCHUTTE J.E. u. C.G. BLOMQUIST (1983):
Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative workload.
J. Appl. Physiol. 54, 1314-1323
- LINDNER A. u. J. KRÜGER (1990):
Verwendung des Zweistreckentests bei Galopprennpferden zur Bestimmung des körperlichen Leistungszustandes.
Pferdeheilkunde, 6, 179-182
- LINDNER A., P.v.WITTKKE, M. SCHMALD, J. KUSSEROW u. H. SOMMER (1992):
Maximal lactate concentrations in horses after exercise of different duration and intensity.
Eq. Vet. Sci. 12, 36-39
- LINDNER A. (1994):
Einfluss des Zeitpunktes der Probengewinnung nach Belastung und der Probenbehandlung auf die Laktatgehalte im Blut von Pferden.
Tierärztl. Prax. 22, 58-62
- LINDNER A.A. GUHL u. J. MALLISON (1995):
Measurement of blood lactate concentration in horses during endurance rides using Accusport pocket analyser.
Pferdeheilkunde 11, 393-396
- LINDNER A. (1996):
Measurement of plasma lactate concentration with Accusport.
Equine vet. J. 28, 403-405

LINDNER A. (1997):

Laktat und Leistung.

ISBN – 3-00-000-690-7

LINDNER A. (2000):

Using of blood biochemistry for positive performance diagnosis of sport horses in practice.

Rev. Med. Vet., 151, 611-618

LITTLEJOHN, A., J.M. KRUGER u. F. BOWLES (1977):

The cardiac response to exercise in normal horses and in a horse with chronic obstructive pulmonary disease.

Equine vet. J. 9, 75-83

LITTLEJOHN, A., F. BOWLES u. G. ASCHENBORN (1983):

Cardiorespiratory adaptations to exercise in riding horses with chronic lung disease.

In: D.H. Snow, S.G.B. Persson u. R.J. Rose (Hrsg.: Equine Exercise Physiology).

Granta Editions, Cambridge, 33-45

LORMES W., J.M. STEINACKER u. M. STRAUCH (1995):

Laktatbestimmung mittels Accusport und vollenzymatisch-photometrisch bei leistungsdiagnostischem Mehrstufentest und bei Langzeitbelastungen.

Dtsch. Z. Sportmed. 46, Nr.1; 3-11

MADER A., H. LIESEN, H. HECK, H. PHILIPPI, R. ROST, P. SCHÜRCH u. W. HOLLMANN (1976):

Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor.

Sportarzt u. Sportmed. 4, 80-88 und

Sportarzt u. Sportmed. 5, 109-113

MARLIN, D.J., R.C. HARRIS u. D.H. SNOW (1987):

Influence of post-exercise activity on rates of muscle and blood lactate disappearance in the thoroughbred horse.

In: J.R. Gillespie u. N.E. Robinson (Hrsg.): Equine Exercise Physiology 2.

ICEEP Publications, Davis, 348-358

MC ARDLE W.D., J.R. MAGEL, G.R. LESMES u. G.S. PECHAR (1976):

Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25 and 33 °C.

J. Appl. Physiol. 40, 85-90

MC MIKEN, D.F. (1983):

An energetic basis of equine performance.

Equine vet J. 15, 123-133

MC WATERS, J.G. (1988):

Deep Water Exercise for Health and Fitness.

Laguna Beach, Publitec Edition

MELTON-ROGERS S., G. HUNTER, J. WALTER u. P. HARRISON (1996):

Cardiorespiratory responses of patients with rheumatoid arthritis during bicycle riding and running in water.

Phys. Ther. 76, 1058-1060

MISUMI K., H. SAKAMOTO u. R. SHIMIZU (1994 a):

Changes in blood lactate and heart rate in thoroughbred horses during swimming and running according to their stage of training.

Vet. Rec. 135, 226-228

MISUMI K., H. SAKAMOTO u. R. SHIMIZU (1994 b):

The validity of swimming training for two-year-old thoroughbreds.

J. Vet. Med. Sci. 56, 217-222

MISUMI K., H. SAKAMOTO u. R. SHIMIZU (1995):

Changes in skeletal muscle composition in response to swimming training for young horses.

J. Vet. Med. Sci. 57, 959-961

MOUGIOS V. u. A. DELIGIANNIS (1993):

Effect of water temperature on performance, lactate production and heart rate at swimming of maximal and submaximal intensity.

J Sports Med Phys Fitness 33, 27-33

MURAKAMI M., T. IMAHARA, T. INUI, A. AMADA, T. SENTA, S. TAKAGI, K.

KUBO u. O. SUGIMOTO (1976):

Swimming exercise in horses.

Experimental reports of Equine Health Laboratory 13, 27-29

NAKANASHI Y., T. KIMURA u. Y. YOKOO (1999):

Maximal physiological responses to deep water running at thermoneutral temperature.

Appl. Human Sci. 8, 31-35

NAKANASHI Y., T. KIMURA u. Y. YOKOO (1999):

Physiological responses to maximal treadmill and deep water running in young and middle aged males.

Appl. Human Sci. 18, 81-86

NICHOLL T.K., FREGIN G.F. u. N.H. GERBER (1978):

Swimming - a method to study the physiologic response of the horse to exercise.

J. South Afr. Vet. Assoc. 49, 313-315

NUCKTON, T.J., D.M. CLAMAN, D.GOLDREICH, F.C. WENDT u. J.G. NUCKTON (2000):

Hypothermia and afterdrop following open water swimming: the Alcatraz/San Francisco Swim Study.

Am. J. Emerg. Med. 18, 703-707

OLBRECHT J., O. MADSEN, A. MADER, H. LIESEN u. W. HOLLMANN (1985):
Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous
and intermittend training exercises.

Int. J. Sports Med. 6, 74-77

PAN L.G., H.V. FORSTER u. R.P. KAMINSKI (1986):

Arterial vs. rectal temperature in ponies: rest, exercise, CO₂ inhalation, and thermal
stresses.

J Appl Physiol. 61, 1577-81

PARIJA S., MITRA A., RAY A. U. J. MOHANTY J. (1985):

Glucose and Serum Protein Changes in Horses after Exercise.

Centaur 2, 87-90

PERSSON, S.G.B. (1967):

On blood volume and working capacity in horses.

Stockholm Diss.

PERSSON, S.G.B., ESSÉN-GUSTAVSSON, A. LINDHOLM, D. MCMIKEN u. J.R.
THORNTON (1983):

Cardiorespiratory and metabolic effects of training of standardbred yearlings.

In: D.H. Snow, S.G.B. Persson u. R.J. Rose (Hrsg.): Equine Exercise Physiology.

Granta Editions, Cambridge, 458-469

PIRKELMANN H. (1991):

Pferdehaltung.

Stuttgart: Ulmer 1991 2. Neubearbeitete Auflage

RITCHIE S.E. u. W.G. HOPKINS (1991):

The intensity of exercise in deep-water running.

Int. J. Sports Med. 12, 27-29

SCHINDL M.R., C. FORSTNER, H. KERN, u. S. HESSE (2000):

Treadmill training with partial body weight support in nonambulatory patients with cerebral palsy

Arch. Phys. Med. Rehabil. 81, 301-306

SCHLUMBERGER A., G. HEMMLING, U. FRICK u. D. SCHMIDTBLEICHER (1997):

Herzfrequenz- und Laktatverhalten beim freien Laufen und beim Aquajogging.

Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 5, 183-189

SEXTON, W.L, H.H. ERICKSON u. J.R. COFFMANN (1987):

Cardiopulmonary and metabolic responses to exercise in the Quarter horse: Effects of training.

In: J.R. Gillespie u. N.E. Robinson (Hrsg.): Equine Exercise Physiology 2. ICEEP Publications, Davis, 77-91

SHANEBROOK J. u. R. JASZCAK (1976):

Aerodynamic drag analysis of runners.

Med. Sci. Sports 8, 43-45

SHIMIZU T., M. KOSAKA, K. FUSHIJAMA (1998):

Human thermoregulatory responses during prolonged walking in water at 25, 30 and 35 degrees C.

Eur. J. Appl. Physiol. 78, 473-478

SHONO T., FUJISHIMA K., HOTTA N., OGAKI T., UEDA T., TERAMOTO K. u. T. SHIMIZU (2000):

Physiological responses and RPE during underwater treadmill walking in women of middle and advanced age.

J. Physiol. Anthropol. 19, 195-200

SILBERNAGL S. u. A. DESPOPOULOS (1991):

Thieme Verlag, Taschenatlas der Physiologie 4. Auflage

SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OSTERBAAN, M.M. (1990):

Heart Rate and Blood Lactate in exercising horses.

CIP-Gegevens Koninklijke Bibliotheek Den Haag, ISBN 90-90036113

STECHELE M. (1995):

Möglichkeiten physikalischer Therapien und ihrer Anwendung beim Pferd.

Der praktische Tierarzt 7, 589-592

STUREK M.L., T.G. BEDFORD, C.M. TIPTON u. L. NEWCOMER (1984):

Acute respiratory responses of hypertensive rats to swimming and treadmill exercise.

J. Appl. Physiol. 57, 1328-1332

SVEDENHAG J. u. J. SEGER (1992):

Running on land and in water: comparative exercise physiology.

Med. Sci. Sports Exerc. 10, 1155-1160

SWANSTROM O. u. M. LINDY (1973):

Therapeutic swimming.

Proc. 19 th Annu. Conv. Amer. Ass. Equine Partners. 315-322

TAN N., K. MORIMOTO, T. SUGIURA, A. MORIMOTO u. N. MURAKAMI (1992):

Effects of running training on the blood glucose and lactate in rats during rest and swimming.

Physiol. Behav. 51, 927-931

TOKURIKI M., OHTSUKI R., KAI M., OKI H., MIYAHARA Y. und O. OKI (1999):

EMG activity of the muscles of the neck and forelimbs during different forms of locomotion

Equine vet. Suppl. 30 (1999) 231-234

TOWN G.P., u. S.S. BRADLEY (1991):

Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runners.

Med. Sci. Sports Exerc. 23, 238-241

URHAUSEN A., B. COEN, B. WEILER u. W. KINDERMANN (1989):
Bestimmung der anaeroben Schwelle mittels Conconi-Test und Laktatmessungen.
Dtsch. Z. Sportmed. 40, 402-410

URHAUSEN A., B. WEILER u. W. KINDERMANN (1992):
Sympathische Aktivität und Herzfrequenzverhalten bei Ausdauerbelastungen
unterschiedlicher Intensität.
Dtsch. Z. Sportmed. 43, 446-448

VALBERG, S., B. ESSÉN-GUSTAVSSON, A. LINDHOLM u. S.G.B. PERSSON
(1989):
Blood chemistry and skeletal muscle metabolic responses during and after different
speeds and durations of trotting.
Equine vet. J. 21, 91-95

VISINTIN M. u. H. BARBEAU (1989):
The effects of body weight support on the locomotor pattern of spastic paretic
patients.
Can. J. Neurol. Sci. 16, 315-325

VISINTIN M., H. BARBEAU, N. KORNER-BITENSKY u. N.E. MAYO (1998):
A new approach to retrain gait in stroke patients through body weight support and
treadmill stimulation.
Stroke 29, 1122-1128

VOKAC Z., BELL H., BAUTZ. HOLTER E. u. RODAHL K. (1975):
Oxygen uptake / heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing.
J. Appl. Physiol. 39, 54-59

VOSS B., E. MOHR u. H. KRZYWANEK (2002):
Effects of Aqua-Treadmill Exercise on selected Blood Parameters and on Heart-Rate
Variability of Horses.
Journal Vet. Med. 49, 137

VOSS B. (2002):

Aquatraining Auswirkungen auf ausgewählte Blutparameter und die Herzfrequenzvariabilität beim Pferd.

Diss. FU-Berlin

WEIMANN D. u. G. WYDRA (1999):

Aquajogging als Ausdauertrainingsform bei orthopädischen Beeinträchtigungen. Gesundheitssport und Sporttherapie 15, 40-45

WEISHAUPT M.A., H. STAEMPFLI, R. BILLETER u. R. STRAUB (1996):

Temperature changes during strenuous exercise in different body compartments of the horse.

Pferdeheilkunde 12, 450-454

WEISS M., HACK F., STEHLE R., POLLERT R. u. H. WEICKER (1988):

Effects of temperature and water immersion on plasma catecholamines and circulation.

Int. J. Sports Med. 9 Suppl. 2, 113-117

WERNIG A., S. MULLER u. E. CAGOL (1995):

Laufband therapy based on "rules of spinal locomotion" is effective in spinal cord injured persons.

Eur. J. Neurosc. 4, 823-829

WERNIG A., A. NANASSY u. S. MULLER (1998):

Maintenance of locomotor abilities following Laufband (treadmill) therapy in para- and tetraplegic persons: follow-up studies.

Spinal Cord 36, 744-749

WERNIG A., A. NANASSY u. S. MULLER (1999):

Laufband (treadmill) therapy in incomplete paraplegia and tetraplegia.

J. Neurotrauma 16, 719-726

WILBER R.L., R.J. MOFFATT, B.E. SCOTT, D.T. LEE u. N.A. CUCUZZO (1996):
Influence of water run training on the maintenance of aerobic performance.
Med. Sci. Sports Exerc. 28, 1056-1062

WILSON, R.G., R.B. ISLER u. J.R. THORNTON (1983):
Heart rate, lactic acid production and speed during a standardized exercise test in
standardbred horses.
In: D.H. Snow, S.G.B. Persson u. R. J. Rose (Hrsg.): Equine Exercise Physiology.
Granta Editions, Cambridge, 487-496

WITTKER G. und H. KRZYWANIEK (1991):
Training von Galopprennpferden und dessen Einfluß auf die Ergebnisse eines
Zweistreckentests.
Diss. Med. Vet. Hannover, 1991

YAMAJI K., GREENLEY M., NORTHEY D.R. u. L. HUGHSON (1990):
Oxygen uptake and heart rate responses to treadmill and water running.
Can. J. Spt. Sci. 15, 96-98

ZEITLER-FEICHT, M.H. (2001):
Handbuch Pferdeverhalten
Stuttgart: Ulmer Verlag 2001, 108-109;

ZENHÄUSERN R. u. W.O. FREY (1997):
Aquajogging in the rehabilitation process.
Orthopade 26, 926-929

10 Anhang

Tabelle 17: Die kardiovaskulären Auswirkungen bei Kaltwasserimmersion auf Gesicht und Unterarme und den Einfluss der unterschiedlichen Immersionen auf den menschlichen Körper

Autor	Probanden	Belastung	Ergebnis
Andersson et al. (2000)	34 Personen (23 ♂, 11 ♀) 19-30 Jahre (ø 23,4 Jahre); ø 3,4 h/Woche Training	Teil 1: a) normale Atmung mit Unterarmimmersion b) normale Atmung mit Gesichtsimmersion c) normale Atmung mit Unterarmimmersion und Gesichtsimmersion d) Atempause mit Gesichtsimmersion Teil 2: a) Atempause ohne Immersion b) Atempause mit Unterarmimmersion c) Atempause mit Gesichtsimmersion d) Atempause mit Unterarmimmersion und Gesichtsimmersion Raumtemperatur: 22-26°C; Wassertemperatur: 9-11°C Dauer mit Apneu: ø108 s Dauer ohne Apneu: 60 s	Teil 1: a) HF leichter ↑, dann wieder Ausgangsniveau; Hautblutfluss ↓; arterieller Blutdruck ↑; b) kardiovaskuläre Veränderungen wie bei a); aber ↓ der HF unter das Ausgangsniveau; c) kardiovaskuläre Veränderungen wie bei a und b), HF zwischen a) und b) d) Herzfrequenz anfangs tachykard, dann starke ↓, Hautblutfluss ↓ wie bei a-c, jedoch stärkerer Blutdruck ↑ Teil 2: a)-c) Tachykardie mit anschließender Bradykardie; d) wie bei a-c, jedoch mit Gesichtsimmersion fiel die Bradykardie am stärksten aus; a)-d)Hautblutfluss ↓; und der ø arterielle Blutdruck ↑ nach initialer ↓

Erläuterungen:

ø = durchschnittliche

↑ = Zunahme

↓ = Abnahme

s = Sekunden

♀ = Frauen

♂ = Männer

HF = Herzfrequenz

°C = Grad Celsius

Tabelle 18: Der Einfluss der Wassertemperatur auf Probanden im Wasser

Autor	Probanden	Belastung	Ergebnis
Weiss et al. (1988)	13 stark trainierte Schwimmer, 12 Sportstudenten	1. Versuch: 10 min in Wasser bei 27°C eingetaucht; 2. Versuch: 10 min in Wasser bei 33°C eingetaucht; 3. Versuch: 10 min in Wasser bei 21°C eingetaucht; jeweils ohne Gesichtsmersion Lufttemperatur 24-26°C	1. Versuch: HF und [La] =; Blutdruck ↑; Noradrenalinegehalt (NA ↑ bei den weniger Trainierten stärker an, 2. Versuch: HF und [La] =; diastolische Blutdruck ↑, NA ↑; 3. Versuch: Muskelzittern, Hyperventilation; [La], HF ↑; systolischer Blutdruck, NA höher als bei Versuch 2 (33°C)
Mougios et al. (1993)	Gruppe A: 15 ♂ (Kurzstreckenschwimmer) Gruppe B: 15 ♂ (Langstreckenschwimmer)	Gruppe A: 100 m Freistil, maximale v, Gruppe B: 30 min, bei submaximaler v; Wassertemperatur: 20°C, 26°C, 32°C; Lufttemperatur: 20-21°C;	A: HF und [La] ↑ proportional mit der Wassertemperatur, B: HF bei 32°C > 20°C; insgesamt niedriger, als bei A; Körpertemperatur stieg bei allen Belastungen, [La] ↑ unabhängig von der Wassertemperatur
Shimizu et al. (1998)	8 gesunde, trainierte ♂ Probanden	Belastung auf dem Laufband im Wasser bis Xyphoidhöhe; 1. Versuch: 60 min bei 25°C 2. Versuch: 60 min bei 30°C 3. Versuch: 60 min bei 35°C Belastung auf dem Trockenlaufband 30 min; v jeweils bei Hälfte der maximalen Sauerstoffaustauschkapazität, Lufttemperatur 25 °C	Bei 25°C Wassertemperatur ↑ die rektale Körpertemperatur bei Belastung an Land > als im Wasser. Bei 25 und 30°C Wassertemperatur ist die Oberflächentemperatur der Haut < als bei 35°C. Je höher die Wassertemperatur, desto höher der Gewichtsverlust. Die HF stieg die ersten 10 min bei Belastung rapid an, dann stabilisierte sie sich; die ø HF bei Belastung ↓ von 35°C über 25°C und 30°C ↓; die HF gemessen an Land bei 25 °C differierte nicht zu 25 °C Wassertemperatur
Nuckton et al. (2000)	11 Probanden	45 min schwimmen Wassertemperatur 11,7 °C, Lufttemperatur 10 °C	Rektale Temperatur vor dem Schwimmen: ø 37,1 °C, nach dem Schwimmen. ø 36,6 °C, 5 Probanden litten unter Hypothermie (<36 °C), 1 < 35 °C; je kleiner die Probanden, desto niedriger die rektale Temperatur

Erläuterungen:

↑ = Zunahme

↓ = Abnahme

> = größer als

< = kleiner als

= = gleich bleibend

♀ = Frauen

♂ = Männer

°C = Grad Celsius

O₂ = Sauerstoff

HF = Herzfrequenz

ø = durchschnittliche

[La] = Laktatkonzentration im Blut

v = Geschwindigkeit

n = Anzahl

Tabelle 19: Auswirkungen der Belastung an Pferden auf die Muskulatur auf dem Laufband im Wasser

Autor	Pferde (n)	Rasse	Geschwindigkeit und Dauer	Ergebnisse
Tokuriki et al. (1999)	6	VB	Laufband im Wasser: Wasserhöhe 1,2 m; 1,34 m/s (4,8 km/h) und 2,67 m/s Schwimmbad: 15 Diameter, 3 m tief	M. brachiocephalicus und M. triceps brachii Aktivität Schwimmen > Laufband im Wasser > Laufband; M. extensor digitorum communis größte Aktivität auf dem Laufband im Wasser; Schritt > Aktivität in der Vordergliedmaße als Trab auf dem Laufband im Wasser

Erläuterungen:

VB = Vollblut

WB = Warmblut

n = Anzahl

v = Geschwindigkeit

↑ = Zunahme

↓ = Abnahme

> = größer als

< = kleiner als

HF = Herzfrequenz

[La] = Laktatkonzentration im Blut

O₂ = Sauerstoff

km/h = Kilometer pro Stunde

Tabelle 20: Einfluss von Belastung auf ausgewählte Blutparameter und die Herzfrequenz von Pferden auf einem Laufband im Wasser

Autor	Pferde (n) und Rasse	Geschwindigkeit und Dauer	Ergebnisse
Voss et al. (2002)	7 WB (3 Hannoveraner ♀, 1 Holsteiner u. 2 Bayern Wallache, 1 Hannoveraner ♂) 4-15-jährig; unterschiedlicher Trainingszustand	6 verschiedene Tests: 5 min aufwärmen, 20 min Belastung im Schritt (1,56±0,08 m/s) oder Trab (2,9±0,13 m/s) 1.) trockenes Laufband 2.) Wasser oberhalb des Karpus 3.) Wasser oberhalb des Ellbogens 5 min auslaufen Wassertemperatur: keine Angabe	[La] : bei keiner Belastung [La] ↑ (0,59-1,24 mmol/l); Hb: ↑, jedoch nicht unterschiedlich innerhalb der Tests; 1 Pferd nach dem Schritttest Werte > als nach dem Trab; HF: Ruhefrequenz 32±1,6 Schläge/min; ohne Wasser: 69± 15,4 Schläge/min; Trab mit Wasser über Ellbogen: 96 ±11,8 Schläge/min; innerhalb der Gangart in Bezug auf die verschiedenen Wasserhöhen =; HF im Trab > Schritt bei gleicher Belastungsart; vegetatives Nervensystem: bei Belastung LF/HF ratio ↑ und LF _{norm} ↑ und HF _{norm} ↓ das bedeutet einen ↑ des Sympathikuseinfluss und ↓ des Parasympathikus

Erläuterungen:

↑ = Zunahme

↓ = Abnahme

> = größer als

< = kleiner als

LF_{norm} = low-frequency power

HF_{norm} = high-frequency power

LF/HF ratio = LF_{norm} / HF_{norm}

Hb = Hämoglobin

= = gleich bleibend

HF = Herzfrequenz

n = Anzahl

[La] = Laktatkonzentration im Blut

♀ = Frauen

♂ = Männer

WB = Warmblüter

Tabelle 21: Pferde der Verhaltensstudie

Alter der Pferde	Anzahl	Alter der Pferde	Anzahl
>15 Jahre	11	<7 Jahre	9
15-10 Jahre	17		
9-7 Jahre	19		

Tabelle 22: Pferde der Beanspruchungsstudie

Alter der Pferde	Anzahl	Alter der Pferde	Anzahl
24 Jahre	1	11 Jahre	2
20 Jahre	2	10 Jahre	11
18 Jahre	3	9 Jahre	6
17 Jahre	2	8 Jahre	11
16 Jahre	7	7 Jahre	9
15 Jahre	4	6 Jahre	8
14 Jahre	3	5 Jahre	3
13 Jahre	5	4 Jahre	3
12 Jahre	10		

Tabelle 23: Trainingszustand, der für die Beanspruchungsstudie genutzten Pferde

Indikation	Phasen in der Rehabilitation	Anzahl
Arthritis	Schrittphase 2	1
Arthritis	Schrittphase 3	1
Chronische Lymphangitis	Voll in der Beanspruchung	1
Fesselgelenksentzündung	Schrittphase 1	1
Gleichbeinfraktur	Schrittphase 1	1
Gonitis	Schrittphase 1	1
Gonitis	Stehphase	1
Griffelbeinfraktur OP	Schrittphase 1	1
Hufrehe	Schrittphase 2	1
Hufrehe	Schrittphase 3	1
Hufrehe	Stehphase	4
Hufrolle	Voll in der Beanspruchung	1
Kreuzbandriss	Stehphase	1
Rückenprobleme	Voll in der Beanspruchung	16
Rückenprobleme	Schrittphase 2	1
Rückenprobleme	Schrittphase 3	4
Sehnenscheidenverletzung	Schrittphase 1	1
Spat	Voll in der Beanspruchung	1
Spat	Schrittphase 3	1
Tendinitis	Schrittphase 1	10
Tendinitis	Schrittphase 2	13
Tendinitis	Schrittphase 3	15
Tendinitis	Stehphase	1
Tendinose	Schrittphase 3	1
Ohne besonderen Befund	Voll in der Beanspruchung	9
Zerrung	Schrittphase 1	1

Protokoll, um die Beanspruchung von Pferden bei Belastungen auf dem Wasserlaufband zu erfassen

Name des Pferdes: _____ Rasse: _____

Alter: _____ Widerristhöhe: _____ cm

Geschlecht: _____ Laufbanderfahrung: _____

Phase der Rehabilitation: _____ % der Widerristhöhe _____ min _____ km/h

Laufdurchgangsnummer: _____ absolute Widerristhöhe: _____ cm

Zeitpunkt	Laktatkonzentration (mmol/l)	Kreatinkinaseaktivität (U/l)	Herzfrequenz (Schläge/min)	Körpertemperatur (°C)
Vor Belastung				
Nach Belastung				

Ansicht 2: Beanspruchung von Pferden bei Belastungen auf dem Wasserlaufband

Tabelle 24: Anzahl der Pferde bei den 27 unterschiedlichen Belastungen

Belastungsart (Dauer/Geschwindigkeit/Wasserhöhe) (min/m/s/% Widerristhöhe oder Bug)	Pferde Anzahl	Belastungsart (Dauer/Geschwindigkeit/Wasserhöhe) (min/m/s/% Widerristhöhe oder Bug)	Anzahl
10/3,6/50,	10	20/4,6/Bug	13
10/3,6/80,	9	20/5,6/50	10
10/3,6/Bug,	9	20/5,6/80	10
10/4,6/50,	9	20/5,6/Bug	10
10/4,6/80	9	30/3,6/50	11
10/4,6/Bug	9	30/3,6/80	10
10/5,6/50	10	30/3,6/Bug	10
10/5,6/80,	13	30/4,6/50	10
10/5,6/Bug,	13	30/4,6/80	10
20/3,6/50,	10	30/4,6/Bug	10
20/3,6/80	10	30/5,6/50	9
20/3,6/Bug	10	30/5,6/80	11
20/4,6/50	10	30/5,6/Bug	10
20/4,6/80	10		

Tabelle 25: Pferde der Testvorschrift

Alter der Pferde	Anzahl	Alter der Pferde	Anzahl
15 Jahre	2	9 Jahre	1
12 Jahre	1	7 Jahre	2
10 Jahre	1		

Protokoll der Studie 1: Über die Wirkung konstanter Wasserhöhe bei zunehmender Laufgeschwindigkeit während eines Belastungstests

1.) Mehrstufentest bei einer Wasserhöhe von ____ cm (absolut), 10, 50 oder 80 % der Widerristhöhe (relativ).

Name: _____ Alter: _____
 Widerristhöhe: _____ Geschlecht: _____
 Trainingszustand: _____

Stufe (5 min Dauer)	Geschwindigkeit (m/s)	Laktatkonzentration (mmol/l)	Herzfrequenz (Schläge/min)	Körpertemperatur (°C)	Kreatinkinaseaktivität (U/l)
Ruhewert	0				
1	3,5				
2	4				
3	4,5				
4	5				
5	5,5				

Protokoll der Studie Testvorschrift 2: Über die Wirkung von zunehmender Wasserhöhe während des Belastungstests bei einer konstanten Laufgeschwindigkeit von 5,5 m/s (19,8 km/h)

2.) Mehrstufentest bei einer Geschwindigkeit von 19,8 km/h

Name: _____ Alter: _____
 Widerristhöhe: _____ Geschlecht: _____
 Trainingszustand: _____

Stufe (5 min Dauer)	Wasserhöhe (Absolut cm)	Wasserhöhe Relativ (% Widerristhöhe)	Laktatkonzentration (mmol/l)	Herzfrequenz (Schläge/min)	Körpertemperatur (°C)
Ruhewert					
1		20			
2		35			
3		49			
4		63			
5		77			

Ansicht 3: Protokolle der Studien 1 und 2 der Studie über eine Testvorschrift

Ergebnisse

Verhaltensstudie

Tabelle 26: Betreten des Laufbandes in Abhängigkeit vom Laufdurchgang

Betreten	Summe der Pferde in den 3 Durchgängen	1. Durchgang Anzahl (%)	2. Durchgang Anzahl (%)	3. Durchgang Anzahl (%)
Nicht	3	1 (1,79)	1 (1,79)	1 (1,79)
Sofort	96	9 (16,1)	39 (69,6)	48 (85,7)
Verzögert	69	46 (82,1)	16 (28,6)	7 (12,5)
Total	168	56 (100)	56 (100)	56 (100)

Tabelle 27: Regelmäßigkeit im Schritt in Abhängigkeit vom Laufdurchgang

Regelmäßigkeit	Summe der Pferde in den 3 Durchgängen	1. Durchgang Anzahl (%)	2. Durchgang Anzahl (%)	3. Durchgang Anzahl (%)
Sofort	92	3 (5,36)	39 (69,6)	50 (89,3)
Verzögert	76	53 (94,6)	17 (30,4)	6 (10,7)
Total	168	56 (100)	56 (100)	56 (100)

Tabelle 28: Unarten von Pferden auf dem Laufband im Wasser in Abhängigkeit vom Durchgang

Unart	Summe der Pferde in den 3 Durchgängen	1. Durchgang Anzahl (%)	2. Durchgang Anzahl (%)	3. Durchgang Anzahl (%)
Alle	1	1 (1,79)	0 (0)	0 (0)
Ausschlagen	2	0 (0)	1 (1,79)	1 (1,79)
Durchgehen	10	2 (3,57)	4 (7,14)	4 (7,14)
Keine	148	52 (92,9)	48 (85,7)	50 (89,3)
Kopfschlagen	2	0 (0)	1 (1,79)	1 (1,79)
Steigen	3	1 (1,79)	2 (3,57)	0 (0)
Total	168	56 (100)	56 (100)	56 (100)

Tabelle 29: Häufigkeit des Kotabsatzes in Abhängigkeit vom Laufdurchgang

Kotabsatz	Anzahl (n)	1. Durchgang Mittelwert	2. Durchgang Mittelwert	3. Durchgang Mittelwert
Kotabsatz	56	1,29	1,48	1,393
	Anzahl (n)	Standardabweichung	Standardabweichung	Standardabweichung
Kotabsatz	56	0,85	0,76	0,82

Beanspruchungsstudie

Tabelle 30: Laktatkonzentrationen der einzelnen Pferde im Blut nach Belastung in Abhängigkeit vom Belastungsinhalt

	Freiheitsgrad	Quadratischer Mittelwert	P-Wert
Belastung	26	0,409	<0,01
Anzahl der Belastungen (n)	248	0,198	
Kategorie für Laktat	1	4,294	<0,001
Kategorie für Laktat * Belastung	26	0,037	0,2892
Kategorie für Laktat * Anzahl Pferde (n)	275	0,033	

Tabelle 31: Mittlere Laktatkonzentrationen im Blut mit Standardabweichung vor und nach der Belastung auf dem Wasserlaufband.

Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Anzahl (n)	Mittlerer Laktatgehalt vor Belastung (mmol/l)	Standard- abweichung	Mittlerer Laktatgehalt nach Belastung (mmol/l)	Standard- abweichung
10/3,6/50	10	1,1	0,3	1,2	0,2
10/3,6/80	9	1,3	0,4	1,5	0,5
10/3,6/Bug	9	1,5	0,4	1,6	0,4
10/4,6/50	9	1,4	0,4	1,5	0,3
10/4,6/80	9	1,2	0,4	1,4	0,3
10/4,6/Bug	9	1,5	0,5	1,8	0,7
10/5,6/50	10	1,1	0,2	1,3	0,2
10/5,6/80	13	1,0	0,1	1,2	0,2
10/5,6/ Bug	13	1,2	0,3	1,4	0,3
20/3,6/50	10	1,1	0,2	1,2	0,2
20/3,6/80	10	1,1	0,3	1,5	0,4
20/3,6/Bug	10	1,1	0,2	1,3	0,3
20/4,6/50	10	1,4	0,4	1,5	0,2
20/4,6/80	10	1,4	0,5	1,5	0,3
20/4,6/Bug	13	1,4	0,4	1,7	0,4
20/5,6/50	10	1,1	0,2	1,3	0,4
20/5,6/80	10	1,2	0,4	1,4	0,4
20/5,6/Bug	10	1,2	0,4	1,5	0,6
30/3,6/50	11	1,1	0,2	1,3	0,3
30/3,6/80	10	1,2	0,4	1,3	0,2
30/3,6/Bug	10	1,5	0,5	1,5	0,3
30/4,6/50	10	1,3	0,4	1,6	0,3
30/4,6/80	10	1,2	0,3	1,3	0,2
30/4,6/Bug	10	1,2	0,3	1,4	0,3
30/5,6/50	9	1,1	0,2	1,3	0,2
30/5,6/80	11	1,2	0,4	1,2	0,2
30/5,6/Bug	10	1,1	0,2	1,2	0,2

Tabelle 32: Herzfrequenzen der einzelnen Pferde in Abhängigkeit vom Belastungsinhalt

	Freiheitsgrad	Quadratischer Mittelwert	P-Wert
Art der Belastung	26	76,558	0,11
Anzahl Belastungen (n)	249	55,187	
Kategorie Herzfrequenz	1	93033,521	<0,001
Kategorie Herzfrequenz * Art der Belastung	26	90,558	0,02
Kategorie Herzfrequenz * Belastungen (n)	249	53,590	

16 Fälle wurden wegen fehlender Daten nicht berücksichtigt.

Tabelle 33: Mittlere Herzfrequenzen mit Standardabweichung vor und nach der Belastung auf dem Wasserlaufband

Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Anzahl	Mittlere HF vor Belastung (Schlägen/min)	Standard- abweichung	Mittlere HF vor Belastung (Schlägen/min)	Standard- abweichung
10/3,6/50	10	42,8	1,0	65,7	8,7
10/3,6/80	9	42,4	1,7	69,3	12,1
10/3,6/Bug	7	42,9	2,8	65,7	2,4
10/4,6/50	9	42,2	1,6	72,7	8,4
10/4,6/80	9	42,2	1,2	67,2	7,5
10/4,6/Bug	9	41,8	2,7	69,1	16,5
10/5,6/50	10	42,7	1,4	73,3	13,1
10/5,6/80	13	42,3	1,5	68,3	7,8
10/5,6/ Bug	11	42,0	1,2	76,4	7,3
20/3,6/50	9	42,2	1,2	65,0	6,4
20/3,6/80	10	42,7	2,8	59,3	8,7
20/3,6/Bug	8	42,2	1,0	70,4	9,1
20/4,6/50	10	42,1	1,8	78,0	8,3
20/4,6/80	10	45,1	10,9	66,7	12,9
20/4,6/Bug	12	42,2	1,4	73,9	13,2
20/5,6/50	8	42,6	1,4	71,4	9,4
20/5,6/80	10	42,4	1,3	69,7	5,7
20/5,6/Bug	8	42,4	1,8	64,1	14,3
30/3,6/50	11	43,2	2,0	66,1	8,6
30/3,6/80	10	42,3	1,5	72,7	9,1
30/3,6/Bug	10	42,3	1,6	68,7	11,9
30/4,6/50	9	42,9	1,1	68,2	13,3
30/4,6/80	10	43,6	2,5	70,8	14,9
30/4,6/Bug	8	42,0	1,1	64,1	8,0
30/5,6/50	9	41,9	1,4	73,0	6,1
30/5,6/80	10	43,0	1,1	71,0	8,1
30/5,6/Bug	10	42,3	1,2	68,1	4,6

Erläuterungen:

HF = Herzfrequenz

Tabelle 34: Kreatinkinaseaktivitäten Abhängigkeit vom Belastungsinhalt (Wilcoxon)

Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	P- Wert	Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	P- Wert
10/3,6/50	0,01	20/4,6/Bug	0,01
10/3,6/80	0,02	20/5,6/50	0,02
10/3,6/Bug	0,02	20/5,6/80	0,01
10/4,6/50	0,02	20/5,6/Bug	0,02
10/4,6/80	0,01	30/3,6/50	0,01
10/4,6/Bug	0,07	30/3,6/80	0,01
10/5,6/50	0,01	30/3,6/Bug	0,09
10/5,6/80	0,01	30/4,6/50	0,04
10/5,6/Bug	0,01	30/4,6/80	0,01
20/3,6/50	0,01	30/4,6/Bug	0,01
20/3,6/80	0,01	30/5,6/50	0,01
20/3,6/Bug	0,02	30/5,6/80	0,01
20/4,6/50	0,07	30/5,6/Bug	0,01
20/4,6/80	0,02		

Tabelle 35: Körpertemperaturen der einzelnen Pferde in Abhängigkeit vom Belastungsinhalt

	Freiheitsgrad	Quadratischer Mittelwert	P-Wert
Belastung	26	0,215	0,02
Anzahl Belastungen (n)	175	0,122	
Kategorie Körpertemperatur	1	6,428	<0,001
Kategorie Körpertemperatur * Art der Belastung	26	0,111	<0,001
Kategorie Körpertemperatur * Belastungen (n)	175	0,027	

73. Fälle wurden wegen fehlender Daten nicht berücksichtigt.

Tabelle 36: Mittlere Rektaltemperatur mit Standardabweichung von Pferden vor und unmittelbar nach verschiedenen Belastungen auf einem Laufband im Wasser

Belastungsinhalte Dauer (min) / Geschwindigkeit (km/h) / Wasserhöhe (%) der Widerristhöhe)	Anzahl (n)	Mittlere Körpertemperatur vor Belastung (°C)	Standard- abweichung	Mittlere Körpertemperatur nach Belastung (°C)	Standard- abweichung
10/3,6/50	9	37,2	0,2	37,5	0,3
10/3,6/80	5	37,2	0,4	37,3	0,2
10/3,6/Bug	4	37,0	0,0	37,2	0,1
10/4,6/50	6	37,3	0,4	37,6	0,3
10/4,6/80	7	37,1	0,3	37,3	0,3
10/4,6/Bug	3	37,1	0,1	37,2	0,0
10/5,6/50	10	37,2	0,2	37,6	0,2
10/5,6/80	13	37,2	0,3	37,4	0,3
10/5,6/ Bug	9	37,2	0,2	37,5	0,3
20/3,6/50	8	37,4	0,2	37,8	0,3
20/3,6/80	6	37,3	0,3	37,3	0,4
20/3,6/Bug	7	37,1	0,2	37,4	0,2
20/4,6/50	6	37,1	0,2	37,5	0,2
20/4,6/80	6	37,3	0,4	37,4	0,4
20/4,6/Bug	8	37,0	0,0	37,2	0,1
20/5,6/50	7	37,2	0,2	37,7	0,3
20/5,6/80	8	37,0	0,2	37,2	0,2
20/5,6/Bug	7	37,1	0,3	37,3	0,4
30/3,6/50	9	37,2	0,2	37,7	0,2
30/3,6/80	10	37,1	0,3	37,3	0,2
30/3,6/Bug	5	37,1	0,1	37,3	0,2
30/4,6/50	7	37,2	0,1	37,6	0,2
30/4,6/80	8	37,2	0,3	37,4	0,1
30/4,6/Bug	8	37,2	0,2	37,3	0,3
30/5,6/50	8	37,1	0,2	37,7	0,2
30/5,6/80	9	37,3	0,5	37,1	0,6
30/5,6/Bug	9	37,2	0,1	37,3	0,2

Testvorschrift

Tabelle 37: Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe auf den Mittelwert der Laktatkonzentration im Blut von Pferden bei Studie 1 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit zunehmender Laufgeschwindigkeit

Zeitpunkt der Probeentnahme/Laufgeschwindigkeit/ Wasserhöhe(% der Widerristhöhe)	Anzahl (n)	Mittelwert (mmol/l)	Standardabweichung
Vor Belastung,	7	0,96	0,08
1. Stufe, 3,5 m/s, 10 %	7	1,07	0,17
2. Stufe, 4 m/s, 10 %	7	1,36	0,16
3. Stufe, 4,5 m/s, 10 %	7	1,63	0,20
4. Stufe, 5 m/s, 10 %	7	1,81	0,34
5. Stufe, 5,5 m/s, 10 %	7	1,99	0,40
Vor Belastung, 50%	7	0,96	0,10
1. Stufe, 3,5 m/s, 50 %	7	1,09	0,16
2. Stufe, 4 m/s, 50 %	7	1,47	0,21
3. Stufe, 4,5 m/s, 50 %	7	1,71	0,22
4. Stufe, 5 m/s, 50 %	7	1,93	0,39
5. Stufe, 5,5 m/s, 50 %	7	1,87	0,46
Vor Belastung, 80 %	7	1,01	0,09
1. Stufe, 3,5 m/s 80 %	7	1,10	0,16
2. Stufe, 4 m/s, 80 %	7	1,33	0,19
3. Stufe, 4,5 m/s, 80 %	7	2,04	0,50
4. Stufe, 5 m/s, 80 %	7	2,16	0,62
5. Stufe, 5,5 m/s, 80 %	7	1,74	0,62

Tabelle 38: Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe auf die Herzfrequenz von Pferden bei Studie 1 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit zunehmender Laufgeschwindigkeit

Zeitpunkt der Messung/Laufgeschwindigkeit/ Wasserhöhe(% der Widerristhöhe)	Anzahl (n)	Mittelwert (Schlägen/min)	Standardabweichung
Vor Belastung,	7	44	1
1. Stufe, 3,5 m/s, 10 %	7	118	8
2. Stufe, 4 m/s, 10 %	7	127	12
3. Stufe, 4,5 m/s, 10 %	7	132	14
4. Stufe, 5 m/s, 10 %	7	138	20
5. Stufe, 5,5 m/s, 10 %	7	142	22
Vor Belastung, 50%	7	44	1
1. Stufe, 3,5 m/s, 50 %	7	125	10
2. Stufe, 4 m/s, 50 %	7	134	10
3. Stufe, 4,5 m/s, 50 %	7	135	10
4. Stufe, 5 m/s, 50 %	7	134	12
5. Stufe, 5,5 m/s, 50 %	7	135	13
Vor Belastung, 80 %	7	45	2
1. Stufe, 3,5 m/s 80 %	7	134	10
2. Stufe, 4 m/s, 80 %	7	139	10
3. Stufe, 4,5 m/s, 80 %	7	138	15
4. Stufe, 5 m/s, 80 %	7	133	11
5. Stufe, 5,5 m/s, 80 %	7	132	10

Tabelle 39: Einfluss des Zeitpunktes und der Wasserhöhe auf den Mittelwert der Kreatinkinaseaktivität im Plasma von Pferden bei Studie 1 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit zunehmender Laufgeschwindigkeit

Zeitpunkt der Probeentnahme/Laufgeschwindigkeit/ Wasserhöhe(% der Widerristhöhe)	Anzahl (n)	Mittelwert (U/l)	Standardabweichung
Vor Belastung,	7	38,1	6,2
1. Stufe, 3,5 m/s, 10 %	7	41	3,8
2. Stufe, 4 m/s, 10 %	7	48,7	5
3. Stufe, 4,5 m/s, 10 %	7	55,7	6,2
4. Stufe, 5 m/s, 10 %	7	61	6,2
5. Stufe, 5,5 m/s, 10 %	7	65	4
Vor Belastung, 50%	7	36,1	8,1
1. Stufe, 3,5 m/s, 50 %	7	42,9	6,6
2. Stufe, 4 m/s, 50 %	7	47,7	5,4
3. Stufe, 4,5 m/s, 50 %	7	52,9	6,3
4. Stufe, 5 m/s, 50 %	7	59	3,8
5. Stufe, 5,5 m/s, 50 %	7	62	3
Vor Belastung, 80 %	7	40	4
1. Stufe, 3,5 m/s 80 %	7	44,1	3,7
2. Stufe, 4 m/s, 80 %	7	53,4	8,4
3. Stufe, 4,5 m/s, 80 %	7	57,9	7,9
4. Stufe, 5 m/s, 80 %	7	64,3	8,3
5. Stufe, 5,5 m/s, 80 %	7	67,7	7

Tabelle 40: Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf die mittlere Körpertemperatur von Pferden bei Studie 1 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit zunehmender Laufgeschwindigkeit

Zeitpunkt der Messung/ Wasserhöhe(% der Widerristhöhe)	Anzahl (n)	Mittelwert (°C)	Standardabweichung
1. Vor Belastung, 10%	7	37,0	0,1
1. Vor Belastung, 50%	7	37,0	0,1
1. Vor Belastung, 80%	7	37,0	0,1
5. Stufe, 10%	7	38,4	0,1
5. Stufe, 50%	7	38,2	0,1
5. Stufe, 80%	7	38,1	0,1

Tabelle 41: Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf den Mittelwert der Laktatkonzentration von Pferden bei Studie 2 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit konstanter Laufgeschwindigkeit

Zeitpunkt der Probeentnahme/ Wasserhöhe(% der Widerristhöhe)	Anzahl (n)	Mittelwert (mmol/l)	Standardabweichung
1. Vor Belastung, 10%	7	0,94	0,07
2. 20%	7	1,42	0,19
3. 35%	7	1,84	0,08
4. 49%	7	1,91	0,25
5. 63%	7	1,61	0,32
5. 77%	7	1,38	0,40

Tabelle 42: Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf die Herzfrequenz von Pferden bei Studie 2 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit konstanter Laufgeschwindigkeit

Zeitpunkt der Messung/ Wasserhöhe(% der Widerristhöhe)	Anzahl (n)	Mittelwert (Schlägen/min)	Standardabweichung
1. Vor Belastung, 10%	7	43	2
2. 20%	7	143	13
3. 35%	7	148	18
4. 49%	7	140	17
5. 63%	7	136	15
5. 77%	7	137	15

Tabelle 43: Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf den Mittelwert der Kreatinkinaseaktivität von Pferden bei Studie 2 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit konstanter Laufgeschwindigkeit

Zeitpunkt der Probeentnahme/ Wasserhöhe(% der Widerristhöhe)	Anzahl (n)	Mittelwert (U/L)	Standardabweichung
1. Vor Belastung	7	30,93	6,19
2. 20%	7	37,69	5,22
3. 35%	7	44,47	8,52
4. 49%	7	50,93	9,92
5. 63%	7	52,54	8,48
5. 77%	7	55,38	5,96

Tabelle 44: Einfluss des Zeitpunkts und der Wasserhöhe auf die Körpertemperatur von Pferden bei Studie 2 der Testvorschrift auf dem Laufband im Wasser mit konstanter Laufgeschwindigkeit

Zeitpunkt der Messung	Anzahl (n)	Mittelwert (°C)	Standardabweichung
1. Vor Belastung	7	37,1	0,16
2. Nach Belastung	7	38,2	0,18

11 Danksagung

Meinem Doktorvater Herrn Prof. H.H.L. Sasse danke ich ganz herzlich für die engagierte Betreuung und die rasche, kritische Überarbeitung dieser externen Doktorarbeit.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Arno Lindner für die Betreuung und Unterstützung der Arbeit. Ohne seine Leitung und Mithilfe wäre diese Arbeit für mich nicht durchführbar gewesen. Ebenso möchte ich mich bei seiner Frau Angela für die liebe Bewirtung und ihr Verständnis bedanken.

Bei den Besitzern des Wasserlaufbandes möchte ich mich ebenfalls herzlich bedanken. An erster Stelle bei Herrn. Dr. Joachim Beuttler, des Weiteren bei Dr. Paul Stanger und Ralf Müller. In diesem Zusammenhang danke ich auch dem „Schwimmpersonal“, insbesondere Dr. Nina Müller, Elena Schütter und Sandra Heiduck, die mir bei den Messungen geholfen haben. Den Besitzern der Pferde danke ich für die Bereitstellung der Pferde.

Ebenso möchte ich mich bei Frau Bilian, der tiermedizinischen Bibliothek der LMU-München, für ihre Unterstützung bei der Literatursuche bedanken und Katja Pressler für diverse Literaturbotengänge.

Meiner Mutter Ingrid Wurm möchte ich danken für ihre Unterstützung in vielerlei Hinsicht während der gesamten Zeit und für das lästige Korrekturlesen, ebenso wie Anita Rühle und meinem Bruder Christian Wurm. Meinem Onkel Dr. Heiner Wurm danke ich für die Korrektur der Summary.

Alexander Wäschle danke ich für seinen Beistand, die Ermutigung und vor allem die Geduld bei der Formatierung, Erstellung der Grafiken und diversen Problemen mit dem Computer.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch noch bei Familie Stanger, die mich während der letzten Jahre immer unterstützt hat und wie eine zweite Familie für mich war.

Allen anderen, die Anteil nahmen und dadurch in vielfältiger Art und Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich ebenso danken.