

SIMONE JABLONSKI

Untersuchung der Auswirkungen des
Schwimmtrainings als Rehabilitationsmaßnahme
auf leistungsphysiologische Parameter beim Pferd



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



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei der Autorin dieses Werkes.

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

1. Auflage 2023

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

1st Edition 2023

© 2023 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

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

www.doktorverlag.de

Aus der Klinik für Pferde (Chirurgie) des Fachbereichs Veterinärmedizin der
Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. Michael Röcken

**Untersuchung der Auswirkungen des
Schwimmtrainings als Rehabilitationsmaßnahme
auf leistungsphysiologische Parameter
beim Pferd**

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

eingereicht von

Simone Jablonski
Tierärztin aus Memmingen

Gießen 2023

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

Dekan Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer

Gutachter:

Prof. Dr. Michael Röcken

Prof. Dr. Stephanie Krämer

Tag der Disputation: 29.11.2023

**Meiner Familie
und
Julian**

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	IX
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis.....	XIV
1. Einleitung	1
2. Literatur	2
2.1. Leistungsphysiologische Parameter zur Beurteilung von Fitness und Trainingserfolg	2
2.1.1. Laktat	2
2.1.1.1. Entstehung von Laktat	2
2.1.1.2. Zeitlicher Ablauf der Energiebereitstellung	3
2.1.1.3. Laktatakkumulation	5
2.1.1.4. Laktatelimination	6
2.1.1.5. Laktat als Belastungsindikator	7
2.1.1.6. Physiologische Veränderungen durch Training	9
2.1.1.7. Laktatanalyse	9
2.1.2. Herzfrequenz	10
2.1.2.1. Allgemeines zum Herz	10
2.1.2.2. Definition Herzfrequenz, Ruheherzfrequenz.....	11
2.1.2.3. Maximale Herzfrequenz	11
2.1.2.4. Herzfrequenz bei submaximaler Belastung.....	12
2.1.2.5. Herzfrequenzberuhigung nach Belastung	13
2.1.2.6. Herzfrequenzmessung zur Beurteilung von Fitness	14
2.2. Standardisierte Belastungstests zur Beurteilung von Fitness und Trainingserfolg bei Pferden.....	16

2.3. Schwimmtraining beim Pferd	19
2.3.1. Schwimmen als Trainingsmethode.....	19
2.3.2. Veränderungen von leistungsphysiologischen Parametern während des Schwimmens	23
2.3.2.1. Auswirkungen des Schwimmens auf kardiorespiratorische Parameter.....	23
2.3.2.2. Auswirkungen des Schwimmens auf hämatologische Parameter.....	24
2.3.2.3. Auswirkungen des Schwimmens auf die Muskulatur.....	26
2.3.2. Schwimmen als Therapie und zur Rehabilitation	27
2.3.3. Komplikationen durch Schwimmen	28
3. Material und Methoden	30
3.1. Prospektive, randomisierte kontrollierte Studie	30
3.2. Zielsetzung	30
3.3. Pferde.....	31
3.4. Reiter.....	33
3.5. Training	33
3.5.1. Reittraining und Longiertraining.....	34
3.5.1.1. Reittraining	34
3.5.1.2. Longiertraining.....	36
3.5.2. Schwimmtraining.....	36
3.5.2.1. Aufbau und technische Daten des Schwimmbades.....	36
3.5.2.2. Schwimmtraining	37
3.6. Belastungstest	40
3.6.1. Ablauf des Belastungstests	40
3.6.2. Untersuchungsparameter Laktat	42
3.6.3. Untersuchungsparameter Herzfrequenz und Geschwindigkeit	43

3.7. Statistische Auswertung.....	45
4. Ergebnisse.....	46
4.1. Plasmalaktatkonzentrationen	46
4.1.1. Laktatkonzentrationen in Belastungstest 1.....	49
4.1.2. Laktatkonzentrationen in Belastungstest 2.....	50
4.1.3. Laktatkonzentrationen in Belastungstest 3.....	51
4.1.4. Laktatkonzentrationen in Belastungstest 4.....	53
4.1.5. Laktatwertdifferenzen der Longier- und Schwimmgruppe im Vergleich.....	54
4.2. Herzfrequenz.....	56
4.2.1. Mittlere Herzfrequenzen in den verschiedenen Belastungsstufen.....	56
4.2.2. Differenzen der mittleren Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe im Vergleich.....	58
4.2.2.1. Herzfrequenzdifferenzen in der Belastungsstufe Trab.....	59
4.2.2.2. Herzfrequenzdifferenzen in der Belastungsstufe Galopp 1	60
4.2.2.3. Herzfrequenzdifferenzen in der Belastungsstufe Galopp 2	62
4.2.2.4. Herzfrequenzdifferenzen in der Belastungsstufe Galopp 3	63
4.2.3. Maximale Herzfrequenzen	64
4.2.4. Differenzen der maximalen Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe im Vergleich.....	66
4.2.5. Beruhigungszeit der Herzfrequenz.....	67
4.2.6. Differenzen der Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe im Vergleich	68
4.2.7. Korrelation der Herzfrequenzen und Laufgeschwindigkeiten in den verschiedenen Belastungsstufen	70
4.2.7.1. Korrelation der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz in Galopp 1.....	70

4.2.7.2. Korrelation der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz in Galopp 2.....	72
4.2.7.3. Korrelation der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz in Galopp 3.....	74
5. Diskussion	76
5.1. Diskussion des Materials und der Methodik.....	76
5.2. Diskussion der Ergebnisse.....	83
5.2.1. Plasmalaktatkonzentrationen.....	83
5.2.2. Herzfrequenzen	86
6. Schlussfolgerung	92
7. Zusammenfassung	94
8. Summary.....	97
9. Selbständigkeitserklärung	100
10. Danksagung.....	101
11. Literaturverzeichnis.....	102
12. Anhang.....	115
12.1. Untersuchungsprotokoll für die Eingangsuntersuchung.....	115
12.2. Aufbau des Pferdeschwimmbads.....	117
12.3. Erreichte Zeiten und Geschwindigkeiten aller Pferde in allen Belastungstests.....	118
12.4. Wetter- und Bodenbedingungen während der Belastungstests	120

Abkürzungsverzeichnis

µl.....	<i>Siehe</i> Mikroliter
Abb.....	<i>Siehe</i> Abbildung
ADP.....	<i>Siehe</i> Adenosindiphosphat
ASAT.....	<i>Siehe</i> Aspartat-Aminotransferase
ATP.....	<i>Siehe</i> Adenosinriphosphat
bpm.....	<i>Siehe</i> beats per minute
ca.....	<i>Siehe</i> circa
CK.....	<i>Siehe</i> Creatinkinase
CO ₂	<i>Siehe</i> Kohlendioxid
d.....	<i>Siehe</i> Tag
EIPH.....	<i>Siehe</i> Exercise-induced pulmonary hemorrhage
EKG.....	<i>Siehe</i> Elektrokardiographie
et al.....	<i>Siehe</i> et alii
FFS.....	<i>Siehe</i> Freie Fettsäuren
GLDH.....	<i>Siehe</i> Glutamat-Dehydrogenase
GPS.....	<i>Siehe</i> global positioning system
H ⁺	<i>Siehe</i> Wasserstoffion
H ₂ O.....	<i>Siehe</i> Wasser
Hb.....	<i>Siehe</i> Hämoglobin
HF.....	<i>Siehe</i> Herzfrequenz
HF _{diff}	<i>Siehe</i> Differenz der Mittelwerte der mittleren Herzfrequenz
HF _{max}	<i>Siehe</i> maximale Herzfrequenz
Hkt.....	<i>Siehe</i> Hämatokrit
HZV.....	<i>Siehe</i> Herzzeitvolumen
kg.....	<i>Siehe</i> Kilogramm
km.....	<i>Siehe</i> Kilometer
KP.....	<i>Siehe</i> Kreatinphosphat
L.....	<i>Siehe</i> Liter
LDH.....	<i>Siehe</i> Laktat-Dehydrogenase
log.....	<i>Siehe</i> Logarithmus
m.....	<i>Siehe</i> Meter

M.....	<i>Siehe</i> Musculus
m x min ⁻¹	<i>Siehe</i> Meter pro Minute
MCT.....	<i>Siehe</i> Monocarboxylat-Transporter
min.....	<i>Siehe</i> Minute
ml.....	<i>Siehe</i> Milliliter
mmol.....	<i>Siehe</i> Millimol
n.....	<i>Siehe</i> Anzahl der Proben
N.....	<i>Siehe</i> Anzahl getesteter Pferde
p0.....	<i>Siehe</i> Ruheblutprobe
p01.....	<i>Siehe</i> Belastungsblutprobe
p15.....	<i>Siehe</i> Beruhigungsblutprobe nach 15 min
p30.....	<i>Siehe</i> Beruhigungsblutprobe nach 30 min
PRE.....	<i>Siehe</i> Pura Raza Espanola
p-Wert.....	<i>Siehe</i> Signifikanzwert
r.....	<i>Siehe</i> Korrelationskoeffizient
RBC.....	<i>Siehe</i> red blood cells
s.....	<i>Siehe</i> Sekunde
sec.....	<i>Siehe</i> Sekunde
SV.....	<i>Siehe</i> Schlagvolumen
U/l.....	<i>Siehe</i> units pro liter
V.....	<i>Siehe</i> Geschwindigkeit
vgl.....	<i>Siehe</i> vergleiche
V _{HF200}	<i>Siehe</i> gelaufene Geschwindigkeit bei Herzfrequenz 200
V _{LA4}	<i>Siehe</i> Geschwindigkeit bei Blutlaktatwert von 4 mmol/L
VO ₂	<i>Siehe</i> Sauerstoffaufnahme
VO _{2max}	<i>Siehe</i> maximale Sauerstoffaufnahme
γ-GT.....	<i>Siehe</i> Gamma-Glutamyltransferase

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Zeitlicher Ablauf der Energiebereitstellung.....	3
Abb.2: Anteil der verfügbaren Energie bei über mehrere Stunden anhaltender Ausdauerleistung	5
Abb.3: Wege des Laktats während Belastung (A) und in der Erholungsphase (B).....	7
Abb. 4: Geschwindigkeit in Relation zur Blutlaktatkonzentration bei untrainierten und trainierten Trabern	8
Abb. 5: Herzfrequenzen zu Beginn der Belastung bei 6 Trabern	12
Abb. 6: Lineare Beziehung zwischen Herzfrequenz (Heart rate) und Geschwindigkeit (Speed) bei einem Rennpferd.....	13
Abb. 7: Herzfrequenzen in Abhängigkeit zur gelaufenen Geschwindigkeit vor (gestrichelte Linie) und nach (durchgezogene Linie) dem Training.....	15
Abb. 8: Positionierung des Elektrodengurtes und Herzfrequenzsensors	44
Abb. 9: Beispiel für eine Herzfrequenz (rot)- und Geschwindigkeitskurve (blau) auf Polar Flow	44
Abb. 10: Mittlere Laktatkonzentrationen der 4 Belastungstest zu den verschiedenen Blutentnahmezeitpunkten	48
Abb. 11: Mittlere Laktatkonzentrationen in Belastungstest 1 der Longier- und Schwimmgruppe	50
Abb. 12: Mittlere Laktatkonzentrationen in Belastungstest 2 der Longier- und Schwimmgruppe	51
Abb. 13: Mittlere Laktatkonzentrationen in Belastungstest 3 der Longier- und Schwimmgruppe	52
Abb. 14: Mittlere Laktatkonzentrationen in Belastungstest 4 der Longier- und Schwimmgruppe	54
Abb. 15: Laktatwertdifferenzen von Test 1 zu 4 der Longier- und Schwimmgruppe.....	56

Abb. 16: Mittelwerte der mittleren Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in den verschiedenen Belastungsstufen der Tests 1-4	58
Abb. 17: Herzfrequenzdifferenzen der Schwimm- und Longiergruppe im Trab von Test 1 zu 4.....	60
Abb. 18: Herzfrequenzdifferenzen der Schwimm- und Longiergruppe in Belastungsstufe Galopp 1 von Test 1 zu 4	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abb. 19: Herzfrequenzdifferenzen der Schwimm- und Longiergruppe in Belastungsstufe Galopp 2 von Test 1 zu 4	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abb. 20: Herzfrequenzdifferenzen der Schwimm- und Longiergruppe in Belastungsstufe Galopp 3 von Test 1 zu 4	64
Abb. 21: Mittelwerte der maximalen Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4.....	65
Abb. 22: Differenzen der maximalen Herzfrequenzen von Test 1 zu 4 der Schwimm- und Longiergruppe.....	67
Abb. 23: Mittlere Beruhigungszeiten der Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4	68
Abb. 24: Differenzen der Beruhigungszeiten von Test 1 zu 4 der Schwimm- und Longiergruppe.....	69
Abb. 25: Korrelation der Geschwindigkeiten ($V_{Galopp1}$) und der Herzfrequenzen ($HF_{Galopp1}$) der Longier- und Schwimmgruppe in Belastungsstufe Galopp 1	71
Abb. 26: Korrelation der Geschwindigkeiten ($V_{Galopp1}$) und der Herzfrequenzen ($HF_{Galopp1}$) in Stufe Galopp 1 aufgeteilt nach Longier- und Schwimmgruppe.....	71
Abb. 27: Korrelation der Geschwindigkeiten ($V_{Galopp2}$) und der Herzfrequenzen ($HF_{Galopp2}$) der Longier- und Schwimmgruppe in Belastungsstufe Galopp 2	73
Abb. 28: Korrelation der Geschwindigkeiten ($V_{Galopp2}$) und der Herzfrequenzen ($HF_{Galopp2}$) in Stufe Galopp 2 aufgeteilt nach Longier- und Schwimmgruppe.....	73
Abb. 29: Korrelation der Geschwindigkeiten ($V_{Galopp3}$) und der Herzfrequenzen ($HF_{Galopp3}$) der Longier- und Schwimmgruppe in Belastungsstufe Galopp 3	75

Abb. 30: Korrelation der Geschwindigkeiten (V_{Galopp3}) und der Herzfrequenzen (HF_{Galopp3}) in Stufe Galopp 3 aufgeteilt nach Longier- und Schwimmgruppe.....	75
Abb. 31: Gesamtansicht des Pferdeschwimmbades des TMBZ Seehof von der Rampe aus .	117
Abb. 32: Schwimmendes Pferd.....	117

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht der Studien zum Thema Schwimmen als Trainingsmethode	22
Tab. 2: Verteilung nach Alter, Rasse, Geschlecht, Verwendungszweck, Einteilung in die Gruppen und zugehöriger Reiter.....	32
Tab. 3: Richtlinien für das Reittraining	34
Tab. 4: Auswertung der Reitprotokolle	35
Tab. 5: Aufbau und Steigerung des Longiertrainings.....	36
Tab. 6: Aufbau und Steigerung des Schwimmtrainings	39
Tab. 7: Zeitlicher Ablauf des Trainings und Zeitpunkte der Belastungstests.....	40
Tab. 8: Aufbau des Belastungstests des TMBZ Seehof.....	41
Tab. 9: Zeitpunkte der Blutentnahme und Herzfrequenzmessung	42
Tab. 10: Mittlere Plasmalaktatwerte aller Belastungstests (Test 1-4)	47
Tab. 11: Mittlere Laktatkonzentrationen in Test 1 zu den verschiedenen Messzeitpunkten (p0, p01, p15, p30)	49
Tab. 12: Mittlere Laktatkonzentrationen in Test 2 zu den verschiedenen Messzeitpunkten (p0, p01, p15, p30)	50
Tab. 13: Mittlere Laktatkonzentrationen in Test 3 zu den verschiedenen Messzeitpunkten (p0, p01, p15, p30)	52
Tab. 14: Mittlere Laktatkonzentrationen in Test 4 zu den verschiedenen Messzeitpunkten (p0, p01, p15, p30)	53
Tab. 15: Differenzen der mittleren Laktatwerte aus Test 1, 2, 3 und 4 der Longier- und Schwimmgruppe	55
Tab. 16: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4 in Ruhe und zu den verschiedenen Belastungsstufen Trab und Galopp 1-3.....	57
Tab. 17: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe im Trab von Test 1-4 (HF_Trab_test) und ihre Differenzen (HF_trab_diff)	59

Tab. 18: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Galopp 1 von Test 1-4 (HF_Galopp1_test) und ihre Differenzen (HF_Galopp1_diff).....	60
Tab. 19: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Galopp 2 von Test 1-4 (HF_Galopp2_test) und ihre Differenzen (HF_Galopp2_diff).....	62
Tab. 20: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Galopp 3 von Test 1-4 (HF_Galopp3_test) und ihre Differenzen (HF_Galopp3_diff).....	63
Tab. 21: Maximale Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4.....	65
Tab. 22: Maximale Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1 und 4 (HF_Max_test1 bzw. 4) und ihre Differenzen (HF_Max_diff).....	66
Tab. 23: Mittlere Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4	67
Tab. 24: Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1 und 4 (HF_u65_test1 bzw. 4) und ihre Differenzen (HF_u65_diff)	69
Tab. 25: Mittlere Geschwindigkeit (V) und mittlere Herzfrequenz (HF) in Belastungsstufe Galopp 1 der Longier- und Schwimmgruppe	70
Tab. 26: Mittlere Geschwindigkeit (V) und mittlere Herzfrequenz (HF) in Belastungsstufe Galopp 2 der Longier- und Schwimmgruppe	72
Tab. 27: Mittlere Geschwindigkeit (V) und mittlere Herzfrequenz (HF) in Belastungsstufe Galopp 3 der Longier- und Schwimmgruppe.....	74
Tab. 28: Erreichte Zeiten und Geschwindigkeiten aller Pferde in allen Belastungstests.....	118
Tab. 29: Wetter- und Bodenbedingungen während der Belastungstests	120

1. Einleitung

Das Schwimmen von Pferden als Trainingsmethode ist schon seit Jahrzehnten bekannt. Die ersten Schwimmbäder für Pferde wurden laut Swanstrom und Lindy (1973) in den USA (Kalifornien und Florida) nach dem 2. Weltkrieg gebaut. Seitdem verbreitete sich das Schwimmen vor allem im Rennsport als Trainingsalternative in der ganzen Welt.

In zahlreichen Studien wurden bereits die Auswirkungen des Schwimmtrainings auf kardiorespiratorische und hämatologische Parameter sowie die Muskulatur untersucht (Asheim et al., 1970; Bartmann, 1991; Davie et al., 2008; Fregin & Nicholl, 1977; Hobo et al., 1998; Jones et al., 2020; Klomp et al., 2014; Milne et al., 1977; Misumi et al., 1995, 1994b; Murakami et al., 1976; Thomas et al., 1980; Tokuriki et al., 1999).

Auch die Anwendung als Therapie und zur Rehabilitation wurde bereits mehrfach beschrieben (Adair, 2011; Auer, 1980; Bartmann, 1991; Descompts, 1980; Irwin & Howell, 1980; Monk, 2007; Swanstrom & Lindy, 1973). Steel et al. (2019) kommen in ihrer Studie mit einer groß angelegten Umfrage unter 270 Renntrainern in Australien jedoch zu dem Schluss, dass Schwimmen häufig als Training zur Fitnesssteigerung oder als Rehabilitationsmaßnahme nach orthopädischen Verletzungen angewandt wird, der optimale Einsatz von Schwimmen jedoch vor allem hinsichtlich Dauer, Intensität und Art (Intervalle oder konstantes Schwimmen) des Schwimmtrainings nach wie vor unklar ist.

In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, ob durch das Schwimmtraining die Ausdauerleistungsfähigkeit der Pferde mehr gesteigert werden kann als durch Reiten und Longieren. Außerdem soll geklärt werden, ob sich der verwendete Trainingsplan für das Schwimmen der Pferde eignet, um in 6 Wochen effektiv Kondition aufzubauen.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen eine Einschätzung des Schwimmens sowohl als Trainings- als auch als Therapiemöglichkeit abgeben und einen sinnvollen Trainingsplan für das Schwimmen bewerten, um Schwimmen in Zukunft besser als Trainings- und Rehabilitationsmaßnahme einsetzen zu können.

2. Literatur

2.1. Leistungsphysiologische Parameter zur Beurteilung von Fitness und Trainingserfolg

Zur Beurteilung des Trainingszustandes und der Leistungsfähigkeit von Pferden können verschiedene Parameter herangezogen werden. Die in der Literatur häufig verwendeten Parameter Herzfrequenz (HF) während und Blutlaktatwert nach standardisierten Belastungen sind leicht zu erheben und liefern eine gute Aussage über die aerobe Kapazität und somit die Ausdauerleistungsfähigkeit eines Pferdes (von Engelhardt, 2015).

2.1.1. Laktat

2.1.1.1. Entstehung von Laktat

Laktat ist ein Stoffwechselprodukt, welches bei der Energiebereitstellung durch anaerobe Glykolyse entsteht.

Als Glykolyse bezeichnet man den Abbau von Glucose und Glykogen (Speicherform der Glucose in der Muskulatur) zur Energiegewinnung, also zur Bereitstellung von Adenosintriphosphat (ATP). Zunächst werden Glucose und Glykogen zu Pyruvat abgebaut. Bei der weiteren Glykolyse können nun zwei Wege beschritten werden, der aerobe und der anaerobe Weg.

Aerobe Glykolyse

Bei der aeroben Glykolyse wird das Pyruvat durch oxidative Decarboxylierung in Acetyl-Co-A umgewandelt, welches anschließend in den Citratzyklus eingeschleust wird. Über den Citratzyklus und die anschließende Atmungskette wird das Acetyl-CoA komplett abgebaut zu CO₂ und H₂O. Dieser Weg ist sehr effektiv, da aus einem Mol Glucose 36-38 Mol ATP entstehen (von Engelhardt, 2015).

Anaerobe Glykolyse

Bei der anaeroben Glykolyse wird das Pyruvat unter Abwesenheit von Sauerstoff durch das Enzym Laktat-Dehydrogenase (LDH) zu Laktat und Wasserstoffionen (H^+) reduziert. Auf diesem Weg entstehen jedoch aus 1 Mol Glucose nur 2 Mol ATP (Horn, 2012; Votion, 2013).

2.1.1.2. Zeitlicher Ablauf der Energiebereitstellung

Der Zeitliche Ablauf der Energiebereitstellung wird in Abbildung 1 (Abb. 1) dargestellt.

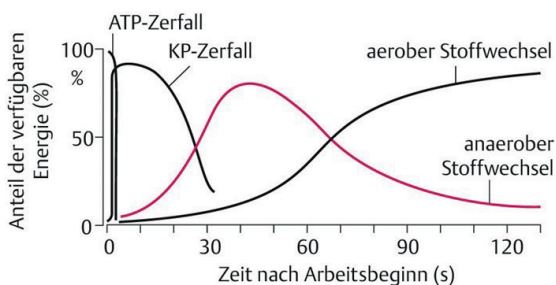


Abb.1: Zeitlicher Ablauf der Energiebereitstellung, Quelle: von Engelhardt, 2015, S. 633

Unter Belastung wird zunächst das in den Muskelzellen gespeicherte ATP verbraucht. Es ist sofort verfügbar, reicht jedoch nur für die ersten Sekunden. Aus Kreatinphosphat (KP) kann durch das Enzym Creatinkinase (CK) ATP schnell regeneriert werden. Dieses wird in den folgenden 10-25 Sekunden verbraucht. Durch anaerobe Glykolyse wird anschließend das energiearme Adenosindiphosphat (ADP) aus Glucose in energiereiches ATP umgewandelt. Nach 60 Sekunden setzt erst die aerobe Glykolyse ein.

Neben Glucose dienen Freie Fettsäuren (FFS) als wesentlicher Energielieferant. In Abhängigkeit der jeweiligen Fettsäure entstehen durch β -Oxidation je Mol ca. 140 Mol ATP.

Die Art der Glykolyse hängt im weiteren Verlauf von der Dauer und Intensität der Belastung ab (von Engelhardt, 2015).

2. Literatur

Für kurze intensive Belastungen wie Sprints, schwere statische Muskelarbeit oder Belastungen im Schnellkraftbereich wird die benötigte Energie vor allem aus der anaeroben Glykolyse bereitgestellt (Brooks & Gladden, 2003). Ein Quarterhorse beispielsweise läuft kurze Distanzen in Höchstgeschwindigkeiten (Distanz 400 m, Spitzengeschwindigkeiten von bis zu $1200 \text{ m} \times \text{min}^{-1}$) und bezieht ca. 80 % des benötigten ATPs aus Kreatinphosphat, 18% durch anaerobe Glykolyse und nur ca. 2 % aus dem aeroben Stoffwechsel. Ein Vollblüter galoppiert eine Distanz von 2400 m in ca. 2 Minuten. Er bezieht den Hauptteil seiner Energie aus der anaeroben Glykolyse (70%), 25% aus dem aeroben Stoffwechsel und nur ca. 5 % aus dem Kreatinphosphat (von Engelhardt, 2015).

Bei leichter bis mittelschwerer Arbeit und bei Ausdauerleistungen steht der aerobe Stoffwechsel im Vordergrund. Für eine optimale Ausdauerleistungsfähigkeit wird ein hoher Anteil aerober Glykolyse in Zusammenhang mit einer möglichst niedrigen Laktatproduktion durch anaeroben Stoffwechsel angestrebt. Dies hängt zusammen mit einer maximalen Sauerstoffversorgung der quergestreiften Muskulatur durch eine entsprechend gesteigerte Kapillardurchblutung. Bei länger andauernder muskulärer Ausdauerleistung gewinnt die Fettoxidation immer mehr an Bedeutung, wo hingegen die aerobe Glykolyse wieder abnimmt, da die Muskelglykogendepots dann weitgehend erschöpft sind (Huber, 2015).

Vielseitigkeitspferde werden wechselnden Belastungen ausgesetzt. Hier wird der Anteil der aeroben Glykolyse auf ca. 50% geschätzt, der anaerobe Stoffwechsel auf 40 % und ATP aus Kreatinphosphat auf 10%. Ein Distanzritt von mehr als 60 km Länge fällt fast vollständig in den aeroben Stoffwechsel. Ein solches Pferd bezieht ca. 94% aus der aeroben Glykolyse, 5% aus der anaeroben Glykolyse und nur noch 1 % aus dem Kreatinphosphat (von Engelhardt, 2015).

Bei Erschöpfung der Glykogenreserven in der Muskulatur kommt es zu einer Steigerung der Glykogenolyse in der Leber und zeitgleich zu einer Steigerung der Lipolyse in den Fettdepots. Zusätzlich beginnen die Leber (80%) und die Nieren (20%) mit der Gluconeogenese, also der Neubildung von Glucose, um den notwendigen Schwellenwert des Blutglucosespiegels aufrecht zu erhalten (vgl. Abb. 2). Sie setzt nach ca. 2,5 bis 3 Stunden Arbeit ein. Für die Gluconeogenese werden überwiegend glucoplastische Aminosäuren aus dem Abbau von Körpereisweiß, Glycerin und Propionat als Freie Fettsäuren aus der Lipolyse (Fettabbau) und Laktat herangezogen (Fuhrmann & Sallmann, 2015).

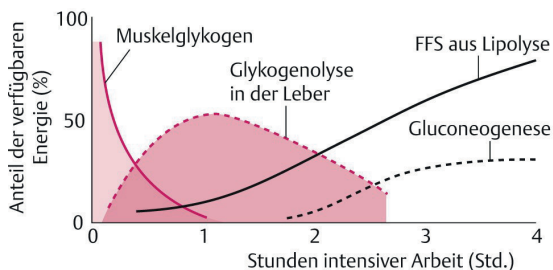


Abb.2: Anteil der verfügbaren Energie bei über mehrere Stunden anhaltender Ausdauerleistung, Quelle: von Engelhardt, 2015, S. 634

2.1.1.3. Laktatakkumulation

Muss das benötigte ATP bei intensiver, länger anhaltender Arbeit wieder vermehrt anaerob gewonnen werden, da der aerobe Stoffwechsel nicht mehr ausreicht, wird in den Muskelzellen vermehrt Laktat gebildet und über Monocarboxylat-Transporter (MCT) aktiv ins Blut abgegeben. Übersteigt die intrazelluläre Laktatkonzentration die Transportkapazität, kommt es zu einer intrazellulären Laktatakkumulation. Durch die Laktatakkumulation steigt auch die intrazelluläre H^+ -Konzentration an, wodurch der intrazelluläre pH-Wert absinkt. Es kommt zu einer intrazellulären Azidose (Hodgson & Rose, 1994). Der niedrigere pH-Wert führt dazu, dass die Actin-Myosin-Brückenbindungen in den Muskelfilamenten nicht mehr vom schwachen in den starken Bindungszustand wechseln können und die Myosin-ATPasen gehemmt werden, wodurch die Kontraktionsgeschwindigkeit reduziert wird. Durch Hemmung der Phosphofruktokinase, dem Schlüsselenzym der aeroben Glykolyse wird die effektive aerobe ATP-Synthese reduziert. Außerdem kommt es zur intrazellulären Verarmung an anorganischem Phosphor, welches jedoch für die ATP-Regeneration notwendig ist. All diese Faktoren führen dazu, dass die Muskelarbeit reduziert oder ganz beendet werden muss. Es kommt zur Ermüdung (Huber, 2015; Rivero & Piercy, 2013).

Die Laktatkonzentration im Plasma, bei der die Sättigung der Transporter erreicht wird, wird als aerob-anaerobe Schwelle oder im Englischen als „anaerobic threshold“ bezeichnet und liegt bei 4 mmol/L (Clayton, 1991; Rivero & Piercy, 2013).

2. Literatur

Sie kann auch angesehen werden als die Belastungsintensität, bei der die Laktatbildung und die Laktatelimination sich gerade noch das Gleichgewicht halten (maximales lactat-steady-state). Bei jeder höheren Belastung wäre ein stetiger Anstieg des Laktatwertes die Folge (Röthig & Prohl, 2003).

Der Begriff der aerob-anaeroben Schwelle stammt ursprünglich aus der Humanphysiologie und wird in der Literatur häufig verwendet, muss aber kritisch betrachtet werden. Zum einen handelt es sich um einen fließenden Übergang von aerobem zu anaeroben Stoffwechsel, zum anderen wurde noch nicht bewiesen, dass bei einem Schwellenwert von 4 mmol/L ein Sauerstoffmangel im Muskel vorliegt (Brooks & Gladden, 2003). Für das Pferd wurde die 4 mmol/L Grenze vom Menschen übernommen, da bisher noch keine eigene Schwelle belegt werden konnte. Aber auch für das Pferd gibt es einige Faktoren, die ein Festlegen auf einen genauen Schwellenwert erschweren. Nach Persson et al. (1983) können unter anderem die Rasse, die Art der Belastung, der Trainingszustand und die In- und Effluxdynamik des Laktats in verschiedene Kompartimente, die durch Messung in einem Kompartiment (Blut) nicht erfasst werden können, den Schwellenwert beeinflussen.

2.1.1.4. Laktatelimination

Das ins Blut abgegebene Laktat wird bis zu 50% in die Erythrozyten aufgenommen (Pösö et al., 1995). Während anhaltender Belastung wird das Substrat hauptsächlich von Leber und Herzmuskulatur verstoffwechselt. In der Leber wird Laktat über die Gluconeogenese wieder in Glucose umgewandelt, welche dann zur Auffüllung der sich entleerenden Glykogenspeicher genutzt werden kann. Die Herzmuskulatur kann Laktat zur direkten Energiegewinnung verwenden. In der Erholungsphase verbraucht jedoch die Muskulatur das meiste Laktat. Durch Beendigung der Arbeit oder Verringerung der Intensität gelangt bei anhaltend hoher Atemfrequenz und nachlassendem Sauerstoffbedarf wieder mehr Sauerstoff in die Muskulatur, wodurch Laktat wieder zu Pyruvat oxidiert werden kann. Da die Skelettmuskulatur einen großen Teil des Körpers ausmacht, wird hier auch der Hauptteil des Laktats abgebaut (Lovell & Rose, 1995). Auf diese Weise werden 90% der Energie der Glucose wieder zurück gewonnen (Pösö, 2002). Die Wege des Laktats während Belastung und Erholungsphase sind in Abb. 3 dargestellt.

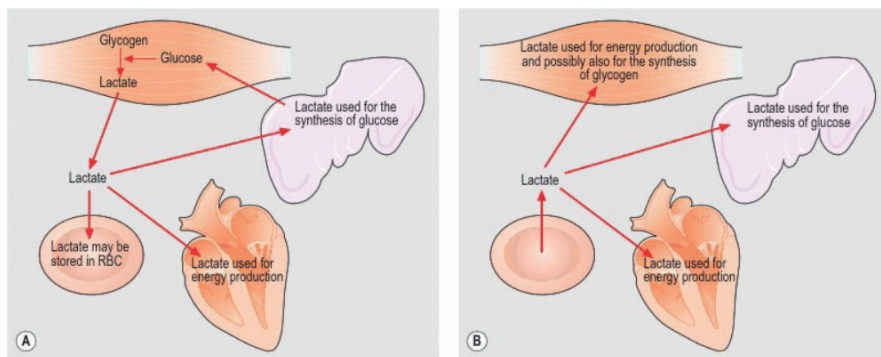


Abb.3: Wege des Laktats während Belastung (A) und in der Erholungsphase (B). RBC (red blood cells, Erythrozyten)
Quelle: Votion, 2013, S. 759

Es findet immer eine Laktatbildung und Elimination statt. In Ruhe herrscht ein Gleichgewicht zwischen Bildung, Transfer ins Blut und Elimination von Laktat, sodass der Laktatwert im Plasma kaum messbar ist. Unter Belastung kann es dann zu einem deutlich messbaren Anstieg der Plasmalaktatkonzentration kommen, der seine Spitze 2-10 Minuten nach Ende der Belastung erreicht (Votion, 2013). Die Eliminationsrate während und nach der Belastung hängt dabei von der Stoffwechselsituation ab. Je höher der Anteil des aeroben Stoffwechsels ist, desto mehr Laktat kann zu Pyruvat oxidiert werden. Das bedeutet, dass in Ruhe in der Muskulatur weniger Laktat umgesetzt wird, als bei leichter Arbeit (Hubbell et al., 1997; Lovell & Rose, 1995; Marlin et al., 1987). Marlin et al. (1987) stellten fest, dass sich die Halbwertszeit des Laktats nach intensiver Arbeit auf dem Laufband bei Pferden mit leichter Arbeit in der Erholungsphase um 50% verringert im Vergleich zu Pferden, die in der Erholungsphase stehen.

Brooks und Gladden (2003) bestätigten in ihrer Arbeit, dass die Laktatumsatzrate unter Belastung steigt und so das Laktat bis zu 75% über Oxidation in der Muskulatur eliminiert wird und nur noch zu 10-25% über Gluconeogenese in der Leber.

2.1.1.5. Laktat als Belastungsindikator

Der Blutlaktatwert wird weit verbreitet als Indikator für Trainingsintensität und Leistungsfähigkeit von Pferden verwendet (Eto et al., 2004). Er lässt Rückschlüsse zu auf die aerobe Stoffwechsellkapazität und somit auf die Ausdauerleistungsfähigkeit des Sportpferdes (von Engelhardt, 2015).

2. Literatur

Williamson et al. (1996), Persson et al. (1983) und Seeherman & Morris (1990) stellten fest, dass sich die Erhebung der Blutlaktatwerte gut eignet, um die Fitness von Sportpferden zu beurteilen. Häufig wird der Laktatwert auch in Relation zur gelaufenen Geschwindigkeit gesetzt. In einer Studie zeigten Sobotta et al. (2001), dass unter Belastung die Höhe der Blutlaktatwerte die gelaufene Geschwindigkeit und die Dauer der Belastung widerspiegeln. Auch Seeherman & Morris (1990) zeigten in ihrer Studie, dass unter Belastung der Blutlaktat Spiegel und die gelaufene Geschwindigkeit einen exponentiellen Zusammenhang aufweisen. Die Geschwindigkeit wird meist als V_{La4} (Geschwindigkeit bei Blutlaktatwerten von 4 mmol/L) angegeben (von Engelhardt, 2015; Votion, 2013). Sie steigt bei trainierten Pferden im Vergleich zu untrainierten Pferden an. Thornton et al. (1983) verglichen hierzu Traber nach 5 Wochen Training und dieselben Pferde nach 5 Wochen Trainingspause. Die untrainierten Traber erreichten im Schnitt eine V_{La4} von 7 m/s, am Ende der Trainingsphase lag ihre durchschnittliche V_{La4} bei 8 m/s. Von Engelhardt (2015) stellt die Ergebnisse von Thornton et al. (1983) in einer modifizierten Grafik (Abb. 4) da.

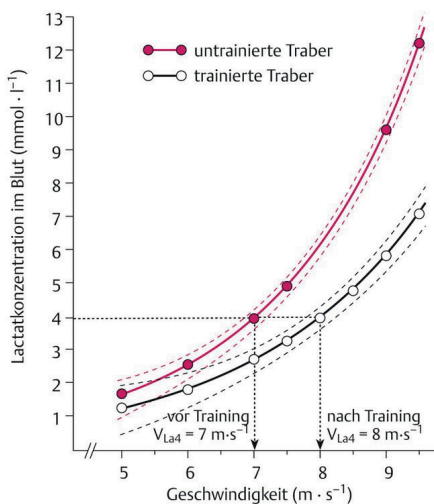


Abb. 4: Geschwindigkeit in Relation zur Blutlaktatkonzentration bei untrainierten und trainierten Trabern, Quelle: von Engelhardt, 2015, S. 646 nach Thornton et al., 1983

2.1.1.6. Physiologische Veränderungen durch Training

Durch Training kann die aerobe Kapazität der Muskulatur verbessert und somit die Laktatproduktion reduziert werden. Wiederholte Trainingsreize können zu einer veränderten Zusammensetzung der Muskelfasertypen (Erhöhung der oxidativen Muskelfasern, Typ-IIA im Vergleich zu Typ-IIb), der Zunahme der Muskelfasergröße und zu einer verbesserten Kapillarisation in der Skelettmuskulatur führen (Rivero et al., 1995; Rivero & Piercy, 2013). Außerdem kommt es zu einer Erhöhung der Glykogenspeicherkapazität in der Muskulatur (Gansen et al., 1999; Hinchcliff et al., 2002), und zu einem Anstieg der Mitochondrienanzahl in den Muskelzellen um bis zu 70% im Vergleich zu untrainierten Pferden (Kayar et al., 1989; Straub et al., 1983). Straub et al. (1983) konnten bei trainierten Pferden eine Volumenzunahme der Mitochondrien in der Muskulatur um bis zu 70% feststellen im Vergleich zu vor dem Training.

Training beeinflusst auch die Laktateliminationsrate positiv, da vermehrt MCT Proteine gebildet werden, die für den Transport von Laktat aus der Zelle verantwortlich sind. Trainierte Pferde können schneller Laktat abtransportieren und verstoffwechseln (Donovan & Brooks, 1983; Phillips et al., 1995). Sie weisen daher niedrigere Plasmalaktatwerte während Belastung auf als untrainierte Pferde (Rainger et al., 1994; Ronéus et al., 1994) und können höhere Geschwindigkeiten laufen, bevor sie die aerob-anaerobe Schwelle erreichen (Thornton et al., 1983; Valberg et al., 1985).

2.1.1.7. Laktatanalyse

Die größte Aussagekraft hinsichtlich der Laktatkonzentration und des in den Muskelzellen ablaufenden Stoffwechsels liefert die Laktatanalyse aus einer direkt aus der Muskulatur gewonnene Probe (Muskelbiopsie) oder aus einer den Muskel direkt versorgenden Vene oder Arterie gewonnene Blutprobe (Votion, 2013). Da die Gewinnung dieser Proben jedoch einen erheblichen Eingriff am Tier darstellt und die Laktatwertmessung aus venösem Blut aus der Vena jugularis externa auch eine gute Aussagekraft besitzt, sollte die weitaus weniger belastende Entnahme venösen Blutes den invasiveren Probenentnahmen aus tierschutzrechtlichen Gründen immer vorgezogen werden. Um Blutlaktatwerte richtig interpretieren zu können, ist eine möglichst gute Standardisierung bei der Probenentnahme und Probenanalyse angezeigt (Votion, 2013).

2. Literatur

Zum einen hat der Blutentnahmeort wichtige Auswirkungen auf das Ergebnis, da sich die Blutlaktatkonzentrationen in venösem und arteriellen Blut unterscheiden (Harris & Snow, 1988). Zum anderen muss bei der Probenanalyse zwischen Laktatwerten aus Plasma- und aus Vollblutproben unterschieden werden. Für Persson et al. (1995) und Pösö et al. (1995) besteht eine enge Korrelation zwischen Vollblut- und Plasmalaktatwerten, obwohl bis zu 50% des Laktats in Erythrozyten aufgenommen wird. Hierbei kann die Pferdepopulation aufgeteilt werden in eine große Gruppe, die erblich bedingt eine hohe Laktataufnahmeaktivität in Erythrozyten besitzt und in eine Gruppe mit niedriger Laktataufnahmeaktivität. Außerdem spielen auch das Alter, der Trainingszustand, der pH-Wert und die Körpertemperatur eine Rolle (Väihkönen et al., 2002; Väihkönen & Pösö, 1998). Laktatkonzentrationen aus Vollblutproben fallen daher immer etwas niedriger aus als im Plasma. Für Ferrante (1995) eignet sich die Laktatmessung im Plasma jedoch besser für die Beurteilung während der Belastung, da sie nicht durch die Entspeicherung der Milz und somit einem erhöhten Anteil an Erythrozyten im Blut beeinflusst wird. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, muss daher die relative Aussagekraft der erhobenen Laktatwerte in verschiedenen Studien berücksichtigt werden (Pösö, 2002).

2.1.2. Herzfrequenz

2.1.2.1. Allgemeines zum Herz

Das **Herzgewicht** beim Pferd beträgt 0,9-1,1% des Körpergewichts (Poole & Erickson, 2011; Webb & Weaver, 1979). Trainierte Pferde weisen ein geringgradig höheres relatives Herzgewicht auf (1,1%) als untrainierte Pferde (0,94%), was auf eine Hypertrophie der Herzmuskulatur durch Training zurückgeführt werden kann (Evans, 2007). Das Herzgewicht unterscheidet sich auch in verschiedenen Rassen. So haben Rennpferde im Durchschnitt ein höheres Herzgewicht als Araber und Kaltblüter (Kline & Foreman, 1991). Das höchste bisher gemessene Herzgewicht gehörte dem Rennpferd Sham (geboren 1970) mit 8,2 kg, das Herz des Ausnahmerennpferdes Secretariat (geboren 1970) wurde nicht gewogen, aber auf 10 kg geschätzt (Poole & Erickson, 2013).

Das **Herzschlagvolumen** bezeichnet das pro Herzschlag aus den Ventrikeln ausgeworfene Blutvolumen und wird in ml/Herzschlag angegeben.

Beim Pferd beträgt es in Ruhe um die 1000 ml und kann unter Belastung auf bis zu 1700 ml ansteigen (McDonough et al., 2002; Thomas & Fregin, 1981).

Das **Herzminutenvolumen** wird definiert als das Blutvolumen, das pro Minute aus dem Herzen in den Körper gepumpt wird (L/min oder ml/kg/min) und ergibt sich aus dem Herzschlagvolumen mal der Herzfrequenz. Es liegt beim Pferd zwischen 90-220 L/min, für Ausnahmepferde auch 400-550 L/min (Young et al., 2002). Die Erhöhung des Herzminutenvolumens unter Belastung erfolgt hauptsächlich über eine Zunahme der Herzfrequenz und weniger über das Herzschlagvolumen. Es ist der wichtigste Faktor zur Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) und somit der Sauerstoffverfügbarkeit in der Muskulatur (Poole & Erickson, 2013).

2.1.2.2. Definition Herzfrequenz, Ruheherzfrequenz

Die Herzfrequenz bezeichnet die Anzahl der Herzkontraktionen pro Zeiteinheit und wird in Schläge pro Minute (Schläge/min) oder beats per minute (bpm) angegeben. In Ruhe liegt die Herzfrequenz bei Pferden zwischen 25-40 bpm. Sie kann durch Aufregung oder Angst sehr schnell auf bis zu 110 bpm ansteigen, was durch die Steuerung durch den Parasympathikus erklärt wird (Evans, 2007; Hamlin et al., 1972).

Durch Training sinkt die Ruheherzfrequenz beim Menschen, was auch bei trainierten Pferden festgestellt wurde (Littlejohn, 1987; Sexton et al., 1987). Allerdings konnten Bayly et al. (1983), Poole & Erickson (2013), Skarda et al. (1976) und Thomas et al. (1983) dies in ihren Studien nicht bestätigen. Die Ruheherzfrequenz eignet sich daher nicht als Beurteilungskriterium für die Fitness beim Pferd (Hodgson, 2014).

2.1.2.3. Maximale Herzfrequenz

Als maximale Herzfrequenz bezeichnet man die höchste Herzfrequenz, die bei maximaler Arbeit erreicht wird (HF_{max}). Sie erreicht bei intensiver Arbeit ein Plateau, von wo aus sie sich trotz weiter steigender Arbeitsintensität bzw. Laufgeschwindigkeit nicht mehr erhöht (von Engelhardt, 2015). Je nach Autor kann sie bei trainierten Pferden 204-241 bpm erreichen (von Engelhardt, 2015; Hodgson, 2014; Poole & Erickson, 2013). Unter maximaler Belastung kann die HF_{max} innerhalb von 22 Sekunden (Krzywanek et al., 1970) bzw. nach 20-30 Sekunden (Marlin & Nankervis, 2002) erreicht werden. Beim Menschen nimmt sie gemäß dem Alter um 1 Schlag/min/Jahr ab (Brooks et al., 1996).

2. Literatur

Auch für das Pferd konnte eine Abnahme der HF_{max} mit zunehmendem Alter belegt werden (Betros et al., 2002; Vincent et al., 2006). Die HF_{max} kann nicht durch Training gesteigert werden (Couroucé et al., 2002; Evans & Rose, 1988a; Seeherman & Morris, 1991) und ist daher kein aussagekräftiger Parameter für die Beurteilung von Fitness und Trainingserfolg beim Pferd.

2.1.2.4. Herzfrequenz bei submaximaler Belastung

Zu Beginn einer submaximalen Belastung steigt die Herzfrequenz durch den verminderten Einfluss des Parasympathikus schnell bis auf ein Plateau bei ca. 110 bpm an. Aufgrund der Beteiligung des Parasympathikus kann es jedoch bei niedrigen Laufgeschwindigkeiten zu einem Überschießen der Herzfrequenz über das Plateau hinaus kommen, sie pendelt sich nach 30-45 Sekunden aber wieder ein (Evans & Rose, 1988a; Hamlin et al., 1972; Lindholm & Saltin, 1974). Bei höherer Belastung steigt die Herzfrequenz ab 110 bpm etwas langsamer an, bis sie nach 2-3 Minuten ebenfalls ein Plateau erreicht (steady state). Sie wird durch den Sympathikus und/oder eine Catecholamin-Ausschüttung gesteuert. Die genauen Mechanismen sind noch nicht abschließend geklärt (Hodgson, 2014; Poole & Erickson, 2013). Abb. 5 zeigt die Herzfrequenzen zu Beginn der Belastung in der Studie von Evans & Rose (1988a), bei der 6 Traber in unterschiedlichen Geschwindigkeiten in Bezug auf die VO_{2max} (50% VO_{2max} , 75% VO_{2max} und 100% VO_{2max}) liefen. Nur bei der langsamsten Geschwindigkeit bei 50% VO_{2max} konnte das Überschießen der Herzfrequenz dargestellt werden.

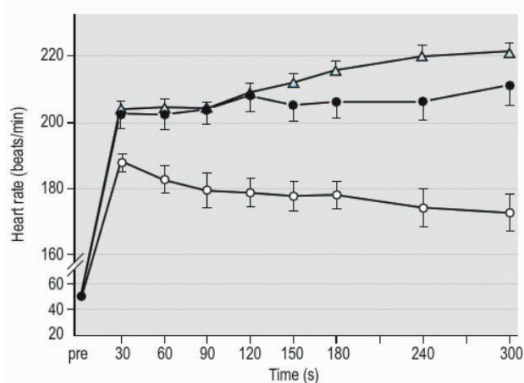


Abb. 5: Herzfrequenzen zu Beginn der Belastung bei 6 Trabern (Kreis hohl: 50% VO_{2max} , Kreis schwarz: 75% VO_{2max} , Dreieck: 100% VO_{2max}). Quelle: Votion, 2013, S.680 nach Evans & Rose, (1988a)

Unter gleichbleibender submaximaler Belastung wird die Herzfrequenz konstant auf einem Plateau gehalten (von Engelhardt, 1977; Evans, 2007). Bei lang andauernder, anstrengender submaximaler Arbeit kann es jedoch zu einem weiteren graduellen Anstieg der Herzfrequenz (cardiovascular drift) bei gleichbleibender Geschwindigkeit kommen (Evans, 2007; Thomas & Fregin, 1990). Es besteht eine lineare Beziehung zwischen Herzfrequenz und Laufgeschwindigkeit, sowie zwischen der prozentualen HF_{\max} und der prozentualen $VO_{2\max}$ im submaximalen Bereich (vgl. Abb. 6), welche bei maximaler Belastung verloren geht (Lindholm & Saltin, 1974; Poole & Erickson, 2013; Thomas & Fregin, 1981). Die Linearität ist in einem Bereich von 120-210 bpm präzise und reproduzierbar (von Engelhardt et al. 1973).

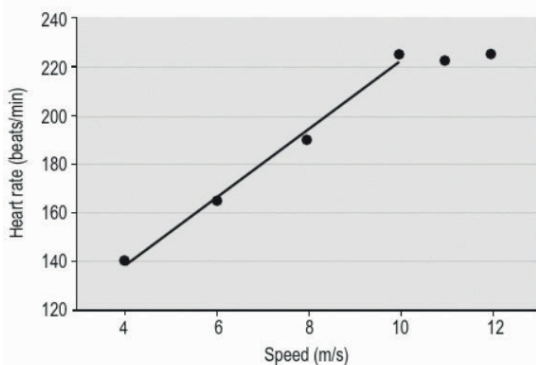


Abb. 6: Lineare Beziehung zwischen Herzfrequenz (Heart rate) und Geschwindigkeit (Speed) bei einem Rennpferd, Quelle: Votion, 2013, S. 681

2.1.2.5. Herzfrequenzberuhigung nach Belastung

Nach Beendigung einer Belastung fällt die Herzfrequenz innerhalb der ersten 60 Sekunden steil ab (Banister & Purvis, 1968; Evans, 2007). Danach sinkt sie deutlich langsamer, bis sie sich nach 20-60 Minuten wieder auf dem Niveau der Ruheherzfrequenz vor der Belastung befindet (Persson & Lydin, 1973; Physick-Sheard, 1985). Nach maximaler Belastung beruhigt sich die Herzfrequenz langsamer und erreicht das Ausgangsniveau erst frühestens nach 60 Minuten, wohingegen nach submaximaler Belastung die Ruheherzfrequenz bereits nach 20-30 Minuten erreicht wird (Physick-Sheard, 1985). Die Beruhigungszeit der Herzfrequenz ist auch abhängig vom Trainingszustand des Pferdes (Ehrlein et al., 1970). Trainierte Pferde kehren schneller zu ihrer individuellen Ruheherzfrequenz zurück als untrainierte Pferde.

2. Literatur

Vor allem bei Distanzritten wird dieser Parameter zur Beurteilung der Fitness der Pferde verwendet. Bei den Verfassungskontrollen während eines Distanzrittes muss sich die Herzfrequenz abhängig von Ort und Art der Veranstaltung auf unter 55-64 bpm beruhigen, bevor das Pferd weiterlaufen darf (Barnes, 2014; Madsen et al., 2014). Nach Cardinet et al. (1963) sind die Herzfrequenzen nach Belastung bei leistungsschwächeren Distanzpferden höher als bei erfolgreicheren Pferden. Rose (1983) untersuchte Distanzpferde bei der Verfassungskontrolle nach der Hälfte des Rennens. Sie fand heraus, dass die Pferde, die nach 30-minütiger Pause noch immer eine Herzfrequenz von über 65-70 bpm aufwiesen und trotzdem das Rennen weiterliefen, häufig am Ende des Rennens eine schwerwiegende Dehydratation und Erschöpfung entwickelten.

Für Vollblüter zeigten Foreman et al. (1990) und Hada et al. (2006) und für Warmblüter Bitschnau et al. (2010) in ihren Studien, dass sich die Beruhigungszeiten der Herzfrequenz durch Training verkürzen ließen. Daher zeigt dieser Parameter unter standardisierten Bedingungen eine gute Aussagekraft hinsichtlich der Fitness und des Trainingserfolgs von Pferden.

2.1.2.6. Herzfrequenzmessung zur Beurteilung von Fitness

Das Herz passt sich wiederholter erhöhter Belastung (Training) durch Hypertrophie der Herzmuskulatur an. Dadurch erhöht sich das Schlagvolumen und die Herzfrequenz reduziert sich. Gut trainierte Pferde weisen eine niedrigere Herzfrequenz bei gleicher Laufgeschwindigkeit auf als untrainierte Pferde. Unter standardisierten Bedingungen kann daher die Abhängigkeit von Herzfrequenz und Laufgeschwindigkeit als Parameter zur Beurteilung des Trainingszustandes und der Ausdauerleistung von Pferden verwendet werden (von Engelhardt, 2015; Poole & Erickson, 2013). In der Literatur wird hierzu häufig die V_{HF200} (gelaufene Geschwindigkeit bei einer Herzfrequenz von 200 bpm) bzw. V_{HF170} oder V_{HF140} verwendet. Abb. 7 zeigt die von Marlin & Nankervis (2002) gemessenen Herzfrequenzen in Relation zu den gelaufenen Geschwindigkeiten vor und nach dem Training. Die trainierten Pferde erreichten eine V_{HF140} von 420 m/min, im Vergleich zu den untrainierten Pferden mit einer V_{HF140} von 300 m/min.

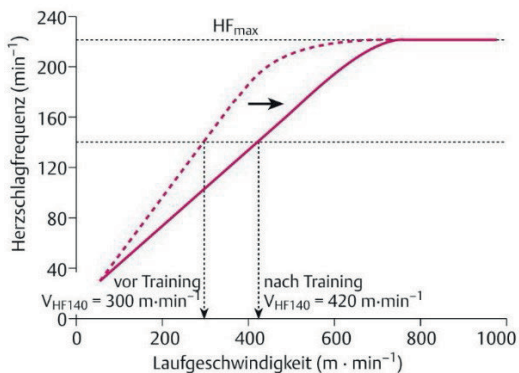


Abb. 7: Herzfrequenzen in Abhängigkeit zur gelaufenen Geschwindigkeit vor (gestrichelte Linie) und nach (durchgezogene Linie) dem Training, Quelle: von Engelhardt (2015), S.646, modifiziert nach Marlin & Nankervis (2002)

Für Evans (2007) eignet sich die V_{HF200} sehr gut, um den Trainingsfortschritt eines individuellen Pferdes zu verfolgen. Vorsicht ist jedoch geboten, wenn die V_{HF200} zum Vergleich verschiedener Pferde herangezogen wird, da jedes Pferd eine unterschiedliche maximale Herzfrequenz aufweist und daher auch die Belastungsintensität bei einer Herzfrequenz von 200 bpm prozentual unterschiedlich ist. Bei der Beurteilung von Herzfrequenzen muss auch beachtet werden, dass diese auf viele Umwelteinflüsse wie Hitze, hohe Luftfeuchtigkeit, Höhe über dem Meeresspiegel, Lahmheit, Stress, Alter, Geschlecht und zu tragendes Gewicht reagiert (Foreman et al., 1990, 1999; Kohn & Hinchcliff, 1995; Persson, 1997; Persson et al., 1996).

Unter Berücksichtigung der oben genannten Einflüsse eignet sich die Herzfrequenzmessung unter submaximaler Belastung und die Beruhigungszeit der Herzfrequenz sehr gut zur Beurteilung der Fitness und des Trainingserfolgs bei Pferden.

2.2. Standardisierte Belastungstests zur Beurteilung von Fitness und Trainingserfolg bei Pferden

Belastungstests werden sowohl beim Menschen als auch beim Pferd durchgeführt, um die aktuelle physische Verfassung möglichst objektiv darzustellen. Sie eignen sich zur Beurteilung von Fitness oder mehrfach angewendet zur Darstellung von Trainingsfortschritten. Da Pferde unterschiedlich auf Trainingsreize reagieren, können mit Hilfe von Belastungstests auch Trainingspläne bewertet und individuell angepasst werden (Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013). Belastungstests für Pferde können unter Laborbedingungen auf dem Laufband oder als Feldbelastungstest z.B. auf einer Rennbahn in der normalen Umgebung des Pferdes durchgeführt werden. Für beide Varianten gibt es Vor- und Nachteile, die im Folgenden erörtert werden.

Belastungstest auf dem Laufband

Belastungstests unter Laborbedingungen werden auf einem Laufband durchgeführt. Da sich dieses vielerorts in einem geschlossenen Raum befindet, können Umwelteinflüsse wie Wetter, Bodenbedingungen und Höhe eliminiert werden (Couroucé-Malblanc & Hodgson, 2014). Es ist eine sehr genaue Durchführung und Wiederholbarkeit der Belastungstests möglich, da die Geschwindigkeiten, die Dauer und der Steigerungsgrad für jede Stufe des Belastungstests genau eingestellt werden können. Außerdem ist das Pferd zu jeder Zeit gut erreichbar für Messungen der kardiorespiratorischen Parameter oder zur Probenentnahme z. B. von Blut (Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013). Die Möglichkeiten zur Messung von Parametern sind sehr vielseitig und nicht darauf beschränkt, ob die Gerätschaften klein genug sind um am Pferd und/oder Reiter angebracht werden zu können. Es eröffnen sich daher ganz andere Möglichkeiten zur Untersuchung der Probanden (Franklin & Allen, 2013).

Nachteilig erweist sich die Anschaffung von teurem Equipment (Laufband, Laborgerätschaften), bzw. der Transport der Pferde in Einrichtungen, die über solches Equipment, sowie über gut geschultes Personal verfügen, welches für die Durchführung der Tests notwendig ist. Einen weiteren Nachteil stellt die evtl. notwendige Gewöhnung der Pferde an die Arbeit auf dem Laufband dar. In manchen Studien findet eine solche Gewöhnung statt, in anderen wird darauf verzichtet (King et al., 1995).

Einige Studien zeigen außerdem, dass die physiologischen Antworten auf Belastungen auf dem Laufband hinter denen unter Feldbedingungen zurückbleiben. Nach Couroucé et al. (1999), Fraipont et al. (2012) und Gottlieb-Vedi & Lindholm (1997) erwiesen sich die gemessenen Herzfrequenzen und Plasmalaktatwerte niedriger auf dem Laufband bei gleicher Belastung als auf der Rennbahn.

Belastungstest unter Feldbedingungen

Für einen Belastungstest unter Feldbedingungen wird das Pferd in gewohnter Umgebung z.B. auf einer Rennbahn/Galoppbahn gearbeitet. Von Vorteil ist die Durchführung des Tests in gewohnter Umgebung für das Pferd. Es muss nicht erst an die Gegebenheiten eines Laufbandes gewöhnt werden. Feldbelastungstests können auch in einer Umgebung durchgeführt werden, die den Wettkampfbedingungen entspricht bzw. an diese angepasst werden (Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013). Auch die Verwendung von teurer oder aufwendiger Ausrüstung entfällt. Durch den geringeren Aufwand bei der Durchführung lassen sich Feldbelastungstests zudem besser in die bestehende Trainingsroutine von Sportpferden integrieren. So kann während der Wettkampfsaison eine regelmäßige und objektive Leistungsentwicklung verfolgt werden (Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013). Durch moderne Technik ist mittlerweile die Erfassung von vielen Parametern möglich. Fortschrittliche Herzfrequenz-Telemetrie, global positioning systems (GPS), tragbare Laktatmessgeräte, widerstandsfähigere und dennoch genaue, handliche Atemmasken etc. ermöglichen heute Messungen, die vor einigen Jahren nur unter Laborbedingungen möglich waren (Couroucé-Malblanc & Hodgson, 2014).

Von Nachteil ist die schwierigere Standardisierung der Feldbelastungstests. Externe Faktoren wie das Klima, Wetter oder die Bodenbedingungen lassen sich nur bedingt beeinflussen. Auch die genaue Reproduzierbarkeit von Geschwindigkeit und Dauer der einzelnen Stufen eines Tests erweisen sich als schwierig (Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013).

Sehr häufig gemessene Parameter unter Feldbedingungen sind Herzfrequenz, gelaufene Geschwindigkeit und Blut- oder Plasmalaktat. Sie bilden häufig die Grundlage eines Belastungstests.

Standardisierung von Feldbelastungstests

Ein sinnvolles Protokoll für einen Belastungstest unter Feldbedingungen beinhaltet nach Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren (2013) eine Aufwärmphase, gefolgt von einer oder mehreren Belastungsstufen, in denen die Belastungsintensität gesteigert wird (Geschwindigkeit, Dauer oder Distanz), Erholungsphasen zwischen den einzelnen Stufen und abschließend eine Abkühlphase. Um einheitliche Ergebnisse zu erhalten und Belastungstests untereinander besser vergleichen zu können, ist eine Standardisierung unumgänglich (Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013). Nach Ihnen müssen hierfür die einzelnen Phasen des Tests, sowie die Zeitpunkte der Blutentnahmen und die Steigerung der Belastungsintensität vor Beginn des Tests festgelegt und genau befolgt werden. Um mehrere Belastungstests untereinander bestmöglich vergleichen zu können, muss außerdem auf gleiche Umweltbedingungen hinsichtlich des Bodens und Wetters geachtet werden.

Bei der Festlegung der Dauer der Belastungsstufen muss des Weiteren berücksichtigt werden, dass die Dauer der einzelnen Stufen ausreichend lang gewählt wird, um ein Plateau (steady state) der Herzfrequenz und des Laktatwertes zu erreichen. Hierfür ist auch eine möglichst konstant gehaltene Geschwindigkeit über die Dauer der gesamten Stufe erstrebenswert. Beim Menschen wird dieses Plateau nach 3-5 Minuten erreicht, Pferde erreichen es möglicherweise früher (Couroucé-Malblanc & Hodgson, 2014; Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013; Evans & Rose, 1988b).

Befolgt man ein standardisiertes Testprotokoll, können die Ergebnisse mit Daten darauffolgender Tests eines Pferdes oder mit Daten von Pferden gleichen Alters und Trainingsstands gut verglichen werden (Couroucé-Malblanc & Hodgson, 2014; Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013).

2.3. Schwimmtraining beim Pferd

2.3.1. Schwimmen als Trainingsmethode

Schwimmen als Training für Pferde ist schon lange bekannt und wird vor allem im Rennsport praktiziert. Wie effektiv diese Trainingsmethode ist und wie das Schwimmtraining gestaltet werden sollte, wurde allerdings noch nicht abschließend untersucht. Steel et al. (2019) kommen nach Auswertung ihrer groß angelegten Umfrage unter 270 Renntainern zum Thema Verwendung von Schwimmtraining bei Trabrennpferden in Australien zu dem Schluss, dass Schwimmen häufig als Training zur Fitnesssteigerung oder als Rehabilitationsmaßnahme nach orthopädischen Verletzungen angewandt wird, der optimale Einsatz von Schwimmen jedoch vor allem hinsichtlich Dauer, Intensität und Art (Intervalle oder konstantes Schwimmen) des Schwimmtrainings noch unklar ist. Bisherige Untersuchungen zum Thema Schwimmen als Trainingsmethode werden im Folgenden aufgeführt und in Tab. 1 zusammengefasst.

Asheim et al. (1970) verglichen 45 Pferde mit unterschiedlichen Arbeitsbelastungen. 25 Pferde liefen Rennen, 10 Pferde wurden in einem Swimming-Pool trainiert, 7 Pferde wurden in einem langsamen Trab gearbeitet und 3 Pferde erhielten nur Koppelgang als Bewegung. Das Schwimmtraining beinhaltete 2 x 900 m und 1 x 1200 m Schwimmen. Sie stellten in ihrer Studie fest, dass das Schwimmtraining einer submaximalen Arbeit im Trab entspricht. Es eignet sich daher als Basistraining oder als Training für Pferde, die Schäden an den Gliedmaßen aufweisen.

Murakami et al. (1976) ließen 4 Vollblüter in verschiedenen Versuchen bis zu 60 Minuten am Stück schwimmen. Sie kamen aufgrund der gemessenen Herzfrequenzen und Blutparameter zu dem Schluss, dass Schwimmen einer Arbeit im schnellen Trab oder langsamen Galopp gleicht. Aufgrund von niedrigen erreichten Laktatwerten handelt es sich des Weiteren um Arbeit im aeroben Bereich. Schwimmen eignet sich nach Ihnen deshalb gut zum Aufbau einer Grundfitness.

Thomas et al. (1980) untersuchten kardiovaskuläre und metabolische Veränderungen bei 5 Pferden durch unterschiedliche Schwimmbelastungen. Hierfür wurde eine an einem Seil befestigte Federwaage mit dem Schweif der Pferde verbunden um die Zugkraft als Arbeitsintensität zu messen.

2. Literatur

Sie stellten eine starke Korrelation der Arbeitsintensität mit der Herzfrequenz und dem Herzminutenvolumen fest. Auch die gemessene Sauerstoffaufnahme stieg linear bis auf Maximalwerte an. Sie schlussfolgerten aus ihren Ergebnissen, dass das Sauerstofftransportsystem und dadurch die aerobe Leistungskapazität durch Schwimmen verbessert werden kann.

1991 führte Bartmann eine erstmals größer angelegte Studie zum Thema Schwimmtraining bei Sportpferden durch. Er ließ insgesamt 55 Pferde über einen Zeitraum von 5 Wochen täglich schwimmen. Nach einer Eingewöhnungszeit von 8-10 Tagen wurde das Schwimmtraining von anfangs 4 Minuten auf 20 Minuten nach 5 Wochen gesteigert. Einmal wöchentlich wurden hämatologische (Laktat, CK, ASAT, γ -GT, GLDH, Bilirubin, Harnstoff, Hämatokrit) und kardiorespiratorische (Herzfrequenz, Atemfrequenz) Parameter vor, während und nach dem Schwimmtraining erhoben und verglichen. Bartmann kam zu dem Schluss, dass die Schwimmarbeit aufgrund der gemessenen Herzfrequenzen mit einer Arbeit im submaximalen Bereich vergleichbar ist und dennoch signifikante Trainingseffekte nach 5-wöchigem Training erzielt werden. Die Trainingseffekte führte Bartmann einerseits auf signifikant gesunkene Laktat- und Hkt-Werte im Verlauf des Trainings zurück, sowie andererseits auf signifikant gesunkene Herz- und Atemfrequenzen während des Schwimmens bzw. direkt nach Ende des Schwimmtrainings und signifikant verkürzte Beruhigungszeiten dieser Parameter in den Erholungsphasen. Durch das Schwimmen wird laut Bartmann die aerobe Kapazität vergrößert und die Ausdauerfähigkeit trainiert.

Misumi et al. (1994b) verglichen verschiedene Trainingsformen über 5 Monate bei 24 Vollblütern. Sie teilten die Pferde in drei Gruppen auf. Gruppe A absolvierte ein klassisches Rennbahntraining, Gruppe B wurde zusätzlich einem sich steigernden Schwimmtraining unterzogen (Monat 1-2: 300 m Schwimmen, 4 x pro Woche, Monat 3-5: 500 m Schwimmen, 4 x pro Woche) und Gruppe C erhielt zusätzlich zum Rennbahntraining ein konstantes Schwimmtraining (Monat 1-5: 300 m Schwimmen, 4 x pro Woche). Aus den erfassten Werten der Belastungstests (Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Blutlaktat) zur Beurteilung des Trainingsfortschritts ergab sich nur für Gruppe B eine signifikante Verbesserung. Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass Schwimmen sinnvoll zur Verbesserung der Fitness in die klassische Trainingsroutine eingegliedert werden kann, wenn es regelmäßig gesteigert wird.

Außerdem stellten sie fest, dass die Pferde in Gruppe B im Testzeitraum deutlich seltener an Lahmheiten erkrankten (12,5%) als Gruppe C (25,0%) und Gruppe A (62,5%).

Davie et al. (2008) trainierten 14 Vollblüter über 9 Wochen in zwei Gruppen im Swimming-Pool und auf der Rennbahn, um herauszufinden, ob das Schwimmtraining eine Auswirkung auf die Herzdimensionen hat. Das Schwimmtraining bestand aus zunächst 4 Minuten Schwimmen, welches jede zweite Woche um 1 Minute (je nach Fitnesszustand) gesteigert wurde. Eine Gruppe absolvierte nur das Rennbahntraining, die andere wurde zusätzlich geschwommen. Der Trainingserfolg wurde nach 9 Wochen mit einem Belastungstest auf dem Laufband und EKG-Messungen evaluiert. Davie et al. konnten keine signifikant höheren Veränderungen der Herzdimensionen der Schwimmgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen. Beide Gruppen zeigten einen Trainingserfolg, wobei die Laktatwerte in der Schwimmgruppe geringgradig niedriger ausfielen. Der Unterschied war aber nicht signifikant.

Auf der folgenden Seite sind in Tab. 1 die Studien zum Thema Schwimmen als Trainingsmethode zusammengefasst.

2. Literatur

Tab. 1: Übersicht der Studien zum Thema Schwimmen als Trainingsmethode

Studie	n	Nutzung	Aufteilung	Schwimmen	Parameter
Asheim et al. (1970)	45	Rennpferd	Gruppe 1: Rennen (n=25)		HF, Laktat, Hb, Hkt
			Gruppe 2: Schwimmen (n=10)	2x900m + 1x1200m	
			Gruppe 3: langsamer Trab (n=7)		
			Gruppe 4: Koppel (n=3)		
Murakami et al. (1976)	4	Rennpferd	1 Gruppe: Versuch 1	5 min, 10 min, 20 min	HF, Hkt, Laktat, Glucose
			Versuch 2	Steigerung 5-20 min über 4 Wochen	
			Versuch 3	60 min am Stück	
Thomas et al. (1980)	5	Rennpferd	1 Gruppe	5 min Aufwärmen, 5 min Schwimmen gegen Widerstand	HF, HZV, SV, Laktat, VO ₂
Bartmann (1991)	55	Sportpferd	1 Gruppe	Steigerung 4-20 min über 5 Wochen	Laktat, CK, ASAT, γ-GT, GLDH, Bilirubin, Harnstoff, Hkt, HF, AF
Misumi et al. (1994b)	24	Rennpferd	Gruppe A: Rennttraining		V, HF, Laktat
			Gruppe B: Rennttraining + gesteigertes Schwimmen	300m 4 x pro Woche (1-2. Monat) 500m 4 x pro Woche (3-5. Monat)	
			Gruppe C: Rennttraining + konstantes Schwimmen	300m 4 x pro Woche (1-5. Monat)	
Davie et al. (2008)	14	Rennpferd	Gruppe 1: Rennttraining		HF, Laktat, Herzseptum+ Ø li. Ventrikel (Systole/ Diastole)
			Gruppe 2: Rennttraining + Schwimmtraining	4 min, Steigerung um 1 min jede 2. Woche über 9 Wochen	

n (Anzahl der Pferde), Hb (Hämoglobin), Hkt (Hämatokrit), HZV (Herzzeitvolumen), SV (Schlagvolumen), VO₂ (Sauerstoffaufnahme), V (Geschwindigkeit)

2.3.2. Veränderungen von leistungsphysiologischen Parametern während des Schwimmens

Kardiovaskuläre, respiratorische und hämatologische Veränderungen durch Schwimmtraining wurden bereits in vielen Studien untersucht.

2.3.2.1. Auswirkungen des Schwimmens auf kardiorespiratorische Parameter

Die **Herzfrequenz** steigt während des Schwimmens im Mittel auf 170,43 bpm (Bartmann, 1991) bzw. 178 ± 14 bpm (Klomp et al., 2014) an. Autoren früherer Studien messen niedrigere mittlere Herzfrequenzen, nämlich 159,20 bpm (Milne et al., 1977), 160,63 bpm (Murakami et al., 1976) bzw. 167,70 bpm (Fregin & Nicholl, 1977).

Die maximal erreichte Herzfrequenz beträgt 190 bpm (Asheim et al., 1970), 199 bpm (Thomas et al., 1980), 207 bpm (Bartmann, 1991), 195 bpm (Hobo et al., 1998) bzw. 202 bpm (Klomp et al., 2014).

Nach Verlassen des Schwimmbeckens beruhigt sich die Herzfrequenz innerhalb von 20 Minuten (Bartmann, 1991) bzw. innerhalb 30 Minuten (Milne et al., 1977) bis 60 Minuten (Fregin & Nicholl, 1977) auf die Ruheherzfrequenz.

Die **Atemfrequenz** während des Schwimmens liegt je nach Autor im Mittel zwischen 25,7 Atemzüge/min (Fregin & Nicholl, 1977) und 28,4 Atemzüge/min (Milne et al., 1977) bzw. 25,5-30,0 Atemzüge/min (Hobo et al., 1998). Beim Verlassen des Swimming-Pools erhöht sie sich schlagartig auf 50,35 Atemzüge/min (Bartmann, 1991) bzw. 57,7 Atemzüge/min (Fregin & Nicholl, 1977) oder 59,3 Atemzüge/min (Hobo et al., 1998). Als Grund für diese Erhöhung wird ein verändertes, reduziertes Atemmuster während der Schwimmarbeit angesehen. Jones et al. (2020) ließen 8 Pferde mit einem Endoskop Schwimmen, um Aufschluss über das veränderte Atemmuster zu erhalten. Sie stellten fest, dass während dem Schwimmen nach jeder Inspiration eine Apnoe-Phase (sog. Atem anhalten) folgt, bei welcher die äußeren Nüstern zusammengepresst werden, die Rima glottidis komplett verschlossen wird und es zu einem Kollaps des Nasopharynx kommt. Die Apnoe-Phase wird von einer kurzen, starken Expiration beendet. Die Studie ist jedoch kritisch zu betrachten, da aus tierschutzrechtlichen Gründen das Schwimmen mit Endoskop zu hinterfragen ist. Möglicherweise wurde auch erst durch das Einbringen des Endoskops das Atemmuster verändert, da dadurch der Durchmesser der Atemwege verringert wurde. Auch eine zusätzliche Stressbelastung durch das Installieren des Endoskops muss in Betracht gezogen werden.

2. Literatur

Die Ergebnisse widersprechen auch den Beobachtungen von Hobo et al. (1998), die eine ca. verdoppelte Dauer der Expirationsphase im Vergleich zur Inspirationsphase während des Schwimmens feststellten (ohne Endoskop).

Nach Verlassen des Schwimmbeckens steigt auch bei Jones et al. (2020) die Atemfrequenz zunächst deutlich an. Sie schlussfolgerten, dass dieses Atemmuster zum einen zumindest teilweise mit dem Erreichen eines höheren Auftriebes im Wasser (Maximierung des Lungenvolumens) zusammenhängt und zum anderen bis zu einem gewissen Grad eine Ausprägung des Tauchreflexes darstellt. Nach Beendigung der Schwimmarbeit beruhigt sich die Atemfrequenz wieder innerhalb von 20 Minuten, liegt aber dann immer noch um 50% höher als der Ruhewert (Bartmann, 1991; Fregin & Nicholl, 1977; Milne et al., 1977).

Warum genau sich das Atemmuster während des Schwimmens verändert und die Atemfrequenz nach Verlassen des Schwimmbeckens zunächst schlagartig wieder ansteigt ist in den vorliegenden Studien nicht ausreichend erklärt. Es muss in Betracht gezogen werden, dass sich die Atmung während dem Schwimmen verändern könnte aufgrund von Stress bzw. Angst, Wasser in die Atemwege zu bekommen. Die Pferde halten die Luft an und versuchen durch eine starke Expirationsphase Wasser aus den Atemwegen zu entfernen bzw. keines hineinzubekommen. Hinsichtlich der daraus resultierenden möglichen Stressbelastung liegen der Autorin jedoch keine Studien vor.

Die **Schwimmbewegungen** von Pferden ähneln dem Gangbild im Trab. Die Atemfrequenz ist daher nicht wie im Galopp auf festem Boden an die Fußungsfrequenz gekoppelt (Bartmann, 1991; Hobo et al., 1998; Jones et al., 2020).

2.3.2.2. Auswirkungen des Schwimmens auf hämatologische Parameter

Die **Plasmalaktatwerte** gemessen direkt nach der Schwimmbelastung variieren stark in den verschiedenen Studien, was jedoch an den verschiedenen Intensitäten des Schwimmtrainings festgemacht werden kann. Bartmann (1991) ließ die Pferde 4 Minuten am Stück schwimmen. Der durchschnittliche Plasmalaktatwert nach dieser Belastung betrug 2,88 mmol/L. Bartmann schlussfolgerte daraus, dass Schwimmen der Arbeit im aeroben Bereich gleicht. Klomp et al. (2014) ließen 10 Vollblüter zwei Runden in einem ovalen Becken mit 22 m langen Geraden schwimmen. Sie erhielten einen mittleren Plasmalaktatwert von $2,3 \pm 1,6$ mmol/L.

Dieser ist vergleichbar mit den Ergebnissen von Bartmann (1991) und bestätigt eine Arbeit im aeroben Bereich. Auch Hobo et al. (1998) erhielten mittlere Blutlaktatwerte von $2,3 \pm 1,1$ mmol/L nach 6 Runden Schwimmen in einem Swimming-Pool mit 50 Meter Umfang.

Bei Jones et al. (2020) betrug der Plasmalaktatwert im Mittel 6,97 mmol/L nach einer 2-minütigen Schwimmbelastung, wobei die Pferde mit einem Schweifseil fixiert waren und gegen den Widerstand anschwimmen mussten. Auch Bartmann (1991) führte in seiner Studie einen weiteren Versuch mit 18 Pferden durch, bei dem diese mit einem Schweifseil fixiert wurden und über 10 Minuten in 2-minütigen Belastungsintervallen gegen den Widerstand anschwimmen mussten. Hierbei erreichte er einen mittleren Plasmalaktatanstieg auf 7,16 mmol/L. Dieser ähnelt dem Wert von Jones et al. (2020) und zeigt, dass das Schwimmen gegen einen Widerstand der Arbeit im anaeroben Bereich gleicht, wohingegen das freie Schwimmen im aeroben Bereich liegt.

Weitere hämatologische Parameter wie die Creatinkinase (CK) und der Hämatokrit (Hkt) verändern sich ebenfalls durch das Schwimmen.

In der Studie von Bartmann (1991) stieg der **CK-Wert** nach der Schwimmbelastung von 4 Minuten auf 49,91 U/l an und lag damit ca. 50% über den von Murakami et al. (1976) gemessenen Werten. Laut Bartmann (1991) entsprechen seine gemessenen Werte denen bei submaximaler Laufbelastung im Trab oder Galopp. Mit zunehmender Schwimmdauer stiegen auch die CK-Werte bis auf 55,35 U/l nach 20-minütigem Schwimmen an. Bei dem 10-minütigen Schwimmen gegen einen Widerstand (Schweifseil) erhöhte sich die CK sogar bis auf 62,18 U/l. Die Muskelbeanspruchung ist somit abhängig von der Dauer und Intensität des Schwimmtrainings (Bartmann, 1991).

Der **Hämatokrit** bezeichnet das Verhältnis von Flüssigkeit zu Zellen im Blut. Er gibt den Anteil zellulärer Bestandteile am Volumen des Blutes in Prozent an. Unter Belastung kann durch die Entspeicherung der Milz der Hämatokrit innerhalb kürzester Zeit deutlich ansteigen. Dadurch befindet sich ein stark erhöhter Anteil an Erythrozyten und somit Hämoglobin in der Blutlaufbahn, welcher die Sauerstoffkapazität unter starker Belastung um bis zu 60% verbessert. Durch Training kann die Fähigkeit der Milzentspeicherung bis zu einem gewissen Grad verbessert werden (von Engelhardt, 2015).

2. Literatur

Bartmann (1991) stellte in seiner Studie einen Anstieg des Hkt nach dem Schwimmen auf im Mittel 53,66% fest. Dieser Wert stimmt mit dem von Fregin & Nicholl (1977) erfassten Wert in etwa überein. Hobo et al. (1998) zeigten einen Anstieg des Hkt auf $57,4 \pm 2,6\%$. Bei noch stärkerer Belastung (Schwimmen gegen einen Widerstand) erfasste Bartmann (1991) sogar Werte von bis zu 69%. Bartmann (1991) folgerte daraus, dass durch Schwimmen die Milzentspeicherung annähernd an Maximalbereiche herankommt und daher Schwimmen die aeroben Kapazitäten trainiert. Zu beachten ist jedoch auch hier, dass durch Stress ebenfalls eine Milzentspeicherung stattfinden kann. Durch die ungewohnte Bewegung im Wasser könnten die hohen Hkt-Werte auch durch Stress ausgelöst werden. Dies wird in den oben zitierten Studien nicht in Betracht gezogen.

2.3.2.3. Auswirkungen des Schwimmens auf die Muskulatur

Misumi et al. (1995) untersuchten die Skelettmuskelfaserzusammensetzungen von 18 2-jährigen Vollblütern, welche entweder nur ein 3-monatiges Rennttraining (Gruppe A) erhielten oder zusätzlich einem gesteigerten (Gruppe B) oder konstanten (Gruppe C) Schwimmtraining unterzogen wurden. Nach 3 Monaten konnte eine Abnahme der Typ-IIB-Fasern (fast twitch-low oxidative fibers) und eine Zunahme der Typ-IIA-Fasern (fast twitch-high oxidative fibers) in den Gruppen B und C festgestellt werden, wobei der Unterschied in Gruppe B am höchsten war. Misumi et al. schlussfolgerten daraus eine signifikante Zunahme der aeroben Kapazitäten der Muskulatur durch Schwimmtraining.

Tokuriki et al. (1999) maßen die Aktivität verschiedener Muskeln der Vorderhand und Schulter des Pferdes während des Schwimmens mittels eines Electromyogramms. Sie stellten fest, dass sich während des Schwimmens der Tonus des M. splenius, M. triceps brachii caput longum, und am stärksten des M. brachiocephalicus und M. flexor digitorum profundus erhöhte. Die Autoren wiesen so eine deutlich erhöhte Aktivität der sog. Antigravitätsmuskeln während des Schwimmens nach, trotz der reduzierten Schwerkraft im Wasser.

2.3.2. Schwimmen als Therapie und zur Rehabilitation

Schon seit vielen Jahren wird Schwimmen bei Pferden neben dem Training gesunder Pferde auch als Rehabilitationsmaßnahme angewendet. Doch gibt es noch immer keine Studien über sinnvolle Anwendungsprotokolle und gezielte Trainingspläne.

Nach Swanstrom & Lindy (1973) eignet sich Schwimmen bei Pferden zur Rekonvaleszenz nach Operationen und zur Therapie beispielsweise des Tying-Up-Syndroms beim Rennpferd. Auch Irwin & Howell (1980) sehen neben einer Trainingsergänzung für gesunde Pferde im Schwimmen eine Möglichkeit zur Therapie und Rekonvaleszenz von Schäden des Bewegungsapparates. Descompts (1980) berichtete über die Anwendung von Schwimmen als Therapie bei kranken und verletzten Pferden in einem Rehaszentrum in Frankreich. Es wurde auch eine positive Auswirkung von Schwimmen auf die Psyche von nervösen oder rennmüden Pferden festgestellt. Auer (1980) empfiehlt Schwimmen zur Therapie von degenerativen Gelenkerkrankungen, da dadurch Herz, Lunge, Muskeln und Bänder trainiert werden ohne dass die betroffenen Knochenstrukturen belastet werden. Durch die Bewegung im Wasser werden die Gelenke bewegt und zusätzlich durch das Wasser massiert, was der Bildung von Fibrosen entgegenwirken soll. Auer (1980) befürwortet einen Trainingsbeginn im Wasser einen Monat nach einer Gelenkoperation und sieht durch das Schwimmen eine Verkürzung der gesamten Rekonvaleszenzzeit um ein bis zwei Monate. Bartmann (1991) stimmt Auer (1980) zu. Nach Ihm eignet sich Schwimmen als Ausdauertraining zur Erhaltung einer Grundkondition gerade bei Erkrankungen des Bewegungsapparates bzw. nach Operationen, wenn Gelenke, Bänder oder Sehnen nicht oder nur wenig belastet werden dürfen. Durch ein postoperatives Schwimmtraining kann die Rekonvaleszenzzeit verkürzt werden und die Pferde schneller wieder in den Sport zurückkehren. Er sieht auch einen positiven Effekt auf langwierige Erkrankungen wie Sehenschäden, Myopathien und Arthrosen. Monk (2007) erläutert die Vorteile der Hydrotherapie in Form von Wassertreten oder Schwimmen bei Hund und Pferd in Anlehnung an die Humanphysiotherapie. Dazu zählt nach Ihm unter anderem Gewichtsentlastung schmerzhafter oder in Heilung befindlicher Bereiche während der Bewegung, wodurch früher als an Land wieder mit dem Aufbautraining begonnen werden kann. In der Schwerelosigkeit des Wassers wird des Weiteren die Wahrscheinlichkeit von Verletzungen der Muskulatur, Sehnen, Bänder und Gelenke deutlich reduziert.

2. Literatur

Monk (2007) erläutert, dass durch den Auftrieb im Wasser manche Bewegungen leichter ausgeführt werden können und gleichzeitig die Arbeit im Wasser eine gute Möglichkeit zur Stärkung der Muskulatur darstellt, da gegen einen erhöhten Widerstand gearbeitet wird. Durch Schwimmen wird ebenfalls Muskulatur aufgebaut und gestärkt, Atrophien vorgebeugt, das Herz-Kreislaufsystem trainiert und die Beweglichkeit von Gelenken erhöht. Durch den hydrostatischen Druck auf das Gewebe kann Schwimmen auch zur Behandlung von Ödemen eingesetzt werden. Außerdem scheint nach Monk (2007) durch Schwimmen die Schmerzhaftigkeit in Gelenken bei degenerativen Gelenkerkrankungen abzunehmen. Und zu guter Letzt wird die Zirkulation im ganzen Körper angeregt und unterstützt so die Heilung. Adair (2011) sieht ebenfalls in der Aquatherapie (Unterwasserlaufband oder Schwimmen) eine optimale Möglichkeit der Therapie von Schäden des Bewegungsapparates sowie zum Konditionsaufbau. Für Ihn liegt der Hauptvorteil in der Stärkung des Herz-Kreislaufsystems ohne Belastung des Bewegungsapparates und im Aufbau von Muskulatur ohne Gewicht auf die distalen Gliedmaßen zu bringen. Adair (2011) empfiehlt die Anwendung von Schwimmen zur Rehabilitation nach Verletzung oder Operation, vor allem nach Sehnen- oder Bänderschäden, Gelenksoperationen, bei nicht dislozierten Frakturen, steifen Gelenken oder Osteoarthritis. Weitere Indikationen für Ihn sind Muskelaufbau und Therapie von asymmetrischen Gangbildern.

Keine der in diesem Abschnitt genannten Personen geben jedoch eine Anleitung bzw. einen Trainingsplan für die Schwimmtherapie vor.

2.3.3. Komplikationen durch Schwimmen

Kolik

Walmsley et al. (2011) untersuchten das Vorkommen von Koliksymptomen nach Schwimmen in der australischen Rennpferdepopulation über einen Zeitraum von 3 Jahren. Sie stellten eine jährliche Inzidenz von 0,08% fest. Die Ätiologie dahinter konnte noch nicht erklärt werden. Walmsley et al. vermuten, dass eine Dysmobilität des Darms während des Schwimmens eine zentrale Rolle spielen könnte.

Exercise-induced pulmonary hemorrhage (EIPH)

Nicholl et al. (1978) berichteten vom Auftreten von Epistaxis bei den Schwimmpferden in ihrer Studie, geben aber nicht an, wo die Blutungen ihren Ursprung nahmen oder wie häufig sie auftraten. Jones & Hiraga (2008) zitieren in ihrem Review-Artikel Tierärzte der Japan Racing Association. Diese beobachteten ebenfalls das Auftreten von Epistaxis nach dem Schwimmtraining bei einigen Pferden. Durch endoskopische Untersuchungen konnten sie aber den Ursprung der Blutung im Pharynx und nicht in der Lunge lokalisieren. Auch Trainer des Macao Jockey Clubs werden von Jones & Hiraga erwähnt. Sie stellten EIPH bei Rennpferden nach dem Schwimmen fest, welches endoskopisch bestätigt werden konnte. Die Pferde liefen allerdings vor dem Schwimmtraining auf der Rennbahn. Das aufgetretene EIPH konnte nicht eindeutig dem Schwimmen zugeordnet werden. Jones & Hiraga (2008) stellten daher in ihrem Review-Artikel fest, dass bisher keine fundierten Berichte von EIPH nach Schwimmen existieren.

Sonstige Komplikationen

Adair (2011) äußerte Bedenken beim Schwimmen von Pferden mit Rückenschmerzen, Knieproblemen und anderen Lahmheiten im proximalen Bereich der Gliedmaße. Diese könnten durch Schwimmtraining verschlimmert werden. Durch Schwimmen könnte nach ihm auch eine transiente Osteoporose auftreten. Studien hierzu fehlen jedoch.

Wird Schwimmen als Trainingsmethode von gesunden Pferden oder zur Rehabilitation erkrankter Pferde richtig eingesetzt, birgt es also viele Vorteile, die in zahlreichen Studien belegt wurden. Ein erfolgreiches Trainings- bzw. Anwendungsprotokoll soll unter anderem nun in dieser Arbeit verifiziert werden.

3. Material und Methoden

3.1. Prospektive, randomisierte kontrollierte Studie

In der vorliegenden Arbeit wurde die Form einer prospektiven, randomisierten kontrollierten Studie gewählt. Als Probandengut wurden 20 Pferde aus dem Patientengut des TMBZ Seehof ausgewählt, die am TMBZ Seehof zum Zwecke des Aufbautrainings vorgestellt worden waren und aufgrund dessen an einem Reit- und Longiertraining oder Reit- und Schwimmtraining teilnahmen. Neben dem Training wurden regelmäßig Belastungstests zur Überprüfung des Leistungsfortschritts durch das TMBZ Seehof durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie wurden die im Training und bei den Belastungstests durch das TMBZ Seehof erfassten Daten aufgearbeitet und ausgewertet. Zur Randomisierung wurden die Probanden per Los aus dem Patientengut des TMBZ Seehof für die Longier- und die Schwimmgruppe ausgewählt.

3.2. Zielsetzung

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob durch das Schwimmtraining die Ausdauerleistungsfähigkeit der Pferde mehr gesteigert werden kann, als durch Reiten und Longieren. Außerdem sollte geklärt werden, ob sich der verwendete Trainingsplan für das Schwimmen der Pferde eignet, um in 6 Wochen effektiv Kondition aufzubauen. Die Ergebnisse dieser Studie sollen eine Einschätzung des Schwimmens als Trainingsmöglichkeit gesunder Pferde abgeben und einen sinnvollen Trainingsplan für das Schwimmen bewerten, um Schwimmen in Zukunft besser als Trainingsmaßnahme einsetzen zu können. Außerdem sollen die Ergebnisse Aufschluss darüber geben, ob Schwimmen als Rehabilitationsmaßnahme für Pferde nach Erkrankung eingesetzt werden kann.

3.3. Pferde

Von August 2019 bis November 2019 und von März 2020 bis November 2020 wurden 20 Pferde aus dem Patientengut des TMBZ Seehof per Los ausgewählt, die sich zum Zwecke des Aufbautrainings im Rehasentrum des TMBZ Seehof befanden. Sie nahmen an einem 6-wöchigen Reit- und Longiertraining oder Reit- und Schwimmtraining teil, dessen Daten im Rahmen der Studie nun ausgewertet werden. Die 10 Pferde, die ein 6-wöchiges Reit- und Longiertraining erhielten, werden im weiteren Verlauf als Longiergruppe bezeichnet, die 10 Pferde, die an einem 6-wöchigen Reit- und Schwimmtraining teilnahmen, als Schwimmgruppe.

Zwei Pferde der Longiergruppe (Pferd 19 und Pferd 20) konnten aufgrund einer auftretenden Lahmheit nach Beginn des Trainings (Woche 1 bzw. Woche 2) das Trainingsprogramm nicht beenden. Ihre Daten fließen nicht in die Auswertung ein.

Aufgrund des Datenschutzes wurden den Pferden Nummern (1-20) anstatt der Namen zugeteilt.

Die Altersverteilung, Rasseverteilung, Geschlechtsverteilung, der Verwendungszweck der teilnehmenden Pferde, die Einteilung in die Gruppen und die zugehörigen Reiter sind in Tab. 2 dargestellt.

3. Material und Methoden

Tab. 2: Verteilung nach Alter, Rasse, Geschlecht, Verwendungszweck, Einteilung in die Gruppen und zugehöriger Reiter

Pferd	Alter (Jahre)	Rasse	Geschlecht	Verwendungszweck	Gruppe	Reiter
1	9	Lusitano	Wallach	Freizeit	Schwimmen	Besitzer
2	15	Warmblut	Wallach	Freizeit	Longieren	Bereiter
3	9	Warmblut	Stute	Freizeit	Schwimmen	Besitzer
4	6	Warmblut	Wallach	Vielseitigkeit	Schwimmen	Besitzer
5	13	Warmblut	Stute	Freizeit	Schwimmen	Bereiter
6	9	Warmblut	Wallach	Vielseitigkeit	Longieren	Bereiter
7	7	Paint Horse	Wallach	Freizeit	Longieren	Besitzer
8	18	Vollblut	Wallach	Vielseitigkeit	Schwimmen	Bereiter
9	8	Warmblut	Stute	Freizeit	Schwimmen	Besitzer
10	6	Vollblut	Stute	Freizeit	Longieren	Bereiter
11	13	Warmblut	Stute	Freizeit	Longieren	Bereiter
12	6	Warmblut	Stute	Freizeit	Longieren	Besitzer
13	7	Warmblut	Stute	Vielseitigkeit	Longieren	Besitzer
14	12	Warmblut	Wallach	Vielseitigkeit	Schwimmen	Besitzer
15	13	Warmblut	Stute	Freizeit	Schwimmen	Besitzer
16	9	Warmblut	Wallach	Freizeit	Schwimmen	Besitzer
17	18	Vollblut	Wallach	Vielseitigkeit	Longieren	Bereiter
18	8	PRE ¹	Wallach	Freizeit	Schwimmen	Besitzer
19	15	Warmblut	Wallach	Freizeit	Longieren	Bereiter
20	9	Warmblut	Wallach	Vielseitigkeit	Longieren	Bereiter

¹ Pura Raza Española (PRE)

Das mittlere Alter betrug 9,3 Jahre. Das geringste Alter lag bei 6 Jahren (n=3), das höchste bei 18 Jahren (n=2). An der Studie nahmen sowohl Stuten (n=8) als auch Wallache (n=12) teil. Bei der Angabe des Verwendungszwecks nannten die Besitzer Freizeit (n=13) oder Vielseitigkeit (n=7). Die Pferde der Sparte Vielseitigkeit liefen zum Zeitpunkt der Studie auf dem Niveau einer A-Vielseitigkeit.

Zur Beurteilung des aktuellen Trainingszustandes der Pferde der Sparte Freizeit zu Beginn der Studie wurden die Besitzer befragt. Sie gaben an, ihre Pferde regelmäßig zwischen 4- bis 6-mal pro Woche für mindestens 1 Stunde zu reiten.

Die Pferde wurden am TMBZ Seehof entweder in einer Box mit Häckselstroh-Einstreu (n=4) oder in einem Offenstall mit Stroheinstreu (n=12) aufgestellt. 4 Pferde standen in zwei Offenställen mit Stroheinstreu in direkter Nähe des TMBZ Seehof und wurden zum Training täglich zur Anlage geführt. Die Pferde in Boxenhaltung erhielten einmal täglich Koppelgang auf einer Graskoppel für 4-6 Stunden. Die Pferde im Offenstall hatten 24 Stunden täglich Zugang zu einer Graskoppel. Morgens und abends wurde den Pferden je nach Bedarf 2-4 kg Quetschhafer und Gerste gefüttert. Die Pferde im Offenstall erhielten Heu ad libitum, die Pferde in Boxenhaltung bekamen morgens (8:00 Uhr) und abends (17:00 Uhr) eine individuell angepasste Heuration. Wasser stand allen Pferden über Selbstränken ad libitum zur Verfügung.

3.4. Reiter

Die Pferde wurden von ihren Besitzern (n=12) oder einem angestellten Bereiter des TMBZ Seehof (n=8) geritten. Die Belastungstests wurden von den zuvor genannten Reitern und der Autorin als Angestellte des TMBZ Seehof durchgeführt. Das Schwimm- und Longiertraining wurde durch das Personal des TMBZ Seehof durchgeführt.

3.5. Training

Vor Beginn des Trainings wurden alle Pferde einer klinischen Allgemeinuntersuchung (nach Standard der Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule Hannover) unterzogen. Des Weiteren wurden die Pferde an der Hand auf geradem, harten Boden vorgetrabt und Übersichtsbeugeproben aller 4 Gliedmaßen angefertigt. Waren die Untersuchungen ohne besonderen Befund, wurde aus der Vena jugularis externa Blut entnommen und ein großes Blutbild angefertigt (Untersuchungsprotokoll siehe Anlage 1).

Hierbei fiel auf, dass 12 der 20 Pferde an einem geringgradigen (n=10) bis mittelgradigen (n=2) Selenmangel und 3 Pferde an einem geringgradigen Zinkmangel litten.

3. Material und Methoden

Ihnen wurde über den Zeitraum des Trainings ein Selenpräparat (navalis orthosal® Selen Pulver, navalis® nutraceuticals GmbH), ein Zinkpräparat (navalis orthosal® Zink Pulver, navalis® nutraceuticals GmbH) oder ein kombiniertes Selen- und Zinkpräparat (allequin® SelenoZink, almapharm GmbH + Co. KG) zugefüttert. Alle weiteren Parameter waren unauffällig.

3.5.1. Reittraining und Longiertraining

Das Reittraining erfolgte über 6 Wochen an 6 Tagen pro Woche. Der 7. Tag diente als Ruhetag. Vor Beginn des Trainings erfolgte der erste Belastungstest zur Erhebung des aktuellen Leistungsstandes der Pferde durch das TMBZ Seehof. Dieser bildete die Grundlage für die weitere Leistungsbeurteilung.

3.5.1.1. Reittraining

Das Reittraining wurde von den Besitzern und dem Bereiter des TMBZ Seehof durchgeführt. Genaue Richtlinien wurden vom TMBZ Seehof vorgegeben, um das Training zu standardisieren (siehe Tab. 3). Es diente dem Erhalt der Grundfitness und wurde über die 6 Wochen nicht gesteigert.

Tab. 3: Richtlinien für das Reittraining

Training	Dauer in Minuten	Art
Aufwärmphase	10	Schritt
Grundlagentraining	5 (1)	Trab (dazwischen 1 Minute Schritt)
	5	Schritt
	10 (2)	Trab (dazwischen 2 Minuten Schritt)
	5 (1)	Galopp (dazwischen 1 Minute Trab)
	10 (2)	Trab (dazwischen 2 Minuten Schritt)
Abkühlphase	10	Schritt
Gesamt	55	

Das Reittraining, die Ruhetage, die Tage der Belastungstests sowie die Art des Trainings wurden von den Reitern in einem Protokoll dokumentiert. Die Auswertung dieser Protokolle ist in Tab. 4 dargestellt. Sowohl beim Reiten in der Halle oder auf dem Sandplatz als auch beim Training im Gelände oder auf der Sandbahn wurden die Reiter dazu angehalten, sich an den Plan in Tab. 3 zu halten.

Tab. 4: Auswertung der Reitprotokolle

Pferd	Halle/Platz in d ¹	Ausritt in d	Rennbahn in d	Sonstiges* in d	Ruhetage in d	Test in d	Gesamt in d
Pferd 1	18	0	15	0	6	4	43
Pferd 2	20	0	11	2	6	4	43
Pferd 3	17	8	2	4	8**	4	43
Pferd 4	26	2	3	2	6	4	43
Pferd 5	13	3	17	0	6	4	43
Pferd 6	20	0	10	3	6	4	43
Pferd 7	15	0	18	0	6	4	43
Pferd 8	13	0	15	5	6	4	43
Pferd 9	8	5	6	13	7***	4	43
Pferd 10	19	0	10	4	6	4	43
Pferd 11	19	0	11	3	6	4	43
Pferd 12	16	6	7	4	6	4	43
Pferd 13	15	9	4	5	6	4	43
Pferd 14	29	2	2	0	6	4	43
Pferd 15	18	8	4	3	6	4	43
Pferd 16	20	6	1	6	6	4	43
Pferd 17	12	3	12	6	6	4	43
Pferd 18	32	0	1	0	6	4	43
Pferd 19	5	x	x	x	x	1	6
Pferd 20	7	x	x	x	1	1	9

¹ Tag (d); * Doppellonge, Turnier; ** verletzungsbedingt (Auge) 2 Tage zusätzlich Pause; ***1 Tag zusätzlich Pause wegen leichter Kolik

3.5.1.2. Longiertraining

Neben dem Reittraining erhielten die Pferde der Longiergruppe ein Training an der Longe, welches durch Angestellte des TMBZ Seehof durchgeführt wurde.

Der Aufbau und die Steigerung des Longiertrainings sind Tab. 5 zu entnehmen.

Tab. 5: Aufbau und Steigerung des Longiertrainings

Woche	Dauer in min:sec	Tempo
	Rechte Hand – Linke Hand	
Woche 1	0:40 – 0:40	Trab
Woche 2	1:00 – 1:00	Trab
Woche 3	1:20 – 1:20	Trab
Woche 4	1:40 – 1:40	Trab
Woche 5	2:00 – 2:00	Trab
Woche 6	2:20 – 2:20	Trab

3.5.2. Schwimmtraining

Das 6-wöchige Schwimmtraining fand im Pferdeschwimmbad des TMBZ Seehof statt.

3.5.2.1. Aufbau und technische Daten des Schwimmbades

Der Aufbau des Schwimmbades am TMBZ Seehof ist in Anlage 2 dargestellt. Es handelt sich hierbei um ein rundes Becken aus Beton mit einem Durchmesser von 11 Metern. Die Wassertiefe beträgt 3,5 Meter. In der Mitte des Beckens befindet sich eine Betoninsel, auf welcher während des Trainings ein Helfer steht und das schwimmende Pferd an einer Longe führt. Zum Betreten und Verlassen des Schwimmbeckens führt ein seitlich begrenzter Gang mit einer Rampe zum Schwimmbecken hinunter. Der Boden ist mit rutschfesten Gummimatten ausgelegt. Am Ende des flach abfallenden Gangs befindet sich eine Stufe, ab der das Wasser 3,5 Meter tief ist. Die Stufe dient dazu, dass sich die Pferde abstoßen oder sich ins tiefe Wasser gleiten lassen. Dadurch sollen die Pferde nicht nach dem allmählich verschwindenden Boden suchen und so besser mit den Schwimmbewegungen beginnen. Die Wassertemperatur beträgt 18°C, die Raumtemperatur im Mittel 25°C. Zur Reinhaltung des Wassers wurde eine Filteranlage installiert.

Außerdem wird das Wasser mit Chlor und pH-Wert-Regulierer versetzt. Die Werte werden täglich kontrolliert und wenn notwendig nachjustiert. Dadurch wird gewährleistet, dass die Werte innerhalb der Referenzwerte bleiben und es zu keinen gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Pferde kommt. Für das Trocknen der Pferde steht ein Solarium zur Verfügung. Für das Schwimmtraining werden 2 Personen benötigt. Eine Person befindet sich auf der Insel in der Mitte des Schwimmbeckens und nimmt die Longe auf, an der das Pferd schwimmt und eine Person führt das Pferd die Rampe hinunter in das Schwimmbecken, hängt es am Halfter in die Longe ein und führt es auch wieder die Rampe hinauf aus dem Schwimmbecken heraus.

Für diese Studie standen das Personal des TMBZ Seehof und die Autorin zur Durchführung des Schwimmens zur Verfügung.

3.5.2.2. Schwimmtraining

Der Aufbau und Ablauf des Schwimmtrainings wurde am TMBZ Seehof aus Erfahrungswerten entwickelt und durch seine Mitarbeiter nach erprobten und festgelegten Plänen durchgeführt. Im Folgenden wird die Standardprozedur der Eingewöhnungsphase (Woche 1) und des darauffolgenden Trainings erläutert.

Eingewöhnungsphase

Zur Gewöhnung der Pferde an das Schwimmen werden die Pferde in der ersten Woche zunächst einzelne Runden geschwommen, um sich an das Wasser und die ungewohnten Bewegungsabläufe zu akklimatisieren. In dieser Phase werden die Pferde zum Schwimmen an der Longe eingehängt und zusätzlich an einer zweiten Longe außen am Beckenrand entlang geführt. Sehr nervöse und aufgeregte Pferde werden für das erste und evtl. zweite Mal Schwimmen mit 0,5 – 1,0 ml Sedivet® (10 mg Romifidin pro ml, Firma Boehringer Ingelheim GmbH) leicht sediert, um das Verletzungsrisiko durch Abwehrbewegungen zu minimieren. In dieser Studie betraf dies 5 Probanden. Die Entscheidung hierzu wurde durch das TMBZ Seehof getroffen. Alle Pferde akzeptierten das Schwimmen anschließend ohne Probleme.

3. Material und Methoden

Trainingsphase

Nach der Eingewöhnungsphase werden die Pferde auf beiden Seiten (linke und rechte Hand) zwei Runden am Stück geschwommen. Die Pause zwischen den beiden Seiten wird so gewählt, dass sich die Atmung der Pferde etwas beruhigt, bevor sie wieder in das Schwimmbecken geführt werden. Die Rundenzahl wird im Verlauf des 6-wöchigen Trainings nach Plan gesteigert (siehe Tab. 6) und die Zeit für die Schwimmdauer gemessen. Vor und nach dem Schwimmen werden die Pferde mit klarem, kaltem Wasser abgeduscht und nach dem Schwimmen je nach Außentemperatur unter dem Solarium getrocknet und/ oder mit einer Abschwitzdecke in die Box gebracht. Das Schwimmtraining findet fünfmal pro Woche statt, Samstag und Sonntag sind Ruhetage.

Die Probanden der Schwimmgruppe in dieser Studie absolvierten alle das Schwimmtraining nach dem vorgegebenen Plan.

Tab. 6: Aufbau und Steigerung des Schwimmtrainings

Woche	Zeit ¹	Runden ²	T _{Durchschnitt} ³	R _{Durchschnitt} ⁴
Woche 1				
Mo	00:20 – 00:20 – 00:20	1 – 1 – 1	00:21	1,1
Di	00:20 – 00:20 – 00:20	1 – 1 – 1	00:21	1,1
Mi	00:40 – 00:40	2 – 2	00:32	1,8
Do	00:40 – 00:40	2 – 2	00:40	2,05
Fr	00:40 – 00:40	2 – 2	00:39	2,05
Woche 2				
Mo	00:40 – 00:40	2 – 2	00:45	2,35
Di	01:00 – 00:40	3 – 2	00:52	2,7
Mi	01:00 – 01:00	3 – 3	00:57	3,05
Do	01:00 – 01:00	3 – 3	01:07	3,2
Fr	01:00 – 01:00	3 – 3	01:02	3,2
Woche 3				
Mo	01:00 – 01:00	3 – 3	01:03	3,35
Di	01:20 – 01:00	4 – 3	01:09	3,75
Mi	01:20 – 01:20	4 – 4	01:18	4,25
Do	01:20 – 01:20	4 – 4	01:24	4,4
Fr	01:20 – 01:20	4 – 4	01:24	4,4
Woche 4				
Mo	01:20 – 01:20	4 – 4	01:20	4,3
Di	01:40 – 01:20	5 – 4	01:28	4,85
Mi	01:40 – 01:40	5 – 5	01:38	5,15
Do	01:40 – 01:40	5 – 5	01:47	5,3
Fr	01:40 – 01:40	5 – 5	01:43	5,3
Woche 5				
Mo	01:40 – 01:40	5 – 5	01:40	5,2
Di	02:00 – 01:40	6 – 5	01:49	5,75
Mi	02:00 – 02:00	6 – 6	01:53	6,05
Do	02:00 – 02:00	6 – 6	02:06	6,1
Fr	02:00 – 02:00	6 – 6	02:05	6,15
Woche 6				
Mo	02:00 – 02:00	6 – 6	02:01	6,1
Di	02:20 – 02:00	7 – 6	02:16	6,65
Mi	02:20 – 02:20	7 – 7	02:25	7,0
Do	02:20 – 02:20	7 – 7	02:29	7,2
Fr	02:20 – 02:20	7 – 7	02:36	7,4

¹ geplante Zeit in min:sec auf linker und rechter Hand; ² geplante Rundenanzahl auf linker und rechter Hand; ³ tatsächliche durchschnittliche Zeit in min:sec pro Seite; ⁴ tatsächliche durchschnittliche Rundenanzahl pro Seite

3.6. Belastungstest

Zur Erfassung des aktuellen Trainingszustandes zu Beginn des Trainings und des Trainingserfolgs im weiteren Verlauf werden am TMBZ Seehof Belastungstests in 2-wöchigem Abstand durchgeführt. Bei einem 6-wöchigen Trainingsplan sind dies somit 4 Belastungstests pro Pferd. In dieser Studie führten 18 Pferde alle 4 vorgesehenen Belastungstests durch. 2 Pferde (Pferd 19 und 20) schieden bereits nach dem ersten Test aufgrund einer Lahmheit aus dem Training aus. Ihre Ergebnisse flossen nicht in die Auswertung mit ein.

Die Zeitpunkte der Durchführung der Belastungstests sind in Tab. 7 dargestellt.

Tab. 7: Zeitlicher Ablauf des Trainings und Zeitpunkte der Belastungstests

	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	
Reittraining beide Gruppen							
Longiertraining Longiergruppe							
Schwimmtraining Schwimmgruppe							
↑		↑		↑		↑	

↑ Zeitpunkte der Belastungstests

Die Belastungstests fanden vor Beginn des Trainings und nach Woche 2, 4 und 6 auf der Sandbahn des TMBZ Seehof statt. Am Tag des Belastungstests wurde kein weiteres Training durchgeführt.

3.6.1. Ablauf des Belastungstests

Zur Standardisierung der Belastungstests werden diese nach einem strikten Protokoll des TMBZ Seehof durchgeführt. In der vorliegenden Studie führten die Autorin und der Reiter die Belastungstests durch, der auch das Reittraining mit dem Pferd absolvierte. Der Test wurde auf der Sandbahn des TMBZ Seehof durchgeführt.

Die Sandbahn des TMBZ Seehof ist in einem Oval angelegt und misst eine Länge von 900 m. An Start, Ziel und in 200 – Meter - Abständen sind gut sichtbare Markierungen angebracht. Vor jedem Belastungstest wird die Sandbahn begradigt und abgezogen.

Der Belastungstest des TMBZ Seehof besteht aus 4 Belastungsstufen, die bei gleichbleibender Strecke in der Geschwindigkeit gesteigert werden. Die erste Stufe wird im Trab geritten, die Stufen 2 bis 4 im Galopp.

Die Strecke der einzelnen Stufen des Belastungstests beträgt 1000 Meter, daher befindet sich das Ziel nicht am Startpunkt. Zwischen den einzelnen Stufen gibt es jeweils eine 2-minütige Pause, in der die Richtung gewechselt und im Schritt zum jeweiligen Start geritten wird. Der Aufbau des Belastungstests ist der Tab. 8 zu entnehmen.

Tab. 8: Aufbau des Belastungstests des TMBZ Seehof

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Soll-Geschwindigkeit in m/min	250 im Trab	400 im Galopp	450 im Galopp	550 im Galopp
Soll-Dauer in sec	240	150	133	109
Strecke in m	1000	1000	1000	1000
Pause vor nächster Stufe in min	2	2	2	0

Die Reiter werden vor jedem Belastungstest instruiert. Vor dem Belastungstest werden die Pferde zum Aufwärmen 900 m im Schritt geritten. Für die einzelnen Stufen des Tests sowie für die Schrittpausen wird dann die Zeit mittels einer Stoppuhr genau gestoppt. Die Reiter reiten mit einer Uhr und orientieren sich zusätzlich an den Streckenmarkierungen hinsichtlich der vorgegebenen Geschwindigkeiten. In den Schrittpausen nach jeder Stufe wird dem Reiter Feedback zur erreichten Geschwindigkeit gegeben. Nach jeder Stufe wird die Richtung gewechselt um eine einseitige Belastung der Pferde zu verhindern.

Die vorgegebenen Geschwindigkeiten wurden in den Belastungstests dieser Studie nicht immer eingehalten. Alle erreichten Zeiten und Geschwindigkeiten in den Belastungstests sind in Anlage 3 aufgelistet.

Da die Belastungstests über einen langen Zeitraum stattfanden und sich die Wetterbedingungen teilweise deutlich unterschieden, wurden zu jedem Test Wetter- und Bodenbedingungen erfasst. Sie können der Anlage 4 entnommen werden.

3.6.2. Untersuchungsparameter Laktat

Zur Bestimmung des Plasmalaktatwertes wurden zu den Blutentnahmezeitpunkten (siehe Tab. 9) jeweils 5 ml Blut mittels Punktion der Vena jugularis externa mit einer Einmalkanüle (1,20 x 40 mm, Braun, Melsungen AG, Deutschland) in eine 5 ml Einmalspritze (Braun, Melsungen, Deutschland) abgenommen.

Tab. 9: Zeitpunkte der Blutentnahme und Herzfrequenzmessung

Zeitpunkt	Blutentnahme	Herzfrequenz
Vor dem Test in Ruhe	X	X*
Aufwärmphase		X
Stufe 1 - 4		X
2 min nach Ende Stufe 4	X	X
Abkühlphase		X
15 min nach Ende Stufe 4	X	X
30 min nach Ende Stufe 4	X	X

*Dauerhafte Herzfrequenzmessung über die gesamte Testdauer bis 30 min nach Ende des Tests

Die erste Blutentnahme (Ruheblutprobe p0) erfolgte in Ruhe vor dem Satteln der Pferde am Sattelplatz. Für die zweite Blutprobe (Belastungsblutprobe p01) wurden die Pferde nach Durchreiten des Ziels nach der 4. Belastungsstufe sofort durchpariert und ihnen nach 2 Minuten Blut entnommen. Die Blutentnahmen nach 15 Minuten (Beruhigungsblutprobe 15 min p15) und 30 Minuten (Beruhigungsblutprobe 30 min p30) nach Ende der 4. Belastungsstufe erfolgten am Sattelplatz. Die Blutproben wurden sofort nach Entnahme in ein Lithium-Heparin-Röhrchen (Firma IDEXX Laboratories, Inc., USA) überführt, geschwenkt und innerhalb von 5 Minuten nach Blutentnahme zentrifugiert und das Plasma abpipettiert. 40 µl des Plasmas wurden auf ein Test-Plättchen aufgebracht und der Laktatwert mittels Trockenchemie-Technologie bestimmt (VetTest 8008 Chemistry Analyzer, Firma IDEXX Laboratories, Inc., USA). Hierbei wird die Probe auf ein Testplättchen aufgebracht, welches aus einer Verteilerschicht, einer Filterschicht, einer Reagenzschicht, einer Indikatorschicht und einer Trägerschicht besteht. Durch die verschiedenen Schichten wird die Probe gleichmäßig verteilt und Substanzen herausgefiltert, die das Ergebnis beeinflussen können.

In der Reagenzschicht erfolgt eine chemische Reaktion der Probe mit dem Reagenz, welche in der Indikatorschicht für die Spektralanalyse gesammelt wird. Die Trägerschicht bildet das optische Fenster für die Spektralanalyse (<https://www.idexx.de/de/veterinary/analyzers/vetest-analyzer/>). Die Proben wurden einzeln gemessen, ein Testdurchlauf dauerte 6 Minuten. Die gemessenen Ergebnisse wurden in mmol/L angegeben. Die Kalibrierung des Gerätes erfolgte durch die Firma IDEXX mittels kostenloser Softwareaktualisierungen. Zusätzlich wurden alle 4 Wochen Qualitätskontrollen mittels einer Kontrolllösung (VetTrol-Lösung, Firma IDEXX) durch die Autorin durchgeführt.

3.6.3. Untersuchungsparameter Herzfrequenz und Geschwindigkeit

Zur Aufzeichnung der Herzfrequenz wurde ein System zur Herzfrequenzmessung bei Reitpferden der Firma Polar Electro Oy, Finnland verwendet. Es besteht aus einem Herzfrequenz-Sensor (Polar H10-heart-rate-sensor®) und einem Elektrodengurt (Polar Equine Belt®). Der Sensor registriert die Herzfrequenz und die gelaufene Geschwindigkeit sekundlich und übermittelt die Daten via Bluetooth an ein beliebiges Empfängergerät. In dieser Studie wurde hierzu ein Smartphone mit der Polar Beat® App verwendet, welches sich während der Aufzeichnung immer in der Nähe des Pferdes befand (Jackentasche des Reiters). Der Elektrodengurt wurde unter dem Sattel auf Höhe des Widerrists um den Thorax des Pferdes angelegt, sodass sich die Elektroden auf der linken Thoraxseite befanden, und unter dem Sattelgurt an diesem mittels eines Klettbandes befestigt, um ein Verrutschen zu verhindern und durch das Anziehen des Sattelgurtes eine bessere, feste Ankopplung der Elektroden an die Haut zu erreichen. Zur optimalen Ankopplung wurde zusätzlich das Fell und die Haut des Pferdes großflächig mit Wasser befeuchtet, ebenso der Elektrodengurt. Der Herzfrequenz-Sensor wurde an dem Elektrodengurt unter dem Sattelgurt befestigt und via Bluetooth mit dem Empfänger gekoppelt. Die richtige Positionierung des Gurtes und Sensors ist in Abb. 8 dargestellt.

3. Material und Methoden

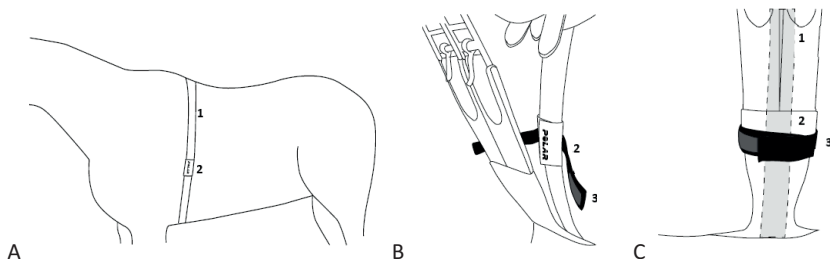


Abb. 8: Positionierung des Elektrodengurtes und Herzfrequenzsensors; A: Position des Elektrodengurtes (1) und Herzfrequenzsensors (2) an der linken Thoraxseite des Pferdes; B und C: Position und Fixierung des Herzfrequenzsensors (2) unter dem Sattelgurt mittels eines Klettbandes (3), Quelle: User Manual Polar Equine Belt

Die Herzfrequenz-Daten wurden über die Polar Beat® App auf den Polar Flow® Webservice (<https://flow.polar.com>) übertragen, graphisch dargestellt und zur weiteren Auswertung in andere Programme exportiert (Microsoft Excel). Abb. 9 zeigt eine beispielhafte graphische Darstellung der Herzfrequenzen und Geschwindigkeiten während des Belastungstests.

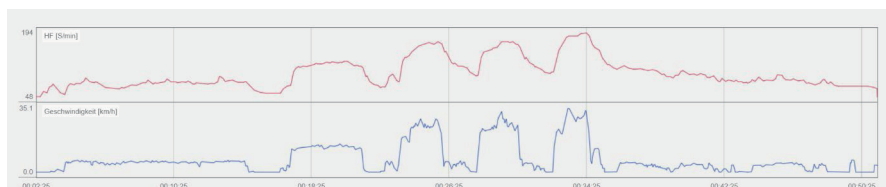


Abb. 9: Beispiel für eine Herzfrequenz (rot)- und Geschwindigkeitskurve (blau) auf Polar Flow

Messausfälle ergaben sich aus mangelnder Ankopplung der Elektroden an die Haut der Pferde (zu dichtes Fell, zu geringe Befeuchtung des Fells mit Wasser), Verrutschen der Elektroden durch mangelnde Befestigung unter dem Sattelgurt, mangelnde GPS-Signal-Stärke oder Abnahme der Batterieleistung der Knopfatterie im Herzfrequenz-Sensor. Zur Auswertung gelangten nur vollständig aufgezeichnete Herzfrequenz- und Geschwindigkeitskurven (n=55).

3.7. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit PD Dr. Kathrin Büttner, AG Biomathematik und Datenverarbeitung, Fachbereich Veterinärmedizin, Justus-Liebig-Universität Gießen.

Zur statistischen Auswertung gelangten nur die Ergebnisse der Pferde, die alle 4 Belastungstests absolviert hatten. In der Longiergruppe waren es 8 Pferde und in der Schwimmgruppe 10.

Die statistische Analyse wurde mit der Statistik-Software SAS (SAS® Institute Inc., 2013) und dem Programm Microsoft Excel® (Microsoft Office Professional Plus 2019) durchgeführt. Auch die graphischen Darstellungen wurden diesen beiden Programmen entnommen. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0.05$ festgelegt.

Die Daten wurden auf Normalverteilung getestet, was größtenteils der Fall war. Waren die Daten nicht normal verteilt, wurden sie log₁₀-transformiert und erneut getestet.

Für die beiden Variablen Belastungslaktatwerte und die mittleren Herzfrequenzen wurden jeweils die Differenzen des Ausgangswertes (Test 1) zu den drei folgenden Tests (Test 2, Test 3 und Test 4) berechnet. Diese Differenzen wurden mittels multipler t-Tests für unabhängige Stichproben auf signifikante Unterschiede in den beiden Gruppen (Longieren und Schwimmen) getestet. Die p-Werte wurden nach Bonferroni mit dem Faktor 3 (Anzahl der Paarvergleiche: Test 1 zu 2, Test 1 zu 3 & Test 1 zu 4) korrigiert.

Für die Variablen maximale Herzfrequenz und Beruhigungszeit wurde lediglich die Differenz aus den Ausgangswerten (Test 1) und dem vierten Test (Test 4) mit einem einfachen t-Test für unabhängige Stichproben verglichen, um auf signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (Longieren und Schwimmen) zu testen.

Um die Beziehungen zwischen gelaufener Geschwindigkeit und mittlerer Herzfrequenz für die Belastungsstufen (Trab, Galopp 1-3) in den Gruppen (Longieren und Schwimmen) darzustellen, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman berechnet. War der Korrelationskoeffizient r größer 0,7, wurde die Korrelation als gut bezeichnet. Bei einem Korrelationskoeffizient zwischen 0,5 und 0,7 wurde die Korrelation als moderat bezeichnet und bei einem r -Wert unter 0,5 die Korrelation als gering bewertet.

4. Ergebnisse

4.1. Plasmalaktatkonzentrationen

Zur Beurteilung der Fitness der Pferde wurden bei den Belastungstests die Plasmalaktatkonzentrationen gemessen. Alle Plasmalaktatwerte der Belastungstests (Test 1-4), aufgeteilt nach Gruppe (Longieren, Schwimmen) sind in Tab. 10 zu den verschiedenen Blutentnahmezeitpunkten p0 (Ruheblutprobe), p01 (Belastungsblutprobe), p15 (Blutprobe 15 min nach Ende der Belastung) und p30 (Blutprobe 30 min nach Ende der Belastung) dargestellt. N bezeichnet die Anzahl der getesteten Pferde. In der Longiergruppe nahmen 8 Pferde an allen 4 Belastungstests teil, in der Schwimmgruppe 10. n umfasst die Anzahl der Proben zu den jeweiligen Blutentnahmezeitpunkten. Bei 2 Pferden der Longiergruppe und 4 Pferden der Schwimmgruppe war eine Blutentnahme zum Zeitpunkt p15 nicht möglich (n Miss). Daher ist zu diesem Zeitpunkt N nicht gleich n. Der Mittelwert ergibt sich aus der Summe der Einzellaktatwerte zu dem jeweiligen Entnahmezeitpunkt dividiert durch die Anzahl der Proben (n) zu dem jeweiligen Entnahmezeitpunkt. Die Standardabweichung, Minimum und Maximum beziehen sich auf n.

Tab. 10: Mittlere Plasmlaktatwerte aller Belastungstests (Test 1-4) mit Anzahl der Pferde (N), Blutentnahmezeitpunkte p0 (Ruheblutprobe), p01 (Belastungsblutprobe), p15 und p30 (Probe nach 15min und 30 min nach Ende der Belastung), Anzahl der entnommenen Proben (n) sowie der fehlenden Proben (n Miss), Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Gruppe	Test	N	Zeitpunkt	n	n Miss	Mittelwert (mmol/L)	Standardabweichung	Minimum (mmol/L)	Maximum (mmol/L)
Longieren	Test 1-4	8	p0	32	0	0.78	0.42	0.50	2.38
	Test 1	8	p01	8	0	6.06	3.15	1.40	11.89
			p15	6	2	1.34	0.49	0.76	2.17
			p30	8	0	1.51	1.11	0.75	4.20
	Test 2	8	p01	8	0	5.43	2.93	1.81	11.21
			p15	6	2	1.25	0.35	0.99	1.93
			p30	8	0	1.56	1.15	0.91	4.33
	Test 3	8	p01	8	0	5.26	2.83	1.21	10.92
			p15	6	2	1.17	0.45	0.66	1.98
			p30	8	0	1.36	0.77	0.65	3.07
	Test 4	8	p01	8	0	6.27	2.64	2.55	10.87
			p15	6	2	1.32	0.36	0.81	1.66
p30			8	0	1.45	0.71	0.82	3.09	
Schwimmen	Test 1-4	10	p0	40	0	0.69	0.28	0.50	1.93
	Test 1	10	p01	10	0	6.11	2.28	3.78	11.66
			p15	6	4	1.14	0.22	0.81	1.40
			p30	10	0	1.21	0.68	0.69	2.98
	Test 2	10	p01	10	0	5.96	3.19	2.56	11.50
			p15	6	4	1.30	0.59	0.57	2.31
			p30	10	0	1.57	1.40	0.58	1.91
	Test 3	10	p01	10	0	3.80	1.73	1.34	5.91
			p15	6	4	1.06	0.42	0.52	1.54
			p30	10	0	1.11	0.44	0.59	1.91
	Test 4	10	p01	10	0	3.00	1.00	1.31	4.10
			p15	6	4	1.08	0.39	0.63	1.63
p30			10	0	0.98	0.24	0.58	1.33	

Die in Tab. 10 dargestellten Mittelwerte zeigen einen deutlichen Anstieg der Ruheblutwerte (p0) (Longieren 0,78 mmol/L und Schwimmen 0,69 mmol/L) auf die Belastungswerte (p01) mit Konzentrationen zwischen 3,00 mmol/L (Schwimmen Test 4) und 6,27 mmol/L (Longieren Test 4). Der höchste Mittelwert wurde in der Longiergruppe im 4. Belastungstest direkt nach Belastung (p01) mit 6,27 mmol/L erreicht und lag um 0,05 mmol/L höher als der erreichte Wert in Test 1 (6,06 mmol/L). Die Belastung durch den Stufenbelastungstest war groß genug um Werte über der aerob-anaeroben Schwelle von 4 mmol/L zu erreichen. Nur in Test 3 und 4 der Schwimmgruppe lagen die mittleren Belastungswerte unter dieser Schwelle. In der Schwimmgruppe lag der höchste Mittelwert bei 6,11 mmol/L zum Zeitpunkt p01 im 1. Belastungstest und stellte gleichzeitig den zweithöchsten Mittelwert da. Mit 3,00 mmol/L zum Zeitpunkt p01 in Test 4 stieg der mittlere Laktatwert der Schwimmgruppe hier deutlich weniger stark an als in den anderen Tests und in der Longiergruppe.

4. Ergebnisse

Mit einem Maximum von 11,89 mmol/L wurde in der Longiergruppe im ersten Test der insgesamt höchste gemessene Laktatwert erreicht. Die Standardabweichung zeigte sich dabei hier auch am größten für die Longiergruppe mit 3,15. Für die Schwimmgruppe lag die größte Standardabweichung bei 3,19 in Test 2 (p01) bei einem maximalen Laktatwert von 11,66 mmol/L. In Test 3 und 4 verringerte sich die Standardabweichung in beiden Gruppen. 15 min nach Ende der Belastung sanken die mittleren Laktatkonzentrationen deutlich ab, um in den Proben nach 30 min nochmals leicht anzusteigen. Nur in den Blutproben der Schwimmgruppe in Test 4 zum Zeitpunkt p30 stellte sich die Laktatkonzentration niedriger dar als zum Zeitpunkt p15. Sie war mit 0,98 mmol/L gleichzeitig auch der niedrigste Mittelwert. Damit lag dieser Mittelwert als einziger unter der Ruhewertgrenze von 1,0 mmol/L. In allen anderen Tests wurde der Ruhewert innerhalb von 30 min nach Ende der Belastung nicht erreicht. In Abb. 10 sind die mittleren Laktatkonzentrationen beider Gruppen nebeneinander dargestellt.

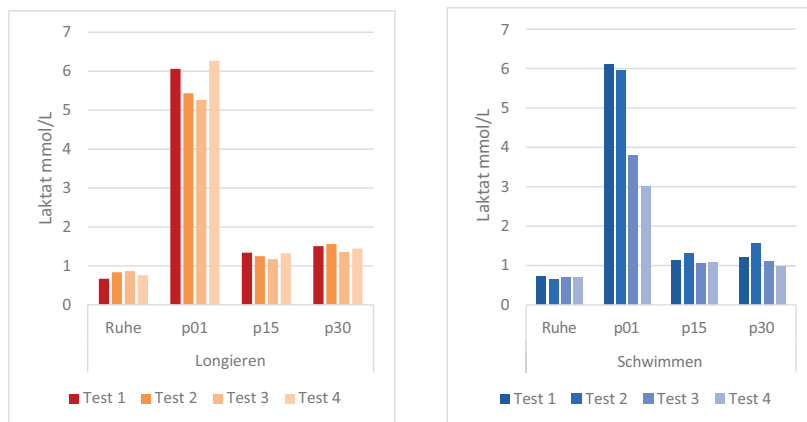


Abb. 10: Mittlere Laktatkonzentrationen der 4 Belastungstest zu den verschiedenen Blutentnahmezeitpunkten; links Gruppe Longieren in Rot; rechts Gruppe Schwimmen in Blau

In den folgenden Kapiteln wird auf die Laktatkonzentrationen in den einzelnen Tests genauer eingegangen.

4.1.1. Laktatkonzentrationen in Belastungstest 1

Der erste Belastungstest fand vor Beginn des Trainings statt. Er stellte die Ausgangswerte zur Beurteilung der aktuellen Fitness. Tab. 11 zeigt die mittleren Laktatkonzentrationen zu den verschiedenen Messzeitpunkten p0, p01, p15 und p30 mit Standardabweichungen, Minimum und Maximum für die Longier- und Schwimmgruppe. N bezeichnet die Anzahl der Pferde und n die Anzahl der entnommenen Blutproben. Zum Zeitpunkt p15 war es bei 2 Pferden der Longiergruppe und 4 Pferden der Schwimmgruppe nicht möglich, eine Blutprobe zu entnehmen.

Tab. 11: Mittlere Laktatkonzentrationen in Test 1 zu den verschiedenen Messzeitpunkten (p0, p01, p15, p30) mit Standardabweichungen, Minimum und Maximum

Gruppe Longieren (N=8)	p0 (n=8)	p01 (n=8)	p15 (n=6)	p30 (n=8)
Mittelwert in mmol/L	0.67	6.06	1.34	1.51
Standardabweichung	0.25	3.15	0.49	1.11
Minimum in mmol/L	0.50	1.40	0.76	0.75
Maximum in mmol/L	1.22	11.89	2.17	4.20
Gruppe Schwimmen (N=10)	(n=10)	(n=10)	(n=6)	(n=10)
Mittelwert in mmol/L	0.72	6.11	1.14	1.21
Standardabweichung	0.23	2.28	0.22	0.68
Minimum in mmol/L	0.50	3.78	0.81	0.69
Maximum in mmol/L	1.29	11.66	1.40	2.98

Ausgehend vom Ruhelaktatwert (p0) stieg die mittlere Laktatkonzentration innerhalb von 2 min nach Ende des Belastungstests (p01) in beiden Gruppen ähnlich stark an (Longiergruppe 6.06 mmol/L und Schwimmgruppe 6.11 mmol/L) und lag über der aerob-anaeroben Schwelle von 4 mmol/L. Nach 15 min sanken die mittleren Laktatwerte in beiden Gruppen bereits wieder deutlich, erreichten aber auch nach 30 min noch nicht die Ruhewerte unter 1 mmol/L. Die Standardabweichung war am größten zum Zeitpunkt p01 in beiden Gruppen (Longieren 3.15 und Schwimmen 2.28). Zu diesem Zeitpunkt wurden auch die höchsten Laktatwerte erreicht (Longieren 11.89 mmol/L und Schwimmen 11.66 mmol/L). Abb. 11 veranschaulicht die mittleren Laktatkonzentrationen der beiden Gruppen.

4. Ergebnisse

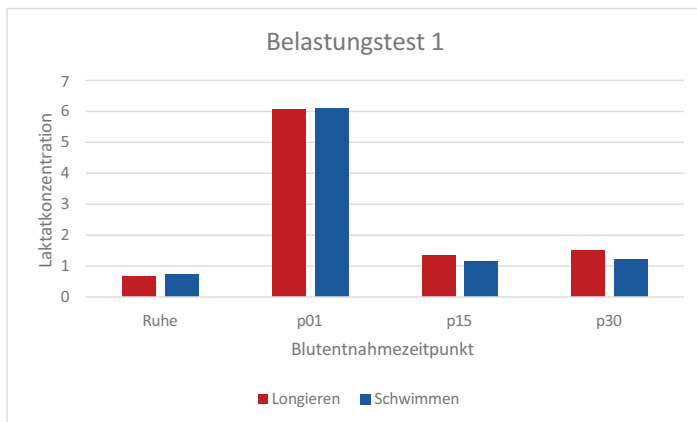


Abb. 11: Mittlere Laktatkonzentrationen in Belastungstest 1 der Longier- und Schwimmgruppe

4.1.2. Laktatkonzentrationen in Belastungstest 2

Der zweite Belastungstest fand nach Woche 2 statt. Die Pferde wurden bis zu diesem Zeitpunkt zwei Wochen geritten und geschwommen (Gruppe Schwimmen) oder zwei Wochen geritten und longiert (Gruppe Longieren). In Tab. 12 sind die mittleren Laktatkonzentrationen zu den verschiedenen Messzeitpunkten p0, p01, p15 und p30 mit Standardabweichungen, Minimum und Maximum für die Longier- und Schwimmgruppe für diesen Test dargestellt. N bezeichnet die Anzahl der Pferde und n die Anzahl der entnommenen Blutproben. 15 min nach Belastung konnte 2 Pferden der Longiergruppe und 4 Pferden der Schwimmgruppe kein Blut entnommen werden.

Tab. 12: Mittlere Laktatkonzentrationen in Test 2 zu den verschiedenen Messzeitpunkten (p0, p01, p15, p30) mit Standardabweichungen, Minimum und Maximum

Gruppe Longieren (N=8)	p0 (n=8)	p01 (n=8)	p15 (n=6)	p30 (n=8)
Mittelwert in mmol/L	0.84	5.43	1.25	1.56
Standardabweichung	0.63	2.39	0.35	1.15
Minimum in mmol/L	0.5	1.81	0.99	1.93
Maximum in mmol/L	2.38	11.21	1.93	4.33
Gruppe Schwimmen (N=10)	(n=10)	(n=10)	(n=6)	(n=10)
Mittelwert in mmol/L	0.64	5.96	1.30	1.57
Standardabweichung	0.16	3.19	0.59	1.40
Minimum in mmol/L	0.5	2.56	0.57	0.58
Maximum in mmol/L	0.94	11.50	2.31	1.91

Die mittleren Laktatwerte stiegen direkt nach Belastung (p01) in der Schwimmgruppe etwas stärker an (5.96 mmol/L) als in der Longiergruppe (5.43 mmol/L). Die Standardabweichung war hier jedoch auch größer (3.19) als in der Longiergruppe (2.39). Die Mittelwerte nach 15 min und 30 min sanken in beiden Gruppen ähnlich stark ab (Longieren 1.25 mmol/L und 1.56 mmol/L und Schwimmen 1.30 mmol/L und 1.57 mmol/L). Abb. 12 zeigt die mittleren Laktatkonzentrationen beider Gruppen zu den verschiedenen Blutentnahmezeitpunkten.

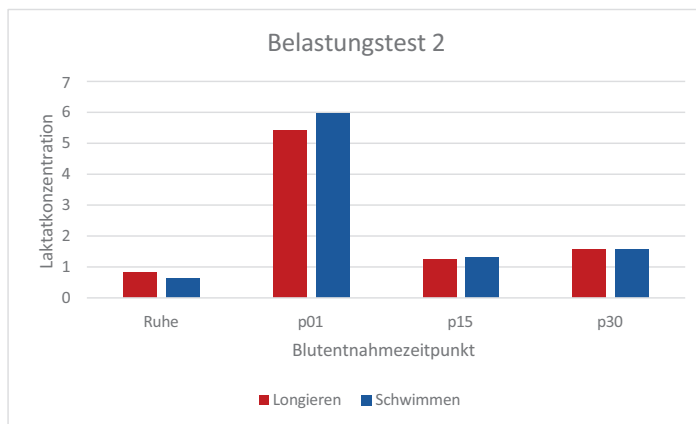


Abb. 12: Mittlere Laktatkonzentrationen in Belastungstest 2 der Longier- und Schwimmgruppe

4.1.3. Laktatkonzentrationen in Belastungstest 3

Der dritte Belastungstest fand nach Woche 4 statt. Die Pferde absolvierten bisher ein 4-wöchiges Schwimm- oder Longiertraining (Gruppe Schwimmen/ Gruppe Longieren). In Tab. 13 sind die mittleren Laktatkonzentrationen zu den verschiedenen Messzeitpunkten p0, p01, p15 und p30 mit Standardabweichungen, Minimum und Maximum für die Longier- und Schwimmgruppe in diesem Test aufgelistet. N bezeichnet die Anzahl der Pferde und n die Anzahl der entnommenen Blutproben. 15 min nach Belastung konnte 2 Pferden der Longiergruppe und 4 Pferden der Schwimmgruppe kein Blut entnommen werden.

4. Ergebnisse

Tab. 13: Mittlere Laktatkonzentrationen in Test 3 zu den verschiedenen Messzeitpunkten (p0, p01, p15, p30) mit Standardabweichungen, Minimum und Maximum

Gruppe Longieren (N=8)	p0 (n=8)	p01 (n=8)	p15 (n=6)	p30 (n=8)
Mittelwert in mmol/L	0.87	5.26	1.17	1.36
Standardabweichung	0.44	2.83	0.45	0.77
Minimum in mmol/L	0.50	1.21	0.66	0.65
Maximum in mmol/L	1.87	10.92	1.98	3.07
Gruppe Schwimmen (N=10)	(n=10)	(n=10)	(n=6)	(n=10)
Mittelwert in mmol/L	0.71	3.80	1.06	1.11
Standardabweichung	0.44	1.73	0.42	0.44
Minimum in mmol/L	0.5	1.34	0.52	0.59
Maximum in mmol/L	1.93	5.91	1.54	1.91

In Belastungstest 3 stiegen die mittleren Laktatkonzentrationen der Schwimmgruppe in der Belastungsbloodprobe (p01) geringer an (3.80 mmol/L) als in der Longiergruppe (5.26 mmol/L) und sanken nach 15 min und 30 min auf tiefere Werte (1.06 mmol/L und 1.11 mmol/L) im Vergleich zur Longiergruppe (1.17 mmol/L und 1.36 mmol/L). Auch der erreichte Maximalwert direkt nach Belastung (p01) fiel in der Schwimmgruppe um 45,92 % niedriger aus (5.91 mmol/L) als in der Longiergruppe (10.92 mmol/L). Abb. 13 stellt die mittleren Laktatkonzentrationen der Longier- und Schwimmgruppe in diesem Test dar.

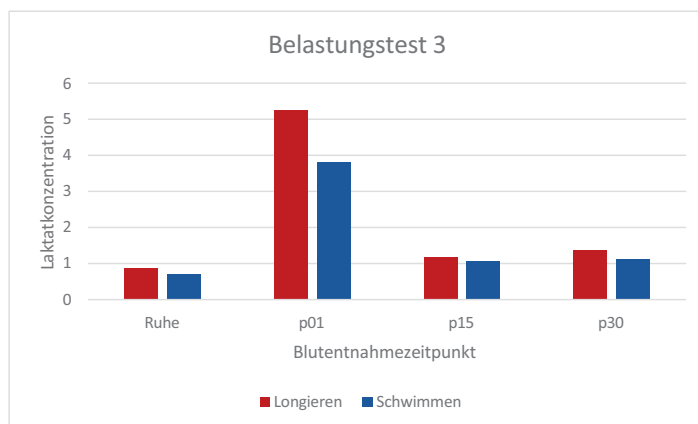


Abb. 13: Mittlere Laktatkonzentrationen in Belastungstest 3 der Longier- und Schwimmgruppe

4.1.4. Laktatkonzentrationen in Belastungstest 4

Der vierte und letzte Belastungstest fand nach der 6. Trainingswoche statt. 10 Pferde der Schwimmgruppe und 8 Pferde der Longiergruppe beendeten das 6-wöchige Schwimm-bzw. Longiertraining (Gruppe Schwimmen/ Gruppe Longieren). Die Werte dieses Belastungstests dienten der abschließenden Bewertung des Trainingserfolgs der Pferde. Tab. 14 enthält die mittleren Laktatkonzentrationen zu den verschiedenen Messzeitpunkten p0, p01, p15 und p30 mit Standardabweichungen, Minimum und Maximum für die Longier- und Schwimmgruppe von Test 4. N bezeichnet die Anzahl der Pferde und n die Anzahl der entnommenen Blutproben. 15 min nach Belastung konnte 2 Pferden der Longiergruppe und 4 Pferden der Schwimmgruppe kein Blut entnommen werden.

Tab. 14: Mittlere Laktatkonzentrationen in Test 4 zu den verschiedenen Messzeitpunkten (p0, p01, p15, p30) mit Standardabweichungen, Minimum und Maximum

Gruppe Longieren (N=8)	p0 (n=8)	p01 (n=8)	p15 (n=6)	p30 (n=8)
Mittelwert in mmol/L	0.76	6.27	1.32	1.45
Standardabweichung	0.33	2.64	0.36	0.71
Minimum in mmol/L	0.5	2.55	0.81	0.82
Maximum in mmol/L	1.45	10.87	1.66	3.09
Gruppe Schwimmen (N=10)	(n=10)	(n=10)	(n=6)	(n=10)
Mittelwert in mmol/L	0.70	3.00	1.08	0.98
Standardabweichung	0.26	1.00	0.39	0.24
Minimum in mmol/L	0.5	1.31	0.63	0.58
Maximum in mmol/L	1.34	4.10	1.63	1.33

Nach Belastung stiegen die mittleren Laktatwerte der Longiergruppe mehr als doppelt so hoch an (6.27 mmol/L) als die Werte der Schwimmgruppe (3.00 mmol/L) (vgl. Abb. 14). Auch die maximal erreichte Laktatkonzentration der Schwimmgruppe fiel direkt nach Belastung um 62,28% niedriger aus (4.10 mmol/L) als das Maximum der Longiergruppe (10.87 mmol/L). Nach 30 min befand sich der mittlere Laktatwert der Schwimmpferde mit 0.98 mmol/L unter der Ruhewertgrenze von 1.0 mmol/L, wohingegen die Longierpferde mit 1.45 mmol/L noch darüber lagen. Abb. 14 zeigt die mittleren Laktatkonzentrationen der Longier- und Schwimmgruppe in diesem Test.

4. Ergebnisse

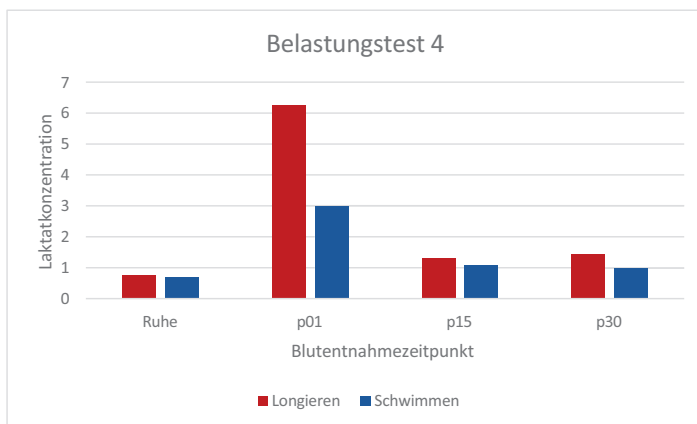


Abb. 14: Mittlere Laktatkonzentrationen in Belastungstest 4 der Longier- und Schwimmgruppe

4.1.5. Laktatwertdifferenzen der Longier- und Schwimmgruppe im Vergleich

Zur Beurteilung des Trainingserfolgs wurde die Differenz der mittleren Laktatwerte der Belastungsbloodproben des Tests 1 zu Test 2, 3 und 4 gebildet und zwischen der Longier- und Schwimmgruppe mittels multipler t-Tests verglichen. Nach dem Test auf Normalverteilung wurden die nicht normalverteilten Daten log₁₀-transformiert. Die p-Werte wurden nach Bonferroni mit dem Faktor 3 (Anzahl der Paarvergleiche) korrigiert. Im Folgenden werden die korrigierten p-Werte mit einem * markiert. In Tab. 15 sind die mittleren Laktatkonzentrationen der 4 Belastungstests und ihre Differenzen mit Standardabweichung, Minimum und Maximum aufgeführt. Log bezeichnet die jeweiligen mit log₁₀ transformierten Werte.

Tab. 15: Differenzen der mittleren Laktatwerte aus Test 1, 2, 3 und 4 der Longier- und Schwimmgruppe; N Anzahl der Pferde, Lac_Belastung_test mittlerer Laktatwert pro Test, diff Differenz, log_lactat_diff Differenz der log10-transformierten Werte

Gruppe	N	Variable	Mittelwert in mmol/L	Standardabweichung	Minimum in mmol/L	Maximum in mmol/L
Longieren	8	Lactat_Belastung_test1	6.06	3.15	1.40	11.89
		Lactat_Belastung_test2	5.43	2.93	1.81	11.21
		Lactat_Belastung_test3	5.26	2.84	1.21	10.92
		Lactat_Belastung_test4	6.27	2.64	2.55	10.87
		Lactat_Belastung_diff1-2	-0.64	1.30	-2.07	1.94
		Lactat_Belastung_diff1-3	-0.80	0.85	-2.15	0.73
		Lactat_Belastung_diff1-4	0.20	1.54	-1.22	3.50
		log_lactat_diff1-4	0.09	0.34	-0.33	0.63
Schwimmen	10	Lactat_Belastung_test1	6.11	2.28	3.78	11.66
		Lactat_Belastung_test2	5.96	3.19	2.56	11.50
		Lactat_Belastung_test3	3.80	1.73	1.34	5.91
		Lactat_Belastung_test4	3.00	1.00	1.31	4.10
		Lactat_Belastung_diff1-2	-0.15	1.99	-3.57	2.57
		Lactat_Belastung_diff1-3	-2.31	2.20	-6.79	1.66
		Lactat_Belastung_diff1-4	-3.11	1.66	-7.67	-1.88
		log_lactat_diff1-4	-0.72	0.22	-1.07	-0.48

Die Differenz der mittleren Laktatkonzentrationen von Test 1 zu Test 2 der Longier- und Schwimmgruppe war nicht signifikant ($t=-0.59$, $p^*=1.6851$). In Test 3 war die mittlere Laktatkonzentration der Schwimmgruppe mit 3.80 mmol/L niedriger, als die der Longiergruppe mit 5.26 mmol/L. Die Differenz war jedoch nicht signifikant ($p^*=0.2070$). Die mittlere Laktatkonzentration der Schwimmgruppe in Test 4 (3.00 mmol/L) war ebenfalls niedriger als die der Longiergruppe (6.27 mmol/L). Die Differenz war hier sehr signifikant ($t=6.07$, $p^*<0.0001$). Die Differenzen der Laktatwerte von Test 1 zu 4 sind in Abb. 15 dargestellt. Zur besseren Veranschaulichung wurden die log10-transformierten Werte verwendet.

4. Ergebnisse

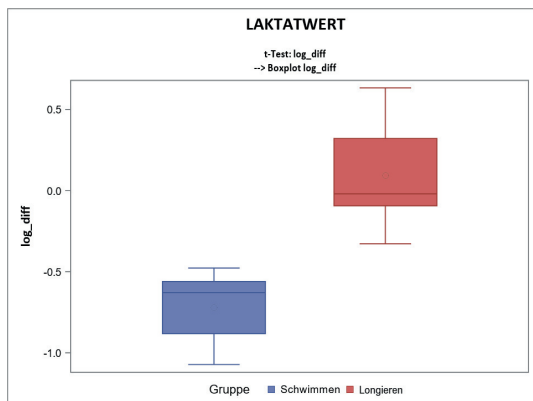


Abb. 15: Laktatwertdifferenzen von Test 1 zu 4 der Longier- und Schwimmgruppe, Werte log10-transformiert

4.2. Herzfrequenz

4.2.1. Mittlere Herzfrequenzen in den verschiedenen Belastungsstufen

Während jedes Belastungstests (Test 1-4) wurden über die gesamte Zeitspanne von Beginn bis 30 min nach Ende der letzten Belastungsstufe die Herzfrequenzen der Pferde aufgezeichnet. Als Einzelherzfrequenz wurde die pro Sekunde aufgezeichnete Herzfrequenz bezeichnet. Aus den Einzelherzfrequenzen wurden die mittleren Herzfrequenzen pro Belastungsstufe (Trab, Galopp 1-3) pro Pferd berechnet. Für die Belastungsstufen Trab und Galopp 1 wurde die mittlere Herzfrequenz gebildet aus der Summe der Einzelherzfrequenzen ab 30 Sekunden nach Start bis zum Durchreiten des Ziels der Runde dividiert durch die Anzahl der Sekunden. Für die Stufen Galopp 2 und Galopp 3 wurden die Einzelherzfrequenzen ab 20 Sekunden bzw. 10 Sekunden nach Start bis zum Durchreiten des Ziels der jeweiligen Runde verwendet. In Tab. 16 sind die mittleren Herzfrequenzen für die Longier- und Schwimmgruppe zu den verschiedenen Belastungsstufen (Trab, Galopp 1-3) und die Ruheherzfrequenzen in Test 1-4 dargestellt. N bezeichnet die Anzahl der Pferde, die an den Belastungstests teilnahmen, n die Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven. Aufgrund technischer Probleme wurden die Herzfrequenzen bei verschiedenen Pferden nicht vollständig oder fehlerhaft aufgezeichnet (n Miss=17). Es gelangten nur vollständige Herzfrequenzkurven zur Auswertung (n gesamt= 55). Der Mittelwert errechnet sich aus den mittleren Herzfrequenzen dividiert durch die Anzahl der Herzfrequenzkurven (n). In Tab. 16 sind außerdem die Standardabweichung, Minimum und Maximum bezogen auf den Mittelwert angegeben.

Tab. 16: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4 in Ruhe und zu den verschiedenen Belastungsstufen Trab und Galopp 1-3 mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven (n) sowie der fehlenden Kurven (n Miss), Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Gruppe	Zeitpunkt	N	Test	n	n Miss	Mittelwert in bpm	Standardabweichung	Minimum in bpm	Maximum in bpm
Longieren	Ruhe	8	Test 1	8	0	39.25	2.05	37	42
			Test 2	8	0	38.63	6.12	36	53
			Test 3	8	0	39.5	4.81	33	54
			Test 4	8	0	39	7.46	32	54
	Trab	8	Test 1	3	5	107.73	6.26	100.91	113.2
			Test 2	5	3	97.25	17.71	69.87	113.4
			Test 3	7	1	100.68	10.18	86.26	114.4
			Test 4	8	0	112.65	8.15	99.21	122.49
	Galopp 1	8	Test 1	3	5	149.49	4.22	145.47	153.89
			Test 2	5	3	153.21	6.45	142.24	158.89
			Test 3	7	1	155.11	14.05	130.8	178.9
			Test 4	8	0	157.26	13.32	133.91	176.15
	Galopp 2	8	Test 1	3	5	161.58	5.79	155.43	166.92
			Test 2	5	3	159.3	7.03	152.3	170.06
			Test 3	7	1	161.48	15.6	142.21	188.98
			Test 4	8	0	164.11	14.32	135.18	180.53
	Galopp 3	8	Test 1	3	5	176.68	20.15	153.41	188.65
			Test 2	5	3	174.03	8.73	162.52	183.75
			Test 3	7	1	181.96	9.05	172.81	198.15
			Test 4	8	0	182.47	15.31	153.42	200.15
Schwimmen	Ruhe	10	Test 1	10	0	37.9	5.63	29	49
			Test 2	10	0	35.6	5.72	24	44
			Test 3	10	0	36.9	7.22	24	46
			Test 4	10	0	35.6	5.28	24	43
	Trab	10	Test 1	8	2	107.28	19.52	76.28	123.1
			Test 2	7	3	116.08	15.38	103.31	147.53
			Test 3	7	3	107.37	11.99	94.92	128.27
			Test 4	10	0	100.7	12.34	84.94	125.16
	Galopp1	10	Test 1	8	2	151.24	26.63	90.77	174.73
			Test 2	7	3	166.11	15.09	145.97	192.37
			Test 3	7	3	148.18	28.75	93.2	184.72
			Test 4	10	0	151.02	16.96	124.76	182.73
	Galopp 2	10	Test 1	8	2	159.08	17.48	127.57	179.89
			Test 2	7	3	169.1	10.62	156.36	188.53
			Test 3	7	3	163.75	16.82	147.1	196.4
			Test 4	10	0	156.24	14.3	139.58	183.02
	Galopp 3	10	Test 1	8	2	181.79	15.54	151.42	199.22
			Test 2	7	3	191.56	11.99	173.78	208.34
			Test 3	7	3	184.04	13.32	164.36	198.77
			Test 4	10	0	177.11	13.03	150.93	198.84

4. Ergebnisse

In der Longiergruppe liefen 8 Pferde alle 4 Belastungstests. Für Test 1 konnten jedoch nur 3 Herzfrequenzkurven ausgewertet werden. In Test 2 gab es 5 vollständige Kurven, in Test 3 7 und in Test 4 konnten alle 8 Kurven ausgewertet werden. In der Schwimmgruppe lag die höchste Fehlerquote in Test 2 und 3 (n miss=3). Für Test 1 standen 8 Kurven und für Test 4 alle 10 Kurven für die Auswertung zur Verfügung. Die mittleren Herzfrequenzen stiegen ausgehend von den Ruheherzfrequenzen mit zunehmender Belastungsstufe an. Die höchsten Mittelwerte wurden in der Longiergruppe in Galopp 3 im 4. Belastungstest mit 182.47 bpm und in der Schwimmgruppe in Galopp 3 im 2. Belastungstest mit 191.56 bpm erreicht. Zu diesen Zeitpunkten wurden auch die höchsten mittleren Herzfrequenzen erfasst (Longiergruppe 200.15 bpm und Schwimmgruppe 208.34 bpm). In Abb. 16 sind die Mittelwerte der mittleren Herzfrequenzen dargestellt.

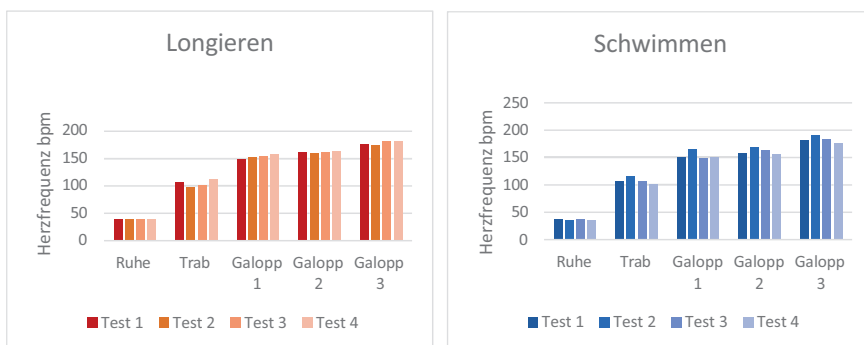


Abb. 16: Mittelwerte der mittleren Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in den verschiedenen Belastungsstufen der Tests 1-4; links Gruppe Longieren in Rot, rechts Gruppe Schwimmen in Blau

4.2.2. Differenzen der mittleren Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe im

Vergleich

Um den Trainingserfolg der Longier- und Schwimmgruppe vergleichen zu können wurde die Differenz der Mittelwerte der mittleren Herzfrequenzen pro Belastungsstufe (HF_diff) von Test 1 zu Test 2, 3 und 4 gebildet und mittels multipler t-Tests zwischen der Longier- und Schwimmgruppe verglichen. Die p-Werte wurden nach Bonferroni mit dem Faktor 3 (Anzahl der Paarvergleiche) korrigiert. Im Folgenden sind die korrigierten p-Werte mit einem * markiert. In Tab. 17-20 sind die Mittelwerte von Test 1, 2, 3 und 4 und ihre Differenzen aufgeteilt nach Belastungsstufen (Trab, Galopp 1-3) dargestellt.

N bezeichnet die Anzahl der teilnehmenden Pferde, n die Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven. Die Abb. 17-20 zeigen die Differenzen der Herzfrequenzen in den einzelnen Belastungsstufen.

4.2.2.1. Herzfrequenzdifferenzen in der Belastungsstufe Trab

Tab. 17: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe im Trab von Test 1-4 (HF_Trab_test) und ihre Differenzen (HF_Trab_diff) mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Gruppe	N	Variable	n	Mittelwert in bpm	Standardabweichung	Minimum in bpm	Maximum in bpm
Longieren	8	HF_Trab_test1	3	107.73	6.26	100.91	113.20
		HF_Trab_test2	5	97.25	17.71	69.87	113.40
		HF_Trab_test3	7	100.68	10.18	86.26	114.40
		HF_Trab_test4	8	112.65	8.15	99.21	122.49
		HF_Trab_diff1-2	2	1.85	3.49	-0.62	4.31
		HF_Trab_diff1-3	3	-10.54	14.32	-26.94	-0.52
		HF_Trab_diff1-4	3	3.83	3.46	1.53	7.80
Schwimmen	10	HF_Trab_test1	8	107.28	19.52	76.28	123.10
		HF_Trab_test2	7	116.08	15.38	103.31	147.53
		HF_Trab_test3	7	107.37	11.99	94.92	128.27
		HF_Trab_test4	10	100.70	12.34	84.94	125.16
		HF_Trab_diff1-2	5	-5.33	11.67	-17.36	11.79
		HF_Trab_diff1-3	5	-2.99	17.81	-28.18	21.48
		HF_Trab_diff1-4	8	-10.56	14.54	-28.78	14.37

Im 1. Test ähnelten sich die Mittelwerte der Longiergruppe (107.73 bpm) und Schwimmgruppe (107.28 bpm). In Test 2 und 3 waren die mittleren Herzfrequenzen in der Longiergruppe niedriger (Test 2 97.25 bpm, Test 3 100.68 bpm) als in der Schwimmgruppe (Test 2 116.08 bpm, Test 3 107.37 bpm). In Test 4 stieg sie in der Longiergruppe an auf 112.65 bpm, wohingegen sie in der Schwimmgruppe absank auf einen Mittelwert von 100.70 bpm. Die mittlere Herzfrequenz nahm in der Longiergruppe von Test 1 zu 2 um 1.85 bpm zu, während sie in der Schwimmgruppe um 5.33 bpm absank. Die Differenz war nicht signifikant ($t=0.81$, $p^*=1.3599$). In Test 3 war die Differenz zu Test 1 der Longier- und Schwimmgruppe ebenfalls nicht signifikant ($t=-0.62$, $p^*=1,6782$). Während die mittlere Differenz von Test 1 zu 4 in der Longiergruppe ein positives Vorzeichen erhielt (+3.83 bpm), befand sich die Differenz der Schwimmgruppe bei -10.56 bpm im negativen Bereich. Die Differenz der Mittelwerte der

4. Ergebnisse

Herzfrequenzen war jedoch auch hier nicht signifikant ($t = 1.64$, $p^* = 0.4035$). Abb. 17 verdeutlicht die Differenzen von Test 1 zu 4.

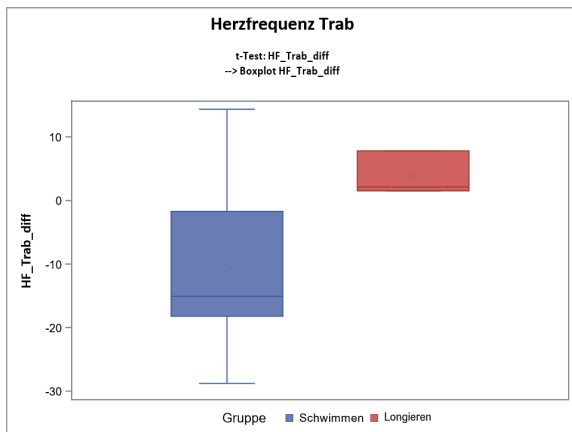


Abb. 17: Herzfrequenzdifferenzen der Schwimm- und Longiergruppe im Trab von Test 1 zu 4

4.2.2.2. Herzfrequenzdifferenzen in der Belastungsstufe Galopp 1

Tab. 18: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Galopp 1 von Test 1-4 (HF_Galopp1_test) und ihre Differenzen (HF_Galopp1_diff) mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Gruppe	N	Variable	n	Mittelwert in bpm	Standardabweichung	Minimum in bpm	Maximum in bpm
Longieren	8	HF_Galopp1_test1	3	149.49	4.22	145.47	153.89
		HF_Galopp1_test2	5	153.16	6.39	142.24	158.63
		HF_Galopp1_test3	7	155.11	14.05	130.80	178.90
		HF_Galopp1_test4	8	157.26	13.32	133.91	176.15
		HF_Galopp1_diff1-2	2	7.95	4.53	4.74	11.15
		HF_Galopp1_diff1-3	3	4.47	5.72	0.18	10.96
		HF_Galopp1_diff1-4	3	12.82	6.85	4.95	17.43
Schwimmen	10	HF_Galopp1_test1	8	151.24	26.63	90.77	174.73
		HF_Galopp1_test2	7	166.11	15.09	145.97	192.37
		HF_Galopp1_test3	7	148.18	28.75	93.20	184.72
		HF_Galopp1_test4	10	151.02	16.96	124.76	182.73
		HF_Galopp1_diff1-2	5	0.34	11.43	-17.74	13.51
		HF_Galopp1_diff1-3	5	-18.57	20.44	-52.50	1.33
		HF_Galopp1_diff1-4	8	-5.86	25.02	-46.42	33.99

In der Belastungsstufe Galopp 1 lagen die Mittelwerte der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1 auf einem ähnlich hohen Niveau (Longieren 149.49 bpm, Schwimmen 151.24 bpm). In Test 2 stieg sie in der Schwimmgruppe auf 166.11 bpm höher an, als in der Longiergruppe (153.16 bpm). Während sie in der Longiergruppe im 3. Test nochmals anstieg (155.11 bpm), sank sie in der Schwimmgruppe auf 148.18 bpm. In Test 4 stieg der Mittelwert der Longiergruppe auf 157.26 bpm und der der Schwimmgruppe auf 151.02 bpm. Die Differenzen von Test 1 zu 2 ($t=0.87$, $p^*=1.2699$), Test 1 zu 3 ($t=1.85$, $p^*=0,339$) und Test 1 zu 4 ($t=1.24$, $p^*=0.7413$) der Longier- zur Schwimmgruppe waren nicht signifikant. In Abb. 18 sind die mittleren Differenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Galopp 1 von Test 1 zu 4 dargestellt.

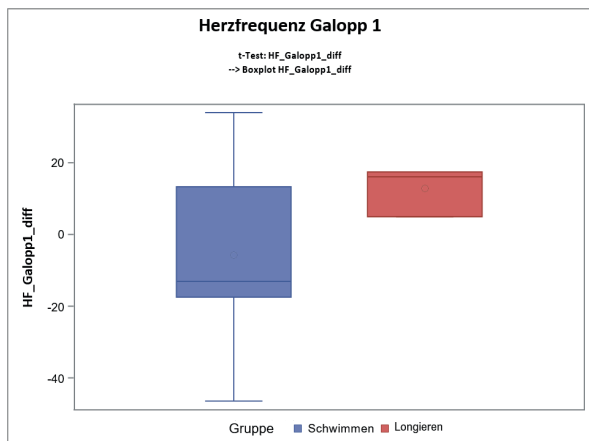


Abb. 18: Herzfrequenzdifferenzen der Schwimm- und Longiergruppe in Belastungsstufe Galopp 1 von Test 1 zu 4

4. Ergebnisse

4.2.2.3. Herzfrequenzdifferenzen in der Belastungsstufe Galopp 2

Tab. 19: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Galopp 2 von Test 1-4 (HF_Galopp2_test) und ihre Differenzen (HF_Galopp2_diff) mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Gruppe	N	Variable	n	Mittelwert in bpm	Standardabweichung	Minimum in bpm	Maximum in bpm
Longieren	8	HF_Galopp2_test1	3	161.58	5.79	155.43	166.92
		HF_Galopp2_test2	5	159.30	7.03	152.30	170.06
		HF_Galopp2_test3	7	161.48	15.60	142.21	188.98
		HF_Galopp2_test4	8	164.11	14.32	135.18	180.53
		HF_Galopp2_diff1-2	2	4.65	14.11	-5.33	14.63
		HF_Galopp2_diff1-3	3	1.10	14.84	-12.06	17.18
		HF_Galopp2_diff1-4	3	2.10	8.49	-7.08	9.68
Schwimmen	10	HF_Galopp2_test1	8	159.08	17.48	127.57	179.89
		HF_Galopp2_test2	7	169.10	10.62	156.36	188.53
		HF_Galopp2_test3	7	163.75	16.82	147.10	196.40
		HF_Galopp2_test4	10	156.24	14.30	139.58	183.02
		HF_Galopp2_diff1-2	5	0.73	7.79	-8.86	12.10
		HF_Galopp2_diff1-3	5	-4.57	7.34	-11.49	3.82
		HF_Galopp2_diff1-4	8	-8.40	21.72	-38.19	19.98

Im 2. Galopp lagen die Mittelwerte der Herzfrequenzen in Test 1 für die Longiergruppe mit 161.58 bpm und für die Schwimmgruppe mit 159.08 bpm nah beieinander. Im 2. und 3. Test veränderte sie sich in der Longiergruppe kaum (159.30 bpm und 161.48 bpm), wohingegen sie in der Schwimmgruppe in Test 2 zunächst auf 169.10 bpm anstieg, um dann in Test 3 wieder auf 163.75 bpm abzusinken. In Test 4 stieg der Mittelwert der Longiergruppe auf 164.11 bpm an, während er in der Schwimmgruppe auf 156.24 bpm weiter absank. Die Differenzen der Mittelwerte der Herzfrequenzen in Galopp 2 von Longier- zu Schwimmgruppe von Test 1 zu 2 ($t=0.50$, $p^*=1.9188$), Test 1 zu 3 ($t=0.74$, $p^*=1.4574$) und Test 1 zu 4 ($t=0.79$, $p^*=1.3458$) waren nicht signifikant. Die Differenzen der Longier- und Schwimmgruppe von Test 1 zu 4 zeigt Abb. 19.

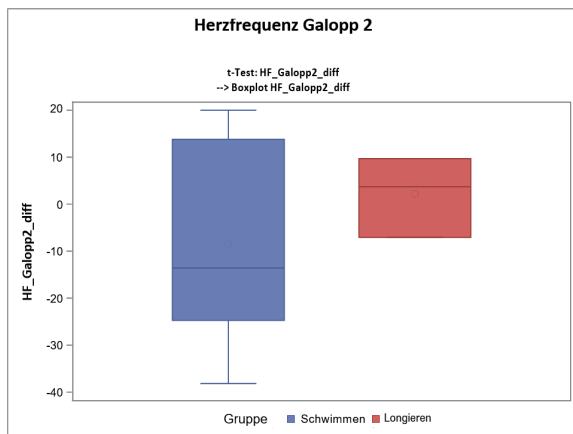


Abb. 19: Herzfrequenzdifferenzen der Schwimm- und Longiergruppe in Belastungsstufe Galopp 2

4.2.2.4. Herzfrequenzdifferenzen in der Belastungsstufe Galopp 3

Tab. 20: Mittlere Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Galopp 3 von Test 1-4 (HF_Galopp3_test) und ihre Differenzen (HF_Galopp3_diff) mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Gruppe	N	Variable	n	Mittelwert in bpm	Standardabweichung	Minimum in bpm	Maximum in bpm
Longieren	8	HF_Galopp3_test1	3	176.68	20.15	153.41	188.65
		HF_Galopp3_test2	5	176.55	9.43	162.52	186.64
		HF_Galopp3_test3	7	181.96	9.048	172.81	198.15
		HF_Galopp3_test4	8	182.47	15.31	153.42	200.15
		HF_Galopp3_diff1-2	2	9.91	15.89	-1.33	21.14
		HF_Galopp3_diff1-3	3	6.61	14.45	-9.06	19.40
		HF_Galopp3_diff1-4	3	4.72	17.73	-10.27	24.29
Schwimmen	10	HF_Galopp3_test1	8	181.79	15.54	151.42	199.22
		HF_Galopp3_test2	7	191.56	11.99	173.78	208.34
		HF_Galopp3_test3	6	183.98	13.35	164.36	198.77
		HF_Galopp3_test4	9	177.11	13.03	150.93	198.84
		HF_Galopp3_diff1-2	5	2.13	10.65	-9.79	16.57
		HF_Galopp3_diff1-3	4	-1.18	15.56	-16.87	16.55
		HF_Galopp3_diff1-4	7	-6.01	5.55	-12.41	2.64

In der Belastungsstufe Galopp 3 lag der Mittelwert der Herzfrequenzen in Test 1 für die Longiergruppe mit 176.68 bpm tiefer als der Mittelwert der Schwimmgruppe mit 181.79 bpm. Während er in der Longiergruppe in Test 2 gleichblieb, stieg er in der Schwimmgruppe auf 191.56 bpm. In Test 3 stieg der Mittelwert in der Longiergruppe auf 181.96 bpm, wohingegen

4. Ergebnisse

er in der Schwimmgruppe wieder absank auf 183.98 bpm. In Test 4 stieg der Mittelwert der Longiergruppe weiter an auf 182.47 bpm. In der Schwimmgruppe sank er auf 177.11 bpm. Die Differenzen der Mittelwerte der Herzfrequenzen in Galopp 3 von Longier- zu Schwimmgruppe von Test 1 zu 2 ($t=0.78$, $p^*=1.4082$), Test 1 zu 3 ($t=0.67$, $p^*=1,5897$) und Test 1 zu 4 ($t=1.03$, $p^*=1.2156$) waren nicht signifikant. Abb. 20 verdeutlicht die mittleren Differenzen der Herzfrequenzen in Galopp 3 von Test 1 zu 4.

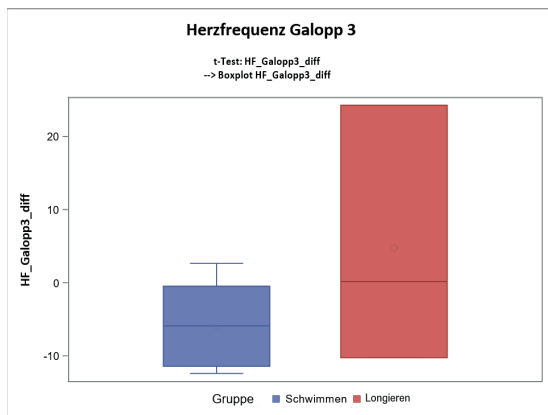


Abb. 20: Herzfrequenzdifferenzen der Schwimm- und Longiergruppe in Belastungsstufe Galopp 3 von Test 1 zu 4

4.2.3. Maximale Herzfrequenzen

Als maximale Herzfrequenz wurde die höchste gemessene Einzelherzfrequenz bezeichnet. In Tab. 21 sind die maximalen Herzfrequenzen für die Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4 dargestellt. N bezeichnet die Anzahl der Pferde, n die Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven. Der Mittelwert errechnet sich aus der Summe der maximalen Herzfrequenzen dividiert durch die Anzahl der Herzfrequenzkurven (n). Die Standardabweichung, Minimum und Maximum beziehen sich auf n.

Tab. 21: Maximale Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4 mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Gruppe	N	Test	n	Mittelwert in bpm	Standardabweichung	Minimum in bpm	Maximum in bpm
Longieren	8	Test 1	6	193.17	8.23	180	201
		Test 2	7	191.00	14.45	165	209
		Test 3	8	191.62	11.53	172	209
		Test 4	8	193.38	13.38	171	212
Schwimmen	10	Test 1	9	192.78	17.46	157	209
		Test 2	8	191.88	25.63	144	220
		Test 3	7	186.14	22.12	145	209
		Test 4	10	192.60	15.34	163	217

In der Longiergruppe konnten im 1. Test nur 6 der 8 Herzfrequenzkurven hinsichtlich der maximalen Herzfrequenzen ausgewertet werden, im 2. Test waren es 7 und im 3. und 4. Test waren es alle 8. In der Schwimmgruppe konnten im 1. Test 9 von 10 Herzfrequenzkurven ausgewertet werden, in Test 2 waren es 8, im 3. Test 7 und im 4. Test alle 10. In der Schwimmgruppe waren die Standardabweichungen in allen Tests höher (17.46, 25.63, 22.12 und 15.34) als in der Longiergruppe (8.23, 14.45, 11.53 und 13.38). Der niedrigste Mittelwert wurde in der Schwimmgruppe in Test 3 mit 186.14 bpm erreicht. Der niedrigste Mittelwert in der Longiergruppe betrug 191.00 bpm. Die höchsten Mittelwerte der Longier- und Schwimmgruppe unterschieden sich nur wenig (Longieren 193.38 bpm und Schwimmen 192.78 bpm). In Abb. 21 werden die maximalen Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4 dargestellt.

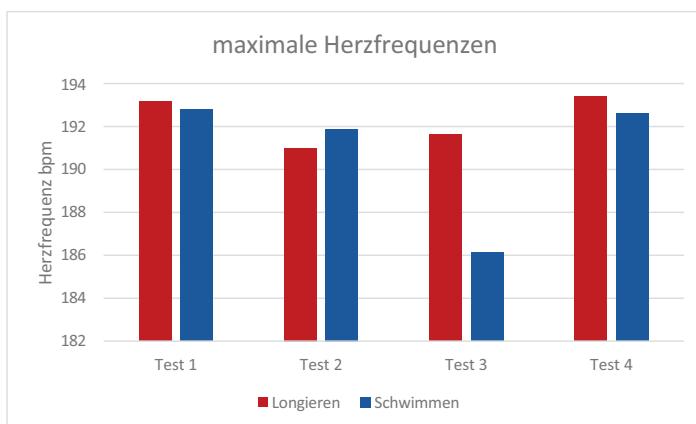


Abb. 21: Mittelwerte der maximalen Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4

4.2.4. Differenzen der maximalen Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe im Vergleich

Um die Longier- und Schwimmgruppe hinsichtlich ihrer maximalen Herzfrequenzen vergleichen zu können, wurde die Differenz der Mittelwerte der maximalen Herzfrequenzen pro Gruppe von Test 1 zu 4 gebildet und mittels eines t-Tests verglichen. In Tab. 22 sind die Mittelwerte von Test 1 und 4 (HF_Max_test1 bzw. 4) und ihre Differenzen (HF_Max_diff) aufgeteilt nach Gruppe dargestellt. N bezeichnet die Anzahl der teilnehmenden Pferde, n die Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven. Abb. 22 zeigt die Differenzen der maximalen Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe im Vergleich.

Tab. 22: Maximale Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1 und 4 (HF_Max_test1 bzw. 4) und ihre Differenzen (HF_Max_diff) mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Gruppe	N	Variable	n	Mittelwert in bpm	Standardabweichung	Minimum in bpm	Maximum in bpm
Longieren	8	HF_Max_test1	6	193.17	8.23	180	201
		HF_Max_test4	8	193.38	13.38	171	212
		HF_Max_diff	6	-4.83	9.28	-17	3
Schwimmen	10	HF_Max_test1	9	192.78	17.46	157	209
		HF_Max_test4	10	192.60	15.34	163	217
		HF_Max_diff	9	-0.78	8.14	-15	8

Zur Bildung der Differenz standen in der Longiergruppe 6 Herzfrequenzkurven zur Verfügung und in der Schwimmgruppe 9. Die mittlere Differenz in der Longiergruppe betrug -4.83 und in der Schwimmgruppe -0.78. Die Differenz der Mittelwerte der maximalen Herzfrequenzen von Longier- zu Schwimmgruppe war nicht signifikant ($t=-0.90$, $p=0.3869$). In Abb. 22 sind die Differenzen der Longier- und Schwimmgruppe gegenübergestellt.

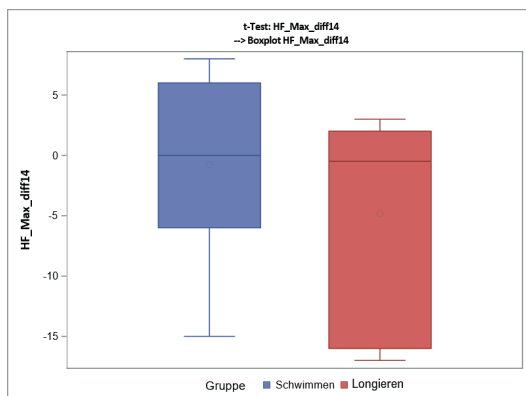


Abb. 22: Differenzen der maximalen Herzfrequenzen von Test 1 zu 4 der Schwimm- und Longiergruppe

4.2.5. Beruhigungszeit der Herzfrequenz

Als Beruhigungszeit der Herzfrequenz wurde die Zeit in Sekunden definiert, die nach Ende der letzten Belastungsstufe gebraucht wurde, um eine Einzelherzfrequenz von unter 65 bpm zu erreichen. In Tab. 23 sind die Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4 aufgeführt. N bezeichnet die Anzahl der Pferde, n die Anzahl der ausgewerteten Herzfrequenzkurven. Der Mittelwert ergibt sich aus der Summe der einzelnen Beruhigungszeiten dividiert durch die Anzahl der Herzfrequenzkurven (n). Die Standardabweichung, Minimum und Maximum beziehen sich auf n.

Tab. 23: Mittlere Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4 mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der Herzfrequenzkurven (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum

Gruppe	N	Zeitpunkt	n	Mittelwert in sec	Standardabweichung	Minimum in sec	Maximum in sec
Longieren	8	Test1	3	813.67	82.08	720	873
		Test2	5	749.60	150.44	623	1005
		Test3	7	779.00	270.49	460	1153
		Test4	6	857.33	124.18	667	1002
Schwimmen	10	Test1	8	804.13	334.50	90	1192
		Test2	6	736.67	227.72	317	992
		Test3	6	621.17	375.91	92	1183
		Test4	9	585.00	359.80	76	1121

In der Longiergruppe standen für die Auswertung in Test 1 nur 3 Herzfrequenzkurven zur Verfügung. Im 2. Test waren es 5 Kurven, im 3. Test 7 und im 4. Test 6 von 8. In der Schwimmgruppe konnten in Test 1 8 von 10 Herzfrequenzkurven ausgewertet werden.

4. Ergebnisse

Im 2. und 3. Test waren es 6 Kurven und im 4. Test 9 von 10. Im 1. Test lag die mittlere Beruhigungszeit der Longiergruppe mit 813.67 Sekunden über der der Schwimmgruppe mit 804.13 Sekunden. In Test 2 sank die mittlere Beruhigungszeit in beiden Gruppen zunächst ab (Longieren 749.60 sec, Schwimmen 736.67 sec), um dann in der Longiergruppe in Test 3 und 4 wieder anzusteigen (Test 3 779.00 sec und Test 4 857.33 sec). In der Schwimmgruppe hingegen sank die Beruhigungszeit weiter ab (Test 3 621.17 und Test 4 585.00 sec). Die mittleren Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4 zeigt Abb. 23.

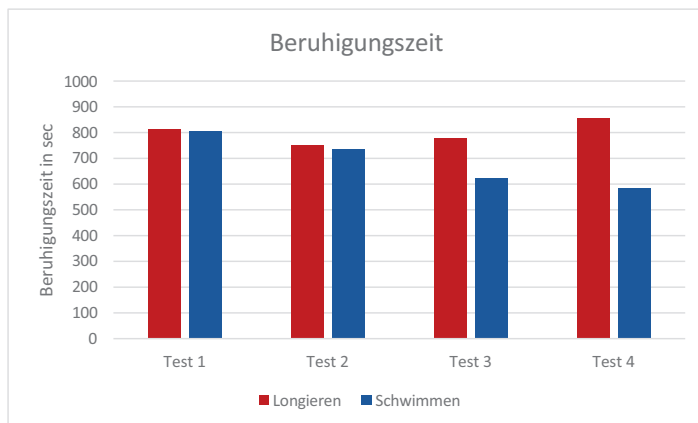


Abb. 23: Mittlere Beruhigungszeiten der Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1-4

4.2.6. Differenzen der Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe im Vergleich

Zum Vergleich der Longier- und Schwimmgruppe hinsichtlich ihrer Beruhigungszeiten wurde die Differenz der Mittelwerte der Beruhigungszeiten pro Gruppe von Test 1 zu 4 gebildet und mittels eines t-Tests verglichen. In Tab. 24 sind die Mittelwerte von Test 1 und 4 (HF_u65_test1 bzw. 4) und ihre Differenzen (HF_u65_diff) aufgeteilt nach Gruppe dargestellt. N bezeichnet die Anzahl der teilnehmenden Pferde, n die Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven. Abb. 24 zeigt die Differenzen der Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe im Vergleich.

Tab. 24: Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe in Test 1 und 4 (HF_u65_test1 bzw. 4) und ihre Differenzen (HF_u65_diff) mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der auswertbaren Herzfrequenzkurven (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Gruppe	N	Variable	n	Mittelwert in sec	Standardabweichung	Minimum in sec	Maximum in sec
Longieren	8	HF_u65_test1	3	813.67	82.08	720.00	873.00
		HF_u65_test4	6	857.33	124.18	667.00	1002.00
		HF_u65_diff	3	50.67	154.52	-96.00	212.00
Schwimmen	10	HF_u65_test1	8	804.13	334.50	90.00	1192.00
		HF_u65_test4	9	585.00	359.80	76.00	1121.00
		HF_u65_diff	8	-255.86	288.44	-658.00	149.00

Aufgrund technischer Probleme bei der Messung bzw. Aufzeichnung der Herzfrequenzen oder dem zu frühen Abnehmen des Herzfrequenzmessgurtes nach dem Test erfolgte nicht bei allen teilnehmenden Pferden eine vollständige Aufzeichnung der Beruhigungszeit. In der Longiergruppe standen für Test 1 nur 3 Herzfrequenzkurven zur Verfügung, in Test 4 konnten 6 Kurven ausgewertet werden. In der Schwimmgruppe konnten 8 Kurven in Test 1 und 9 Kurven in Test 4 ausgewertet werden. Während die mittlere Beruhigungszeit in der Longiergruppe in Test 4 (857.33 sec) im Vergleich zu Test 1 (813.67 sec) leicht anstieg, sank sie in der Schwimmgruppe von 804.13 sec in Test 1 deutlich ab auf 585.00 sec in Test 4. Die Differenz der Mittelwerte der Beruhigungszeiten von Longier- zu Schwimmgruppe war nicht signifikant ($t=1.70$, $p=0.1278$). Abb. 24 zeigt die Differenzen der Beruhigungszeiten der Longier- und Schwimmgruppe.

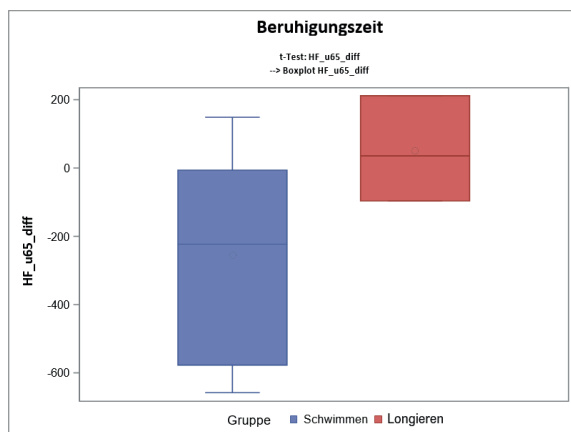


Abb. 24: Differenzen der Beruhigungszeiten von Test 1 zu 4 der Schwimm- und Longiergruppe

4.2.7. Korrelation der Herzfrequenzen und Laufgeschwindigkeiten in den verschiedenen Belastungsstufen

Um die Herzfrequenzen mit den gelaufenen Geschwindigkeiten der einzelnen Belastungsstufen in Verbindung zu setzen, wurde der Spearmansche Korrelationskoeffizient (r) für die gelaufenen Geschwindigkeiten und die mittleren Herzfrequenzen in den jeweiligen Belastungsstufen berechnet. Die gelaufene Geschwindigkeit wurde berechnet aus der gestoppten Zeit pro Belastungsstufe (Dauer der Runde) und der gelaufenen Strecke pro Belastungsstufe (1000 Meter pro Runde) und wird in Meter pro Minute (m/min) angegeben. Im Folgenden werden die Geschwindigkeiten und Herzfrequenzen pro Belastungsstufe (Galopp 1-3) aufgeführt. In der Belastungsstufe Trab variierten die Herzfrequenzen und Geschwindigkeiten zu stark, um eine gute Korrelation darzustellen. Sie wird deshalb nicht aufgeführt.

4.2.7.1. Korrelation der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz in Galopp 1

In Tab. 25 sind die gelaufenen Geschwindigkeiten und die mittleren Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in der Belastungsstufe Galopp 1 zusammengefasst. Der Mittelwert berechnet sich aus der Summe der gelaufenen Geschwindigkeiten bzw. der mittleren Herzfrequenzen dividiert durch die Anzahl der Geschwindigkeitsmessungen bzw. Herzfrequenzkurven (n).

Tab. 25: Mittlere Geschwindigkeit (V) und mittlere Herzfrequenz (HF) in Belastungsstufe Galopp 1 der Longier- und Schwimmgruppe mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der Messungen (Herzfrequenzkurven und Geschwindigkeiten) (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum

Gruppe	N	V/HF	n	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Longieren	8	V_Galopp1	32	406.94 m/min	49.90	258.60 m/min	480.00 m/min
		HF_Galopp1	23	154.70 bpm	11.22	130.80 bpm	178.90 bpm
Schwimmen	10	V_Galopp1	40	416.34 m/min	418.15	331.50 m/min	517.20 m/min
		HF_Galopp1	32	153.75 bpm	155.78	90.77 bpm	192.37 bpm

Die 8 Pferde der Longiergruppe galoppierten in der Belastungsstufe Galopp 1 etwas langsamer (406.94 m/min) als die 10 Pferde der Schwimmgruppe mit 416.34 m/min. Die erreichten mittleren Herzfrequenzen in dieser Stufe waren ähnlich (Longieren 154.70 bpm, Schwimmen 153.75 bpm). Die Standardabweichung war in der Schwimmgruppe jedoch wesentlich höher sowohl hinsichtlich der Geschwindigkeit (418.15), als auch der Herzfrequenz (155.78)

verglichen mit denen der Longiergruppe (V 49,90 und HF 11.22). In Abb. 25 und 26 spiegeln sich die großen Standardabweichungen der Schwimmgruppe in Form einer weiten Streuung der Werte wider. In der Longiergruppe korrelierte die Geschwindigkeit moderat mit der Herzfrequenz ($r=0.63978$). Die Korrelation war signifikant ($p=0.0010$). In der Schwimmgruppe war die Korrelation nicht signifikant ($r=0.33401$, $p=0.0617$).

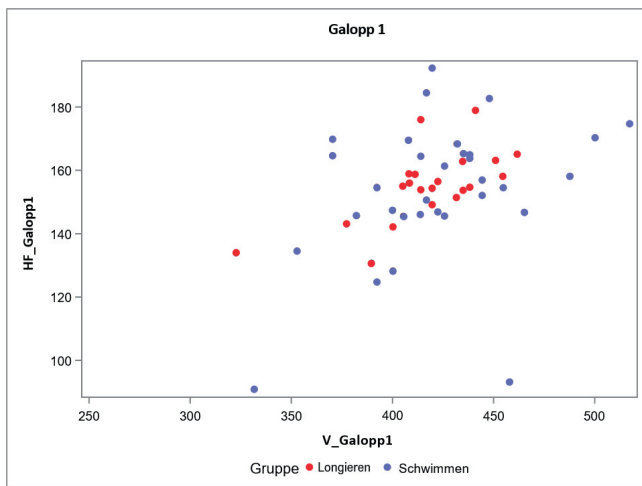


Abb. 25: Korrelation der Geschwindigkeiten (V_Galopp1) und der Herzfrequenzen (HF_Galopp1) der Longier- und Schwimmgruppe in Belastungsstufe Galopp 1

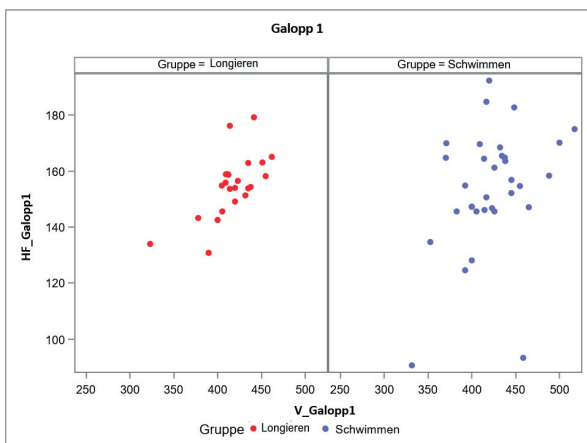


Abb. 26: Korrelation der Geschwindigkeiten (V_Galopp1) und der Herzfrequenzen (HF_Galopp1) in Stufe Galopp 1 aufgeteilt nach Longier- und Schwimmgruppe

4. Ergebnisse

4.2.7.2. Korrelation der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz in Galopp 2

Die gelaufenen Geschwindigkeiten und die mittleren Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in der Belastungsstufe Galopp 2 sind der Tab. 26 zu entnehmen. Der Mittelwert berechnet sich aus der Summe der gelaufenen Geschwindigkeiten bzw. der mittleren Herzfrequenzen dividiert durch die Anzahl der Geschwindigkeitsmessungen bzw. Herzfrequenzkurven (n).

Tab. 26: Mittlere Geschwindigkeit (V) und mittlere Herzfrequenz (HF) in Belastungsstufe Galopp 2 der Longier- und Schwimmgruppe mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der Messungen (Herzfrequenzkurven und Geschwindigkeiten) (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum

Gruppe	N	V/HF	n	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Longieren	8	V_Galopp2	32	443.41 m/min	53.01	287.10 m/min	508.50 m/min
		HF_Galopp2	23	161.94 bpm	12.12	135.18 bpm	188.98 bpm
Schwimmen	10	V_Galopp2	40	449.21 m/min	35.93	359.30 m/min	555.60 m/min
		HF_Galopp2	32	161.40 bpm	15.15	127.57 bpm	196.40 bpm

Die gelaufene Geschwindigkeit in Belastungsstufe Galopp 2 war in der Longiergruppe geringgradig niedriger (443.41 m/min) als in der Schwimmgruppe (449.21 m/min). Die Herzfrequenzen fielen annähernd gleich hoch aus (Longieren 161.94 bpm und Schwimmen 161.40 bpm). In der Longiergruppe korrelierte die Geschwindigkeit gut mit der Herzfrequenz ($r=0.72326$), in der Schwimmgruppe geringgradig ($r=0.40217$). Die Korrelation war in beiden Gruppen signifikant (Longieren $p<0.0001$, Schwimmen $p=0.0225$). Die Abb. 27 und 28 zeigen die Geschwindigkeiten und Herzfrequenzen der Belastungsstufe Galopp 2.

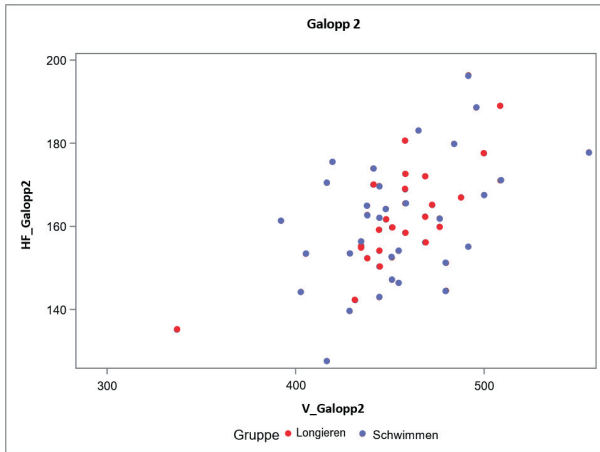


Abb. 27: Korrelation der Geschwindigkeiten (V_Galopp2) und der Herzfrequenzen (HF_Galopp2) der Longier- und Schwimmgruppe in Belastungsstufe Galopp 2

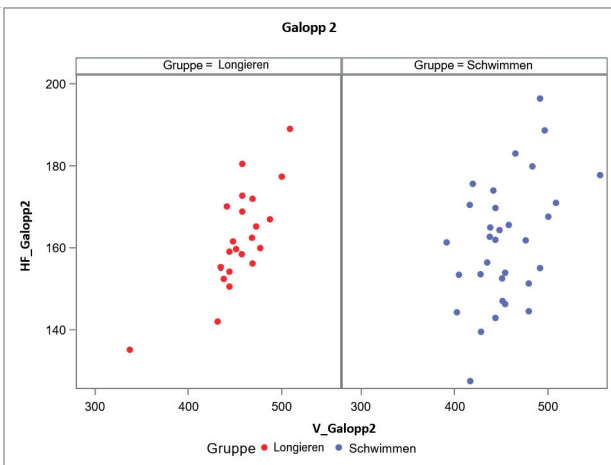


Abb. 28: Korrelation der Geschwindigkeiten (V_Galopp2) und der Herzfrequenzen (HF_Galopp2) in Stufe Galopp 2 aufgeteilt nach Longier- und Schwimmgruppe

4. Ergebnisse

4.2.7.3. Korrelation der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz in Galopp 3

Tab. 27 zeigt die gelaufenen Geschwindigkeiten und die mittleren Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe in der Belastungsstufe Galopp 3. Der Mittelwert berechnet sich aus der Summe der gelaufenen Geschwindigkeiten bzw. der mittleren Herzfrequenzen dividiert durch die Anzahl der Geschwindigkeitsmessungen bzw. Herzfrequenzkurven (n).

Tab. 27: Mittlere Geschwindigkeit (V) und mittlere Herzfrequenz (HF) in Belastungsstufe Galopp 3 der Longier- und Schwimmgruppe mit Anzahl der Pferde (N), Anzahl der Messungen (Herzfrequenzkurven und Geschwindigkeiten) (n), Standardabweichung, Minimum und Maximum

Gruppe	N	V/HF	n	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Longieren	8	V_Galopp3	32	523.67 m/min	69.77	315.80 m/min	606.10 m/min
		HF_Galopp3	23	180.27 bpm	12.55	153.41 bpm	200.15 bpm
Schwimmen	10	V_Galopp3	40	532.08 m/min	51.49	405.40 m/min	659.30 m/min
		HF_Galopp3	30	183.10 bpm	13.95	150.93 bpm	208.34 bpm

Die gelaufene Geschwindigkeit der Longiergruppe in Belastungsstufe 3 war mit 523.67 m/min niedriger als die der Schwimmgruppe (532.08 m/min). Auch die mittlere Herzfrequenz unterschied sich geringgradig (Longieren 180.27 bpm und Schwimmen 183.10 bpm). Die gelaufene Geschwindigkeit und die Herzfrequenz in Belastungsstufe Galopp 3 korrelierten in der Longiergruppe mit $r=0.67393$ und in der Schwimmgruppe $r=0.55050$ moderat. Die Korrelationen waren signifikant (Longieren $p=0.0004$, Schwimmen $p=0.0016$). In den Abb. 29 und 30 sind die Geschwindigkeiten und Herzfrequenzen in der Belastungsstufe 3 dargestellt.

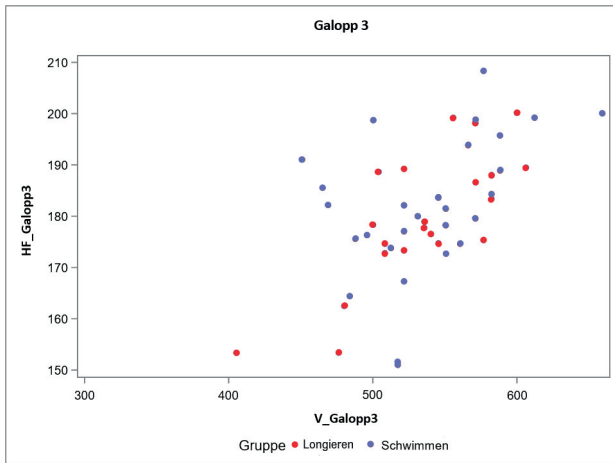


Abb. 29: Korrelation der Geschwindigkeiten ($V_{Galopp3}$) und der Herzfrequenzen ($HF_{Galopp3}$) der Longier- und Schwimmgruppe in Belastungsstufe Galopp 3

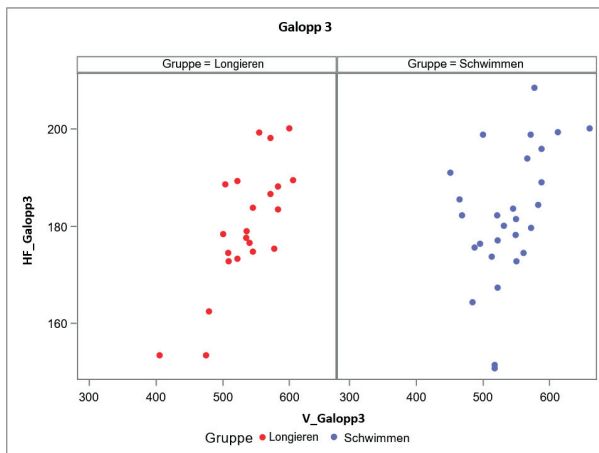


Abb. 30: Korrelation der Geschwindigkeiten ($V_{Galopp3}$) und der Herzfrequenzen ($HF_{Galopp3}$) in Stufe Galopp 3 aufgeteilt nach Longier- und Schwimmgruppe

5. Diskussion

5.1. Diskussion des Materials und der Methodik

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob durch das Schwimmtraining die Ausdauerleistungsfähigkeit der Pferde mehr gesteigert werden kann als durch Reiten und Longieren. Außerdem sollte geklärt werden, ob sich der verwendete Trainingsplan für das Schwimmen der Pferde eignet, um in 6 Wochen effektiv Kondition aufzubauen. Die Ergebnisse dieser Studie sollen eine Einschätzung des Schwimmens als Trainingsmöglichkeit gesunder Pferde abgeben und einen sinnvollen Trainingsplan für das Schwimmen bewerten, um Schwimmen in Zukunft besser als Trainingsmaßnahme einsetzen zu können. Außerdem sollen die Ergebnisse Aufschluss darüber geben, ob Schwimmen auch als Rehabilitationsmaßnahme für Pferde nach Erkrankung eingesetzt werden kann.

Das Schwimmen von Pferden als Trainingsmethode und seine Auswirkung auf kardiorespiratorische und hämatologische Parameter sowie die Muskulatur wurde bereits in zahlreichen Studien untersucht (Asheim et al., 1970; Bartmann, 1991; Davie et al., 2008; Fregin & Nicholl, 1977; Hobo et al., 1998; Jones et al., 2020; Klomp et al., 2014; Milne et al., 1977; Misumi et al., 1995, 1994b; Murakami et al., 1976; Thomas et al., 1980; Tokuriki et al., 1999). Auch die Anwendung als Therapie und zur Rehabilitation wurde bereits mehrfach beschrieben (Adair, 2011; Auer, 1980; Bartmann, 1991; Descompts, 1980; Irwin & Howell, 1980; Monk, 2007; Swanstrom & Lindy, 1973). Steel et al. (2019) kommen in ihrer Studie mit einer groß angelegten Umfrage unter 270 Renntrainern in Australien jedoch zu dem Schluss, dass Schwimmen häufig als Training zur Fitnesssteigerung oder als Rehabilitationsmaßnahme nach orthopädischen Verletzungen angewandt wird, der optimale Einsatz von Schwimmen jedoch vor allem hinsichtlich Dauer, Intensität und Art (Intervalle oder konstantes Schwimmen) des Schwimmtrainings nach wie vor unklar ist.

Bei den Probanden der vorliegenden Studie handelte es sich um 20 klinisch gesunde Pferde mit einem mittleren Alter von 9,3 Jahren (6-18 Jahre), die sich zum Zwecke des Aufbautrainings im Studienzeitraum (August 2019 bis November 2019 und März 2020 bis November 2020) am TMBZ Seehof befanden. 2 Pferde konnten aufgrund von auftretenden Lahmheiten das Trainingsprogramm nicht beenden. Ihre Daten flossen nicht in die Auswertungen mit ein.

Die vorherrschende Rasse war das Warmblut mit 70%, gefolgt von Vollblut (15%) und sonstigen Rassen (5% Lusitano, 5% PRE, 5% Quarter). Dies unterscheidet sich zu einer Vielzahl vorheriger Studien, in denen nur Vollblüter im Schwimmtraining untersucht wurden (Asheim et al., 1970; Davie et al., 2008; Hobo et al., 1998; Jones et al., 2020; Klomp et al., 2014; Misumi et al., 1994b, 1995; Murakami et al., 1976; Steel et al., 2019; Tokuriki et al., 1999). Alle durchgeführten Untersuchungen, Blutentnahmen und Belastungstests fanden im Rahmen des Trainingsprogramms des TMBZ Seehof statt. Sie wurden für die vorliegende Studie wissenschaftlich aufgearbeitet und ausgewertet.

Die Probanden wurden kontrolliert randomisiert mittels Los aus dem Patientengut des TMBZ Seehof für die Longier- und Schwimmgruppe ausgewählt, um alle Störgrößen auf die Ergebnisse gleichmäßig auf die Gruppen aufzuteilen und somit eine systematische Verzerrung auszuschließen.

Die Probanden der Schwimmgruppe absolvierten ein 6-wöchiges Reit- und Schwimmtraining, die Probanden der Longiergruppe wurden über 6 Wochen geritten und longiert.

Aufbau des Schwimmtrainings

Als Trainingsplan für das Schwimmen in dieser Studie wurde ein 6-wöchiger Trainingsplan verwendet, welcher am TMBZ Seehof in dieser Form aus Erfahrungswerten entwickelt wurde und angewendet wird. Er besteht aus einer 1-wöchigen Gewöhnungsphase mit einzelnen Schwimmrunden und einer anschließenden 5-wöchigen Trainingsphase, welche sich wöchentlich steigert, sodass die Pferde am Ende des 6-wöchigen Trainings 7 Runden bzw. ca. 2:20 Minuten auf jeder Hand schwimmen können. Dieses Trainingsprogramm ist deutlich kürzer gefasst, als das in vorherigen Studien. Bartmann (1991) ließ die Pferde in seiner Studie beispielsweise zu Beginn 4 Minuten in einem runden Becken schwimmen und steigerte das Training anschließend wöchentlich um 5 Minuten, sodass die Pferde am Ende der 5-wöchigen Trainingsphase 20 Minuten am Stück schwammen.

Das Training von Misumi et al. (1994b) beinhaltete ein 5-monatiges Schwimmtraining mit entweder täglich 300m Schwimmen über die gesamten 5 Monate oder eine Steigerung nach dem 2. Monat auf 500m Schwimmen täglich. In der Studie von Davie et al. (2008) schwammen die Pferde zu Beginn 4 Minuten. Das Training wurde über 9 Wochen alle zwei Wochen um 1 Minute gesteigert, wenn es der Leistungszustand des Pferdes zuließ. Alle Studien konnten einen Trainingseffekt im Sinne gesunkener Laktatwerte nachweisen. Allerdings wurden (außer in der Studie von Bartmann (1991)) immer Pferde geschwommen, die im vollen Training standen. Mit dem in dieser Studie verwendeten Trainingsplan sollte evaluiert werden, ob trotz vergleichsweise kurzem täglichem Schwimmtraining die Ausdauerleistungsfähigkeit verbessert werden kann. Ein Trainingsplan mit kürzerer Schwimmdauer könnte in Zukunft gut für Pferde in der Rehabilitationsphase verwendet werden, da solche Pferde meist durch lange Boxenruhe Muskulatur und Kondition abbauen und mit anstrengenden Trainingsplänen überfordert werden könnten.

Stufenbelastungstests

Zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit zu Beginn der Studie und zur Überprüfung des Trainingserfolgs im Verlauf der Studie wurden bei allen Pferden 4 Stufenbelastungstests im Abstand von 2 Wochen durch das TMBZ Seehof durchgeführt. Durch die Stufenbelastungstests sollte eine objektive Erfassung der Ergebnisse erreicht werden. Nach Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren (2013) eignen sich standardisierte Belastungstests gut um Trainingspläne zu bewerten. In zahlreichen Studien wird auf diese Weise der Trainingserfolg erfasst (Harbig, 2006; Hennings, 2001; Jaek, 2004; Marlin & Nankervis, 2002; Misumi et al., 1994a, 1994b; Munsters et al., 2014; Thornton et al., 1983), wobei auf die Auswahl eines zur Fragestellung passenden Testprotokolls großer Wert gelegt werden muss. Um eine möglichst objektive Aussage zu erhalten, müssen die Rahmenbedingungen standardisiert werden (Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013). Dies ist unter Laborbedingungen auf einem Laufband am besten gewährleistet. Hier ist eine sehr genaue Durchführung und Wiederholbarkeit der Tests möglich, da die Geschwindigkeiten, die Dauer und der Steigungsgrad für jede Stufe des Belastungstests genau eingestellt werden können (Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013). Einige Studien zeigen jedoch, dass die physiologischen Antworten auf Belastungen auf dem Laufband unter denen unter Feldbedingungen zurückbleiben.

Die gemessenen Herzfrequenzen und Plasmlaktatwerte erwiesen sich beispielsweise niedriger auf dem Laufband bei gleicher Belastung als auf der Rennbahn (Couroucé et al., 1999; Fraipont et al., 2012; Gottlieb-Vedi & Lindholm, 1997). Am TMBZ Seehof wird ein 4-Stufenbelastungstest unter Feldbedingungen standardmäßig durchgeführt um Trainingserfolge zu beurteilen. Der Testaufbau wurde nach Vorbild von Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren (2013), Jaek (2004) und Korte (2006) entwickelt. Die Strecke pro Belastungsstufe bleibt konstant (1000m), die Geschwindigkeit wird pro Belastungsstufe gesteigert (250 m/min, 400 m/min, 450 m/min, 550 m/min).

Zur Standardisierung wurde ein Protokoll durch das TMBZ Seehof festgelegt, das bei jedem Belastungstest genau befolgt werden muss. Die Strecke (Sandbahn) wurde vor jedem Test abgezogen, um gleiche Bodenverhältnisse für alle Pferde zu schaffen. Da die Belastungstests jedoch über einen langen Zeitraum (August 2019 bis November 2019 und März 2020 bis November 2020) stattfanden, waren die Wetterverhältnisse und aufgrund dessen auch die Bodenverhältnisse nicht immer gleich (vgl. Anlage 4). Die Aufwärmphase, die Pausen zwischen den Belastungsstufen und das Trockenreiten sowie die Zeitpunkte der Blutentnahme wurden per Stoppuhr genau ermittelt und wie vorgegeben eingehalten. Die Reiter und die Person zur Durchführung der Tests waren immer die gleichen, sodass der Einfluss des Reiters gleich blieb. Zur Standardisierung der gerittenen Geschwindigkeiten pro Belastungsstufe befanden sich Markierungen entlang der Bahn im Abstand von 200 Metern, an denen sich die Reiter orientieren konnten. Die Reiter ritten mit einer Uhr, um sich anhand der Markierungen und der Zeit an der Geschwindigkeit zu orientieren. Nach jeder Runde wurde dem Reiter Feedback zu seiner Geschwindigkeit gegeben. Die vorgegebenen Tempi wurden dennoch oftmals nicht erreicht oder überschritten (vgl. Anlage 3). Die schwierige Standardisierung der Geschwindigkeiten muss bei der Interpretation der Werte unbedingt berücksichtigt werden.

Untersuchungsparameter

Die untersuchten Parameter in den Stufenbelastungstests waren Laktatkonzentration, Herzfrequenz und Geschwindigkeit. Dies sind die am häufigsten verwendeten Parameter zur Leistungsbeurteilung in Belastungstests, da sie unter Feldbedingungen einfach und ohne teures Equipment erfasst werden können und eine gute Aussagekraft besitzen (Couroucé-Malblanc & van Erck-Westergren, 2013; Engelhardt, 2015; Tetzner, 2008).

Für die Bestimmung der **Laktatkonzentration** würde sich eine Muskelbiopsie am besten hinsichtlich einer Aussage zur Stoffwechselsituation während und nach der Belastung eignen (Votion, 2013). Die Entnahme und Untersuchung von Muskelgewebe stellen jedoch einen erheblichen Eingriff am Tier dar. Die Entnahme einer Blutprobe aus der Vena jugularis externa ist weit weniger belastend für das Pferd und hinsichtlich der dennoch aussagekräftigen Ergebnisse (Eto et al., 2004; von Engelhardt, 2015; Williamson et al., 1996; Persson et al., 1983 und Seeherman und Morris, 1990) der Muskelbiopsie vorzuziehen. In der vorliegenden Studie wurde die Laktatkonzentration im venösen Blut bestimmt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass sowohl der Blutentnahmeort (Vene oder Arterie) als auch die Wahl von Vollblut oder Blutplasma das Ergebnis beeinflussen (Ferrante, 1995; Harris & Snow, 1988; Persson et al., 1995; Pösö et al., 1995). Für Persson et al. (1995) und Pösö et al. (1995) besteht eine enge Korrelation zwischen Vollblut- und Plasmalaktatwerten. Aufgrund der Fähigkeit der Erythrozyten bis zu 50% des Laktats im Blut in sich aufzunehmen, fallen die Laktatkonzentrationen im Vollblut jedoch immer etwas niedriger aus als im Blutplasma (Persson et al., 1995; Pösö et al., 1995). Hinsichtlich der Laktataufnahmefähigkeit der Erythrozyten muss des Weiteren beachtet werden, dass sich die Pferdepopulation nach Väihkönen et al. (2002) und Väihkönen & Pösö (1998) aufteilen lässt in eine große Gruppe, die erblich bedingt eine hohe Laktataufnahmeaktivität in Erythrozyten besitzt und in eine Gruppe mit niedriger Laktataufnahmeaktivität. Außerdem spielen nach Ihnen auch das Alter, der Trainingszustand, der pH-Wert und die Körpertemperatur eine Rolle. Um diese Einflüsse zu minimieren wurde in der vorliegenden Arbeit die Laktatmessung im Plasma durchgeführt. Auch für Ferrante (1995) eignet sich die Laktatmessung im Plasma besser für die Beurteilung während der Belastung, da sie nicht durch die Entspeicherung der Milz und somit einem erhöhten Anteil an Erythrozyten im Blut beeinflusst wird. Für die Laktatbestimmung im Blutplasma ist es notwendig, die Blutproben nach der Entnahme so schnell wie möglich zu zentrifugieren und das Blutplasma abzupipettieren, um eine Aufnahme des Laktats in die Erythrozyten zu unterbinden und so einer Verfälschung des Ergebnisses entgegen zu wirken. In der vorliegenden Studie wurden die Blutproben innerhalb von 5 Minuten nach Entnahme zentrifugiert und das Blutplasma abpipettiert. Auch die Blutentnahmezeitpunkte haben einen erheblichen Einfluss auf die gemessenen Laktatkonzentrationen.

Unter Belastung kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Plasmalaktatkonzentration, der seine Spitze 2-10 Minuten nach Ende der Belastung erreicht, um dann wieder schrittweise bis auf Ruhewerte abzufallen (Votion, 2013). Die Eliminationsrate des Laktats aus dem Blut wird gesteigert durch einen höheren Anteil des aeroben Stoffwechsels. Das bedeutet, dass nach Belastung in Ruhe in der Muskulatur weniger Laktat umgesetzt wird, als bei leichter Arbeit (Hubbell et al., 1997; Lovell & Rose, 1995; Marlin et al., 1987). Marlin et al. (1987) stellten fest, dass sich die Halbwertszeit des Laktats nach intensiver Arbeit auf dem Laufband bei Pferden mit leichter Arbeit in der Erholungsphase um 50% verringerte im Vergleich zu Pferden, die in der Erholungsphase standen. In der vorliegenden Studie wurde den Pferden in Ruhe und 2 min, 15 min und 30 min nach Ende der Belastung Blut entnommen, um den Verlauf der Laktatkonzentration zu erhalten. Die Erholungsphase wurde für alle Pferde gleich gestaltet (900m Schritt), um die Erholungswerte zu standardisieren und vergleichen zu können. Training beeinflusst die Laktatkonzentrationen während und nach Belastung. Durch Training wird die aerobe Muskelkapazität erhöht und somit unter gleichbleibender Belastung weniger Laktat produziert. Auch die Eliminationsrate wird durch Training gesteigert, sodass trainierte Pferde zum einen bei gleicher Belastung niedrigere Laktatwerte aufweisen als untrainierte Pferde und zum anderen auch schneller wieder Ruhewerte erreichen (Donovan & Brooks, 1983; Phillips et al., 1995; Rainger et al., 1994; Ronéus et al., 1994).

Die **Herzfrequenz** wurde in der vorliegenden Studie kontinuierlich über die gesamte Dauer des Belastungstests bis 30 Minuten nach Ende des Tests aufgezeichnet. Zur Aufzeichnung der Herzfrequenz wurde ein System zur Herzfrequenzmessung bei Reitpferden der Firma Polar Electro Oy, Finnland verwendet, welches als Vorgängermodell in zahlreichen anderen Studien bereits angewendet wurde (Harbig, 2006; Hennings, 2001; Jaek, 2004; Korte, 2006). Ille et al. (2014) stellten fest, dass sich die gemessenen Herzfrequenzen von einem Polar Herzfrequenzmessgerät verglichen mit denen von einem EKG-Gerät nicht unterschieden. Die Polar-Messsysteme eignen sich daher gut zur kontinuierlichen Erfassung der Herzfrequenz. In der vorliegenden Studie wurden aus den erfassten Herzfrequenzdaten und den dazugehörigen Geschwindigkeiten die mittleren Herzfrequenzen pro Belastungsstufe in jedem Test ermittelt und zwischen den Tests verglichen. Laut Marlin & Nankervis (2002), Poole & Erickson (2013) und von Engelhardt (2015) weisen gut trainierte Pferde eine niedrigere Herzfrequenz bei gleicher Laufgeschwindigkeit auf als untrainierte Pferde.

Unter standardisierten Bedingungen kann daher die Abhängigkeit von Herzfrequenz und Laufgeschwindigkeit als Parameter zur Beurteilung des Trainingszustandes und der Ausdauerleistung von Pferden verwendet werden. In der Literatur wird hierzu häufig die V_{HF200} (gelaufene Geschwindigkeit bei einer Herzfrequenz von 200 bpm) bzw. V_{HF170} oder V_{HF140} verwendet. In der vorliegenden Studie konnten jedoch die vorgegebenen Geschwindigkeiten nicht immer konstant eingehalten werden, sodass keine lineare Regression zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz berechnet werden konnte. Es wurde daher zur Leistungsbeurteilung nicht die V_{HF200} herangezogen, sondern die mittleren Herzfrequenzen pro Belastungsstufe. Um die Geschwindigkeit dennoch mit der Herzfrequenz in Verbindung zu bringen, wurde anstatt einer linearen Regression der Spearman'sche Korrelationskoeffizient berechnet. Des Weiteren muss beachtet werden, dass aufgrund von Messausfällen nicht für jedes Pferd in allen Tests die Herzfrequenzkurven vollständig aufgezeichnet wurden. Da nur vollständige Herzfrequenzkurven zur Auswertung gelangten, reduzierte sich die Anzahl auf $n=55$. Da Herzfrequenzen auf viele Umwelteinflüsse wie Hitze, hohe Luftfeuchtigkeit, Höhe über dem Meeresspiegel, Stress, Alter, Geschlecht und zu tragendes Gewicht reagieren (Foreman et al., 1990, 1999; Kohn & Hinchcliff, 1995; Persson, 1997; Persson et al., 1996), wäre eine größere Kurvenanzahl zur besseren Beurteilung wünschenswert gewesen und muss bei der Interpretation der Werte berücksichtigt werden.

Neben den mittleren Herzfrequenzen wurden die maximalen Herzfrequenzen und die Beruhigungszeiten der Herzfrequenzen nach der Belastung erfasst.

Die **Geschwindigkeit** wurde pro Belastungsstufe mittels Stoppuhr auf 1000m gemessen. Zusätzlich zeichnete auch das Herzfrequenzmesssystem die Geschwindigkeiten per GPS-Signal auf. Aufgrund der häufigen Messausfälle wurde jedoch auf die erfassten Zeiten mittels Stoppuhr zurückgegriffen.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

5.2.1. Plasmalaktatkonzentrationen

Ruhelaktatwerte

Die mittleren Ruhelaktatwerte im Plasma in den 4 Belastungstests lagen in der vorliegenden Studie zwischen 0.64 mmol/L und 0.87 mmol/L und entsprechen somit den Ruhelaktatwerten in der Literatur, die mit < 1mmol/L angegeben werden (Bartmann, 1991; Jaek, 2004; Jose-Cunilleras & Mckeever, 2013; Korte, 2006; Serrano et al., 2002; Williamson et al., 1996). Es konnten keine Unterschiede zwischen der Longier- und Schwimmgruppe nachgewiesen werden. Auch im Verlauf des Trainings veränderten sich die Ruhelaktatwerte nicht. Diese Ergebnisse spiegeln die Angaben in der Literatur wider, nach denen der Ruhelaktatwert durch Training nicht beeinflusst wird (Bartmann, 1991; Jose-Cunilleras & Mckeever, 2013; Votion, 2013).

Laktatwert nach Belastung

In der Belastungsblutprobe (p01) 2 min nach Ende der Belastung stiegen die Plasmalaktatkonzentrationen bei allen Pferden in allen 4 Tests stark an. Es wurden mittlere Konzentrationen zwischen 3.00 mmol/L und 6.27 mmol/L erreicht. Die maximalen Werte lagen sowohl in der Longier- als auch der Schwimmgruppe noch deutlich höher (bis 11.89 mmol/L). Die Standardabweichungen variierten zwischen 3.19 und 1.00 und sind durch die unterschiedlichen Boden- und Wetterverhältnissen zu erklären. Während einige Pferde auf trockenem, festem Boden bei moderaten Temperaturen galoppieren konnten, mussten andere Pferde auf weicherem, tieferem Boden und/oder bei sehr warmen Temperaturen galoppieren.

Der 1. Belastungstest diente der Erfassung der aktuellen Ausdauerleistungsfähigkeit bei allen Pferden und stellte damit die Ausgangswerte, an denen die Ergebnisse der folgenden Belastungstests gemessen wurden. Die mittleren Belastungslaktatkonzentrationen waren in der Longier- und Schwimmgruppe mit 6.06 mmol/L und 6.11 mmol/L ähnlich hoch.

Auch die Maximalwerte lagen in beiden Gruppen nicht weit auseinander (Longieren 11.89 mmol/L, Schwimmen 11.66 mmol/L). Dies zeigt, dass alle Pferde hinsichtlich der Laktatkonzentrationen eng beieinander lagen und daher im folgenden Verlauf gut zu vergleichen waren.

Die Laktatkonzentrationen lagen über der aerob-anaeroben Schwelle von 4 mmol/L, die auch als „anaerobic threshold“ bezeichnet wird (Clayton, 1991; Rivero & Piercy, 2013). Diese Schwelle bezeichnet die Belastungsintensität, bei der die Laktatbildung und die Laktatelimination sich gerade noch das Gleichgewicht halten (maximales lactat-steady-state) (Röthig & Prohl, 2003). Wird sie überstiegen, befindet sich der Stoffwechsel im anaeroben Bereich. Die Belastung durch den Stufenbelastungstest war folglich groß genug, um die Pferde in eine anaerobe Stoffwechselsituation zu bringen. Dies war erforderlich, um im Verlauf der Studie mögliche Verbesserungen der Leistungsfähigkeit durch Absinken der Laktatwerte bei gleicher Belastung gut darstellen zu können (Engelhardt, 2015; Eto et al., 2004; Rainger et al., 1994; Ronéus et al., 1994). In den Blutproben nach 15 min und 30 min sanken die mittleren Plasmalaktatkonzentrationen in beiden Gruppen auf Werte zwischen 1.14 mmol/L und 1.51 mmol/L deutlich ab, erreichten aber noch nicht wieder die Ruhewerte unter 1 mmol/L. Der schnelle Abfall nach 15 min kann erklärt werden durch die Schrittbewegung der Pferde in der Beruhigungsphase. Laut Hubbell et al. (1997), Lovell & Rose (1995) und Marlin et al. (1987) wird die Laktatelimination gefördert durch eine aerobe Stoffwechselsituation in der Beruhigungsphase, d.h. bei leichter Arbeit (Schritt oder Trab) nach der Belastung wird Laktat schneller abgebaut als wenn die Pferde stehen. Durch die standardisierte Bewegung beim Trockenreiten der Pferde (900m Schritt) konnten somit auch die Beruhigungslaktatwerte gut untereinander verglichen werden.

Im 2. Belastungstest lagen die mittleren Plasmalaktatkonzentrationen der Belastungsblutproben (p01) in der Longiergruppe bei 5.43 mmol/L und in der Schwimmgruppe noch etwas höher bei 5.96 mmol/L. Auch die maximal erreichten Laktatwerte der Belastungsblutproben lagen in der Schwimmgruppe mit 11.50 mmol/L geringgradig höher als in der Longiergruppe (11.21 mmol/L). Die Differenz der Laktatwerte der Longier- zur Schwimmgruppe von Test 1 zu Test 2 waren mit $p=1.6851$ nicht signifikant. Trotz dem bereits erfolgten 2-wöchigen Schwimmtraining sanken die Laktatwerte in der Schwimmgruppe nicht ab. Es konnte noch kein Trainingserfolg im Vergleich zur Longiergruppe festgestellt werden.

Auch die Beruhigungslaktatwerte nach 15 bzw. 30 min sanken mit 1.25 mmol/L bzw. 1.56 mmol/L (Longiergruppe) und 1.30 mmol/L bzw. 1.57 mmol/L (Schwimmgruppe) zwar deutlich ab, erreichten aber in beiden Gruppen nicht die Ruhewerte. Insgesamt ähnelten sich die Werte des 1. und 2. Belastungstests sehr.

Nach 4-wöchigem Schwimmtraining zeigten sich im 3. Belastungstest erstmals deutliche Unterschiede in den Laktatkonzentrationen der Longier- und Schwimmgruppe. Mit Belastungslaktatwerten im Mittel von 3.80 mmol/L für die Schwimmgruppe hatten sich diese im Vergleich zum 1. Belastungstest annähernd halbiert und lagen deutlich unter denen der Longiergruppe mit 5.26 mmol/L. Auch die Maximalwerte zeigten sich mit 5.91 mmol/L in der Schwimmgruppe nur noch halb so hoch wie in Test 1, wohingegen in der Longiergruppe die Maximalwerte weiterhin mit 10.92 mmol/L im zweistelligen Bereich lagen. Die Differenz war jedoch mit $p^*=0.2070$ nicht signifikant. In diesem Test lagen die mittleren Belastungslaktatwerte der Schwimmgruppe unter der aerob-anaeroben Schwelle von 4mmol/L. Nach von Engelhardt (2015) bedeutet dies eine Leistungssteigerung. Er sieht in einer Verbesserung der aeroben Stoffwechsellkapazität (Laktatwerte < 4mmol/L) eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Auch Rainger et al. (1994) und Ronéus et al. (1994) zeigten in ihren Studien, dass trainierte Pferde niedrigere Laktatwerte aufweisen als untrainierte. Durch das 4-wöchige Schwimmtraining konnte hinsichtlich der aerob-anaeroben Schwelle bereits die Kondition und Ausdauerleistungsfähigkeit der Pferde verbessert werden. Der Unterschied zwischen Schwimm- und Longiergruppe war jedoch noch nicht signifikant. Die Beruhigungswerte nach 15 und 30 min erreichten mit 1.17 mmol/L bzw. 1.36 mmol/L (Longiergruppe) und 1.06 mmol/L bzw. 1.11 mmol/L (Schwimmgruppe) noch immer nicht die Ruhewerte von < 1 mmol/L.

Im 4. und letzten Belastungstest sanken die mittleren Plasmalaktatwerte in den Belastungsblutproben der Schwimmgruppe noch einmal weiter ab auf 3.00 mmol/L, wohingegen sie in der Longiergruppe wieder anstiegen auf 6.27 mmol/L und somit sogar über dem Mittelwert des 1. Belastungstests lagen. Die mittleren Laktatwerte der Schwimmgruppe sanken signifikant von Test 1 zu 4 ($p<0.0001$) im Vergleich zur Longiergruppe. Es konnte somit durch das 6-wöchige Schwimmtraining eine im Vergleich zur Longiergruppe deutliche Steigerung der aeroben Kapazität und somit der Ausdauerleistungsfähigkeit erreicht werden. Auch der Beruhigungslaktatwert der Schwimmgruppe nach 30 min sank im letzten Belastungstest unter die Grenze von 1 mmol/L (0.98 mmol/L) und erreichte somit als einziger Beruhigungswert wieder das Ruhewertniveau.

Anhand des Verlaufs der Belastungslaktatwerte über die gesamte Studienzeit konnte gezeigt werden, dass durch das Schwimmtraining nach 6 Wochen ein signifikanter Unterschied zwischen Longier- und Schwimmgruppe auftrat und somit ein Trainingseffekt in diesem Teilbereich dargestellt werden konnte. Durch das 6-wöchige Schwimmtraining konnte Kondition aufgebaut werden. Die Ergebnisse von Misumi et al. (1994b) ähneln denen in der vorliegenden Studie deutlich. Sie konnten nach 2-monatigem Schwimmtraining einen signifikanten Trainingseffekt ($p < 0.05$) im Vergleich zur Reitgruppe anhand von Geschwindigkeits-Laktat-Kurven in einem Belastungstest darstellen, welcher sich nach 5-monatigem Schwimmtraining ($p < 0.001$) nochmals verstärkte.

5.2.2. Herzfrequenzen

Ruheherzfrequenzen

Die mittleren Ruheherzfrequenzen lagen in der Longiergruppe zwischen 38.63 bpm und 39.5 bpm und in der Schwimmgruppe zwischen 35.6 bpm und 37.9 bpm und entsprechen somit den Referenzwerten in der Literatur (25-40 bpm). Durch Training sinkt die Ruheherzfrequenz beim Menschen, was auch bei trainierten Pferden festgestellt wurde (Littlejohn, 1987; Sexton et al., 1987). Allerdings konnten Bayly et al. (1983), Poole & Erickson (2013), Skarda et al. (1976) und Thomas et al. (1983) dies in ihren Studien nicht bestätigen. Auch in der vorliegenden Studie konnte kein Absinken der Ruheherzfrequenz eindeutig festgestellt werden. Die Ruhewerte der Schwimmgruppe lagen zwar generell etwas niedriger als die der Longiergruppe, es konnte aber keine konstante Abnahme der Ruheherzfrequenz im Verlauf des Trainings dargestellt werden.

Mittlere Herzfrequenzen während der Belastung

In den Belastungstests stieg die mittlere Herzfrequenz mit jeder Belastungsstufe und somit steigender Geschwindigkeit kontinuierlich an auf bis zu 191.56 bpm in der 4. Belastungsstufe. Die Maximalwerte lagen bei bis zu 208.34 bpm. Die Standardabweichung variierte zwischen 4.22 und 28.75 und spiegelt die Schwierigkeiten bei der Standardisierung der Geschwindigkeiten wider. Da die Herzfrequenz linear mit der gelaufenen Geschwindigkeit ansteigt (Lindholm & Saltin, 1974; Poole & Erickson, 2013; Thomas & Fregin, 1981), die Geschwindigkeiten aber oftmals nicht wie vorgegeben konstant über die gesamte Strecke eingehalten werden konnten, variieren auch die Herzfrequenzen deutlich.

Auch andere Faktoren wie Hitze, hohe Luftfeuchtigkeit, Höhe über dem Meeresspiegel, Stress, Alter, Geschlecht und zu tragendes Gewicht können die Herzfrequenz beeinflussen (Foreman et al., 1990, 1999; Kohn & Hinchcliff, 1995; Persson, 1997; Persson et al., 1996). In der vorliegenden Studie konnten Umwelteinflüsse wie Hitze, Luftfeuchtigkeit und Stress nicht standardisiert werden, da die Belastungstests über einen langen Zeitraum und unter Feldbedingungen stattfanden.

Um die Longier- und Schwimmgruppe zu vergleichen und einen Trainingserfolg im Verlauf der Studie darstellen zu können, wurden die Differenzen der mittleren Herzfrequenzen pro Belastungsstufe in jedem Test gebildet und einander gegenübergestellt. In der Trabrunde sank die mittlere Herzfrequenz in der Schwimmgruppe im Verlauf der Belastungstests von 107.28 bpm auf 100.70 bpm, wohingegen sie in der Longiergruppe von 107.73 bpm auf 112.65 bpm anstieg. Die Differenz zwischen der Longier- und Schwimmgruppe war jedoch nicht signifikant ($p^* = 0.4035$). Durch Training wird die Herzmuskulatur gestärkt, das Schlagvolumen erhöht und dadurch die Herzfrequenz abgesenkt. Gut trainierte Pferde weisen eine niedrigere Herzfrequenz bei gleicher Laufgeschwindigkeit auf als untrainierte Pferde (von Engelhardt, 2015; Poole & Erickson, 2013). Da jedoch die mittleren Herzfrequenzen in der Trabrunde im Bereich bis zu 110 bpm lagen, und in diesem Bereich beispielsweise durch Angst oder Stress eine sehr schnelle Erhöhung der Herzfrequenz erfolgen kann (Evans, 2007; Hamlin et al., 1972), muss die Aussagekraft generell hinterfragt werden. Nach Evans (2007) und Hamlin et al. (1972) sind die Herzfrequenzen in diesem Bereich leicht durch äußere Faktoren zu beeinflussen und besitzen weniger Aussagekraft hinsichtlich eines Trainingseffekts.

In der zweiten Belastungsstufe (Galopp 1) lagen die mittleren Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe zu Beginn (Test 1) zwischen 149.49 bpm und 151.24 bpm. Entsprechend der Geschwindigkeitssteigerung, erhöhte sich auch die Herzfrequenz. Im Verlauf des Trainings stiegen die mittleren Herzfrequenzen der Longiergruppe bis auf 157.26 bpm in Test 4 an. In der Schwimmgruppe stiegen sie im 2. Test zunächst auf 166.11 bpm an, um dann wieder auf 148.18 bpm (Test 3) und 151.02 bpm (Test 4) abzufallen. Auch in dieser Belastungsstufe konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Longier- und Schwimmgruppe dargestellt werden ($p^*=0.7413$). Aufgrund von großen Standardabweichungen in Test 1 (26.63) und 3 (28.75) in der Schwimmgruppe müssen auch diese Ergebnisse kritisch hinterfragt werden.

Sie kommen wie weiter oben bereits erwähnt zustande aufgrund von schwieriger Standardisierung der Geschwindigkeiten und durch nicht eliminierbare Umwelteinflüsse. In den Belastungsstufen 3 und 4 stiegen die mittleren Herzfrequenzen in der Longiergruppe ebenfalls im Verlauf des Trainings geringgradig an (Galopp 2: 161.58 bpm auf 164.11 bpm und Galopp 3: 176.68 bpm auf 182.47 bpm), wohingegen sie in der Schwimmgruppe geringgradig absanken (Galopp 2: 159.08 bpm auf 156.24 bpm und Galopp 3: 181.79 bpm auf 177.11 bpm). Auch in diesen beiden Belastungsstufen waren die Differenzen zwischen der Longier- und Schwimmgruppe nicht signifikant.

Insgesamt konnte im Verlauf des Trainings in keiner Belastungsstufe ein signifikanter Unterschied der mittleren Herzfrequenzen zwischen den beiden Gruppen dargestellt werden. Als Grund hierfür kann einerseits die geringe Stichprobenzahl angesehen werden. Da in der Schwimmgruppe nur 10 Pferde und in der Longiergruppe nur 8 Pferde getestet wurden und durch Messausfälle auch nicht in jedem Test alle Herzfrequenzkurven ausgewertet werden konnten ($n_{\text{Miss}}=17$), konnte ein möglicher Trainingseffekt nicht dargestellt werden. Ein weiteres Problem bei der Datenauswertung stellt die extrem große Streuung der Daten dar. Die gerittenen Geschwindigkeiten wichen teils sehr deutlich von den vorgegebenen Geschwindigkeiten für jede einzelne Belastungsstufe ab und können somit die weite Streuung der mittleren Herzfrequenzen erklären. Ebenso muss die Heterogenität der beiden Gruppen berücksichtigt werden. Neben einem großen Altersunterschied der Probanden (6 – 18 Jahre), ungleichmäßiger Geschlechterverteilung (Stuten $n = 8$, Wallache $n = 12$) und Rasseverteilung (Warmblut $n = 14$, Vollblut $n = 3$, Andere $n = 3$), gab es auch einen großen Unterschied bei der Nutzungsart der Probanden (Freizeitpferd $n = 13$, Vielseitigkeitspferd $n = 7$). Die Heterogenität der Gruppen war in dieser Studie einerseits gewünscht, da sie einen Querschnitt der Patienten des TMBZ Seehof widerspiegeln und die meisten bisherigen Studien zum Thema Schwimmen sich nur mit Vollblütern einer Altersstufe beschäftigen (Asheim et al., 1970; Davie et al., 2008; Hobo et al., 1998; S. Jones et al., 2020; Klomp et al., 2014; Misumi et al., 1994b, 1995; Murakami et al., 1976; Steel et al., 2019; Tokuriki et al., 1999). Andererseits mindert die heterogene Studienpopulation die Aussagekraft der gemessenen Parameter. Desweiteren ist bei der Beurteilung der Parameter die vorgenommene Randomisierung zu berücksichtigen.

Durch die randomisierte Zuteilung der Probanden in die beiden Gruppen wurde einerseits die Objektivität der Datenerhebung gefördert, die Vergleichbarkeit und Aussagekraft der Daten jedoch reduziert. Um einen signifikanten Unterschied der mittleren Herzfrequenzen zwischen der Longier- und Schwimmgruppe darstellen zu können, müsste nach Auffassung der Autorin entweder eine größere Teilnehmerzahl getestet werden, das Training über einen längeren Zeitraum fortgeführt werden oder die Heterogenität der Gruppen minimiert werden.

Maximale Herzfrequenzen

Als maximale Herzfrequenz wurde die höchste gemessene Einzelherzfrequenz in jedem Belastungstest bezeichnet. Die Mittelwerte der Longier- und Schwimmgruppe lagen hier in den 4 Tests zwischen 191.00 bpm und 193.38 bpm. Nur im 3. Belastungstest lag der Mittelwert in der Schwimmgruppe deutlich niedriger bei 186.14 bpm. Die Standardabweichung war hier jedoch auch mit 22.12 sehr hoch. Im Vergleich von Test 1 zu 4 lagen die maximalen Herzfrequenzen der Longier- und Schwimmgruppe auf einem nahezu identischen Niveau (Longiergruppe: 193.17 bpm und 193.38 bpm, Schwimmgruppe: 192.78 bpm und 192.60 bpm) bei geringeren Standardabweichungen. Die erreichten maximalen Herzfrequenzen lagen im Mittel etwas unterhalb der in der Literatur beschriebenen Maximalwerte (204-241 bpm) (von Engelhardt, 2015; Hodgson, 2014; Poole & Erickson, 2013).

Grund hierfür kann die Dauer bzw. die gewählte Geschwindigkeit der 4. Belastungsstufe sein, die bei einigen Pferden nicht zu einer maximalen Belastung geführt hat. Generell kamen die Pferde jedoch nahe an ihre maximale Belastungsgrenze heran. Außerdem muss beachtet werden, dass sich die maximale Herzfrequenz bei jedem Pferd unterscheidet (Evans, 2007) und mit dem Alter abnimmt (Betros et al., 2002; Vincent et al., 2006). Nach Couroucé et al. (2002), Evans & Rose (1988a) und Seeherman & Morris (1991) kann die maximale Herzfrequenz nicht durch Training beeinflusst werden. Dies konnte in dieser Studie bestätigt werden.

Beruhigungszeit der Herzfrequenz

Als Beruhigungszeit der Herzfrequenz wurde die Zeit gemessen, die nach Ende der letzten Belastungsstufe gebraucht wurde, um eine Einzelherzfrequenz von unter 65 bpm zu erreichen. Diese Grenze wurde in Anlehnung an die Verfassungskontrollen bei Distanzritten gewählt, bei denen sich die Herzfrequenz abhängig von Ort und Art der Veranstaltung auf unter 55-64 bpm beruhigen muss, bevor das Pferd weiterlaufen darf (Barnes, 2014; Madsen et al., 2014). Im 1. Belastungstest lag die mittlere Beruhigungszeit der Longiergruppe mit 813.67 sec ähnlich hoch wie in der Schwimmgruppe mit 804.13 sec. Während sie in den folgenden Tests in der Longiergruppe zunächst geringgradig absank auf 749.60 sec (Test 2), um dann wieder anzusteigen auf 779.00 sec (Test 3) und 857.33 sec (Test 4), sank sie in der Schwimmgruppe kontinuierlich ab (Test 2: 736.67 sec, Test 3: 621.17 sec, Test 4: 585.00 sec). Der Unterschied der Longier- zur Schwimmgruppe in Test 1 zu 4 war nicht signifikant ($p=0.1278$). Für Vollblüter zeigten Foreman et al. (1990) und Hada et al. (2006) und für Warmblüter Bitschnau et al. (2010) in ihren Studien, dass sich die Beruhigungszeiten der Herzfrequenz durch Training verbessern ließen. Durch das Schwimmtraining konnte die Beruhigungszeit der Herzfrequenz in dieser Studie verkürzt werden, der Unterschied zur Longiergruppe war jedoch nicht signifikant. Ein Trainingseffekt konnte somit nicht nachgewiesen werden. Gründe hierfür könne, wie bereits bei den mittleren Herzfrequenzen diskutiert, die geringe Stichprobenzahl, die extrem große Streuung der Daten und die Heterogenität der Gruppen sein.

Korrelation der Geschwindigkeiten mit den Herzfrequenzen

Um die Herzfrequenzen mit den gelaufenen Geschwindigkeiten der einzelnen Belastungsstufen in Verbindung zu setzen, wurde der Spearmansche Korrelationskoeffizient (r) für die gelaufenen Geschwindigkeiten und die mittleren Herzfrequenzen in den jeweiligen Belastungsstufen berechnet. In der Belastungsstufe Trab variierten die Herzfrequenzen und Geschwindigkeiten zu stark, um eine gute Korrelation darzustellen.

In der 2. Belastungsstufe (Galopp 1) korrelierte in der Longiergruppe die Geschwindigkeit moderat mit der Herzfrequenz ($r=0.63978$). Die Korrelation war signifikant ($p=0.0010$). In der Schwimmgruppe war die Korrelation aufgrund einer weiteren Streuung sowohl der Geschwindigkeit als auch der Herzfrequenz jedoch nicht signifikant ($r=0.33401$, $p=0.0617$).

In der 3. Belastungsstufe (Galopp 2) konnte in der Longiergruppe eine gute Korrelation ($r=0.72326$) zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz erreicht werden. In der Schwimmgruppe korrelierte die Geschwindigkeit mit der Herzfrequenz geringgradig ($r=0.40217$). Die Korrelationen waren in dieser Stufe in beiden Gruppen signifikant (Longieren $p<0.0001$, Schwimmen $p=0.0225$). In der letzten Belastungsstufe (Galopp 3) konnte eine moderate Korrelation in beiden Gruppen dargestellt werden (Longieren $r=0.67393$, Schwimmen $r=0.55050$), welche auch signifikant war (Longieren $p=0.0004$, Schwimmen $p=0.0016$). In der Literatur wird die gelaufene Geschwindigkeit mit der gemessenen Herzfrequenz in Form einer linearen Regression dargestellt (Lindholm & Saltin, 1974; Poole & Erickson, 2013; Thomas & Fregin, 1981). Die Linearität ist in einem Bereich von 120-210 bpm präzise und reproduzierbar (von Engelhardt et al. 1973). Da in der vorliegenden Studie die Geschwindigkeiten nicht konstant über die gesamte Strecke eingehalten werden konnten und es einige Ausreißer und somit eine sehr weite Streuung der Werte gab, konnte keine lineare Beziehung dargestellt werden. Mit dem Spearmannschen Korrelationskoeffizient konnte jedoch die Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz weitestgehend erfasst werden. Für eine bessere Auswertung wäre eine genauere Standardisierung der Geschwindigkeiten und auch eine höhere Anzahl an Probanden notwendig.

6. Schlussfolgerung

Durch das 6-wöchige Schwimmtraining in dieser Studie konnte ein Trainingseffekt in einem Teilbereich (Laktatmessung) erzielt werden. Im Verlauf des Trainings sanken die Plasmalaktatkonzentrationen in den durchgeführten Stufenbelastungstests in der Belastungsblutprobe (p01) in der Schwimmgruppe signifikant im Vergleich zur Longiergruppe.

Bei den mittleren Herzfrequenzen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen dargestellt werden, ebenso wenig bei den Beruhigungszeiten der Herzfrequenzen. Gründe hierfür können die geringe Stichprobenzahl und die sehr große Streuung der Daten aufgrund der schwierigen Standardisierung der Belastungstests und der großen Heterogenität der beiden Gruppen sein.

Die Ergebnisse der Stufenbelastungstests belegen hinsichtlich der Laktatwerte eine effektive Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit der Pferde in der Schwimmgruppe durch eine Erhöhung der aeroben Kapazitäten, welche in der Longiergruppe nicht nachgewiesen werden konnte. Dies kann als Hinweis gesehen werden, dass der im Vergleich zu früheren Studien kürzere und weniger intensiv gewählte Trainingsplan für das Schwimmen die Kondition der Pferde dennoch steigern kann.

Der hier angewendete Trainingsplan eignet sich sowohl für Warmblüter, als auch für Vollblüter oder Pferde anderer Rassen. Er kann aufgrund dessen besser in die Praxis übertragen werden, als die Pläne in vorherigen Studien, welche hauptsächlich mit Rennpferden durchgeführt wurden.

Die Pferde in dieser Studie wurden zum Start der Studie freizeitmäßig oder auf dem Niveau einer A-Vielseitigkeit geritten. Im Vergleich zu anderen Studien, die mit leistungsstarken und im vollen Training befindlichen Rennpferden durchgeführt wurden, kann daher davon ausgegangen werden, dass sich der zu Beginn vergleichsweise leichte Schwimmtrainingsplan in dieser Studie auch für Pferde eignet, die sich nach langer Boxenruhe in der Rehabilitationsphase befinden. Die genauen Auswirkungen könnten Gegenstand einer weiteren Untersuchung sein.

Da beim Schwimmen aufgrund der kompletten Schwerelosigkeit keine Belastung auf den Gliedmaßen lastet, sich die Pferde im Schwimmbecken ohne Verletzungsrisiko frei bewegen können und neben dem Muskelaufbau auch das Herz-Kreislauf-System trainiert wird, könnte sich das Schwimmen gerade deshalb auch für Rehapatienten eignen. Durch die Entlastung der erkrankten Gliedmaße kann diese heilen und trotzdem Kondition erhalten bzw. aufgebaut werden, was durch Laufarbeit nicht möglich ist. Inwiefern sich die Rekonvaleszenzzeit durch Schwimmen verkürzen lässt, war nicht Gegenstand dieser Studie und sollte Teil weiterer Forschungsarbeit sein.

Auch für gesunde, im Training befindliche Pferde kann sich der verwendete Trainingsplan eignen, um die Ausdauerleistungsfähigkeit auszubauen und die Kondition zu steigern. Das Schwimmtraining kann mit dem Lauftraining kombiniert werden, um Abwechslung in den Trainingsalltag zu bringen, das Herz-Kreislaufsystem zu stärken und Überbelastungen vorzubeugen, die durch Konditions-mangel entstehen.

7. Zusammenfassung

Simone Jablonski

Untersuchung der Auswirkungen des Schwimmtrainings als Rehabilitationsmaßnahme auf leistungsphysiologische Parameter beim Pferd

Obwohl das Schwimmen von Pferden als Trainingsmethode und zur Rekonvaleszenz schon lange bekannt ist, herrscht nach wie vor Unklarheit über den optimalen Einsatz von Schwimmen zu Trainingszwecken oder zur Rehabilitation.

Ziel dieser prospektiven, randomisierten kontrollierten Studie war es herauszufinden, ob durch Schwimmtraining die Ausdauerleistungsfähigkeit von Pferden mehr gesteigert werden kann als durch Reiten und Longieren. Außerdem sollte geklärt werden, ob sich der verwendete Trainingsplan für das Schwimmen der Pferde eignete, um in 6 Wochen effektiv Kondition aufzubauen. Die Ergebnisse dieser Studie sollten eine Einschätzung des Schwimmens als Trainingsmöglichkeit gesunder Pferde abgeben und einen sinnvollen Trainingsplan für das Schwimmen bewerten, um Schwimmen in Zukunft besser als Trainingsmaßnahme einsetzen zu können. Außerdem sollten die Ergebnisse Aufschluss darüber geben, ob Schwimmen auch als Rehabilitationsmaßnahme für Pferde nach Erkrankung eingesetzt werden kann.

20 Pferde der Rasse Warmblut (14), Vollblut (3) und „Sonstige“ (3) wurden hierzu aus dem Patientengut des TMBZ Seehof ausgewählt, welche sich dort zum Zwecke des Aufbautrainings befanden. 10 Pferde erhielten neben einem 6-wöchigen Reittraining ein 6-wöchiges Schwimmtraining, während die anderen 10 Pferde neben dem 6-wöchigen Reittraining 6 Wochen longiert wurden. Das Reittraining diente dem Erhalt der Grundfitness und wurde über die Studiendauer nicht gesteigert. Das Schwimmtraining wurde ab der zweiten Studienwoche von zunächst einzelnen Runden regelmäßig gesteigert, sodass die Pferde am Ende des Trainingszeitraums 2 min 20 sec bzw. 7 Runden pro Seite schwimmen konnten. Das Longiertraining wurde ebenfalls bis auf 2 min 20 sec gesteigert.

Zur Erfassung des aktuellen Leistungsstandes zu Beginn und des Trainingserfolgs im Verlauf des Trainings wurde bei allen Pferden in 14-tägigem Rhythmus ein Feldstufenbelastungstest durch das TMBZ Seehof durchgeführt und die Daten im Rahmen dieser Studie ausgewertet.

Es wurden die Parameter Plasmalaktatkonzentration, Herzfrequenz und Geschwindigkeit gemessen und die Ergebnisse der Tests untereinander und zwischen den Gruppen verglichen. Für die Laktatwerte erfolgte eine Blutentnahme in Ruhe und 2 min, 15 min und 30 min nach Ende der Belastung. Die Herzfrequenz wurde über die gesamte Belastungsdauer bis 30 min nach Ende der Belastung mittels eines Pulsmessgurtes erfasst. Aus den gemessenen Herzfrequenzen wurden die mittleren Herzfrequenzen für die einzelnen Belastungsstufen berechnet, sowie die maximalen Herzfrequenzen und die Beruhigungszeiten der Herzfrequenzen nach Ende der Belastung. Die Geschwindigkeit wurde per Stoppuhr und zusätzlich per GPS-Signal am Pulsgurt gemessen.

Im Verlauf des Trainings sanken die Plasmalaktatkonzentrationen in den durchgeführten Stufenbelastungstests in der Belastungsblutprobe ($p < 0,01$) in der Schwimmgruppe signifikant im Vergleich zur Longiergruppe. Bei den mittleren Herzfrequenzen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen dargestellt werden, ebenso wenig bei den Beruhigungszeiten der Herzfrequenzen. Gründe hierfür können die geringe Stichprobenzahl und die sehr große Streuung der Daten aufgrund der schwierigen Standardisierung der Belastungstests und der großen Heterogenität der beiden Gruppen sein.

Die Ruhelaktatwerte und die maximalen Herzfrequenzen unterlagen in beiden Gruppen keiner Veränderung, wie es auch in der Literatur beschrieben ist.

Die Ergebnisse der Stufenbelastungstests belegen hinsichtlich der Laktatwerte eine effektive Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit der Pferde in der Schwimmgruppe durch eine Erhöhung der aeroben Kapazitäten, welche in der Longiergruppe nicht nachgewiesen werden konnte. Dies kann als Hinweis gesehen werden, dass der im Vergleich zu früheren Studien kürzere und weniger intensiv gewählte Trainingsplan für das Schwimmen die Kondition der Pferde dennoch steigern kann.

Der hier angewendete Trainingsplan eignet sich demnach sowohl für Warmblüter, als auch für Vollblüter oder Pferde anderer Rassen. Er kann aufgrund dessen besser in die Praxis übertragen werden, als die Pläne in vorherigen Studien, welche hauptsächlich mit Rennpferden durchgeführt wurden.

7. Zusammenfassung

Die Pferde in dieser Studie wurden zum Start der Studie freizeitmäßig oder auf dem Niveau einer A-Vielseitigkeit geritten. Im Vergleich zu anderen Studien, die mit leistungsstarken und im vollen Training befindlichen Rennpferden durchgeführt wurden, kann daher davon ausgegangen werden, dass sich der zu Beginn vergleichsweise leichte Schwimmtrainingsplan in dieser Studie auch für Pferde eignet, die sich nach langer Boxenruhe in der Rehabilitationsphase befinden.

Die genauen Auswirkungen könnten Gegenstand einer weiteren Untersuchung sein. Da beim Schwimmen aufgrund der kompletten Schwerelosigkeit keine Belastung auf den Gliedmaßen lastet, sich die Pferde im Schwimmbecken ohne Verletzungsrisiko frei bewegen können und neben dem Muskelaufbau auch das Herz-Kreislauf-System trainiert wird, könnte sich das Schwimmen gerade deshalb auch für Rehapatienten eignen. Durch die Entlastung der erkrankten Gliedmaße kann diese heilen und trotzdem Kondition erhalten bzw. aufgebaut werden, was durch Laufarbeit nicht möglich ist. Inwiefern sich die Rekonvaleszenzzeit durch Schwimmen verkürzt lässt, war nicht Gegenstand dieser Studie und sollte Teil weiterer Forschungsarbeit sein.

8. Summary

Simone Jablonski

Investigation of the effects of swimming training as a rehabilitation measure on performance physiological parameters in horses.

Although equine swimming as a training method and for convalescence purposes has been known for a long time, there is still uncertainty about the optimal use of swimming for training purposes or for rehabilitation.

The aim of this prospective, randomised controlled study was to find out whether swimming training can increase the endurance performance of horses more than riding and lunging can. In addition, it was to be clarified whether the training plan used for swimming the horses was suitable to effectively build up condition in 6 weeks. The results of this study should provide an assessment of swimming as a training option for healthy horses and evaluate a sensible training plan for swimming in order to facilitate better use of swimming as a training measure in the future. In addition, the results should provide information on whether swimming can also be used as a rehabilitation measure for horses after illness for convalescence purposes.

20 horses of the breeds warmblood (14), thoroughbred (3) and "other" (3) were selected from the patient population of the TMBZ Seehof, which were there for the purpose of rehabilitation. 10 horses received a 6-week swimming training in addition to a 6-week riding training, while the other 10 horses were lunged for 6 weeks in addition to the 6-week riding training. The riding training served to maintain basic fitness and was not increased over the duration of the study. The swimming training was increased regularly from the second week of the study, starting with single laps, so that the horses were able to swim 2 min 20 sec or 7 laps each direction at the end of the training period. The lungeing training was also increased to 2 min 20 sec.

In order to record the initial performance level and the training success over the course of the training, a field level stress test was carried out on all horses at 14-day intervals by the TMBZ Seehof and the data was evaluated in the context of this study.

8. Summary

The parameters plasma lactate concentration, heart rate and speed were measured and the results of the tests were compared with each other and between the groups. For the lactate values, blood was taken at rest and 2 min, 15 min and 30 min after the end of exercise. Heart rate was recorded for the entire duration of the exercise until 30 min after the end of the exercise using a heart rate monitor. From the measured heart rates, the mean heart rates for the individual exercise levels were calculated, as well as the maximum heart rates and the recovery times of the heart rates after the end of the exercise. The speed was measured by stopwatch and additionally by GPS signal on the pulse belt.

In the course of the training, the plasma lactate concentrations in the performed step exercise tests in the exercise blood sample (p01) decreased significantly in the swimming group compared to the lunging group. No significant difference could be shown in the mean heart rates between the two groups, nor in the recovery times of the heart rates. Reasons for this may be the small sample number and the very large scale of the data due to the difficult standardisation of the exercise tests and the large heterogeneity of the two groups.

The resting lactate values and the maximum heart rates were not subject to any change in either group, as is also described in the literature.

The results of the step load tests prove an effective increase of the endurance performance of the horses in the swimming group by an increase of the aerobic capacities, which could not be proven in the lunging group. This can be seen as an indication that the training plan for swimming, which is shorter and less intensive than in previous studies, can nevertheless increase the condition of the horses.

The training plan used here is therefore suitable for warm-blooded horses as well as for thoroughbreds or horses of other breeds. It can therefore be better transferred into practice than the plans in previous studies, which were mainly carried out with racehorses.

The horses in this study were ridden recreationally or at A-level eventing at the start of the study. Compared to other studies conducted with high-performance racehorses in full training, it can therefore be assumed that the swimming training plan in this study, which is comparatively easy at the beginning, is also suitable for horses that are in the rehabilitation phase after a long period of stall rest.

The exact effects could be the subject of further investigation. Since swimming does not put any strain on the limbs due to the complete weightlessness, the horses can move freely in the pool without risk of injury and the cardiovascular system is trained in addition to building up muscles, swimming could also be suitable for rehabilitation patients for this very reason. By relieving the injured limb, it can heal and still maintain or build up condition, which is not possible through weight bearing exercise. The extent to which swimming can shorten the convalescence period was not the subject of this study and should be part of further research.

9. Selbständigkeitserklärung

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

Simone Jablonski

10. Danksagung

Herrn Prof. Dr. Michael Röcken danke ich für die Betreuung meiner Arbeit. Ebenso möchte ich Herrn Dr. Stefan Rattenhuber danken für die Überlassung des Themas, sowie die Bereitstellung seiner Patienten und der Anlage des TMBZ Seehof. Die Zeit am Seehof war sehr lehrreich für mich und hat mir sehr viel Freude bereitet.

Frau Kathrin Büttner von der AG Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin Gießen danke ich für die große Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Und nicht zu guter Letzt möchte ich mich bei allen teilnehmenden Patientenbesitzern bedanken, sowie bei meiner Familie und meinem Mann für die Geduld, Motivation und Unterstützung bei diesem großen Projekt.

11. Literaturverzeichnis

- Adair, H. S. (2011). Aquatic Therapy for Conditioning and Treatment of Tendon and Ligament Injuries. *Proceedings of the 57th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, San Antonio, Texas, USA, 18-22 November 2011, 57*, 181–185.
- Asheim, A., Knudsen, O., Lindholm, A., Rülcker, C., & Saltin, B. (1970). Heart rates and blood lactate concentrations of standardbred horses during training and racing. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 157*(3), 304–312.
- Auer, J. (1980). Diseases of the carpus. *The Veterinary Clinics of North America. Large Animal Practice, 2*(1), 81–100.
- Banister, E. W., & Purvis, A. D. (1968). Exercise electrocardiography in the horse by radiotelemetry. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 152*(7), 1004–1008.
- Barnes, A. L. (2014). Training Endurance Horses. In D. R. Hodgson, K. H. McKeever, & C. M. McGowan (Eds.), *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine* (2nd ed., pp. 314–320). Elsevier Saunders.
- Bartmann, M. (1991). *Leistungsphysiologische Untersuchungen zum Schwimmtraining von Sportpferden*. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Bayly, W. M., Gabel, A. A., & Barr, S. A. (1983). Cardiovascular effects of submaximal aerobic training on a treadmill in Standardbred horses, using a standardized exercise test. *American Journal of Veterinary Research, 44*(4), 544–553.
- Betros, C. L., McKeever, K. H., Kearns, C. F., & Malinowski, K. (2002). Effects of ageing and training on maximal heart rate and VO₂max. *Equine Veterinary Journal, 34*(S34), 100–105.
- Bitschnau, C., Wiestner, T., Trachsel, D. S., Auer, J. A., & Weishaupt, M. A. (2010). Performance parameters and post exercise heart rate recovery in Warmblood sports horses of different performance levels. *Equine Veterinary Journal, 42*(S38), 17–22.

- Brooks, G. A., Fahey, T. D., & White, T. P. (1996). *Exercise physiology: human bioenergetics and its applications* (2nd ed.). Mayfield Publishing Company.
- Brooks, G. A., & Gladden, L. B. (2003). The metabolic systems: Anaerobic metabolism (glycolytic and phosphagen). In *Exercise Physiology: People and Ideas* (pp. 322–360). Elsevier Inc.
- Cardinet, G. H., Fowler, M. E., & Tyler, W. S. (1963). Heart Rates and Respiratory Rates for Evaluating Performance in Horses during Endurance Trail Ride Competition. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *143*, 1303–1309.
- Clayton, H. M. (1991). *Conditioning Sport Horses*. Sport Horse Publication.
- Couroucé-Malblanc, A., & Hodgson, D. R. (2014). Clinical Exercise Testing. In D. R. Hodgson, K. H. McKeever, & C. M. McGowan (Eds.), *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine* (2nd ed., pp. 366–378). Elsevier Saunders.
- Couroucé-Malblanc, A., & van Erck-Westergren, E. (2013). Exercise testing in the field. In K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, & R. J. Geor (Eds.), *Equine sports medicine and surgery* (2nd ed., pp. 25–42). Elsevier Ltd.
- Couroucé, A., Chrétien, M., & Valette, J. P. (2002). Physiological variables measured under field conditions according to age and state of training in French Trotters. *Equine Veterinary Journal*, *34*(1), 91–97.
- Couroucé, A., Geffroy, O., Barrey, E., Auvinet, B., & Rose, R. J. (1999). Comparison of exercise tests in French trotters under training track, racetrack and treadmill conditions. *Equine Veterinary Journal*, *31*(S30), 528–532.
- Davie, A. J., Savage, C. J., & Fennell, L. (2008). The effect of swimming training on the cardiac dimensions in thoroughbred horses. *Rural Industries Research and Development Corporation*, *08*(156).
- Descompts, E. (1980). Thalassotheapie equine. *Action Veterinaire*, *808*, 26–27.
- Donovan, C. M., & Brooks, G. A. (1983). Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, *244*(1), E83-92.

11. Literaturverzeichnis

- Ehrlein, H.-J., Engelhardt, W. v., Hörnicke, H., Tolkmitt, G., & Dušek, J. (1970). Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Herzschlagfrequenz und Leistung bei Pferden. *Zentralblatt Für Veterinärmedizin Reihe A*, 17(7), 577–591.
- Eto, D., Yamano, S., Mukai, K., Sugiura, T., Nasu, T., Tokuriki, M., & Miyata, H. (2004). Effect of high intensity training on anaerobic capacity of middle gluteal muscle in Thoroughbred horses. *Research in Veterinary Science*, 76(2), 139–144.
- Evans, D. L. (2007). Physiology of equine performance and associated tests of function. *Equine Veterinary Journal*, 39(4), 373–383.
- Evans, D. L., & Rose, R. J. (1988a). Dynamics of cardiorespiratory function in Standardbred horses during different intensities of constant-load exercise. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic and Environmental Physiology*, 157(6), 791–799.
- Evans, D. L., & Rose, R. J. (1988b). Cardiovascular and respiratory responses to submaximal exercise training in the thoroughbred horse. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 411(3), 316–321.
- Ferrante, P. L. (1995). Lactate measurement and interpretation: blood vs. plasma. *Equine Veterinary Journal*, 27(S18), 478–479.
- Foreman, J. H., Bayly, W. M., Grant, B. D., & Gollnick, P. D. (1990). Standardized exercise test and daily heart rate responses of thoroughbreds undergoing conventional race training and detraining. *American Journal of Veterinary Research*, 51(6), 914–920.
- Foreman, J. H., Waldsmith, J. K., & Lalum, R. B. (1999). Environmental stress and 3-day eventing: effects of altitude. *Equine Veterinary Journal*, 31(S30), 394–397.
- Fraipont, A., Van Erck, E., Ramery, E., Fortier, G., Lekeux, P., & Art, T. (2012). Assessing fitness in endurance horses. *Canadian Veterinary Journal*, 53(3), 311–314.
- Franklin, S., & Allen, K. (2013). Laboratory exercise testing. In K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, & R. J. Geor (Eds.), *Equine Sports Medicine and Surgery* (2nd ed., pp. 11–24). Elsevier Ltd.
- Fregin, G. F., & Nicholl, T. (1977). Swimming: its influences on heart rate, respiration rate, and some hematological values in the horse. *Journal of Veterinary Medicine and Surgery*, 1, 288–293.

- Fuhrmann, H., & Sallmann, H.-P. (2015). Physiologische Funktionen der Leber. In W. v. Engelhardt (Ed.), *Physiologie der Haustiere* (5th ed., pp. 450–463). Georg Thieme Verlag.
- Gansen, S., Lindner, A., Marx, S., Mosen, H., & Sallmann, H.-P. (1999). Effects of conditioning horses with lactate-guided exercise on muscle glycogen content. *Equine Veterinary Journal, Suppl. 30*, 329–331.
- Gottlieb-Vedi, M., & Lindholm, A. (1997). Comparison of standardbred trotters exercising on a treadmill and a race track with identical draught resistances. *Veterinary Record, 140*(20), 525–528.
- Hada, T., Mukai, H. O. K., Eto, D., Takahashi, T., & Hiraga, A. (2006). Utilisation of the time constant calculated from heart rate recovery after exercise for evaluation of autonomic activity in horses. *Equine Veterinary Journal, 38*(S36), 141–145.
- Hamlin, R. L., Klepinger, W. L., Gilpin, K. W., & Smith, C. R. (1972). Autonomic control of heart rate in the horse. *The American Journal of Physiology, 222*(4), 976–978.
- Harbig, S. (2006). *Leistungsmonitoring von Hochleistungsvielseitigkeitspferden im Wettkampf und Training: Untersuchungen zur Herzfrequenz*. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Harris, P., & Snow, D. H. (1988). The effects of high intensity exercise on the plasma concentration of lactate, potassium and other electrolytes. *Equine Veterinary Journal, 20*(2), 109–113.
- Hennings, A. (2001). *Herzfrequenzgesteuertes Laufbandtraining von 4-jährigen Warmblutpferden : Leistungsfortschritte und physiologische Indikatoren*. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Hinchcliff, K. W., Lauderdale, M. A., Dutson, J., Geor, R. J., Lacombe, V. A., & Taylor, L. E. (2002). High intensity exercise conditioning increases accumulated oxygen deficit of horses. *Equine Veterinary Journal, 34*(1), 9–16.
- Hobo, S., Yoshida, K., & Yoshihara, T. (1998). Characteristics of Respiratory Function during Swimming Exercise in Thoroughbreds. *Journal of Veterinary Medical Science, 60*(6), 687–689.

11. Literaturverzeichnis

- Hodgson, D. R. (2014). The cardiovascular system: Anatomy, Physiology, and Adaptations to Exercise and Training. In D. R. Hodgson, K. H. McKeever, & C. M. McGowan (Eds.), *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine* (2nd ed., pp. 162–173). Elsevier Saunders.
- Hodgson, D. R., & Rose, R. J. (1994). *The athletic horse : principles and practice of equine sports medicine*. W.B. Saunders.
- Horn, F. (2012). *Biochemie des Menschen: Das Lehrbuch für das Medizinstudium* (5th ed.). Thieme.
- Hubbell, J. A. E., Hinchcliff, K. W., Muir, W. W., Robertson, J. T., Sams, R. A., & Schmall, L. M. (1997). Cardiorespiratory and metabolic effects of walking, standing, and standing with a splint during the recuperative period from maximal exercise in horses. *American Journal of Veterinary Research*, *58*(9), 1003–1009.
- Huber, K. (2015). Quergestreifte und glatte Muskulatur. In W. v. Engelhardt (Ed.), *Physiologie der Haustiere* (5th ed., pp. 145–166). Enke Verlag.
- Ille, N., Aurich, J., Erber, R., & Aurich, C. (2014). Comparison of heart rate and heart rate variability obtained by heart rate monitors and simultaneously recorded electrocardiogram signals in nonexercising horses. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, *9*(6), 341–346.
- Irwin, D. H., & Howell, D. W. (1980). Some thoughts on swimming horses in a pool. *Journal of the South African Veterinary Association*, *51*(3), 189–191.
- Jaek, F. (2004). *Leistungsmonitoring von Hochleistungsvielseitigkeitspferden im Wettkampf und Training : Untersuchungen zum Blutlaktat*. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Jones, J. H., & Hiraga, A. (2008). Metabolic, cardiovascular and respiratory responses to swimming in horses. In D. J. Marlin, K. W. Hinchcliff, & J. F. Wade (Eds.), *Proceedings of a Workshop on Exercise-induced Pulmonary Haemorrhage: state of current knowledge* (pp. 34–36). R & W Communications.
- Jones, S., Franklin, S., Martin, C., & Steel, C. (2020). Complete upper airway collapse and apnoea during tethered swimming in horses. *Equine Veterinary Journal*, *52*(3), 352–358.

- Jose-Cunilleras, E., & Mckeever, K. H. (2013). Body fluids and electrolytes: responses to exercise and training. In Kenneth W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, & R. J. Geor (Eds.), *Equine sports medicine and surgery* (2nd ed., pp. 837–854). Elsevier Ltd.
- Kayar, S. R., Hoppeler, H., Lindstedt, S. L., Claassen, H., Jones, J. H., Essen-Gustavsson, B., & Taylor, C. R. (1989). Total muscle mitochondrial volume in relation to aerobic capacity of horses and steers. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, *413*(4), 343–347.
- King, C. M., Evans, D. L., & Rose, R. J. (1995). Acclimation to treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, *27*(18 S), 453–456.
- Kline, H., & Foreman, J. H. (1991). Heart and spleen weights as a function of breed and somatotype. In S. G. B. Persson, A. Lindholm, & L. B. Jeffcott (Eds.), *Equine Exercise Physiology 3* (p. 17). ICEEP Publications.
- Klomp, M., Munsters, C. C. B. M., & Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. (2014). Swimming exercise and race performance in Thoroughbred racehorses. *Pferdeheilkunde*, *30*(4), 403–406.
- Kohn, C. W., & Hinchcliff, K. W. (1995). Physiological responses to the endurance test of a 3-day-event during hot and cool weather. *Equine Veterinary Journal*, *27*(S20), 31–36.
- Korte, M. (2006). *Leistungsbewertung bei Pferden mit definierten Trainingsprogrammen und bei Pferden mit nicht überwachtem Training*. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Krzywanek, H., Wittke, G., Bayer, A., & Borman, P. (1970). The Heart Rates of Thoroughbred Horses during a Race. *Equine Veterinary Journal*, *2*(3), 115–117.
- Lindholm, A., & Saltin, B. (1974). The Physiological and Biochemical Response of Standardbred Horses to Exercise of varying Speed and Duration. *Acta Veterinaria Scandinavica*, *15*(3), 310–324.
- Littlejohn, A. (1987). Exercise-related cardiovascular problems. In N. E. Robinson (Ed.), *Current therapy in equine medicine 2* (p. 176). WB Saunders Co.
- Lovell, D. K., & Rose, R. J. (1995). Effects of post exercise activity on recovery from maximal exercise. *Equine Veterinary Journal*, *27*(18 S), 188–190.

11. Literaturverzeichnis

- Madsen, M., Kanters, J., & Buhl, R. (2014). Heart Rate Recovery Time in Exercise Testing of Endurance Horses. *Equine Veterinary Journal*, *46*, 7.
- Marlin, D. J., Harris, R. C., Harman, J. C., & Snow, D. H. (1987). Influence of post-exercise activity on rates of muscle and blood lactate disappearance in the Thoroughbred horse. In J. R. Gillespie & E. N. Robinson (Eds.), *Equine Exercise Physiology 2* (pp. 321–331). ICEEP Publications.
- Marlin, D. J., & Nankervis, K. (2002). *Equine exercise physiology*. Blackwell Science Ltd.
- McDonough, P., Kindig, C. A., Hildreth, T. S., Behnke, B. J., Erickson, H. H., & Poole, D. C. (2002). Effect of body incline on cardiac performance. *Equine Veterinary Journal*, *34*, 506–509.
- Milne, D. W., Muir, W. W., Skarda, R. T., Fregin, G. F., & Nicholl, J. K. (1977). The hemodynamic response of the horse to swimming with and without furosemide. *Journal of Equine Medicine and Surgery*, *1*, 331–335.
- Misumi, K., Sakamoto, H., & Shimizu, R. (1994a). Changes in blood lactate and heart rate in Thoroughbred horses during swimming and running according to their stage of training. *The Veterinary Record*, *135*(10), 226–228.
- Misumi, K., Sakamoto, H., & Shimizu, R. (1994b). The Validity of Swimming Training for Two-Year-Old Thoroughbreds. *Journal of Veterinary Medical Science*, *56*(2), 217–222.
- Misumi, K., Sakamoto, H., & Shimizu, R. (1995). Changes in Skeletal Muscle Composition in Response to Swimming Training for Young Horses. *Journal of Veterinary Medical Science*, *57*(5), 959–961.
- Monk, M. (2007). Hydrotherapy. In C. M. McGowan, L. Goff, & N. Stubbs (Eds.), *Animal Physiotherapy: Assessment, Treatment and Rehabilitation of Animals* (pp. 187–198). Blackwell Publishing.
- Munsters, C. C. B. M., van Iwaarden, A., van Weeren, R., & Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. M. (2014). Exercise testing in Warmblood sport horses under field conditions. In *The Veterinary Journal* (Vol. 202, Issue 1, pp. 11–19). Bailliere Tindall Ltd.

- Murakami, M., Imahara, T., Inui, T., Amada, A., Senta, T., Takagi, S., Kubo, K., Sugimoto, O., Watanabe, H., Ikeda, S., & Kameya, T. (1976). Swimming exercises in horses. *Experimental Reports of Equine Health Laboratory*, 49(13), 27–49.
- Nicholl, T. K., Fregin, G. F., & Gerber, N. H. (1978). Swimming - a method to study the physiologic response of the horse to exercise. *Journal of the South African Veterinary Association*, 49, 313–315.
- Persson, S. G. B. (1997). Heart Rate and Blood Lactate Responses to Submaximal Treadmill Exercise in the Normally Performing Standardbred Trotter - Age and Sex Variations and Predictability from the Total Red Blood Cell Volume. *Journal of Veterinary Medicine Series A: Physiology Pathology Clinical Medicine*, 44(3), 125–132.
- Persson, S. G. B., Essen-Gustavsson, B., Lindholm, A., McMiken, D., & Thornton, J. R. (1983). Cardiorespiratory and Metabolic effects of Training of Standardbred Yearling. In D. H. Snow, S. G. B. Persson, & R. J. Rose (Eds.), *Equine Exercise Physiology* (pp. 458–469).
- Persson, S. G. B., Essén-Gustavsson, B., Funkquist, P., & Romero, L. B. (1995). Plasma, red cell and whole blood lactate concentrations during prolonged treadmill exercise at Vla4. *Equine Veterinary Journal*, 27(18 S), 104–107.
- Persson, S. G. B., Funkquist, P., & Nyman, G. (1996). Total blood volume in the normally performing standardbred trotter: Age and sex variations. *Journal of Veterinary Medicine Series A: Physiology Pathology Clinical Medicine*, 43(1), 57–64.
- Persson, S. G. B., & Lydin, G. (1973). Circulatory Effects of Splenectomy in the Horse: III. Effect on pulse-work relationship. *Zentralblatt Für Veterinärmedizin Reihe A*, 20(7), 521–530.
- Phillips, S. M., Green, H. J., Tarnopolsky, M. A., & Grant, S. M. (1995). Increased clearance of lactate after short-term training in men. *Journal of Applied Physiology*, 79(6), 1862–1869.
- Physick-Sheard, P. W. (1985). Cardiovascular response to exercise and training in the horse. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 1(2), 383–417.
- Poole, D. C., & Erickson, H. H. (2011). Highly Athletic Terrestrial Mammals: Horses and Dogs. In *Comprehensive Physiology* (Vol. 1, Issue 1, pp. 1–37). John Wiley & Sons, Inc.

11. Literaturverzeichnis

- Poole, D. C., & Erickson, H. H. (2013). Heart and vessels: function during exercise and training adaptations. In K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, & R. J. Geor (Eds.), *Equine sports medicine and surgery* (2nd ed., pp. 667–694). Elsevier Ltd.
- Pösö, A. R. (2002). Monocarboxylate transporters and lactate metabolism in equine athletes: A review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, *43*, 63–74.
- Pösö, A. R., Lampinen, K. J., & Räsänen, L. A. (1995). Distribution of lactate between red blood cells and plasma after exercise. *Equine Veterinary Journal*, *27*(18 S), 231–234.
- Rainger, J. E., Evans, D. L., Hodgson, D. R., & Rose, R. J. (1994). Blood lactate disappearance after maximal exercise in trained and detrained horses. *Research in Veterinary Science*, *57*(3), 325–331.
- Rivero, J.-L. L., & Piercy, R. J. (2013). Muscle physiology: responses to exercise and training. In K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, & R. J. Geor (Eds.), *Equine sports medicine and surgery* (2nd ed., pp. 69–108). Elsevier Ltd.
- Rivero, J.-L. L., Ruz, M. C., Serrano, A. L., & Diz, A. M. (1995). Effects of a 3 month endurance training programme on skeletal muscle histochemistry in Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses. *Equine Veterinary Journal*, *27*(1), 51–59.
- Ronéus, N., Essén-Gustavsson, B., Lindholm, A., & Eriksson, Y. (1994). Plasma lactate response to submaximal and maximal exercise tests with training, and its relationship to performance and muscle characteristics in Standardbred trotters. *Equine Veterinary Journal*, *26*(2), 117–121.
- Rose, R. J. (1983). An Evaluation of Heart Rate and Respiratory Rate Recovery for Assessment of Fitness during Endurance Rides. In D. H. Snow, S. G. B. Persson, & R. J. Rose (Eds.), *Equine Exercise Physiology* (pp. 505–509). Granta Editions.
- Röthig, P., & Prohl, R. (2003). Sportwissenschaftliches Lexikon. In *Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport* (Vol. 7). Schorndorf Hofmann.
- SAS® Institute Inc., (2013). Base SAS® 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures, 2nd edition ed. Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC, USA.

- Seeherman, H. J., & Morris, E. A. (1990). Application of a standardised treadmill exercise test for clinical evaluation of fitness in 10 Thoroughbred racehorses. *Equine Veterinary Journal, 22*(9 S), 26–34.
- Seeherman, Howard J., & Morris, E. A. (1991). Comparison of yearling, two-year-old and adult Thoroughbreds using a standardised exercise test. *Equine Veterinary Journal, 23*(3), 175–184.
- Serrano, M. G., Evans, D. L., & Hodgson, J. L. (2002). Heart rate and blood lactate responses during exercise in preparation for eventing competition. *Equine Veterinary Journal, 34*, 135–139.
- Sexton, W. L., Erickson, H. H., & Coffman, J. R. (1987). Cardiopulmonary and Metabolic Responses to Exercise in the Quarter Horse: Effects of Training. *Equine Exercise Physiology, 77–91*.
- Skarda, R. T., Muir, W. W., Milne, D. W., & Gabel, A. A. (1976). Effects of training on resting and postexercise ECG in standardbred horses, using a standardized exercise test. *American Journal of Veterinary Research, 37*(12), 1485–1488.
- Sobotta, M., Lindner, A., & Sasse, H. H. L. (2001). Genauigkeit der Steuerung der Laktatkonzentration im Blut von Pferden nach Belastungen mit Geschwindigkeiten, die durch Ergebnisse eines Belastungstests vorgegeben waren. Teil 1: Laktatgesteuerte Geschwindigkeiten. *Pferdeheilkunde, 17*(1), 42–46.
- Steel, C. M., Bond, B. M., & Morrice-West, A. V. (2019). Survey of trainers on the use of swimming exercise for Standardbred racehorses in Australia. *Australian Veterinary Journal, 97*(3), 61–67.
- Straub, R., Dettwiler, M., Hoppeler, H., & Claassen, H. (1983). The use of morphometry and enzyme activity measurements in skeletal muscles for the assessment of the working capacity of horses. In D. H. Snow, S. G. B. Persson, & R. J. Rose (Eds.), *Equine Exercise Physiology* (pp. 193–199). Granta Editions.
- Swanstrom, O., & Lindy, M. (1973). Therapeutic Swimming. *Proc. 19th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, 315–322*.

11. Literaturverzeichnis

- Tetzner, K. (2008). *Mehrjähriges Konditionstraining von Sportpferden : Eine longitudinale Auswertung von Kraft-, Ausdauer-, und Schnelligkeitstraining anhand von Laktat, Herzfrequenz und Geschwindigkeitsbeziehungen*. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Thomas, D. P., Fregin, F., Gerber, N. H., & Ailes, N. B. (1980). Cardiorespiratory adjustments to tethered-swimming in the horse. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 385(1), 65–70.
- Thomas, D. P., & Fregin, G. F. (1981). Cardiorespiratory and metabolic responses to treadmill exercise in the horse. *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental and Exercise Physiology*, 50(4), 864–868.
- Thomas, D. P., & Fregin, G. F. (1990). Cardiorespiratory drift during exercise in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 22(S9), 61–65.
- Thomas, D. P., Fregin, G. F., Gerber, N. H., & Ailes, N. B. (1983). Effects of training on cardiorespiratory function in the horse. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 14(2).
- Thornton, J., Essén-Gustavsson, B., Lindholm, A., McMiken, D., & Persson, S. (1983). Effects of Training and Detraining on Oxygen Uptake, Cardiac Output, Blood Gas Tensions, pH and Lactate Concentrations during and after Exercise in the Horse. In D. H. Snow, S. G. B. Persson, & R. J. Rose (Eds.), *Equine Exercise Physiology* (pp. 470–486). Granta Editions.
- Tokuriki, M., Ohtsuki, R., Kai, M., Hiraga, A., Oki, H., Miyahara, Y., & Aoki, O. (1999). EMG activity of the muscles of the neck and forelimbs during different forms of locomotion. *Equine Veterinary Journal*, 30, 231–234.
- Väihkönen, L. K., Ojala, M., & Pösö, A. R. (2002). Age-related changes and inheritance of lactate transport activity in red blood cells. *Equine Veterinary Journal*, 34(S34), 568–572.
- Väihkönen, L. K., & Pösö, A. R. (1998). Interindividual variation in total and carrier-mediated lactate influx into red blood cells. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 274(4), 1025–1030.

- Valberg, S., Essén-Gustavsson, B., Lindholm, A., & Persson, S. (1985). Energy metabolism in relation to skeletal muscle fibre properties during treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 17(6), 439–444.
- Vincent, T. L., Newton, J. R., Deaton, C. M., Franklin, S. H., Biddick, T., McKeever, K. H., McDonough, P., Young, L. E., Hodgson, D. R., & Marlin, D. J. (2006). Retrospective study of predictive variables for maximal heart rate (HRmax) in horses undergoing strenuous treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 38(S36), 146–152.
- Von Engelhardt, W., Hörnicke, H., Ehrlein, H.-J., Schmidt, E. (1973). Lactat, Pyruvat, Glucose und Wasserstoffionen im venösen Blut bei Reitpferden in unterschiedlichem Trainingszustand. *Zentralblatt Für Veterinärmedizin Reihe A*, 20(3), 173–187.
- Von Engelhardt, W. (1977). Cardiovascular effects of exercise and training in horses. *Advances in Veterinary Science and Comparative Medicine*, 21, 173–205.
- Von Engelhardt, W. (2015). Arbeitsphysiologie am Beispiel des Pferdesports. In Wolfgang von Engelhardt (Ed.), *Physiologie der Haustiere* (5th ed., pp. 633–647). Georg Thieme Verlag KG.
- Votion, D. (2013). Metabolic responses to exercise and training. In K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, & R. J. Geor (Eds.), *Equine sports medicine and surgery* (2nd ed., pp. 747–768). Elsevier Ltd.
- Walmsley, E., Steel, C., Haines, G., Lumsden, J., & O’Sullivan, C. (2011). Colic after swimming exercise in racehorses: An investigation of incidence, management, surgical findings and outcome. *Australian Veterinary Journal*, 89(5), 180–183.
- Webb, A. I., & Weaver, B. M. Q. (1979). Body Composition of the Horse. *Equine Veterinary Journal*, 11(1), 39–47.
- Wetterstation Diessen am Ammersee, <https://wetter.diessen.de/>
- Williamson, C. C., James, E. A., James, M. P., May, C. D., & Casey, P. J. (1996). Horse plasma lactate determinations: Comparison of wet and dry chemistry methods and the effect of storage. *Equine Veterinary Journal*, 28(5), 337–338.

11. Literaturverzeichnis

Young, L. E., Marlin, D. J., Deaton, C., Brown-Feltner, H., Roberts, C. A., & Wood, J. L. N. (2002). Heart size estimated by echocardiography correlates with maximal oxygen uptake. *Equine Veterinary Journal*, 34(S34), 467–471.

12. Anhang

12.1. Untersuchungsprotokoll für die Eingangsuntersuchung

Patientendaten:

Name Besitzer	Name Pferd
Alter	Gewicht
Rasse	Geschlecht
Stockmaß	Fütterung
Art der Bewegung <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Freizeit <input type="radio"/> Springen <input type="radio"/> Dressur <input type="radio"/> Vielseitigkeit 	Haltung <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Box mit Koppelgang <input type="radio"/> Box mit Paddock <input type="radio"/> Offenstall

Allgemeine Untersuchung:

Körperhaltung	
Verhalten	
Ernährungszustand	
Pflegezustand	
Habitus	
Atemfrequenz	
Pulsfrequenz	
Körpertemperatur	
Nasenausfluss	
Husten auslösbar	
Lnn. mandibulares	
Schleimhäute	
Herzauskultation	
Lungenauskultation	

Lahmheitsuntersuchung:

Adspektion im Stand	
Palpation im Stand Pulsation	
Vortraben auf hartem Boden	
Beugeproben	VR VL HR HL
Sonstiges	

Ruheblutwerte:

Leukozyten	
Hämatokrit	
Leberwerte <ul style="list-style-type: none"> ○ LDH ○ GGT ○ AST 	
Nierenwerte <ul style="list-style-type: none"> ○ BUN (Harnstoff) ○ Creatinin ○ Totalprotein 	
Muskelwerte <ul style="list-style-type: none"> ○ CK 	
Elektrolyte/Spurenelemente <ul style="list-style-type: none"> ○ Ca ○ Mg ○ P ○ Zn ○ Se 	
Lactat	

12.2. Aufbau des Pferdeschwimmbads



Abb. 31: Gesamtansicht des Pferdeschwimmbades des TMBZ Seehof von der Rampe aus (Bild: Privat)

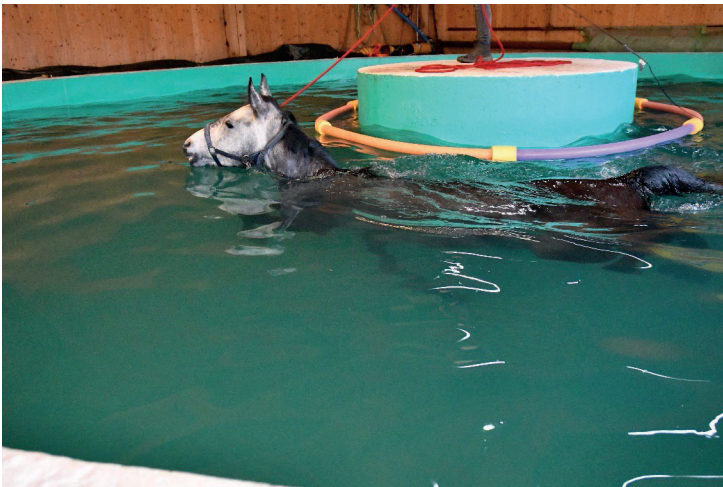


Abb. 32: Schwimmendes Pferd (Bild: Thomas Stolz)

12.3. Erreichte Zeiten und Geschwindigkeiten aller Pferde in allen

Belastungstests

Tab. 28: Erreichte Zeiten und Geschwindigkeiten aller Pferde in allen Belastungstests

Pferd	Test	Stufe 1		Stufe 2		Stufe 3		Stufe 4	
		Zeit min:sec	V m/min	Zeit min:sec	V m/min	Zeit min:sec	V m/min	Zeit min:sec	V m/min
1	Test 1	04:51	206.2	02:35	387.1	02:20	428.6	02:10	461.5
	Test 2	04:17	233.5	02:23	419.6	02:01	495.9	01:44	576.9
	Test 3	05:02	198.7	02:24	416.7	02:02	491.8	02:00	500
	Test 4	04:45	210.5	02:14	447.8	02:09	465.1	01:45	571.4
2	Test 1	04:55	203.4	02:23	419.6	02:08	468.8	01:59	504.2
	Test 2	04:43	212	02:22	422.5	02:10	461.5	01:45	571.4
	Test 3	04:45	210.5	02:19	431.7	02:15	444.4	01:45	571.4
	Test 4	05:06	196.1	02:10	461.5	02:08	468.8	02:00	500
3	Test 1	04:19	231.7	02:37	382.2	02:29	402.7	01:55	521.7
	Test 2	04:02	247.9	02:24	416.7	02:18	434.8	01:45	571.4
	Test 3	04:02	247.9	02:11	458	02:13	451.1	01:45	571.4
	Test 4	04:10	240	02:21	425.5	02:14	447.8	02:01	495.9
4	Test 1	03:46	265.5	01:56	517.2	01:48	555.6	01:38	612.2
	Test 2	04:25	226.4	02:20	428.6	02:24	416.7	02:10	461.5
	Test 3	04:20	230.8	02:22	422.5	02:24	416.7	02:05	480
	Test 4	04:25	226.4	02:30	400	02:20	428.6	02:00	500
5	Test 1	04:32	220.6	02:33	392.2	02:33	392.2	02:03	487.8
	Test 2	04:49	207.6	02:19	431.7	02:17	438	01:53	531
	Test 3	04:11	239	02:50	352.9	02:20	428.6	02:04	483.9
	Test 4	04:33	219.8	02:28	405.4	02:12	454.5	01:49	550.5
6	Test 1	04:22	229	02:20	428.6	02:16	441.2	01:45	571.4
	Test 2	04:00	250	02:18	434.8	02:11	458	02:05	480
	Test 3	04:29	223	02:12	454.5	02:08	468.8	01:51	540.5
	Test 4	04:13	237.2	02:13	451.1	02:13	451.1	01:39	606.1
7	Test 1	04:34	219	03:19	301.5	03:06	322.6	02:40	375
	Test 2	04:49	207.6	03:52	258.6	03:29	287.1	03:10	315.8
	Test 3	04:57	202	03:21	298.5	03:07	320.9	02:45	363.6
	Test 4	04:50	206.9	03:06	322.6	02:58	337.1	02:28	405.4
8	Test 1	04:09	241	02:17	438	02:17	438	01:50	545.5
	Test 2	04:17	233.5	02:25	413.8	02:00	500	01:57	512.8
	Test 3	04:08	241.9	02:20	428.6	02:10	461.5	01:50	545.5
	Test 4	04:10	240	02:22	422.5	02:15	444.4	01:47	560.7

9	Test 1	03:43	269.1	02:17	438	02:11	458	01:42	588.2
	Test 2	03:44	267.9	02:18	434.8	02:15	444.4	01:42	588.2
	Test 3	03:42	270.3	02:12	454.5	02:12	454.5	01:37	618.6
	Test 4	04:16	234.4	02:30	400	02:28	405.4	01:43	582.5
10	Test 1	04:42	212.8	02:07	472.4	02:01	495.9	01:48	555.6
	Test 2	04:48	208.3	02:17	438	02:15	444.4	01:44	576.9
	Test 3	04:38	215.8	02:27	408.2	02:18	434.8	01:50	545.5
	Test 4	04:15	235.3	02:39	377.4	02:00	500	01:55	521.7
11	Test 1	03:40	272.7	02:28	405.4	02:18	434.8	02:06	476.2
	Test 2	03:57	253.2	02:22	422.5	02:16	441.2	01:58	508.5
	Test 3	03:40	272.7	02:22	422.5	02:11	458	01:58	508.5
	Test 4	03:44	267.9	02:18	434.8	02:15	444.4	01:52	535.7
12	Test 1	04:17	233.5	02:41	372.7	02:07	472.4	01:49	550.5
	Test 2	04:12	238.1	02:05	480	02:00	500	01:50	545.5
	Test 3	04:22	229	02:16	441.2	01:58	508.5	01:55	521.7
	Test 4	04:26	225.6	02:25	413.8	02:11	458	01:48	555.6
13	Test 1	04:37	216.6	02:30	400	02:12	454.5	01:49	550.5
	Test 2	04:34	219	02:30	400	02:17	438	01:50	545.5
	Test 3	04:36	217.4	02:34	389.6	02:19	431.7	01:43	582.5
	Test 4	04:36	217.4	02:28	405.4	02:11	458	01:40	600
14	Test 1	04:30	222.2	03:01	331.5	02:24	416.7	01:56	517.2
	Test 2	03:58	252.1	02:43	368.1	02:10	461.5	01:51	540.5
	Test 3	04:00	250	02:43	368.1	02:18	434.8	01:56	517.2
	Test 4	04:48	208.3	02:33	392.2	02:05	480	01:56	517.2
15	Test 1	04:21	229.9	02:21	425.5	02:05	480	01:49	550.5
	Test 2	04:31	221.4	02:36	384.6	02:14	447.8	01:51	540.5
	Test 3	03:51	259.7	02:09	465.1	02:02	491.8	01:45	571.4
	Test 4	04:18	232.6	02:15	444.4	02:06	476.2	01:55	521.7
16	Test 1	03:59	251	02:27	408.2	02:04	483.9	01:46	566
	Test 2	04:04	245.9	02:00	500	01:58	508.5	01:31	659.3
	Test 3	03:55	255.3	02:03	487.8	01:15	444.4	01:55	521.7
	Test 4	04:13	237.2	02:15	444.4	02:13	451.1	01:49	550.5
17	Test 1	04:10	240	02:25	413.8	02:03	487.8	01:43	582.5
	Test 2	03:57	253.2	02:26	411	02:14	447.8	01:45	571.4
	Test 3	04:11	239	02:23	419.6	02:07	472.4	01:52	535.7
	Test 4	04:07	242.9	02:27	408.2	02:06	476.2	01:43	582.5
18	Test 1	03:45	266.7	02:54	344.8	02:47	359.3	02:28	405.4
	Test 2	03:50	260.9	02:42	370.4	02:23	419.6	02:13	451.1
	Test 3	03:57	253.2	02:42	370.4	02:24	416.7	02:09	465.1
	Test 4	03:56	254.2	02:25	413.8	02:16	441.2	02:08	468.8

12.4. Wetter- und Bodenbedingungen während der Belastungstests

Tab. 29: Wetter- und Bodenbedingungen während der Belastungstests

Datum	Uhrzeit	Wetter	Außentemperatur	Bodenbedingungen
05.08.2019	15:00	Sonnig	28.53°C	Trocken
19.08.2019	13:30	Bewölkt	23.45°C	Trocken
	16:00	Bewölkt	24.84°C	Trocken
01.09.2019	12:30	Sonnig	26.00°C	Trocken
	14:40	Sonnig	26.13°C	Trocken
16.09.2019	16:00	Sonnig	26.08°C	Trocken
17.09.2019	14:00	Bewölkt	20.52°C	Trocken
01.10.2019	17:00	Sonnig	23.83°C	Trocken
02.10.2019	13:00	Bewölkt	15.75°C	Trocken
14.10.2019	11:00	Sonnig	18.73°C	Trocken
15.10.2019	17:15	Sonnig	17.12°C	Trocken
28.10.2019	16:00	Nieselregen	7.59°C	Tief
29.10.2019	15:30	Bewölkt	6.65°C	Tief
11.11.2019	16:00	Sonnig	2.04°C	Sehr tief
12.11.2019	16:00	Sonnig	4.81°C	Sehr tief
26.11.2019	15:30	Sonnig	10.75°C	Tief
02.03.2020	14:00	Sonnig	9.17°C	Sehr tief
	16:00	Sonnig	8.92°C	Sehr tief
16.03.2020	12:00	Sonnig	16.89°C	Trocken
	13:30	Sonnig	17.17°C	Trocken
01.04.2020	14:00	Sonnig	8.49°C	Trocken
	15:30	Sonnig	9.82°C	Trocken
14.04.2020	15:30	Sonnig	7.42°C	Trocken
18.04.2020	11:30	Sonnig	22.19°C	Trocken
27.04.2020	15:00	Bewölkt	17.60°C	Trocken
11.05.2020	15:00	Sonnig	19.04°C	Tief
19.05.2020	16:00	Sonnig	23.68°C	Trocken
26.05.2020	15:00	Sonnig	17.67°C	Trocken
	16:30	Sonnig	16.71°C	Trocken
01.06.2020	11:30	Sonnig	20.88°C	Trocken

08.06.2020	14:30	Bewölkt	17.49°C	Tief
	16:00	Bewölkt	15.17°C	Tief
10.06.2020	14:30	Sonnig	14.54°C	Sehr tief
15.06.2020	16:00	Nieselregen	15.17°C	Tief
25.06.2020	11:00	Bewölkt	19.16°C	Trocken
	18:00	Bewölkt	22.75°C	Trocken
29.06.2020	17:00	Leichter Regen	23.15°C	Tief
06.07.2020	08:15	Sonnig	24.01°C	Trocken
07.07.2020	14:30	Sonnig	21.71°C	Trocken
	16:00	Sonnig	21.86°C	Trocken
17.07.2020	15:00	Bewölkt	18.40°C	Tief
18.07.2020	11:00	Sonnig	20.12°C	Tief
26.07.2020	08:00	Regen	16.31°C	Tief
	10:30	Nieselregen	17.77°C	Tief
27.07.2020	08:00	Bewölkt	18.63°C	Trocken
03.08.2020	15:30	Bewölkt	17.75°C	Tief
04.08.2020	14:30	Regen	14.44°C	Sehr tief
09.08.2020	08:15	Sonnig	21.86°C	Trocken
	09:30	Sonnig	27.19°C	Trocken
11.08.2020	08:15	Sonnig	21.23°C	Trocken
16.08.2020	09:45	Sonnig	25.85°C	Trocken
17.08.2020	15:00	Bewölkt	23.18°C	Trocken
24.08.2020	13:00	Bewölkt	22.90°C	Trocken
	19:00	Bewölkt	20.05°C	Trocken
25.08.2020	08:15	Sonnig	14.72°C	Trocken
30.08.2020	14:15	Leichter Regen	14.31°C	Tief
06.09.2020	09:45	Bewölkt	15.53°C	Tief
	10:45	Bewölkt	18.83°C	Tief
	11:30	Bewölkt	17.17°C	Tief
	18:15	Bewölkt	15.25°C	Tief
13.09.2020	14:00	Sonnig	27.34°C	Trocken
22.09.2020	17:15	Bewölkt	22.27°C	Trocken
27.09.2020	15:00	Sonnig	15.47°C	Tief

12. Anhang

05.10.2020	17:00	Bewölkt	13.05°C	Tief
07.10.2020	17:45	Regen	9.63°C	Sehr tief
12.10.2020	15:00	Bewölkt	6.51°C	Tief
18.10.2020	12:15	Sonnig	11.36°C	Tief
	14:30	Sonnig	12.65°C	Tief
28.10.2020	14:30	Bewölkt	13.88°C	Tief
08.11.2020	11:45	Bewölkt	16.18°C	Tief
09.11.2020	16:00	Sonnig	12.42°C	Tief
17.11.2020	15:30	Sonnig	12.75°C	Trocken



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

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

ISBN: 978 3 8359 7168 4



Photo front cover: © Thomas Stolz
Photo back cover: © Author