

Untersuchungen zu Pulsfrequenz und Geschwindigkeit von Reitpferden und – ponys unter Praxisbedingungen

von Caroline Anna Isabelle Frein von Reitzenstein

**Inaugural-Dissertation zur Erlangung der
Doktorwürde der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München**

**Untersuchungen zu Pulsfrequenz und
Geschwindigkeit von Reitpferden und –
ponys unter Praxisbedingungen**

von Caroline Anna Isabelle Freiin von Reitzenstein

aus Naila

München, 2020

**Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München**

Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik

**Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle**

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.
Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle
Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Lutz S. Göhring

Tag der Promotion: 08. Februar 2020

meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	1
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	8
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	12
I. EINLEITUNG	15
II. LITERATURÜBERSICHT	17
2.1. Die Bewegung des Pferdes	17
2.1.1. Gangarten der Pferde	17
2.1.2. Einflüsse auf die Bewegungen des Pferdes	23
2.2. Energiebedarf für Erhaltung und Leistung	24
2.2.1. Erhaltungsbedarf	25
2.2.2. Leistungsbedarf für Bewegung	27
2.3. Herzkreislaufsystem beim Pferd	29
2.3.1. Herzfrequenz in Ruhe	30
2.3.2. Einflüsse auf die Herzfrequenz	30
2.3.3. Herzfrequenz während der Belastung	32
2.3.4. Erholung der Herzfrequenz	35
2.3.5. Cardiac output (= CO) und Schlagvolumen (= SV)	35
2.3.5.1. Definition Schlagvolumen, cardiac output und cardiac index	36
2.3.5.2. Generelle Einflüsse auf den cardiac output	38
2.3.5.3. Berechnung „cardiac output“	41
2.3.5.4. „cardiac output“ beim Pferd	42
2.3.6. Messung der HF beim Pferd	43
2.3.7. Abweichungen Herzfrequenz	44

2.4. “Body conditon score” (= BCS) und Körpermasse	45
2.4.1. Begriffserklärung „body condition score“	45
2.4.2. BCS Pferd	45
2.4.3. Körpermasse Pferd	47
2.4.4. Schätzung der Körpermasse	47
III. MATERIAL UND METHODEN	50
3.1. Fragestellung und Versuchsplan	50
3.2. Versuchsaufbau	50
3.2.1. Vorversuch	50
3.2.2. Auswahl der Probanden	51
3.3. Körpermassebestimmung, body condition score, Kaliberindex und Größenbestimmung der Probanden	51
3.3.1. Body condition score (BCS)	51
3.3.2. Körpermasse	51
3.3.3. Kaliberindex	54
3.3.4. Einteilung der einzelnen Probanden in Gruppen	54
3.4. Aktivitätsmessung, Schrittzahlmessung, Geschwindigkeitsmessung, Messung der Schrittlängen	55
3.4.1. Aktivitätsermittlung und Schrittzahlmessung mit Hilfe des Acticals	55
3.4.1.1. Funktionsweise und Anwendung des Acticals	55
3.4.1.2. Anbringung und Nutzung des Acticals	57
3.4.2. Geschwindigkeitsmessung mit Hilfe von GPS	58
3.4.3. Schrittlänge	
3.5. Herzfrequenzmessung	59
3.5.1. Anbringen des „Polar equine belt“	59
3.5.2. Messen und Aufzeichnen der Herzfrequenz	
3.6. Weitere Parameter	62
3.7. Statistische Auswertung	63

IV. ERGEBNISSE	64
4.1. Körpermasse und BCS	64
4.2. Herzfrequenz (HF)	65
4.2.2. Herzfrequenz in der Bewegung	69
4.2.2.1. Herzfrequenz im Schritt	70
4.2.2.2. Herzfrequenz im Trab	71
4.2.2.3. Herzfrequenz im Galopp	72
4.2.3. Herzfrequenz in der Bewegung bezogen auf BCS und Kaliberindex	73
4.3. Geschwindigkeit (v)	74
4.3.1. Schrittgeschwindigkeit	74
4.3.2. Trabgeschwindigkeit	75
4.3.3. Galoppgeschwindigkeit	75
4.3.4. Geschwindigkeiten bezogen auf BCS und Kaliberindex	76
4.4. Herzfrequenzen und entsprechende durchschnittliche Geschwindigkeiten einzelner Individuen in verschiedenen Bewegungsarten, sowie die Erholung der Herzfrequenzen	77
4.5. Schrittlänge	80
4.5.1. Schrittlänge im Schritt	80
4.5.2. Schrittlänge im Trab	81
4.5.3. Schrittlänge im Galopp	82
4.6. Bewegung in der Führanlage und Kutsche	83
4.6.1. Führanlage	84
4.6.2. Kutsche	85
4.7. Aktivitätsmessungen	86
V. DISKUSSION	90
5.1. Diskussion der Methoden	91
5.2. Diskussion der Ergebnisse	98

VI. ZUSAMMENFASSUNG	106
VII. SUMMARY	109
VIII. LITERATURVERZEICHNIS	112
IX. ANHANG	121
X. DANKSAGUNG	144

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anstieg der Herzfrequenz (HF) in Abhängigkeit von einer Erhöhung der Geschwindigkeit (v) bis zum Einsetzen eines Plateaus (nach Ellendorf; 2011).....	32
Abb. 2: Vergleich der Herzfrequenz (HF) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit eines trainierten Pferde im Vergleich zu der eines untrainierten Pferdes (nach Ellendorf; 2011)	33
Abb. 3: Ermitteln einzelner Parameter zur Bestimmung der Körpermasse eines Pferdes (nach KIENZLE & SCHRAMME, 2004).....	52
Abb. 4: Actogramm nach Einspielen der Daten in die Software (aus Handbuch des Acticals).....	55
Abb. 5: Einstellen des Acticals mittels entsprechender Software	56
Abb. 6: Beispiel - Diagramm einer aufgezeichneten Geschwindigkeitsmessung mittels dem POLAR GPS System (X-Achse: Zeit in min; Y-Achse: Geschwindigkeit in km/h)	58
Abb. 7: angebrachter „Polar equine belt“ bei einem ungesattelten Pferd	60
Abb. 8: Beispiel einer Herzfrequenzdarstellung des Polar Systems während einer Longenarbeit (X-Achse: Zeit in min; Y-Achse: HF in S/min)	61
Abb. 9: Beispiel einer gemeinsamen Darstellung von Herzfrequenz und Geschwindigkeit des Polar Systems während einer Longenarbeit (X-Achse: Zeit in min; Y-Achse: HF in S/min)	62
Abb. 10: Kreisdiagramm über die prozentuale BCS-Verteilung der einzelnen Probanden (n = 113).....	64

Abb. 11: Boxplotdarstellung der Ruheherzfrequenz Ruhe-HF in bpm) in Abhängigkeit vom BCS (Median, 75/25-Perzentile, 5/95-Perzentile, Ausreißer).....	66
Abb. 12: Beziehungen zwischen Kaliberindex und Ruheherzfrequenz (in bpm) in allen Größenklassen.....	67
Abb. 13: Beziehung zwischen Kaliberindex und Ruheherzfrequenz (in bpm) in der Gruppe der Ponys	67
Abb. 14: Beziehung zwischen Kaliberindex und Ruheherzfrequenz (in bpm) in der Gruppe der Kleinpferde	68
Abb. 15: Beziehung zwischen Kaliberindex und Ruheherzfrequenz (in bpm) in der Gruppe der Großpferde	68
Abb. 16: Beziehung zwischen Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) in allen Gangarten.	69
Abb. 17: Zeit der Regeneration (in min) auf die Ruheherzfrequenz nach verrichteter Arbeit von verschiedenen Individuen (mit entsprechender „ID“ gekennzeichnet) (G = im Gelände geritten).	80
Abb. 18: Activity in den einzelnen Bewegungsarten im Schritt (L = Longe; HP = Halle/Platz; G = Gelände) (Median, 75/25-Perzentile, 5/95-Perzentile).....	88
Abb. 19: Activity in den einzelnen Bewegungsarten im Trab (L = Longe; HP = Halle/Platz; G = Gelände) (Median, 75/25-Perzentile, 5/95-Perzentile).....	89
Abb. 20: Activity in den einzelnen Bewegungsarten im Galopp (L = Longe; HP = Halle/Platz; G = Gelände) (Median, 75/25-Perzentile, 5/95-Perzentile).....	89
Abb. 21: Beziehung von Herzfrequenzen (HF in bpm) und Geschwindigkeiten (v in m/s) von Groß-, Kleinpferden und Ponys während des Reitens in der Bahn und im Gelände	92

Abb. 22: Beziehung von Activity counts (in counts/s) und Herzfrequenz (HF in bpm) longierter Probanden jeder Körpergröße	94
Abb. 23: Beziehung von Activity counts (in counts/s) und Herzfrequenz (HF in bpm) gerittener Probanden jeder Körpergröße in Bahn und Gelände	94
Abb. 24: Beziehung zwischen Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) longierter Ponys.....	99
Abb. 25: Beziehung zwischen Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) longierter Klein- und Großpferde	99
Abb. 26: Vergleich der Mittelwerte der Trittlängen (m) gerittener und longierter Probanden in Schritt, Trab und Galopp.....	93
Abb. 27: Beziehung zwischen Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) gerittener Ponys ; gerittener Kleinpferde und gerittener Großpferde sowohl in Gelände, als auch in der Bahn	101

Tabellenverzeichnis

Tab.: 1: mittlerer Erhaltungsbedarf (MJ ME/kg KM ^{0,75}) in Boxen gehaltener, normalgewichtiger Pferde durchschnittlichen Trainingszustandes (nach KIENZLE et al.; 2010).....	26
Tab. 2: Empfehlung für zusätzliche Versorgung mit ME für die Arbeit bei trainierten Pferden zwischen 400 und 500 kg KM (nach GfE, 2014).....	28
Tab. 3: durchschnittliche HF in Abhängigkeit von v (nach Clayton, 1991).....	34
Tab. 4: Verhältnis des Stockmaßes zur Lebendmasse ausgewachsener Ponys und Kleinpferde mit einem BCS von 5 bis 6 (nach GfE, 2014).....	48
Tab. 5: Verhältnis von Lebendmasse zu Körpergröße und Rasse ausgewachsener Großpferde mit BCS von 5 bis 6 (nach GfE, 2014).....	49
Tab. 6: Einteilung der einzelnen Gruppen nach Gruppe und Trainingsart.....	63
Tab. 7: Ruheherzfrequenz (Ruhe-HF in bpm) – Mittelwerte, Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte innerhalb der einzelnen Gruppen	65
Tab. 8: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm) im Schritt innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte.....	70
Tab. 9: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm) im Trab innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte.....	71
Tab. 10: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm) im Galopp innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte.....	72

Tab. 11: Mittelwerte der Geschwindigkeit (v in m/s) im Schritt innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie die Minimum- und Maximumwerte	74
Tab. 12: Mittelwerte der Geschwindigkeit (v in m/s) im Trab innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie die Minimum- und Maximumwerte	75
Tab. 13: Mittelwerte der Geschwindigkeit (v in m/s) im Galopp innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie die Minimum- und Maximumwerte	76
Tab. 14: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 79 und ID 27	77
Tab. 15: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 1 und ID 31	78
Tab. 16: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 83 und ID 16	78
Tab. 17: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 46 und ID 38	78
Tab. 18: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 70 und ID 71	79
Tab. 19: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 39 und ID 69	79
Tab. 20: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 48.....	79

Tab. 21: Mittelwerte der Schrittlängen im Schritt in m innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, sowie die Standardabweichung, Minimum- und Maximumwerte 81

Tab. 22: mittlere Schrittlängen im Trab in m, in Abhängigkeit von Körpergröße und Bewegungsart, sowie die Standardabweichung, Minimum- und Maximumwerte. 82

Tab. 23: mittlere Schrittlängen im Galopp in m, in Abhängigkeit von Körpergröße und Bewegungsart, sowie die Standardabweichung, Minimum- und Maximumwerte. 83

Tab. 24: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm), Geschwindigkeit (v in m/s) und Trittlängen (in m) von Pferden in der Führanlage, deren Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte..... 84

Tab. 25: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) in Schritt und Trab, sowie die durchschnittliche Herzfrequenz (HF in bpm) und durchschnittliche Geschwindigkeit (v in m/s) gefahrener Pferde und Ponys, sowie deren Standardabweichung und Minimum- und Maximumwerte 86

Tab. 26: Mittelwerte der „Activity-Counts“ in den einzelnen Gangarten aller Probanden mit Actical in Abhängigkeit von ihrer Körpergröße und der Bewegungsart (n = Anzahl der Probanden)..... 86

Tab. 27: Beispiele für Energieberechnung für Pferde und Ponys, geritten in der Bahn oder dem Gelände, anhand der gewonnen Daten aus vorliegender Studie und der Empfehlungen aus GfE (2014) und NRC (2007) 103

Tab. 28: Energieverbrauchsrechnungen (in kJ/min/kg KM) für Pferde und Ponys, geritten in Bahn und Gelände, in Schritt, Trab und Galopp anhand gewonnener Daten aus vorliegender Studie 103

Tab. 29: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (HF), Geschwindigkeiten (v) und Aktivitäten aller Probanden (P = Pony; K = Kleinpferd; G = Großpferd) in allen Gangarten und während unterschiedlicher Bewegungsweisen (L = longiert, HP = geritten in Halle/Platz; F =Geritten Gelände) 108

Tab. 30: means and standard deviations of heart rate (HR), velocity (v) and activity of all probands (P = pony; SH =small horse; TH = tall horse) in all gaits and during different kinds of work (L = lunged, A = ridden in an arena; F = ridden in the fields) 111

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ANOVA	Analysis of variance, Varianzanalyse
AS	aerobic scope
BCS	body condition score
BED	Bewegungseinheitsdauer
BMR	basal metabolic rate; basale metabolische Rate
bpm	beats per minute; Schläge pro Minute
BuCha	Bundeschampionat
Bzgl.	bezüglich
Bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CaO ₂	Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes
CvO ₂	Sauerstoffgehalt des venösen Blutes
cm	Zentimeter
cm/s	Zentimeter pro Sekunde
CI	cardiac index
CO	cardiac output
DE	digestible energy; verdauliche Energie
d.h.	das heißt
EDV	enddiastolisches Volumen
EKG	Elektrokardiogramm
ESV	endsystolisches Volumen
EOTS	energetic optimal transition speed; energetisch optimale Übergangsgeschwindigkeit
et al.	et alii; und andere
etc.	et cetera; und so weiter
evtl.	eventuell
FFM	fat free mass; fettfreie Körpermasse
FN	Fédération nationale; Deutsche reiterliche Vereinigung e.V.

G	Großpferd
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
Ggf.	gegebenenfalls
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPS	Global positioning system; geographisches Positionierungssystem
h	Stunde
HF	Herzfrequenz
HF _{max}	maximale Herzfrequenz
HG	Herzgewicht
Hz	Hertz
ID	Identity; Identität
Kcal	Kilokalorie
kg	Kilogramm
KI	Kaliberindex
kJ	Kilojoule
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
KM	Körpermasse
KM ^{0,75}	metabolische Körpermasse
K	Kleinpferd
l	Liter
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde
m/min	Meter pro Minute
max	Maximum
ME	metabolizable energy; umsetzbare Energie
min	Minute
Min	Minimum
MMR	maximal metabolic rate; maximale metabolische Rate
MJ	Megajoule

ml	Milliliter
Mmol/l	Millimol pro Liter
n	Anzahl
OP	Operation
O ₂	Sauerstoff
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
P	Pony
PC	Personal Computer
NRC	National research council
R	Korrelationskoeffizient
r ²	Bestimmtheitsmaß
s	Sekunde
ś	Standardabweichung
S/min	Schläge pro Minute
Sog.	So genannt
St	Steps; Schritte
SV	Schlagvolumen
Tab.	Tabelle
USB	Universal serial bus
v	Geschwindigkeit
VO ₂	Sauerstoffaufnahme
VO _{2max}	maximale Sauerstoffaufnahme
vs.	Versus, entgegen
VS	Vielseitigkeit
WB	Warmblut
\bar{x}	Mittelwert
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
%	Prozent

I. Einleitung

Schon als Pferde noch wild lebten, lange vor ihrer Domestizierung, war für die Spezies „Equus equus“ die Nahrungsaufnahme eines der wichtigsten Faktoren für den Organismus, um das Überleben zu sichern. Als Fluchttier bekannt, musste es, allein auf sich gestellt, dafür sorgen, dass es genug Nahrung zu sich nahm, um seinen Energie- und Leistungshaushalt decken zu können. Es war in der Lage sich diese Nahrungsmittel aus der Natur zu holen und damit eine adäquate Ernährung für sich schaffen.

Auch jetzt, viele hundert Jahren nach seiner Domestizierung, stellt die Ernährung des Pferdes eines der wichtigsten Hauptkriterien dar, um überleben zu können. Nicht mehr, um die Energie zu haben, den natürlichen Gefahren ausweichen zu können, sondern um als Sport-, Arbeits- und Reitpferd gute (Hoch-)Leistung zu erbringen. Die Anforderungen an das Pferd haben sich demnach über die Jahre sehr stark verändert, so dass es elementar wichtig ist, auch die Ernährung entsprechend anzupassen. Schon 1898 wurden von ZUNTZ und HAGEMANN Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und in Arbeit angestellt und auch in den letzten Jahrzehnten kamen mehr und mehr neue Erkenntnisse hinzu. So brachte die GfE in den letzten Jahrzehnten ebenfalls Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Pferden heraus, dennoch fällt es Tierbesitzern nach wie vor schwer zu beurteilen, wie ein Pferd sowohl bedarfs- und artgerecht, als auch gesund ernährt werden soll.

Die immer weiter ansteigenden Anforderungen an das Pferd, sowie das zunehmend ethische Denken der Gesellschaft, erfordern eine effektive und tiergerechte Ernährungsplanung. Schon SCHRAMME (2003) entwickelte ein neues Energiebewertungssystem für Pferde im Hinblick auf den Energiebedarf für Erhaltung und Arbeit. Die Bewertung erfolgte anhand Berechnungen des zusätzlichen Arbeitsbedarfs.

Es stellt sich demnach die Frage, inwiefern durch bereits vorangegangene Versuche, der genaue Energieverbrauch von Ponys und Pferden unterschiedlicher Größen und Körpermassen unter „normalen“, freizeitmäßigen Trainingsbedingungen ermittelt werden kann und wie die von SCHRAMME (2003) bereits ermittelten Daten von Großpferden auf Ponys extrapoliert werden können.

Für das Erstellen der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Pferde und Ponys unterschiedlicher Größe, unterschiedlichen Gewichts und unterschiedlichen Leistungsanforderungen während mehreren „Bewegungsweisen“ begleitet und viele Daten wurden über einen Zeitraum von 2 Jahren erhoben. Mit Hilfe dieser Arbeit sollte untersucht werden, welchen Ansprüchen ein Pferd beim Longieren, beim Reiten im Gelände, beim Reiten in der Bahn bzw. vor der Kutsche ausgesetzt ist. Ziel der Arbeit war es, durch den Vergleich von Herzfrequenzen, Geschwindigkeiten, Trittfrequenzen und –längen, sowie Aktivitätsmengen während der unterschiedlichen Bewegungsweisen Erkenntnisse darüber zu bekommen, welche Anforderungen diese Pferde und Ponys erfüllen müssen und somit eine gute Grundlage für zukünftige individuelle Fütterungsempfehlungen an Tierbesitzer zu schaffen.

II. Literaturübersicht

2.1. Die Bewegung des Pferdes

Tiere sind biologisch in der Lage eine aktive Eigenbewegung, vor allem in der Fortbewegung, zu erzeugen. So gehören die Einhufer, neben einigen Paarhufern, den Kamelen, den Hunden und den Geparden zu den so genannten „cursorial mammals“ ¹(= Lauftiere). Sie besitzen alle eine ähnliche Körperform, die es ihnen ermöglicht sich ausdauernd und schnell fortzubewegen. So haben sie neben einem langen Hals, lange Beine - sowohl gestreckt, als auch massenarm - der Rumpf ist kompakt, relativ kurz und mäßig breit. Der Schweif hat hier keine besondere Bedeutung (PREUSCHOFT et al., 1994).

2.1.1. Gangarten der Pferde

Die „Gangart“ wird definiert als „die Art und Weise und der Stil des Laufens“ (DORLAND, 2003) oder als „die Art und Weise des Laufens und des Tretens“ (BARNHART, 2003). Sie wird verwendet, um die Geschwindigkeiten und Charakteristika eines Pferdes in der Bewegung zu beschreiben. Es wird unterschieden zwischen „natürlichen Gangarten“, die bei einem Pferd beobachtet werden können, das sich frei auf der Wiese bewegt (Schritt, Trab, Galopp) und den „unechten bzw. künstlichen Gangarten“, die zwar natürlich bei einigen Rassen vorkommen, generell aber auch ein Anzeichen für eine „krankhafte Bewegung“ sein können (Passgang, Stechschritt, Tölt etc.) (ADAMS et al., 2003).

Der „Takt“ einer Gangart beschreibt die Anzahl der Huftritte in einem einzelnen Bewegungszyklus, unabhängig davon wie viele Hufe gleichzeitig den Boden berühren, z.B. der Vier-Takt im Schritt oder der Zwei-Takt im Trab. In der Reitersprache versteht man dagegen unter „Takt“ das Gleichmaß der Bewegung.

¹ PREUSCHOFT et al. (1987): Studien zu den Bewegungen von Sportpferden

Der Schritt ist ein so genannter „Vier-Takt“, bei dem alle vier Hufe unabhängig voneinander auf dem Boden aufkommen und somit immer ein Huf auf dem Untergrund auftritt. Ein gesundes und lahmfreies Pferd sollte im Schritt normalerweise ein- oder übertreten, d.h. dass der Hinterhuf immer entweder im oder vor dem Abdruck des ipsilateralen Vorderhufes aufkommt.

Der Trab ist ein diagonaler „Zwei-Takt“, was bedeutet, dass sich die diagonalen Gliedmaßen Paare simultan bewegen. Er sollte beim gesunden Pferd symmetrisch ablaufen, d.h. dass beide Takte des Trabschritts identisch sind.

Der Galopp ist ein „Drei-Takt“, bei dem auf der linken Hand, der rechte Hinterhuf den Boden zuerst berührt, gefolgt vom gleichzeitigen Auftreten von linkem Hinter- und rechtem Vorderfuß. Anschließend befinden sich alle Hufe in der Luft. Der Renn- bzw. Jagdgalopp hingegen, eine deutlich schnellere Variante des Galopps, ist wieder ein „Vier-Takt“ (ROSS et al., 2003).

Laut PREUSCHOFT et al. (1994) ist die Gangart „Schritt“ für das Pferd einerseits die sicherste Bewegungsweise, andererseits für das Tier auch energetisch die billigste. Diese Lokomotionsweise beruht auf einem Pendelprinzip, deren Geschwindigkeit sich aus $v = \text{Schrittlänge} \times \text{Frequenz}$ ergibt. Das bedeutet, dass bei kürzerem Pendel von geringerer Masse, die Gangfrequenz steigt. Auch WITTE et al. (1995) bestätigten, dass ein Pferd die Pendelbewegungen seiner Beine nutzt, was zu einem deutlich geringeren Energieaufwand für die Lokomotion führt.

WITTE et al. (1995) fragten sich, wie ein Pferd überhaupt in der Lage ist, entsprechende Ausdauer- und Sprintleistungen zu erbringen. Er kam zu dem Schluss, dass sich Pferde mittels einer so genannten „zyklischen Lokomotion“ fortbewegen.² Laut diesem Autor setzt sich die Geschwindigkeit wie folgt zusammen:

$$v = s/BED \text{ (s: Weg; BED: Bewegungseinheitsdauer = Zeit)}$$

² Witte et al. (1995): Die Gangarten der Pferde: Sind Schwingungsmechanismen entscheidend? Teil 1

Je höher die Geschwindigkeit wird, desto geringer wird die BED, was zur Folge hat, dass eine höhere Geschwindigkeit dadurch erreicht wird, dass sich die zurückgelegte Strecke pro BED erhöht. Dies bestätigten auch PREUSCHOFT et al. (1994), die zu dem Schluss kamen, dass das Pferd die Geschwindigkeit seiner Fortbewegung sowohl durch eine Frequenzsteigerung, als auch durch eine Erhöhung der zurückgelegten Strecken pro Bewegungszyklus erhöht.

Das Ziel eines jeden Reiters, egal in welcher Reitweise, ist es also, den natürlichen Bewegungsablauf seines Pferdes zu kennen und diesen so zu nutzen, dass man dieses lange als Reit- und Sportpferd nutzen kann. Es hat sich in einigen Studien gezeigt, dass das Aufzeigen von Geschwindigkeiten, Trittfrequenzen und -längen dabei hilft, eine Einschätzung abgeben zu können, welcher Belastung ein Pferd in seiner entsprechenden Disziplin wirklich ausgesetzt ist (PREUSCHOFT et al., 1987).

PREUSCHOFT et al. (1987) untersuchten in einem Versuch mit Pferden verschiedener Disziplinen (S-Dressur, Olympiavielseitigkeit, Jungpferd Vielseitigkeit im Aufbau) die verschiedenen Trabtempi und oben genannte Parameter mittels einer Kamera. Hier zeigte sich der größte Unterschied zwischen den einzelnen Disziplinen hinsichtlich der gerittenen Geschwindigkeit. So war der versammelte Trab bei allen Probanden gleich, die Geschwindigkeitssteigerung zum Mittel- bzw. dann zum starken Trab aber deutlich verschieden. Das bei olympischen Spielen vorgestellte Vielseitigkeitspferd zeigte den größten Unterschied, dicht gefolgt von dem jungen Militarypferd, das sich noch im Aufbau befand. Diese Pferde steigerten ihre Geschwindigkeit durch eine Erhöhung der Trittfrequenz und -länge. Das Dressurpferd hingegen steigerte lediglich seine Trittlänge bei gleichbleibender Trittfrequenz. Des Weiteren spielte hierbei auch die Tritthöhe eine entscheidende Rolle, die laut PREUSCHOFT et al. (1987) mit der Geschwindigkeit zunimmt, nicht aber mit der Versammlung des Pferdes. Er kommt zum Schluss, dass durch eine Zunahme der Trittlänge, auch eine größere Tritthöhe zu Stande kommt.

In einer Studie von HEGLUND et al. (1988) wurde untersucht, inwiefern die Geschwindigkeit und die Schrittfrequenz in Trab und Galopp von der Körpergröße eines Tieres abhängen. Hierbei wurde einerseits darauf geachtet, wie sich die Geschwindigkeit bei zunehmender Körpergröße ändert und zum anderen, wie sich die Schrittfrequenz innerhalb einer Gangart verändert. Dafür nutzten HEGLUND et al. (1988) zum einen verschiedene Spezies an Ein- und Paarhufern unterschiedlichen Gewichts, sowie einige Spezies an verschieden großen und unterschiedlich schweren Nagetieren. Nach vorheriger Gewöhnung an ein Laufband wurde bei allen Probanden die Schrittfrequenz bei konstanter Geschwindigkeit gemessen. Generell zeigte sich, dass die kleinen Tiere anfangs deutlich langsamer trabten als die großen. Um Tiere unterschiedlicher Körpergröße vergleichen zu können, wurden alle Probanden in ihrer „bevorzugten“ Geschwindigkeit (= Geschwindigkeit, die die Tiere selber in der entsprechenden Gangart unter natürlichen Bedingungen laufen) verglichen. Dabei kamen die Autoren zum Schluss, dass die Schrittfrequenz in beiden Gangarten linear zu steigender Körpergröße abnahm. Das bedeutete, dass die kleineren Tiere durchaus langsamer waren, bei deutlich höheren Schrittfrequenzen. Dennoch zeigte sich ein ähnlicher relativer Anstieg von Trittfrequenz und Geschwindigkeit bei den Tieren aller Größenklassen, da sie ihre Geschwindigkeit in Abhängigkeit ihrer Körpergröße um denselben Faktor erhöhten (HEGLUND et al., 1988).

WICKLER et al. (2003) wollten herausfinden, wann Pferde überhaupt die Gangart wechseln und welche Kriterien für einen Gangartwechsel eine Rolle spielen. Dafür wurden bei sieben Pferden (Durchschnittsalter $7,8 \pm 3,4$ Jahre; durchschnittliches Gewicht von 467 ± 68 kg) nach vorheriger Konditionierung auf einem Laufband die Geschwindigkeiten in Schritten von $0,25$ m/s geändert (erhöht oder erniedrigt) und die Gangartwechsel notiert. Man fand heraus, dass es einen Geschwindigkeitsbereich gab, in dem alle Pferde wiederholt die Gangart wechselten. Unterhalb dieses Bereichs trabten alle, oberhalb dessen liefen alle im Galopp. Somit wurden zwei Übergangsgeschwindigkeiten gefunden, die maximale Trabgeschwindigkeit und die minimale Galoppgeschwindigkeit. Diese unterschieden sich um $0,54 - 0,62$ m/s. Des Weiteren wurden die Pferde anschließend darauf trainiert,

dass sie ihre Gangarten innerhalb des zuvor festgelegten Bereichs erhöhten bzw. erniedrigten. Das heißt, dass sie bei Geschwindigkeiten trabten, die 0,5 m/s schneller war, als ihre eigentliche minimale Galoppgeschwindigkeit und auch bei einer Geschwindigkeit galoppierten, die 1,0 m/s langsamer war als ihre maximale Trabgeschwindigkeit. Man kam zu dem Schluss, dass die durchschnittliche minimale Galoppgeschwindigkeit 0,63 m/s höher war, als die so genannte „energetisch optimale Übergangsgeschwindigkeit“ (= EOTS), was zur Folge hatte, dass die Autoren davon ausgingen, dass die metabolische Rate niedriger im Galopp war, als im Trab, da sich die maximale Trabgeschwindigkeit nicht von der „EOTS“³ im Trab unterschied. Zudem wurden diese Tiere zusätzlich auch mit einem Accelerometer bestückt, um heraus zu finden, wie sich die Schrittfrequenz mit den Gangartwechseln verändert. Diese stieg im Trab linear mit der Geschwindigkeit an bis zum Wechsel zur minimalen Galoppgeschwindigkeit. Wenn der Trab schneller war, als die eigentliche minimale Galoppgeschwindigkeit, war kein Anstieg der Schrittfrequenz mehr zu erkennen. Beim Wechsel in den Galopp kam es dann allerdings zu einer plötzlichen Erhöhung der Schrittfrequenz, die im Galopp selber hingegen unabhängig von der Geschwindigkeit war (WICKLER et al., 2003). Auch TAYLOR (1978) fing an die Galoppfrequenzen einiger Vierbeiner auf einem Laufband zu testen und fand heraus, dass mit dem Moment, in dem ein Tier anfangt zu galoppieren, die Frequenz fast konstant blieb, bei einer Erhöhung der Geschwindigkeit. Die Frequenz war allerdings abhängig von der Körpergröße des Tieres und proportional zu dessen Gewicht (TAYLOR, 1978). WITTE et al. (1995) erklärten ebenso, dass eine Erhöhung der Schrittfrequenz im Galopp einen hohen Energieaufwand bedeuten würde und demnach wird eine Steigerung der Geschwindigkeit hier nur durch eine Erhöhung des Raumgewinnes erzielt.

Entgegen dem, wollte TAYLOR (1978) zusätzlich herausfinden, warum überhaupt ein Gangartwechsel notwendig ist. Er zeigte auf, welche Mechanismen mit dem Gangartwechsel einhergehen und dass die

³ Wickler et al. (2003): The energetics of the trot-gallop transition

Veränderungen, die die Tiere zu einem Wechsel veranlassen aufgrund eines Wechsels der „Federwirkung“ im Körper zustande kommen. Sowohl im Trab, als auch im Galopp sind so genannte Federwirkungen der Muskeln und Sehnen an der Bewegung beteiligt, doch stellte der Autor sich die Frage, ob immer dieselben Muskelgruppen darin involviert sind. Durch eine Steigerung der Geschwindigkeit kommt es zu weniger Bodenkontakt und die ausgeübte Kraft nimmt zu. Demnach benötigt das Tier eine höhere Muskelkraft, was zur Folge hat, dass mehr Energie verbraucht wird. Es ist bei höherer Geschwindigkeit in der Lage, mehr Muskelfasern zu benutzen, um eine „steifere Federwirkung“ zu erzielen. Bei einem Wechsel in eine höhere Gangart kann also mehr Energie in den Faszien gespeichert werden (TAYLOR, 1978).

Auch WITTE et al. (1995) sprachen von einer so genannten Federwirkung, die die Gangarten Trab und Galopp aufweisen. Anhand von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen von zehn Pferden, die in allen Gangarten gemacht wurden und anschließend in Zeitlupe angesehen wurden, konnten Diagramme der einzelnen Fußfolgen gemacht werden. Dadurch konnte man feststellen, wie viele „Federn“ das Tier gleichzeitig nutzt. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass man die Anzahl der Beinfedern anhand der Hufe bestimmen kann, die in den einzelnen Bewegungsphasen den Boden berühren. In der Gangart Schritt wurde die Bewegung, wie bereits in einem voran gegangenen Versuch beschrieben, von den Pendelbewegungen bestimmt und mit zunehmender Geschwindigkeit wurden diese von den „Federbewegungen“ mehr und mehr abgelöst (WITTE et al., 1995).

2.1.2. Einflüsse auf die Bewegungen des Pferdes

Es stellt sich die Frage, was die natürliche Bewegung des Pferdes beeinflussen kann hinsichtlich der Ausdauer und der Leistung der Pferde. So beschrieben GEYER et al. (2006), RHODIN et al. (2009) und HEUSCHMANN (2008), dass einerseits die Zügel und das Gebiss, andererseits auch die Haltung des Kopfes und des Halses eine wichtige Rolle hinsichtlich der natürlichen Bewegung der Pferde während des Reitens spielen können.

GÓMEZ ÁLVAREZ et al. (2010) wollten den Effekt der Kopf-Hals-Haltung auf die thoracolumbalen Bewegungen in sieben ungerittenen und ausgebundenen Pferden mit unterschiedlichen Positionen des Kopfes auf einem Laufband untersuchen. Sie kamen zu dem Schluss, dass alle Pferde, die ausgebunden waren, signifikant geringere Schrittfrequenzen aufwiesen, verglichen zu der Kontrollgruppe, die nicht ausgebunden auf dem Laufband bewegt wurden. Einzige Ausnahmen zeigten die Pferde der Gruppe, die zwar ausgebunden, aber dennoch in der Lage waren, eine „Vorwärts-Abwärts“ Bewegung des Kopfes und Halses zu zeigen. Die einzige Kopf-Hals-Haltung, die einen sichtbaren negativen Effekt auf die Bewegung hatte, war die Position, bei der Kopf und Hals sehr hoch getragen wurden (GÓMEZ ÁLVARES, et al., 2010).

Auch WEISHAUPT et al. (2010) kamen in einem Feldversuch mit gerittenen Pferden, die ihre Köpfe und Hälse an verschiedenen Positionen trugen, zu einem ähnlichen Ergebnis. So zeigten die Pferde, deren Kopf-Hals-Position sehr hoch und deutlich vor der Senkrechten war, den größten Effekt auf die Gliedmaßenfolge. Im Gegensatz dazu schien ein „Vorwärts-Abwärts“-Reiten oder eine Bewegung am langen Zügel keinen Einfluss auf die Bewegung zu nehmen. Bzgl. der Schrittfrequenz im Schritt zeigten die Pferde am langen Zügel eine erhöhte Frequenz mit deutlicher Betonung auf der Vorhand, die mit hoher Kopf-Hals Haltung und die mit hohem Hals und Nase kurz hinter der Senkrechten hingegen eine verminderte Schrittfrequenz mit Betonung auf der Hinterhand. Im Trab zeigte sich die erhöhte Schrittfrequenz bei den Pferden, die mit tiefem Hals und Kopf stark hinter der Senkrechten liefen, sowie bei denen mit hoher Halshaltung und Kopf leicht vor der Senkrechten. Die Schlussfolgerung der Autoren ist ähnlich der von GÓMEZ ÁLVAREZ et al. (2010). So hat eine sehr hohe

Kopf-Hals-Haltung auch im gerittenen Zustand einen deutlich höheren Effekt auf die Funktionalität der Bewegung als eine extrem tiefe Position von Kopf und Hals (WEISHAUPT, et al., 2006). Dies deckte sich auch mit den „Zürcher Untersuchungen“. Hier kamen RHODIN et al. (2008) zum Schluss, dass im Vergleich zu einer freien Position des Kopfes und Halses ein aufgerichteter Hals die Biomechanik im Rücken erheblicher beeinflusste, als eine tiefe Haltung von Kopf und Hals. Eine übermäßige Aufrichtung hatte im Schritt eine verkürzte Schrittlänge zur Folge, im Trab zeigten sich hinsichtlich der Schrittlängen keine signifikanten Unterschiede.

2.2. Energiebedarf für Erhaltung und Leistung

Die Aufgabe eines lebenden Organismus als ein System, das ständig arbeitet, ist der fortwährende Energieumsatz. Alle Vorgänge, die für den Körper lebensnotwendig sind, wie das Konstanthalten der inneren Körpertemperatur, sowie die Atmungs-, Herz- und Verdauungstätigkeiten, sind Prozesse, die hochgradig Energie verbrauchen, wodurch eine konstante Zufuhr energieliefernder Substanzen notwendig wird. Zusätzlich zu dem für die Erhaltung erforderlichen Energieverbrauch, kommen die täglichen Leistungen des Körpers hinzu (Körperbewegung, Milchproduktion während Trächtigkeit etc.). Um seine Lebensfunktionen aufrechterhalten zu können, gewinnt der Organismus seine Energie durch oxidativen Abbau von Nährstoffen, die mit der Nahrung aufgenommen werden (ENGELHARDT et al., 2004).

Man kann also sagen, dass in allen Lebenslagen von Lebewesen Energie verbraucht wird, was es für jene essentiell macht, diese Energie wieder aufnehmen zu können, um damit das Überleben und die damit verbundenen Leistungen zu sichern. Um den Energiebedarf decken zu können, müssen Nährstoffe über das Futter aufgenommen werden, die anschließend verdaut werden, um sie für den Stoffwechsel nutzen zu können. Die Energie, die mit der Futterraufnahme dem Körper zugeführt wird, steht dem Tier allerdings nicht zu hundert Prozent zur Verfügung, da durch verschiedene Verluste (über Kot, Fermentationswärme, Gärgase, Harn und Wärmebildung) Energie verloren geht (KUBUS et al., 2013).

Aufgrund des Wissens über Futterzusammensetzungen, Ergebnissen von chemisch-physikalischen Untersuchungen, sowie von Tierversuchen kann man in der heutigen Zeit die Energieverwertung von Futtermitteln für verschiedene Tierspezies in unterschiedliche Stufen einteilen (Bruttoenergie, verdauliche Energie, umsetzbare Energie und Nettoenergie).

Von KIENZLE et al. (2010) wurde für Pferde ein Energiebewertungssystem auf der Stufe der umsetzbaren Energie ausgearbeitet, was zu einer Umstellung der Bedarfsangaben von verdaulicher Energie (DE) auf die umsetzbare Energie (ME) führte.

2.2.1. Erhaltungsbedarf

Zuzüglich zum Grundumsatz, dem sogenannten Ruhe-Nüchtern-Umsatz, muss auch der Bedarf für die Aufnahme von Nahrung, für Verdauung und die Muskelarbeit bei spontaner Bewegung, sowie für die Thermoregulation berücksichtigt werden.

Alles zusammen ergibt folglich den Erhaltungsbedarf.

Laut KIENZLE et al. (2010) definiert sich der Erhaltungsbedarf an umsetzbarer Energie folgendermaßen: Er entspricht der nötigen Versorgung mit ME, welche dafür benötigt wird, eine ausgeglichene Energiebilanz bei geringer spontaner Aktivität an Bewegung im thermoneutralen Bereich aufrechtzuerhalten. Aus praktischen Gründen wird der Mehrbedarf für Temperaturregulation dem Erhaltungsbedarf zugeschlagen. KIENZLE et al. (2010) sprachen von einem Mehrbedarf von bis zu 10% für Kälte und Hitze, bei extremen Witterungsbedingungen kann er sogar bis zu 20% höher werden.

Auch die Haltung hat Einfluss auf die Höhe des Erhaltungsbedarfs. So erhöht sich laut KIENZLE et al. (2010) der Erhaltungsbedarf um ca. 10% bei Pferden, die im Offenstall oder Gruppenauslauf gehalten werden oder stundenweise auf die Koppel gehen. Die Weidehaltung auf großen Flächen führt sogar zu einem Mehrbedarf von bis zu 50%.

KIENZLE et al. (2010) gaben als evtl. Einflussfaktoren auf den Erhaltungsbedarf neben den starken individuellen Einflüssen auch die Körpermasse, die fettfreie Körpermasse, das Temperament und die Spontanbewegung, sowie die Oberflächenisolation, Umgebungstemperatur, Stoffwechseleffizienz, Rasse, Geschlecht, Alter und den Gesundheitszustand an.

Laut KIENZLE et al. (2010) beläuft sich der Energieerhaltungsbedarf auf 0,34 MJ ME/kg $KM^{0,75}$ für ein übergewichtiges Pony und 0,44 MJ ME/kg $KM^{0,75}$ für ein übergewichtiges Warmblut. Ein sehr gut trainierter Vollblüter hingegen kann einen Erhaltungsbedarf von ca. 0,74 MJ ME/kg $KM^{0,75}$ haben. Die Autoren erstellten eine Bedarfs- und Versorgungsempfehlung für in Boxen gehaltener Pferde normalen Gewichts, mit durchschnittlichem Trainingszustand (Tab. 1). Haltungsbedingungen, extreme Witterungsbedingungen, Übergewicht und überdurchschnittlicher Trainingszustand dürfen bei der Berechnung allerdings nicht außer Acht gelassen werden und der zusätzliche Mehrbedarf muss entsprechend berücksichtigt werden.

Tab.: 1: mittlerer Erhaltungsbedarf (MJ ME/kg $KM^{0,75}$) in Boxen gehaltener, normalgewichtiger Pferde durchschnittlichen Trainingszustandes (nach KIENZLE et al.; 2010)

Rasse	Energieerhaltungsbedarf
Warmblut	0,52
Vollblut	0,64
Pony	0,40
Sonstige Rassen	0,40 – 0,50

2.2.2. Leistungsbedarf für Bewegung

Der Leistungsbedarf ist der für die Bewegung zusätzlich benötigte Energiebedarf. SCHÜLER (2003) ermittelte den ME-Bedarf arbeitender Pferde (pro kg KM), geritten in der Bahn und im Gelände, wie folgt: 0,17kJ ME/min im Schritt, 0,42 kJ ME/min im Trab und 1,8 kJ ME/min im Galopp.

Auch hier spielen neben Klimaverhältnissen, Haltungsanforderungen und Körperkondition ebenso die Futterzusammensetzung, sowie die Nährstoffcharakteristika eine tragende Rolle im Hinblick auf den Energiebedarf (GfE, 2014).

Der Energieverbrauch während der Arbeit ist auch davon abhängig, welche Art von Arbeit verrichtet wird, sowie von der Körpergröße des Tieres und der Dauer der verrichteten Arbeit (NRC, 2007).

BARTH et al. (1977) kamen in einem Versuch mit 190 kg schweren Ponys, die ein bestimmtes Gewicht über eine bestimmte Zeit/Tag ziehen mussten, zu dem Schluss, dass der Bedarf von 44,88 MJ/Tag für 2,85 bis 3,57 h/Tag (mittlere Arbeit) vergleichbar mit der leichten Arbeit war, die 190kg schwere Ponys in einem Versuch von HINTZ (1971) verrichten mussten. Hier betrug der Bedarf für drei Stunden Arbeit 45,38 MJ/Tag.

PAGAN et al. (1985) untersuchten in einem Versuch, inwiefern das Gewicht des Pferdes (mit und ohne Reiter) eine Rolle hinsichtlich des Energieverbrauches spielt. Ein Pferd mit Reiter hat grundsätzlich mehr Energie verbraucht, als dasselbe Pferd ohne Reiter. Der Energieverbrauch war proportional zur Geschwindigkeit und ebenso zum Körpergewicht des Pferdes bzw. dem kombinierten Gewicht von Pferd und Reiter. Das bedeutet, dass ein 450 kg Pferd mit einem 50 kg schweren Reiter einen vergleichbaren Verbrauch an Energie hatte, wie ein Pferd mit einem Körpergewicht von 500 kg ohne Reiter.

Die GfE (2014) hat Empfehlungen für trainierte Pferde zwischen 400-500 kg Körpermasse heraus gebracht, die zusätzlich ME für Arbeit benötigen (Tab. 2). Man ist von einem Trainingszustand ausgegangen, der bei einer Herzfrequenz von 180 bpm eine Laktatkonzentration von 5,8 mmol/l zu erwarten hatte. Das Gewicht des Reiters wurde mit 15% der

Körpermasse des Pferdes berechnet und dazu gerechnet und die Gangarten entsprechen Mittelschritt, Arbeitstrab und Arbeitsgalopp.

Tab. 2: Empfehlung für zusätzliche Versorgung mit ME für die Arbeit bei trainierten Pferden zwischen 400 und 500 kg KM (nach GfE, 2014)

HF	ME aerob	ME anaerob	ME gesamt	Zusätzliche ME (Reitbahn)
Schläge/Minute	kJ/kg KM des Pferdes			
50	0,139	0	0,139	Schritt 0,19
70	0,272	0	0,272	
90	0,449	0	0,449	
110	0,671	0,001	0,672	Trab 0,48
130	0,936	0,003	0,939	
150	1,245	0,014	1,259	
170	1,508	0,061	1,569	
190	1,996	0,264	2,260	Galopp 1,92
210	2,437	1,187	3,624	
220	2,674	2,369	5,043	
230	2,922	4,895	7,817	
240	3,181	10,157	13,338	

Allerdings dürfen laut GfE die genannten Werte für Ponys nicht eins zu eins übernommen werden, da der Bedarf an ME für die Arbeit laut TAYLOR et al. (1982) nicht linear mit der KM zunimmt. Bei kleineren Tieren ist die Anzahl der Schritte und Tritte für das Zurücklegen einer bestimmten Strecke bei einer bestimmten Geschwindigkeit deutlich höher. Sofern die Länge dieser Schritte und Tritte bei Pferden < 400 kg deutlich abnimmt, steigt der Energiebedarf bezogen auf Körpermasse und zurückgelegte Strecke (GfE, 2014). Die Autoren kamen also zu dem Vorschlag, die Werte, die SCHÜLER (2009) für Großpferde (500 kg) ermittelt hat, vorläufig beim Pony auf die metabolische Körpergröße (=KM^{0,75}) zu beziehen. Folglich gab die GfE (2014) für Ponys andere Empfehlungen für Arbeit pro Minute:

- Schritt – 0,8 kJ ME/kg^{0,75} KM
- Trab – 2,0 kJ ME/kg^{0,75} KM
- Galopp – 8,1 kJ ME/kg^{0,75} KM

2.3. Herzkreislaufsystem beim Pferd

Das Herzkreislaufsystem dient dem Pferdeorganismus als zentrales Transportsystem für die bedarfsgerechte Ver- und Entsorgung aller Systeme des Organismus. Außerdem steuert und reguliert es Organe und Zellen. Das Herz spielt hierbei die Hauptrolle, indem es die dem entsprechendem Bedarf angepasste Pumpaktivität übernimmt und mit Hilfe des Blutgefäßsystems die jeweiligen Nährstoffe, sowie Gase, Flüssigkeiten und Wärme zu den Organsystemen transportiert (ELLENDORF, 2011).

Bei der so genannten „Windkesselfunktion der Aorta“, bei der das Schlagvolumen des Herzens während der Systole auf eine träge Blutmasse in den Gefäßen trifft und nur durch Ausdehnung der Aorta in diesen untergebracht werden kann, wird das Blut nach Ende der Blutaustreibung wieder in die Gefäße zurück gedrückt. Dies ist möglich aufgrund der hohen Elastizität der Aorta. Diese systolische Welle bewegt sich über das gesamte Arteriensystem fort, allerdings mit sehr viel höherer Geschwindigkeit (4-5m/s) als die eigentliche Blutgeschwindigkeit (ca. 50 cm/s). Nach Abnahme der Energie und nachdem die Gefäße peripher weiter werden, flacht sie anschließend ab. Diese Welle ist in Form des Pulses äußerlich zu tasten. Generell kann man aber sagen, dass Herzfrequenz und Puls nicht identisch sind, da die Herzfrequenz nur ein Aspekt des Pulses ist, zu dem zusätzlich noch Größe des Schlagvolumens, die Druckanstiegsgeschwindigkeit, sowie absoluter Druck des Füllungsvolumens zählen (BAUMGARTNER et al., 2005; VON ENGELHARDT et al.; 2004).

Die Blutmenge, die pro Herzschlag gepumpt wird, bestimmt die Pumpleistung des Herzens mit und ist durch die Größe des Herzens vorgegeben. Die Herzfrequenz, gemeinsam mit dem Schlagvolumen ergibt das Minutenvolumen (ELLENDORF, 2011).

ELLENDORF (2011) bezeichnete die Herzfrequenz als Indikator für die Pumpaktivität und entsprechend als Anzeige akuter Belastung, welche zahlreichen Einflüssen unterliegt. Somit kann die Herzfrequenz laut EVANS (1994) als Anhaltspunkt für eine Beurteilung der Ausdauer genutzt werden und kann daher dazu dienen, Leistungszustände verschiedener Pferde zu vergleichen.

2.3.1. Herzfrequenz in Ruhe

Bei ausgewachsenen Pferden liegt die Ruheherzfrequenz bei 28 – 40 Schlägen pro Minute, beim Fohlen hingegen zwischen 60 und 100 Schlägen pro Minute (VON ENGELHARDT et al., 2004; UHDE, 2009; BAUMGARTNER et al., 2005). Sie variiert von Individuum zu Individuum und ist abhängig von Größe und Rasse des Pferdes. So zeigt sich, dass kleinere Tiere generell höhere Herzfrequenzen aufweisen, als größere (CLAYTON, 1991).

Das Schlagvolumen in Ruhe beträgt für ein 500 kg schweres Pferd ca. 100 ml, wodurch sich ein Minutenvolumen von ungefähr 30l/min, sowie ein Blutdruck von 20 bis 30 mmHg ergibt. Es kommt in Ruhe zu einem Sauerstoffverbrauch von ungefähr 3 bis 4 ml/min pro kg Körpermasse (ELLENDORF, 2011).

Allerdings spielen hier die Umgebungseinflüsse eine große Rolle, da durch schreckhafte Bewegungen oder plötzliche Umgebungsveränderungen die Herzfrequenz auch in Ruhe kurzzeitig höher liegen kann (UHDE, 2009).

2.3.2. Einflüsse auf die Herzfrequenz

Laut MC KEEVER et al. (1997) ist die Herzfrequenz abhängig vom Alter des Tieres. Demnach findet man bei Pferden jüngeren Alters höhere maximale Herzfrequenzen als bei alten Pferden.

Im Gegensatz dazu konnte HARBIG (2006) keinen signifikanten Einfluss auf die Herzfrequenz hinsichtlich des Pferdalters feststellen. Er fand jedoch einen Einfluss des Geschlechtes, wobei in seiner Studie mit insgesamt 31 Pferden Stuten eine deutlich höhere Herzfrequenz aufwiesen, als Wallache (HARBIG, 2006).

Laut ELLENDORF (2011) haben rassetypische Unterschiede einen sichtbaren Effekt auf die Herzfrequenz, so zeigen Vollblüter meist eine niedrigere Herzfrequenz, als Warmblüter. CIKRYTOVA et al. (1991) konnten ebenfalls eine Rassedisposition hinsichtlich der Herzfrequenz feststellen. So erreichen laut diesen Autoren Vollblüter im Vergleich zu Warmblütern bei gleicher Belastung geringere Herzfrequenzen. Dies wurde von DYSON (1994) damit erklärt, dass bei Vollblütern eine bessere aerobe Kapazität festgestellt werden kann, was zu einer besseren Versorgung mit Sauerstoff führt, trotz einer niedrigeren Herzfrequenz.

EHRLEIN et al. (1972) fanden in einem Versuch heraus, dass auch die Bahngröße einen Einfluss auf die Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit haben kann. Die Pferde in dieser Studie wurden in einer Reithalle (Bahn = 88m), auf einem Reitplatz (Bahn = 183m) und auf einer Rennbahn (Bahn = 2000m) bewegt und es zeigte sich, dass die Pferde in der Halle die höchsten Herzfrequenzen hatten, gefolgt von denen auf dem Reitplatz. Um auszuschließen, dass die Bodenverhältnisse schuld an den höheren Herzfrequenzen sind, wurde mit einem Pferd der Studie Stufenbelastungen auf einem Zirkel (Umfang = 280m) und auf einem größeren Reitplatz (Umfang = 486m) durchgeführt, beides auf Grasboden. Auch hier konnte man sehen, dass die Herzfrequenz auf dem kleineren Zirkel mit zunehmender Laufgeschwindigkeit wesentlich stärker anstieg als auf der größeren Bahn. Die Autoren begründeten dies mit der zusätzlichen Energie, die das Pferd für die Biegung und das Kurvenlaufen in kleiner Bahn benötigt.

Den genannten Abhängigkeiten zum Trotz, wird die Herzfrequenz dennoch als einer der bestimmenden Parameter in der sportlichen Leistungsdiagnostik genutzt, um ggf. konditionelle Veränderungen aufzudecken (DYSON, 1994).

2.3.3. Herzfrequenz während der Belastung

Laut VON ENGELHARDT et al. (2004) kann die Herzfrequenz bei Pferden während der maximalen Arbeit bis zu 240 Schlägen pro Minute betragen. Diese Erhöhung kann innerhalb von Sekunden erfolgen. Somit erhöht sich die Pulsfrequenz bei maximaler Belastung über das Siebenfache und somit steigt das Herzschlagvolumen um 40 %. Das bedeutet, dass bei sehr hoher Belastung das Herz eines 500 kg schweren Pferdes ein Schlagvolumen von 1700 ml zeigt, was ein Minutenvolumen von 240 bis 450 l/min zur Folge hat. Der Blutdruck steigt auf 90 bis 140 mmHg und der muskuläre Sauerstoffverbrauch erhöht sich um das 40fache (ELLENDORF, 2011).

Laut ELLENDORF (2011) steigt während der Belastung im submaximalen Bereich die Herzfrequenz linear mit der Geschwindigkeit an. Ist die höchstmögliche Herzschlagfrequenz erreicht, nimmt die Pulsfrequenz nicht mehr weiter linear zu, unabhängig davon, ob die Laufgeschwindigkeit sich erhöht (HF-Plateau). Der Zeitpunkt des Erreichens der maximalen Herzfrequenz ist sowohl konditionsabhängig, als auch von Tier zu Tier unterschiedlich (Abb.1) (VON ENGELHARDT et al., 2004).

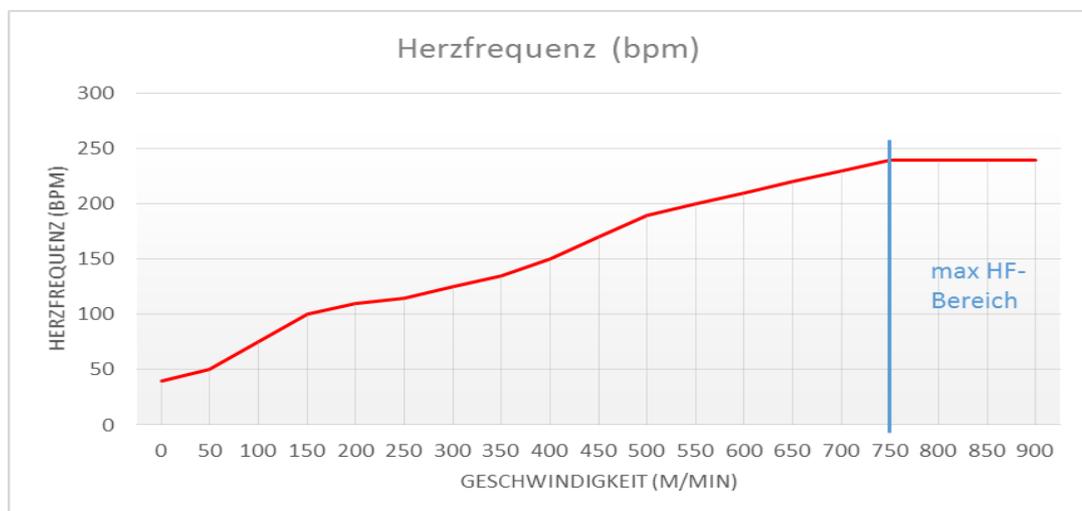


Abb. 1: Anstieg der Herzfrequenz (HF) in Abhängigkeit von einer Erhöhung der Geschwindigkeit (v) bis zum Einsetzen eines Plateaus (nach Ellendorf; 2011)

Die Höhe der maximalen Herzfrequenz variiert von Individuum zu Individuum und ist unabhängig vom Trainingszustand, entsprechend auch kein geeignetes Indiz für eventuelle Trainingsfortschritte (ELLENDORF, 2011). Dies wird auch von ART et al. (1993) bestätigt. Um den Einfluss des Trainings auf die Herzfrequenz zu beurteilen, muss man sich laut ELLENDORF et al. (2011) die Leistung, ansehen, die bei einer gewissen Herzfrequenz erbracht wurde (Abb. 2).

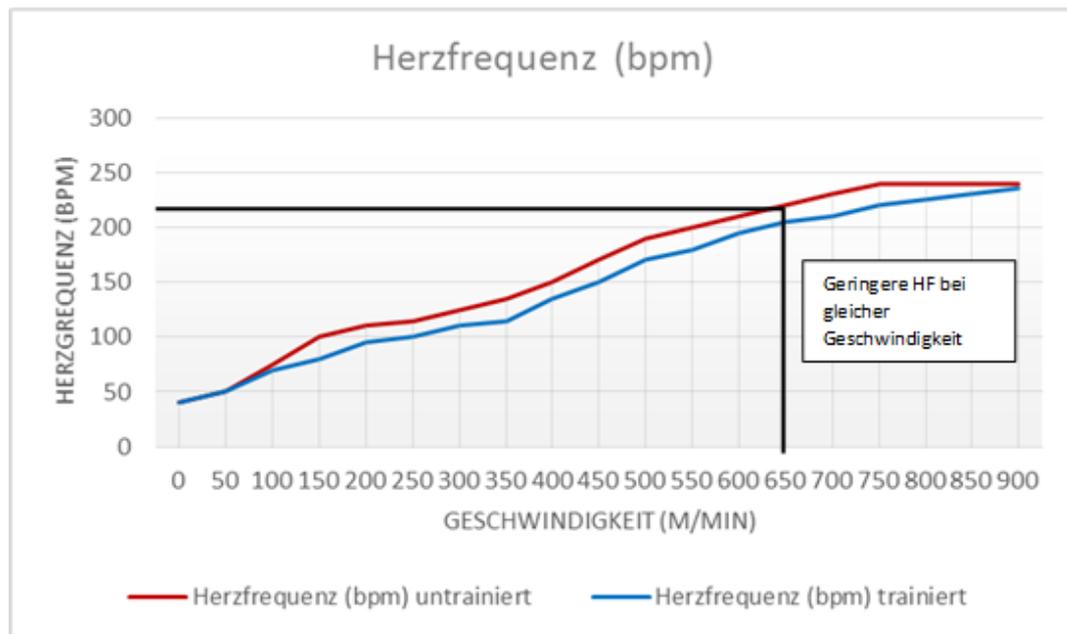


Abb. 2: Vergleich der Herzfrequenz (HF) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit eines trainierten Pferde im Vergleich zu der eines untrainierten Pferdes (nach Ellendorf; 2011)

EHRLEIN et al. (1973) untersuchten die Beziehung zwischen Herzfrequenzen während der Belastung und der Leistungsfähigkeit der Tiere. Hierfür nutzen sie verschiedene Pferde unterschiedlicher Leistungsgruppen (vier- und fünfjährige WB unterschiedlichen Geschlechts, drei- und vierjährige WB-Hengste, fünf- bis dreizehnjährige VS-Pferde unterschiedlichen Geschlechts der Klasse S, vier- bis elfjährige VS-Pferde unterschiedlichen Geschlechts der Klasse L und fünf- bis elfjährige Reitpferde unterschiedlichen Geschlechts). Von allen Pferden wurden Herzfrequenz und Geschwindigkeit bestimmt, sowohl in einem Stufenbelastungstest (stufenweise Zunahme der Geschwindigkeit), als auch in einer „Dauerbelastung“ (konstante Belastung bei gleicher Geschwindigkeit

in Trab und Galopp). Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass für das einzelne Tier, wie auch für die Gruppe der Pferde, die Herzfrequenz linear von der Geschwindigkeit abhängt. Die Herzfrequenz wurde im Verlauf des Trainings signifikant niedriger in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Im Gruppenvergleich kamen die VS-Pferde der Klasse S auf die niedrigsten mittleren Herzfrequenzen, gefolgt von denen der Klasse L.

UHDE (2009) stellte in einem Feldversuch mit acht VS-Pferden ebenfalls fest, dass die mittlere Herzfrequenz über eine Trainingsperiode signifikant in Abhängigkeit von der gerittenen Geschwindigkeit abfällt.

MANSO FILHO et al. (2012) verglichen in einem Feldversuch die Herzfrequenz von fitten (regelmäßiges Training und Turniere) und unfitten Pferde (unregelmäßiges oder erst beginnendes Training) mit einem standardisierten Belastungstest und kamen zu dem Ergebnis, dass die Gruppe der fitten Pferde sowohl niedrigere maximale Herzfrequenzen aufwiesen, als auch niedrigere mittlere Herzfrequenzen. Dies brachte die Autoren zu der Annahme, dass ein regelmäßiges Training eine Bradykardie in Abhängigkeit von der gerittenen Geschwindigkeit hervorrufen kann.

CLAYTON (1991) erläuterte folgende Bereiche der Herzfrequenz, abhängig von der zurückgelegten Geschwindigkeit (Tab. 3).

Tab. 3: durchschnittliche HF in Abhängigkeit von v (nach Clayton, 1991)

Tätigkeit	Geschwindigkeit v (m/min)	Herzfrequenz HF (bpm)
Stehen	0	25-60
Schritt	<125	50-90
Trab	125-300	80-150
Galopp	300-350	120-160
Renngalopp	350-500	150-240

2.3.4. Erholung der Herzfrequenz

Laut ELLENDORF et al. (2011) sollen die Herzfrequenzen bei gesunden Pferden nach der Belastung anfangs sehr schnell und im weiteren Verlauf dann langsamer auf die Ausgangswerte zurückfallen. Dieser Erholungsprozess hängt davon ab, wie gut trainiert das Pferd ist, wie lange und intensiv es der Belastung ausgesetzt war, sowie von den Umwelteinflüssen und anderen externen Einflüssen. Im Mittel sollten die Herzfrequenzen eine Minute nach Durchreiten der Ziellinie unter 70% des Ausgangswertes fallen und nach fünf Minuten auf etwa 50% reduziert sein. Auch ART et al. (1993) fanden heraus, dass die Erholungszeit der Herzfrequenz bei trainierten Pferden kürzer ist, als bei untrainierten. Laut PHYSICK-SHEARD (1985) dauert es ca. 20 - 30 min bis die Herzfrequenz wieder ihren Ruhewert erreicht hat. Diese Zeitspanne ist abhängig davon, wie stark die Belastung für das Individuum war und welchen Trainingszustand es aufweist (EHRLEIN et al., 1973).

BITSCHNAU et al. (2010) kamen in einem Versuch zu dem Ergebnis, dass die Erholung der Herzfrequenz ein guter Indikator dafür ist, wie fit bzw. wie gut ein Pferd trainiert ist. So zeigten in seiner Studie die Pferde der Gruppe „good performer“ eine bessere Erholung der Herzfrequenz als die Gruppe der „average performer“.

2.3.5. Cardiac output (= CO) und Schlagvolumen (= SV)

Um die Herzfunktionen eines Pferdes gut und richtig beurteilen zu können, sind der so genannte „cardiac output“, die Herzleistung, sowie das Schlagvolumen gute Indikatoren und es ist daher wichtig diese ermitteln zu können, um ggf. schwer kranke Pferde zu erkennen. Auch um bestimmte Herzerkrankungen zu erkennen, die bei einer hohen Belastung lebensbedrohlich werden können, hilft das Wissen über den cardiac output und das Schlagvolumen enorm. Für ein gutes Verständnis der Leistungsphysiologie, sowie der patho-physiologischen Aspekte einiger Krankheiten, ist der cardiac output demnach ein gutes Hilfsmittel (MIZUNO et al., 1993).

2.3.5.1. Definition Schlagvolumen, cardiac output und cardiac index

Das SV ist das Blutvolumen, das pro Herzschlag aus der linken Herzkammer gepumpt wird (VON ENGELHARDT et al., 2004). Es wird in ml/Herzschlag gemessen und beträgt beim ausgewachsenen Pferd (500 kg KM) in Ruhe ca. 1000 ml. Bei Belastung erreicht es Werte bis zu 1700 ml und mehr (bis zu 2000 ml bei hoch erfolgreichen Rennpferden) (EVANS et al., 1988; POOLE et al., 2004). Laut EVANS et al. (1988) ist das SV vom absoluten Gewicht des Pferdeherzens abhängig und dieses unterliegt großen rasse- und trainingsbedingten Unterschieden. Entsprechend variiert das relative Herzgewicht nach Blutanteil (NICKEL et al., 2004). Kaltblüter haben laut dem Autor ein Herzgewicht von 0,6% des Körpergewichtes, wohingegen Halbblüter ein relatives Herzgewicht von 0,62 – 0,99% der Körpermasse aufweisen. Vollblüter zeigen im Gegensatz dazu Herzgewichte bis zu 1,04% der Körpermasse. WEBB et al. (1979) gibt als Wert für das Herzgewicht von Pferden 0,7 – 1,1% des Körpergewichtes des Individuums an, das bei Vollblütern sogar noch größer ausfallen kann. Laut YOUNG (2003) wird das SV durch die Herzgröße bestimmt. Das Herz der Athleten ist folglich größer, als das von „Nicht-Athleten“ und wird auch als sog. „Sportherz“ bezeichnet (KUBO et al., 1974). THOMAS et al. (1981) geben als SV in Ruhe 1,9 ml pro kg Körpermasse an, welches unter Belastung auf 2,7 ml pro kg Körpergewicht ansteigen kann. EVANS et al. (1988) ermittelten bei hoch erfolgreichen Vollblütern während der Belastung sogar SV von bis zu 3,7 ml pro kg KM.

Anhand der Ergebnisse einiger Autoren (HOLT et al. 1968; WEIBEL et al., 2004; KEARNS et al., 2002) konnte man feststellen, dass das SV linear von der Körpermasse des Individuums abhängt. So zeigten HOLT et al. (1968) in ihrem Versuch mit unterschiedlichen Säugetieren verschiedener Körpermassen folgende Abhängigkeit hinsichtlich des SV (SV_L = linker Ventrikel, SV_R = rechter Ventrikel; HG = Herzgewicht, KM = Körpermasse):

$$SV_L = 0,66 * KM^{1,05} \text{ bzw. } SV_L = 0,26 * HG^{0,96}$$

$$SV_R = 0,75 * KM^{1,04} \text{ bzw. } SV_R = 0,25 * HG^{0,97}$$

Daraus schlussfolgerten die Autoren, dass der durchschnittliche Wert von $0,9 \pm 0,3$ ml/kg KM für das SV pro kg KM für beide Herzventrikel relativ konstant ist, was eindeutig ein Hinweis darauf ist, dass das SV linear von der Körpermasse des Individuums abhängt.

Der cardiac output (l/min) ist die Menge, die vom Herz pro Minute gepumpt wird und berechnet sich aus dem Produkt aus Herzfrequenz (HF in bpm) und Schlagvolumen (SV in l) (MARLIN et al., 2002):

$$CO = HF * SV$$

CORLEY et al. (2003) definieren den cardiac output als die Menge an Blut (in Litern), die pro Minute aus dem Herzen gepumpt wird und dieser beträgt für ein ausgewachsenes Pferd (400-500kg) ca. 32-40 l/min. Er kann sich bei Hochleistung bis zu 300 l/min steigern (MARLIN et al., 2002).

CORLEY et al. (2003) erläuterten des Weiteren, dass der cardiac output bei erhöhtem O₂ – Bedarf ansteigt und bestätigten eine Abhängigkeit von der Körpergröße eines Pferdes, daher sollte man laut dieser Autoren den cardiac output durch die Körpergröße dividieren, wenn man verschiedene Individuen hinsichtlich ihres cardiac outputs miteinander vergleichen möchte. Dadurch ergibt sich der so genannte „cardiac index“, der in ml/kg/min angegeben wird. Dieser beträgt für ein ausgewachsenes Pferd von 500 kg ca. 72-88 ml/kg/min.

2.3.5.2. *Generelle Einflüsse auf den cardiac output*

HOLT et al. (1968) nahmen an, dass die Körpermasse eines Säugetieres indirekt mit der Herzfrequenz verbunden ist, wohingegen sie direkt verbunden ist mit Blutvolumen und Herzgewicht. Die Autoren erläuterten auch, dass der cardiac output abhängig von der basalen metabolischen Rate des Individuums ist (BMR = der geringste Verbrauch von Energie während der Ruhe unter thermoneutralen Konditionen – WEIBEL et al.; 2004). Sie stellten sich also die Frage, wie sich das Körpergewicht oder die Stoffwechselrate in Ruhe zu Herzfrequenz und Schlagvolumen verhalten, deren Produkt ja der cardiac output ist. In einer Studie mit 47 anästhesierten und zehn nicht anästhesierten Säugetieren (0,47kg bis 863kg KM) wurden end-diastolisches (EDV) und end-systolisches Volumen (ESV), sowie Schlagvolumen, Herzfrequenz und cardiac output in Ruhe gemessen und die Verbindung dieser Variablen mit der Körpermasse, der Körperoberfläche, der Stoffwechselrate und dem Herzgewicht ermittelt. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die Herzfrequenz von der $KM^{-0,25}$ und der cardiac output, sowie die BMR von der $KM^{0,75}$ abhängen. Außerdem sind EDV, ESV und SV linear mit der Körpermasse verbunden und nicht mit der Körperoberfläche oder der Stoffwechselrate. Der cardiac output hingegen ist linear abhängig von der basalen Stoffwechselrate.

Laut WEIBEL et al. (2004) verhält es sich bei der maximalen metabolischen Rate (= MMR: Energieverbrauch unter Konditionen hoher Leistungserbringung, während die Muskulatur der Bewegung auf ihrem Maximum arbeitet) etwas anders. In einer Studie mit unterschiedlich schweren Säugetieren (0,007kg bis 500kg) wurde der VO_{2max} (= höchste Rate, bei der O_2 vom Körper genutzt werden kann, abhängig von physischer Aktivität, Körperbau und Gesundheit des Individuums – KEARNS et al.; 2002) anhand Laufbandversuchen bestimmt und ein Vergleich mit anderen, ähnlichen Studien gestellt. Man kam zu dem Ergebnis, dass die MMR bezogen auf die Körpermasse mit einem Exponenten von 0,87 zu berechnen ist, was signifikant höher als der der BMR ist ($KM^{0,75}$). Weiter fragten die Autoren sich, ob und wie die

funktionellen und strukturellen Besonderheiten des Herzens zu den Unterschieden in der O_2 – Versorgung der muskulären Mikrozirkulation verschiedener Körpermassen passen. Das Schlagvolumen verhält sich proportional zur Herzgröße, diese ist in „Athleten“ größer, aber gleichbleibend mit der Körpermasse und im Gegensatz dazu hängt die Herzfrequenz von der Körpergröße ab – so ist sie höher in kleinen Tieren. Entsprechend gingen die Autoren davon aus, dass die Herzfrequenz während der BMR mit einem Exponenten von $-0,25$ zur Körpermasse gemessen werden sollte. Während des Trainings steigt die Herzfrequenz bis zu ihrem Maximum bei VO_{2max} an und entsprechend muss die Herzfrequenz hier mit dem Exponenten von $-0,15$ gerechnet werden. Folglich wurde bewiesen, dass der cardiac output sich entsprechend an den Bedarf des arbeitenden Muskels bei Tieren unterschiedlicher Körpermasse anpasst.

Der „aerobic scope“ (= AS) eines Säugetieres - die Höhe der Fähigkeit eines Tieres, die aerobe metabolische Rate über das Erhaltungsniveau zu erhöhen (HALSEY et al.; 2018) – wird von WEIBEL et al. (2004) als das Verhältnis von MMR zu BMR bezeichnet und von BISHOP (1999) folgendermaßen berechnet: Man dividiert den maximalen O_2 – Verbrauch des Tieres während körperlicher Leistung (= VO_{2max}) durch den minimalen O_2 – Verbrauch des basalen metabolischen Ruhezustand (BMR). Er ist ein Hinweis auf die maximal nachhaltige aerobe Kapazität eines Tieres beim Übergang von einem Ruhe- in einen Trainingszustand. Während die BMR stark abhängig von der gesamten Körpermasse eines Säugers ist, hängt der VO_{2max} vor allem von der Entwicklung spezieller struktureller Anpassungen von Lunge, Herz und Mitochondrien ab. Die Volumen dieser Strukturen sind laut dem Autor nur indirekt mit der Körpermasse verbunden, allerdings kann dies durch die individuellen Unterschiede der einzelnen Tierspezies verschleiert werden. Der Autor hatte demnach die Absicht in einer Studie den VO_{2max} und den aerobic scope von Vögeln und Säugetieren zu ermitteln. Er tat dies unter der

Annahme, dass so genannte „standard animals“⁴ eine relative Herzmasse von 1% der Körpermasse, sowie eine Hämoglobinkonzentration von 15g/100ml Blut besitzen. Er erläuterte, dass der VO_{2max} mit einem um $0,15 \pm 0,05$ größeren Exponenten als der vom BMR zu messen sei. Außerdem sollte in Anbetracht der Tatsache, dass die Herzfrequenz die einzige funktionelle Variable ist, die mit dem Blutstrom in Zusammenhang steht und in Bezug auf die Körpermasse signifikant skaliert, die maximale Herzfrequenz von Vögeln und Säugern mit einem kleineren negativen Exponenten ($KM^{-0,13}$) verändert werden, als die der Herzfrequenz in Ruhe ($KM^{-0,29}$). Der Autor kam zu dem Schluss, dass die Kapazität des aerobic scope in größeren Spezies höher ist und dass der Einfluss der Körpermasse auf den VO_{2max} geringer ist, als auf die BMR. Auch WEIBEL et al. (2004) bestätigten, dass der aerobic scope in größeren Tieren über dem von kleineren Tieren liegt. Unter der Annahme einer ähnlichen relativen Herzmasse, scheinen größere Tiere die höheren Fähigkeiten zu haben, proportional mehr von ihrer zur Verfügung stehenden Energie in nützliche Bewegung umzuwandeln (BISHOP, 1999).

Laut LINDSTEDT et al. (2002) skalieren beim Säugetier Lungenvolumen und die pulmonale Diffusionskapazität linear mit der Körpermasse. Da also die Stoffwechselrate mit der Körpermasse um das $\frac{3}{4}$ fache steigt, bewegen kleine Säugetiere pro Volumeneinheit viel mehr Sauerstoff durch ihre Lungenstrukturen als die großen Säuger. Allerdings benötigen die kleineren Säugetiere weniger Strukturen, da sie diese Strukturen mit deutlich höherer Frequenz benutzen. Die Autoren kommen daher zu dem Schluss, dass die gewichtsspezifische Arbeit des Herzens höher in kleinen Säugetieren ist. Folglich variiert der myocardiale Blutfluss proportional mehr zum cardiac output, weniger zur Herzmasse.

⁴ Bishop (1999): The maximum oxygen consumption and aerobic scope of birds and mammals: getting to the heart of the matter

2.3.5.3. Berechnung „cardiac output“

Der cardiac output kann mittels dem „Fick’schen Prinzip berechnet werden, was 1870 theoretisch entdeckt, aber erst 1898 für Pferde validiert wurde. Es basiert auf der Sauerstoffaufnahme aus dem Blut während dieser durch die Lungen fließt. FICK (1870) nahm an, dass der gesamte Sauerstoff, der von der eingeatmeten Luft übrig blieb vom Blut aufgenommen wurde, während dieser die Lungen passierte. Außerdem ging FICK (1870) davon aus, dass die einzige Sauerstoffquelle im arteriellen Blut die eingeatmete Luft ist, sowie der Sauerstoff, der im venösen Blut zu den Lungen zurückkehrt (CORLEY et al., 2003).

Aufgrund der Tatsache, dass der gesamte Blutaustoß des rechten Herzens die Lungen passiert, ist der Blutfluss durch die Lungen äquivalent zum cardiac output. Daher kann man durch Messen der O₂ – Aufnahme des Pferdes über die Lunge, sowie des arteriellen (Ca_{O2}) und gemischt – venösen O₂ – Gehalt (Cv_{O2}), den cardiac output folgendermaßen berechnen (CORLEY et al., 2003):

$$CO = V_{O_2} / (Ca_{O_2} - Cv_{O_2})$$

Die Messungen des O₂ – Verbrauchs ist allerdings nur unter experimentellen Bedingungen möglich, daher bietet sich die Herzfrequenz als valides System zum Schätzen an. Sie korreliert direkt mit dem O₂ – Verbrauch und verändert sich durch die Einflussfaktoren (Steigungen, Beschaffenheit des Bodens, Umgebungstemperatur etc.), die eine Änderung der Stoffwechselbelastung bedingen (GfE, 2014). COENEN et al. (2008) beschrieb den Zusammenhang von Herzfrequenz und O₂ – Verbrauch für Pferde mit einer Körpermasse von 400 bis 600 kg folgendermaßen:

$$O_2\text{- Verbrauch pro Minute (ml/kg KM)} = 0,002816 * HF^{1,9955}$$

Das NRC (2007) hingegen gibt folgende Formel für den O₂ – Verbrauch für Pferde an (1000ml Sauerstoff entsprechen 4,86 kcal Energie):

$$O_2\text{- Verbrauch pro Minute (ml/kg KM)} = 0,0019 * HF^{2,0653}$$

2.3.5.4. „cardiac output“ beim Pferd

Wie im vorhergehenden Kapitel bereits erläutert, wurde von verschiedenen Autoren eine Abhängigkeit der Körpermasse auf verschiedene Prozesse (CO, BMR, MMR, VO_{2max} etc.) im Körper genannt. Jetzt stellt sich die Frage, wie das bei Pferden aussieht.

KEARNS et al. (2002) untersuchte in einer Studie die Beziehung zwischen Körperbau, Blutvolumen und VO_{2max} bei Pferden. Es ist weithin bekannt, dass das Pferd als „Elite Athlet“ eine enorme aerobe Kapazität besitzt, die zwei- bis dreimal größer, als die von Tieren mit ähnlicher Körpergröße und -masse (wie z.B. die des Stieres) ist (JONES et al., 1989). Laut KEARNS et al. (2002) sind die zwei wichtigsten Faktoren zur Bestimmung von VO_{2max} die Körpergröße, die die Menge aktiven Gewebes bestimmt, und das Blutvolumen, das wichtig zur Regulierung und Erhaltung des cardiac outputs ist, sowie für den Transport von O_2 zu den entsprechenden Geweben. Entsprechend spielt das Blutvolumen eine sehr wichtige Rolle hinsichtlich der aeroben Fähigkeiten von Pferden. In einer Studie mit 23 gesunden, untrainierten Warmblutstuten wurden VO_{2max} (während Laufbandtrainings), Rumpffett-Dicke, fettfreie Körpermasse (FFM), Schlagvolumen, Plasmavolumen, Erythrozytenvolumen und totales Blutvolumen ermittelt. Die Autoren fanden heraus, dass FFM und VO_{2max} signifikant mit der Körpermasse und dem Hämatokrit während des Trainings korrelierten. Auf die anderen Blutvariablen und Rumpffett-Dicke schien die Körpermasse keinen Einfluss zu nehmen. Es zeigte sich, dass VO_{2max} abhängig von Körper- und Muskelmasse ist. Dies wird bei Pferden, anders als bei anderen Spezies, durch den höheren Anteil an Muskeln im Verhältnis zur Körpermasse erklärt und folglich wurde die Muskelmasse, unabhängig von der Körpermasse, als ein wichtiger Faktor hinsichtlich des VO_{2max} genannt. Nachdem also 30-50% der Muskelmasse während des VO_{2max} „aktiv“ sind, kann man davon ausgehen, dass die Muskeln des Bewegungsapparates ca. 85% des maximalen cardiac outputs während des Trainings benötigen, was ein enormer Stress für den Körper bedeutet. Nachdem Pferde aber in der Lage sind, auf diese Belastung mittels Mobilisierung ihrer Reserven an Blut – reich an roten Zellen – aus

der Milz in das cardiovaskuläre System zu reagieren, können sie mit dem extra Volumen den cardiac output um das Zehnfache des Ruhewertes erhöhen.

CORLEY et al. (2003) erklärten ebenfalls, dass das Herzkreislaufsystem aufgrund verschiedener physiologischer Umstände große Kapazitäten hat, sich an die Anforderungen für den O₂ – Transport anzupassen. Beim Pferd ist diese Eigenschaft sehr gut ausgebildet und der cardiac output kann während intensivem Training um das Achtfache erhöht werden (CORLEY et al.; 2003).

Obwohl der cardiac output gute Informationen über die Herzfunktionen gibt, wird dies beim Pferd eher selten angewendet aufgrund der schwierigen Herangehensweise der Messungen (Anästhesien, Operationen etc. sind im Voraus häufig notwendig). KUBO et al. (1973) zeigten in einem Versuch mit acht nicht-anästhesierten Pferden in Ruhe (402 kg bis 455 kg KM) mittels „Dye Dilution Curves“ eine gute Alternative auf. Sie ermittelten eine mittlere Herzfrequenz von 34 bpm und entsprechend einen mittleren cardiac output von **56 ± 14 ml/kg KM/min**.

2.3.6. Messung der HF beim Pferd

Die Herzfrequenzmessung bei Pferden erfolgt nicht invasiv und ist eine verlässliche Methode, um die Belastung eines Pferdes zu messen (SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN, 1990).

Beim Pferd wird die Herzfrequenz in Ruhe entweder mittels Auskultation mit einem Phonendoskop oder mittels Palpation des Pulses an der Arteria facialis gemessen (BAUMGARTNER et al., 2005). Auch kann man eine solche Messung mittels eines Herzfrequenzmonitors durchführen (DYSON et al., 1994). Zur Auskultation legt man das Stethoskop an die linke Brustwand an, unmittelbar hinter dem Ellbogengelenk.

Zur Palpation erfasst man mit zwei Fingern die Arteria facialis, die in der „Incisura vasorum“ zu finden ist. Auch die Arteria transversa faciei, die Arteria brachialis oder die Arteria caudalis ventrolateralis eignen sich zur Pulsmessung. Gemessen wird 15 Sekunden und anschließend mit vier multipliziert, um die Herzfrequenz in einer Minute zu erhalten (BAUMGARTNER et al., 2005).

Für die Messung der Herzfrequenz während der Bewegung werden heutzutage eigens hergestellte Herzfrequenzgurte verwendet, die mittels einem Sensor die einzelnen Schläge während der Bewegung messen und aufzeichnen (ELLENDORF, 2011). Auch eignet sich in manchen Fällen das Anlegen von Elektroden, um neben der Herzfrequenz auch ein EKG darstellen zu können, das ist aber für die Trainingsaufzeichnung eher ungeeignet und wird oft nur im Hinblick auf eventuelles Aufzeichnen von Abweichungen und Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Apparates verwendet (PHYSICK-SHEARD, 1985).

2.3.7. Abweichungen Herzfrequenz

Generell können viele Faktoren des Organismus, innerlich und äußerlich, zu einer Veränderung der Herzfrequenz führen. Man darf aber keinesfalls außer Acht lassen, dass jedes Tier, wie bereits mehrfach erwähnt, individuell mit einer Veränderung der Herzfrequenz reagiert und demnach ist es wichtig zu wissen, welche Ausgangswerte für das einzelne Tier gelten.

Neben den in den vorherigen Kapiteln erwähnten physiologischen Abweichungen der Herzfrequenz aufgrund von vermehrter Arbeit oder erhöhter Stressbelastung, kann es auch pathologisch zu einer starken Erhöhung der Herzfrequenz kommen (BAUMGARTNER et al., 2005). Hierbei spielen krankhafte Prozesse, wie Schmerzen, Herz- und Lungenerkrankungen, sowie dauerhaftes Aussetzen von Stresssituationen eine besondere Rolle.

Es ist daher wichtig, eine genaue Erfassung der Ruhfrequenz zu gewährleisten, ebenso wie das Messen des Pulses nach verrichteter Arbeit, um eruieren zu können, ob die Erhöhung der Herzfrequenz rein physiologischer Natur ist oder ob hierfür tatsächlich zusätzlich oder ausschließlich pathologische Prozesse verantwortlich sind.

2.4. “Body condition score” (= BCS) und Körpermasse

2.4.1. Begriffserklärung „body condition score“

Der Ernährungs- und Muskulaturzustand eines Pferdes, im englischen Sprachgebrauch „body condition“ genannt, bezeichnet die Menge an Körperfett eines lebenden Tieres (HENNEKE et al., 1983).

MURRAY et al. (1919) definieren „Body condition“ als „das Verhältnis von Fettmasse zu fettfreier Masse im Körper“.⁵

Durch Adspektion und Palpation an verschiedenen Regionen des Körpers wird die sichtbare Fettmenge bestimmt und in verschiedene Punktesysteme, dem so genannten „Body condition score“, eingeteilt. Auch die Muskulatur, die äußerlich sichtbar ist, wird mit bewertet (KIENZLE und SCHRAMME, 2004).

Die GfE (2014) erklärte, dass auf die Beurteilung der Muskelmasse hierbei verzichtet werden sollte, da deren Ausprägung erheblich von Rasse, Alter, Trainingszustand und Verwendungsart abhängig ist. Nur bei starker Abmagerung wird zusätzlich zum Fettgewebe auch Muskelmasse mit abgebaut.

2.4.2. BCS Pferd

Zur Bewertung der „body condition“ eines Pferdes stehen mehrere Systeme zur Verfügung.

HENNEKE et al. (1983) teilen die verschiedenen Körperregionen in Punkte von 1 - 9 ein, wohingegen CARROL und HUNTINGTON (1988), sowie MARTIN-ROSSET (1990) nur anhand einer 6-punktigen Skala zuteilen.

Das heutzutage geläufigste System bieten KIENZLE und SCHRAMME (2004) (Tab. A1). Hier wird der BCS beim Pferd folgendermaßen beurteilt:

Fetteinlagerungen und –abdeckungen an verschiedenen Körperregionen, sowie Knochenvorsprünge und Konturen werden mittels Adspektion und Palpation bewertet. Bei einem BCS von 1 spricht man von einem kachektischen Pferd (= krankhafte Abmagerung), einen BCS von 9 hingegen zeigt ein hoch adipöses Pferd (= krankhafte Verfettung). Alter und

⁵ MURRAY (1919): Meat production

Nutzungsrichtung des Pferdes spielen bei der Beurteilung des erwünschten BCS eine wichtige Rolle (KIENZLE & SCHRAMME, 2004).

Die zu betrachtenden Körperregionen sind Hals, Schulter, Rücken und Kruppe, Brustwand, Hüfte, sowie der Schweifansatz.

Das Kammfett am Hals wird mit Hilfe einer Schublehre gemessen und die Seitenflächen, sowie der Hals - Widerristübergang werden beurteilt.

Im Schulterbereich wird darauf geachtet, ob eine sogenannte Faltenbildung möglich ist und wie große diese ausfällt bzw. wird die Sichtbarkeit der Scapula und Rippen beurteilt. An Rücken und Kruppe kommt es auf das Herausstechen der Dorn- und Querfortsätze, sowie der Rippen an. Außerdem sind hier die Kruppenform und die Verschieblichkeit der Haut auf der Kruppe entscheidend. Auch an der seitlichen Brustwand stehen ein Verschieben der Haut, sowie die Sichtbarkeit der Rippen 6 - 18 im Vordergrund. Neben der Prominenz von Hüfthöcker und Sitzbeinhöcker wird in der Hüftregion auf die Hungergrube, sowie den After geachtet (eingefallen vs. nicht eingefallen). Als letzten Bewertungspunkt für den BCS beim Pferd nennen KIENZLE und SCHRAMME (2004) die subkutanen Fetteinlagerungen am Schweifansatz. Dies wird anhand der Linie von Sitzbeinhöcker bis Schwanzwirbel beurteilt.

Eine Bewertung des Bauchumfangs wird nicht in das System des body condition scoring involviert.

Laut GfE (2014) wird bei Sportpferden ein BCS von 5 angestrebt, wobei bei Dressurpferden und solchen mit einem höheren Kaliberindex, wie beispielsweise Kaltblüter und Barockpferde, auch ein Wert von bis zu 6 noch als „normal“ empfunden wird. Fohlen hingegen zeigen bis zum ersten Lebensjahr einen BCS von ca. 4, da hier der Körperfettgehalt deutlich geringer ausfällt (HOIS et al., 2004).

2.4.3. Körpermasse Pferd

Die Bestimmung der Körpermasse des Pferdes erfolgt entweder durch Abwiegen oder auch durch Schätzen (BAUMGARTNER et al., 2005).

Das Abwiegen wird meist mittels mobiler Pferdewaagen vorgenommen, kann aber auch auf handelsüblichen Landwirtschaftswaagen, sofern diese vorhanden bzw. erreichbar sind, durchgeführt werden.

2.4.4. Schätzung der Körpermasse

In einer Feldstudie zur Gewichtsentwicklung und –schätzung beim wachsenden Pferd verwendete HOIS (2003) ein Maßband, mit dem Halsumfang, Körperumfang, Röhrbeinumfang, sowie der Brustumfang, Bandmaß und Fessel-Ellbogenmaß gemessen wurde. Anhand der gewonnenen Daten erstellte der Autor eine Schätzformel für Tiere mit einem Körperumfang < 310 cm.

$$KM (kg) = -328,7 + 1,665*Brustumfang + 0,809*Körperumfang + 2,364*Röhrbeinumfang + 0,5*Halsumfang$$

Für Tiere mit einem Körperumfang von > 310 cm und < 365 cm wird von HOIS (2003) folgende Formel genannt:

$$KM (kg) = - 626,435 + 1,413*Körperumfang + 1,763*Brustumfang + 5,998*Röhrbeinumfang + 0,745*Halsumfang - 1,081*Fessel-Ellbogen-Maß + 0,628*Widerristhöhe$$

Auch KIENZLE und SCHRAMME (2004) ermittelten die Körpermasse von Pferden anhand Vermessungen bestimmter Körperregionen. Zusätzlich zu einigen von HOIS (2003) bereits genannten, spielen hierbei auch das Bandmaß, sowie der BCS eine Rolle. Diese Formel kann für Pferde verwendet werden, deren Körperumfang > 365 cm beträgt.

$$KM (kg) = -1160 + 2,594*Widerristhöhe + 1,336*Brustumfang + 1,538*Körperumfang + 6,226*Röhrbeinumfang + 1,487*Halsumfang + 13,63*BCS$$

Die GfE (2014) erläuterte, dass bei Ponys und Kleinpferden die Lebendmasse in Abhängigkeit vom Stockmaß geschätzt werden kann, genauso wie bei Großpferden eine Schätzung der Lebendmasse in Abhängigkeit von Körpergröße und Rassetyp möglich ist (Tab. 4 und 5).

Tab. 4: Verhältnis des Stockmaßes zur Lebendmasse ausgewachsener Ponys und Kleinpferde mit einem BCS von 5 bis 6 (nach GfE, 2014)

Stockmaß in cm	Lebendmasse in kg	
	<u>Mittelwert</u>	
101-105	178	
111-115	237	
116-120	227	
121-125	262	
126-130	324	
	<u>Schwere Rassen</u>	<u>Leichte Rassen</u>
	<u>Mittelwert</u>	<u>Mittelwert</u>
131-135	415	349
136-140	453	360

Tab. 5: Verhältnis von Lebendmasse zu Körpergröße und Rasse ausgewachsener Großpferde mit BCS von 5 bis 6 (nach GfE, 2014)

Stockmaß in cm	Kaltblutpferde	Warmblutpferde	
		Barockpferde, amerikanische Rassen	Vollbluttyp
	<i>Mittelwert</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Mittelwert</i>
141-145	531	443	392
146-150	539	477	422
151-155	587	506	449
156-160	631	525	469
161-165	714	565	530
166-170	688	599	550
171-175	733	627	642
176-180	768	670	-
181-185	-	709	-
186-190	872	-	-

III. Material und Methoden

3.1. Fragestellung und Versuchsplan

In der vorliegenden Arbeit sollte geprüft werden, welche Herzfrequenz, welche Schrittlänge, welche Geschwindigkeit und welche Aktivität unter Praxisbedingungen beim Reiten und Longieren von Pferden und Ponys auftreten, um Angaben zur Arbeit durch die Besitzer bei der Ernährungsberatung hinsichtlich des Energieverbrauchs besser einschätzen zu können. Insbesondere sollten allometrische Aspekte geprüft werden, um zu klären, wie von Großpferden auf Ponys extrapoliert werden kann.

Dazu wurden in einer Feldstudie an Pferden und Ponys mit unterschiedlicher Körpermasse, Kaliber und BCS die oben genannten Parameter beim Reiten in der Bahn und, soweit möglich, auch im Gelände und an der Longe, sowie in einigen Fällen beim Fahren bestimmt.

3.2. Versuchsaufbau

3.2.1. Vorversuch

Zunächst wurden in einem Vorversuch mehrere verschiedene Geräte getestet, um das geeignete für diesen Versuch zu finden. Hierfür wurden unter anderem die eigenen Pferde und Ponys verwendet. Diese sind mehrmals in Gelände und Halle geritten worden und wurden immer mit einem anderen Gerät bestückt. Das für das Experiment am besten geeignete wurde anschließend wiederum für einige Zeit mit jenen Pferden getestet, um anschließend beurteilen zu können, ob es zu wiederholbaren Ergebnissen führte.

3.2.2. Auswahl der Probanden

Als Versuchspool wurden zum einen die Ponys und Pferde von Privatbesitzern im Bekanntenkreis verwendet, zum anderen wurde an einer Reitschule im Münchner Norden um Mithilfe gebeten. Einige Probanden waren auch durch vorherige tierärztliche Betreuung bekannt. Alle Pferde und Ponys mussten möglichst in allen Gangarten reitbar und klinisch gesund sein. Wesentlich war dabei eine große Spannweite hinsichtlich Größe und Kaliber zu erreichen. Die einzelnen Probandendaten sind in Tab. A2 aufgelistet.

Soweit möglich wurden auch mehrfach Daten von einem Pferd oder Pony in verschiedenen Situationen erhoben, insbesondere wurden Daten an der Longe, beim Reiten in der Bahn und im Gelände verglichen.

Insgesamt wurden 112 Datensätze von 84 Pferden und Ponys erhoben.

3.3. Körpermassebestimmung, body condition score, Kaliberindex und Größenbestimmung der Probanden

3.3.1. Body condition score (BCS)

Um die Körpermasse der Pferde berechnen zu können wurde zunächst der BCS nach KIENZLE und SCHRAMME (2004) bestimmt.

3.3.2. Körpermasse

Die Körpermasse der Probanden, somit auch ihre metabolische Körpergröße, wurden mittels Erfassung von Körpermaßen und des „body condition scores“ (KIENZLE und SCHRAMME, 2004) geschätzt. Erforderlich hierfür sind, neben der Messung der Widerristhöhe (Stock- und Bandmaß), das Ermitteln des Brust-, Hals-, Körper- und Röhrebeinumfangs (Abb. 3), sowie das Bestimmen des „body condition scores“.

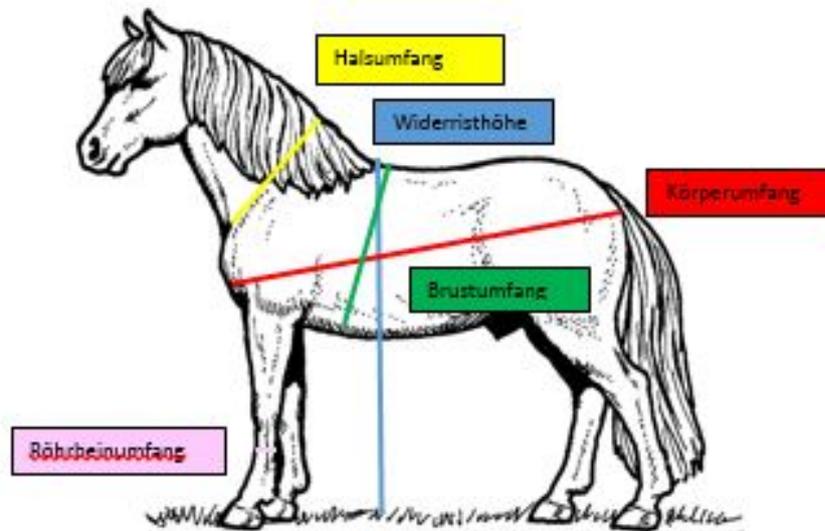


Abb. 3: Ermitteln einzelner Parameter zur Bestimmung der Körpermasse eines Pferdes (nach KIENZLE & SCHRAMME, 2004)

Das Stockmaß der einzelnen Pferde wurde dem Equidenpass entnommen, das Bandmaß im Rahmen der Körpermassebestimmung jedes Probanden erfasst.

Hierfür wurde das Pferd auf einen festen, geraden Untergrund gestellt, alle vier Extremitäten gleich belastend und mit einem Maßband gemessen. Das Maßband wurde direkt hinter dem Vorderhuf mit dem Messpunkt „0“ auf dem Boden aufgelegt, mit dem Fuß fixiert, unter Spannung am höchsten Punkt des Widerristes angelegt und dort abgelesen.

Im Falle von beschlagenen Pferden wurde entsprechend die Höhe der Eisen abgezogen.

Mit einem Maßband und Hilfe einer Longe wurden die restlichen benötigten Parameter wie folgt ausgemessen.

Halsumfang: Das Pferd zeigte eine gerade Haltung des Halses, die breiteste Stelle des Halses wurde bestimmt (meist ca. eine Handbreit vor dem Widerrist) und das Band parallel zum Schulterblatt angelegt. Nach Anspannung des Maßbandes bis zum vollständigen Anliegen am Hals wurde das Maßband abgelesen.

Brustumfang: Dieser wurde am gerade gerichteten, geschlossen stehenden Pferd gemessen, die Vorder- und Hinterbeine parallel

zueinander. Dorsal eine Handbreit hinter dem Widerrist, ventral eine Handbreit hinter dem Ellbogen, an der breitesten Stelle der Brust, wurde das Maßband um das Pferd gelegt. Beim Anliegen an den Körper unter leichter Spannung wurde der Wert abgelesen, möglichst bei entspanntem Pferd während der Phase des Inspiriums.

Körperumfang: Hierfür wurde eine Longe um das immer noch gerade stehende Pferd gelegt, bei gleicher Belastung aller vier Gliedmaßen. Die Longe führte von der Höhe des vorderen Teils des linken Tuberculum majus humeri über die linke Bauchwand zum hinteren Ende des linken Tuber ischiadicum, weiter über die Schweifrübe auf die rechte Seite zum caudalen Teil des rechten Tuber ischiadicum, der rechten Bauchwand folgend zum cranialen Teil des rechten Tuberculum majus humeri und anschließend zum Ausgangspunkt zurück. Der Teil der Longe wurde mit dem Maßband abgemessen.

Röhrbeinumfang: Dieser Wert wurde am linken Vorderbein des Pferdes bestimmt, das hierfür gerade, unter vollständiger Belastung, auf der Erde stand. Die schmalste Stelle, ca. eine Handbreit ventral des Karpalgelenks, wurde bestimmt und der Umfang gemessen (KIENZLE und SCHRAMME, 2004).

Im Anschluss wurden alle ermittelten Werte in folgende Formel eingegeben (SCHRAMME et al., 2004).

$$KM (kg) = - 1160 + 2,594*Bandmaß + 1,336*Brustumfang + 1,538*Körperumfang + 6,226* Röhrbeinumfang + 1,487*Halsumfang + 13,63*BCS$$

Diese Formel galt für alle Pferde, die einen Körperumfang besaßen, der höher als 365 cm ist. Für die Probanden, deren Körperumfang geringer als der genannte war, wurde eine Formel von HOIS et al. (2004) verwendet.

$$KM (kg) = -328,66 + 1,665*Brustumfang + 0,809*Körperumfang + 2,364*Röhrbeinumfang + 0,500* Halsumfang$$

Die Körperlänge wurde ebenfalls mittels Bandmaß gemessen und betrug den Abstand von Buggelenk bis zum Sitzbeinhöcker.

3.3.3. Kaliberindex

Für die Berechnung des Kaliberindexes wurde die Körpermasse (KM) durch die Widerristhöhe (Stockmaß) dividiert (GfE, 2014).

$$\text{Kaliberindex} = \text{KM (kg)} : \text{Stockmaß (cm)}$$

3.3.4. Einteilung der einzelnen Probanden in Gruppen

Nach Abschluss der Datensammlung von Körpergröße und –masse wurden die Probanden anhand ihrer Körpergrößen in verschiedene Gruppen eingeteilt. Die Pferde mit einem Stockmaß ≤ 148 cm wurden der Gruppe „Pony“ (P) zugeteilt, die, deren Widerristhöhe 148 cm bis 159 cm betrug, bildeten die Gruppe der „Kleinpferde“ (K) und die, die größer als ≥ 160 cm waren, wurden als „Großpferd“ bezeichnet. (G) Gruppe P fasste insgesamt 35 ($n = 35$), Gruppe K 30 ($n = 30$) und Gruppe G insgesamt 47 ($n = 47$) Probanden.

3.4. Aktivitätsmessung, Schrittzahlmessung, Geschwindigkeitsmessung, Messung der Schrittlängen

3.4.1. Aktivitätsermittlung und Schrittzahlmessung mit Hilfe des Acticals

3.4.1.1. Funktionsweise und Anwendung des Acticals

Das „Actical – Physical activity monitoring system“ ist ein wasserdichter kabelloser, nicht invasiver Monitor der Firma „Respironics“, der den Bruttoenergieverbrauch in Form von Aktivität und Schrittzählungen misst und aufzeichnet. Er hat eine Größe von 2,9 x 3,7 x 1,1 cm und ein Gewicht von 16 Gramm, sowie eine Datenspeicherkapazität von 64.800 Datensätzen. Laut Hersteller nutzt das Actical ein „omni-direktionales“ Accelerometer, das Bewegungen in alle Richtungen aufzeichnet. Der darin enthaltene piezoelektrische Sensor erzeugt eine Spannung, sobald eine Beschleunigungsänderung stattfindet. Diese Spannung wird vom Actical in Form von so genannten „activity counts“ (als „peaks“ in der Graphik sichtbar) in einem „Actogramm“ wieder gegeben (Abb. 4).

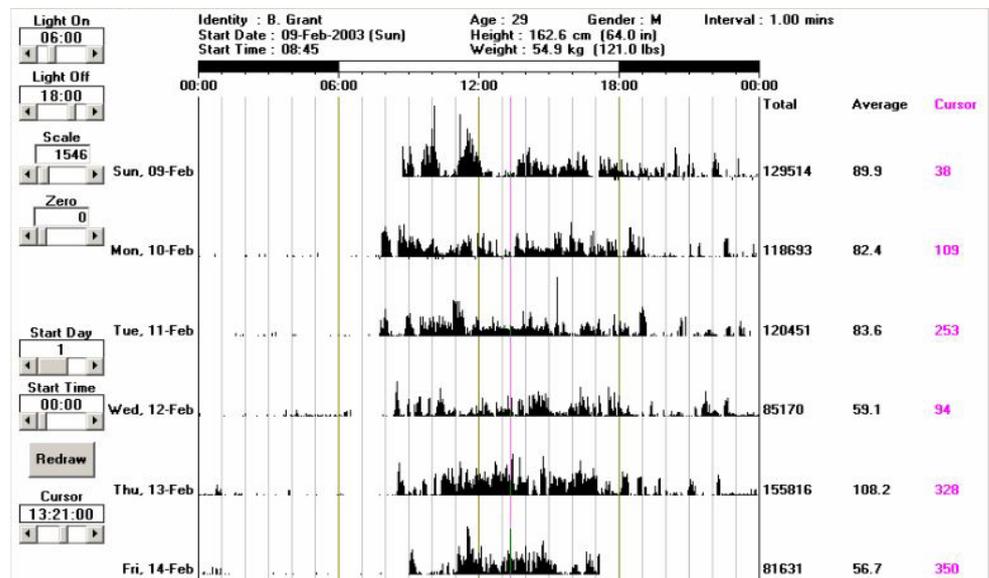


Abb. 4: Actogramm nach Einspielen der Daten in die Software (aus Handbuch des Acticals)

Das Accelerometer wird mit einer speziellen, zuvor installierten Software (Version 2.12) aktiviert, bei der man den Zeitabstand zwischen den einzelnen Messungen bestimmen, sowie die entsprechenden Zeitspannen (Sekunden bis Minuten) einstellen kann, zu denen der Proband gemessen werden soll. Zusätzlich kann man Daten zu Geschlecht, Größe, Gewicht, Alter und Identität des Probanden angeben, was für diesen Versuch allerdings nicht notwendig war. Das Zählen der Schritte hingegen war für diesen Versuch von Belang und musste ebenfalls manuell eingestellt werden (Abb. 5).

The screenshot shows the Actical software interface with the following configuration details:

Actical Setup			
Identity	008	Gender	M
Start Date	09-Aug-2006	Age	20
Start Time	16:15	Record Steps?	<input checked="" type="checkbox"/>
Epoch Length	00.25	Battery Fitted Date	
Recording Time [approximate]		Battery Life [approximate]	
		Serial Number	B10FFFF
		Memory	

Abb. 5: Einstellen des Acticals mittels entsprechender Software

Vor Versuchsbeginn wurde das geeignete Messintervall mittels verschiedener Versuche am eigenen Bein ermittelt und anhand der gewonnenen Ergebnisse auf diese Arbeit abgestimmt.

Anschließend konnte man mit der Software die Daten exportieren und in Excel überspielen so dass man eine Auflistung der Daten in dem gemessenen Zeitraum erhalten hat. Diese enthielten neben den „activity counts“ und den Schritten auch das Datum und die Uhrzeit der Messung. Hat man vorher

Gewicht, Alter und Identität des gemessenen Tieres angegeben, waren auch diese Daten in Excel zu lesen.

3.4.1.2. *Anbringung und Nutzung des Acticals*

Mittels eines Kunststoffbandes wurde der Actical am linken Vorderfuß des Probanden über einer zuvor angebrachten Gamasche befestigt, geschützt von einer speziellen Hülle, die das Gerät vor Traumata oder Schmutz bewahren sollte. Der Bewegungsablauf der Pferde wurde dadurch nicht beeinträchtigt. Um sicher zu stellen, dass das Actical nur die Bewegung des Tieres (dessen Beines) und nicht die Eigenbewegung aufnimmt wurde es zusätzlich mit einer Equihaft-Binde versehen, so dass ein Verrutschen oder Verlust des Acticals nicht möglich war. Für diesen Versuch wurde generell ein Messintervall von zwei Sekunden benötigt, um auch die Pferde, deren Schritte länger als eine Sekunde dauern, berücksichtigen zu können (große und hochkalibrige Pferde). Das bedeutet, dass alle zwei Sekunden die Schritt- und Aktivitätsmenge aufgezeichnet und gespeichert wird.

Nach abgeschlossener Arbeit des Pferdes wurde der Actical wieder entfernt, von der dazu gehörigen Software eingelesen und die Ergebnisse in die Excel Tabelle übertragen. Wichtig für diesen Versuch waren die Daten bezüglich Aktivität und Schrittmenge in den einzelnen Gangarten, sowie die Uhrzeit und das Datum der Datenerfassung.

Die einzelnen Gangarten wurden anhand der gemessenen „activity counts“ erkannt.

Je nach Größe des Probanden variierten diese „counts“ der Pferde/Ponys im Schritt zwischen 200 und 400, im Trab zwischen 400 und 800 und im Galopp zwischen 800 und 1200.

Anhand dieser Angaben konnte die Schritt-, Tritt- oder Sprungzahl ermittelt werden.

Die Geschwindigkeitsunterschiede innerhalb der einzelnen Gangarten (Mitteltrab, verstärkter Trab, lockerer Trab zum Aufwärmen) eines einzelnen Probanden spielten keine Rolle hinsichtlich der gezählten Schrittmenge, so dass am Ende der Mittelwert aller gezählten Schritte innerhalb einer Gangart als Ergebnis gezählt werden konnte.

3.4.2. Geschwindigkeitsmessung mit Hilfe von GPS

Die zurück gelegte Distanz, sowie die Geschwindigkeiten der Probanden in den einzelnen Gangarten während des Messzeitraumes wurden mittels eines GPS- Systems ermittelt. Dieses System war in den verwendeten Pulsmesser „POLAR V800“ der Firma POLAR integriert, der auch für die Pulsaufzeichnungen verwendet wurde. Es misst während der Arbeit die benötigten Parameter und am Ende der Trainingseinheit spielt man diese mit einem speziellen USB-Kabel auf den Computer in ein mit geliefertes Programm, in welchem man dann in einzelnen Diagrammen alle errechneten und gemessenen Ergebnisse ablesen kann (Abb. 6).

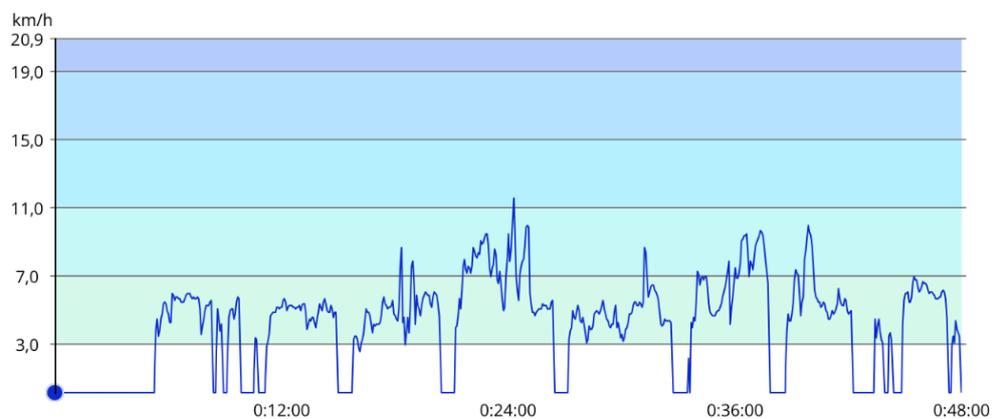


Abb. 6: Beispiel - Diagramm einer aufgezeichneten Geschwindigkeitsmessung mittels dem POLAR GPS System (X-Achse: Zeit in min; Y-Achse: Geschwindigkeit in km/h)

3.4.3. Schrittlänge

Anhand der gewonnenen Daten über Schrittmenge (St) und Geschwindigkeit wurde die Schrittlänge berechnet. Dafür wurde zunächst die Schrittmenge pro Sekunde berechnet. Die Geschwindigkeit (v) wurde vom POLAR – System in km/h angegeben. Diese wurde in m/s umgerechnet, woraus sich am Ende die Schrittlänge berechnen ließ.

$$\text{Schrittlänge (m)} = 1: \text{Schrittmenge} / \text{s} * \text{Geschwindigkeit (m/s)}$$

3.5. Herzfrequenzmessung

Die einzelnen Herzfrequenzen wurden mit einem Pulsmesser der Firma POLAR aufgezeichnet. Für diesen Versuch fungierte der „POLAR V800“. Es handelte sich hierbei um eine Uhr, die mittels Bluetooth und integriertem GPS Geschwindigkeiten, Distanzen und ebenso die Herzfrequenzen aufzeichnen konnte. Anschließend wurden diese Aufzeichnungen mittels einem speziellen USB-Kabel auf den Computer überspielt und in entsprechende Graphiken übertragen.

Ein speziell für Pferde hergestellter „Polar Equine Belt“ ermöglicht auch die Messung von deren Herzfrequenzen und Geschwindigkeiten. Er ist mit zwei Plastikelektroden ausgestattet, die für die Erfassung des Pulses zuständig sind. Ein Sensor, der ebenfalls am Gürtel angebracht ist, schickt die Signale an die Uhr, die am Arm oder Sattel des Reiters befestigt ist.

3.5.1. Anbringen des „Polar equine belt“

Um die Herzfrequenz des Pferdes gut messen zu können, muss ein guter Kontakt zwischen Pferdehaut und Plastikelektroden gewährleistet sein. Daher sollte man den Gürtel vorher tief in einen Eimer Wasser tauchen und die Gegend des Pferdekörpers, an denen die Elektroden später anliegen – oberhalb des Ellbogens im Bereich des Herzens – befeuchten. Bei sehr dickem Pferdefell ist eine Rasur dieses Areals ratsam, um das Herzfrequenzsignal zu verbessern.

Nun wurde der Sensor in der eigens dafür vorgesehenen Tasche platziert und der Gürtel um den Brustkorb des Pferdes geschnallt. Die Tasche mit dem Sensor befand sich hierbei an der linken Seite

oberhalb des linken Ellbogens (Abb. 7). Bei Bedarf kann auch ein Kontaktgel zwischen Elektroden und Pferdehaut aufgetragen werden.

Anschließend wurde das Pferd normal gesattelt. Man musste darauf achten, dass sich der Gurt mit dem Sensor gerade und ohne Faltschlag unter dem Sattelblatt (bei Sätteln mit langem Blatt, wie Dressur- oder Westernsätteln) bzw. unter dem Sattel- oder Longiergurt befindet. Dadurch war ein noch besserer Kontakt von Sensor und Pferdehaut gewährleistet, was die Messung vereinfachte. Außerdem wurde dadurch eine Aufreibung der Pferdehaut durch ständige Bewegung des Sensors verhindert. Eine Störung in Form einer Druckempfindlichkeit des Pferdes durch den Sensor wurde bei keinem der Probanden beobachtet.



Abb. 7: angebrachter „Polar equine belt“ bei einem ungesatteltem Pferd

3.5.2. Messen und Aufzeichnen der Herzfrequenz

Nach Anbringen des Gurtes und dem restlichen Herrichten des Pferdes konnte mit der Aufzeichnung gestartet werden.

Bei Gedrückt Halten der Start – Taste an der Pulsuhr fing der Sensor in der Uhr mittels Bluetooth an, den Sensor am Gürtel des Pferdes zu suchen. Sobald der Kontakt hergestellt war, wurde dies von der Uhr angezeigt und die Aufzeichnung konnte beginnen. Die Entfernung der beiden Sensoren konnte bis zu 10 Metern betragen, so dass man auch während der Longenarbeit in der Lage war, die Pulsuhr am Handgelenk zu tragen. Alternativ konnte man die Uhr auch am Gurt befestigen.

Die Herzfrequenzen wurden von der Uhr erfasst und gespeichert. Nach dem Trainingsende wurde die Aufzeichnung mittels erneutem Gedrückt Halten der Start – Taste gestoppt, alle Geräte sorgsam entfernt und mit klarem Wasser gereinigt.

Waren die Messungen fürs Erste beendet, wurde die Uhr mittels eines Kabels am Computer angehängt und alle Daten in das zuvor auf die Festplatte geladene Programm überschrieben.

In verschiedenen Diagrammen wurden sowohl Puls, als auch Geschwindigkeit und zurück gelegte Distanz einzeln aufgeschlüsselt und die Durchschnittswerte wurden berechnet und angezeigt. Zusätzlich wurde die Uhrzeit der Messung aufgezeichnet (Abb. 8 und 9).



Abb. 8: Beispiel einer Herzfrequenzdarstellung des Polar Systems während einer Longenarbeit (X-Achse: Zeit in min; Y-Achse: HF in S/min)

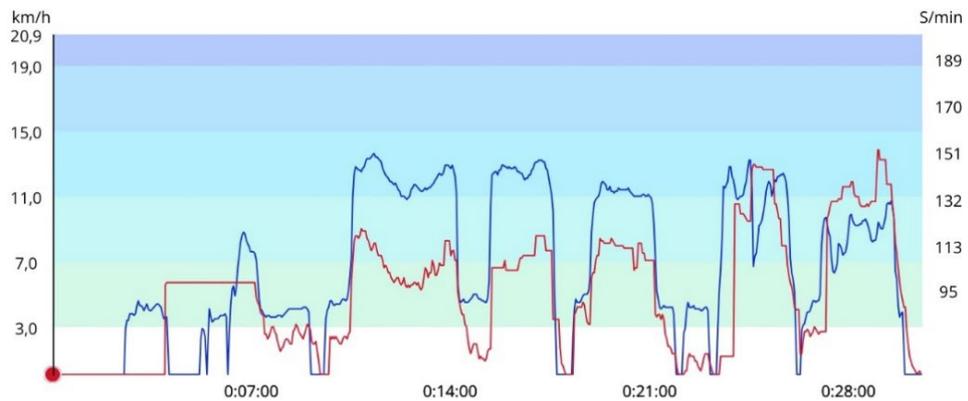


Abb. 9: Beispiel einer gemeinsamen Darstellung von Herzfrequenz (rot) und Geschwindigkeit (blau) des Polar Systems während einer Longearbeit (X-Achse: Geschwindigkeit in km/h, Z-Achse: Zeit in min; Y-Achse: HF in S/min)

3.6. Weitere Parameter

Zusätzlich zu den bereits genannten Parametern wurde die Trainingsdauer erfasst, das Gewicht des Reiters, die Wetterbedingungen, sowie die Bodenverhältnisse. Außerdem wurden auch auf die Reitweise (Dressur, Springen, Western), sowie die Trainingsart (Gelände, Bahn Halle vs. Platz) festgehalten. Zusätzlich wurden evtl. Besonderheiten der Probanden ebenfalls beim Besitzer oder Reiter erfragt. Diese beinhalteten bekannte Vorerkrankungen (vorangegangene, nicht akute Hufrehe, voraus gegangene OPs etc.), sowie Eigenschaften, die für die Trainingsdaten wichtig waren (Rentner, Jungpferd beim Anreiten etc.). Dies war wichtig, um in Nachhinein evtl. auftretende Unterschiede in den gemessenen Parametern erklären zu können (Tab. A2).

Tab. 6 zeigt die Einteilung der einzelnen Probanden in Gruppen, sortiert nach Bewegungsart und Gruppenzugehörigkeit (n = Gesamtanzahl der Pferde in entsprechender Gruppe).

Tab. 6: *Einteilung der einzelnen Gruppen nach Gruppe und Trainingsart.*

	Pony (n = 35)	Kleinpferd (n =29)	Großpferd (n = 48)
Longe	11	9	9
Bahn	17	13	17
Gelände	5	7	13
Kutsche (Gelände)	2	0	5
Führanlage	0	0	4

3.7. Statistische Auswertung

Für die statistische Analyse der Messdaten wurde Microsoft Excel 2013 (Version Windows 10, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA), sowie das Statistikprogramm SPSS Statistics 22 (IBM, Armonk, New York, USA) verwendet.

Die Graphiken wurden aufgrund höherer Anschaulichkeit mit dem Excel-Programm erstellt, wohingegen die statistischen Tests mit SPSS berechnet wurden.

Die statistische Einheit war der zu untersuchende Parameter (HF, v oder Step) und das Niveau der Signifikanz für die Irrtumswahrscheinlichkeit p wurde mit 0,5% festgesetzt ($p < 0,005$). Es erfolgte eine Prüfung der Daten auf Normalverteilung mittels dem Kolmogorow-Smirnow-Test. Mit Hilfe deskriptiver Statistik wurden Werte zusammengefasst, sowie Mittelwerte und Standardabweichungen bestimmt.

Eine multifaktorielle Varianzanalyse (= multivariate ANOVA) mit anschließendem Post-Hoc Test wurde verwendet, um die einzelnen Gruppen bzgl. Herzfrequenz, Geschwindigkeit und Trittfrequenz zu vergleichen.

IV. Ergebnisse

4.1. Körpermasse und BCS

Alle Pferde, die in der Studie verwendet wurden, hatten im Mittel ein Körpergewicht von 512 ± 157 kg. Das leichteste Pferd wog 188 kg, das schwerste hatte ein Gewicht von 1050 kg. Die Großpferde hatten im Schnitt ein Gewicht von 647 kg. Das schwerste wog hier 1050 kg und das leichteste 448 kg. Bei den Kleinpferden wurde ein Durchschnittsgewicht von 455 kg erfasst, mit der leichtesten Masse von 349 kg und der schwersten von 580 kg. Bei den Ponys betrug das mittlere Gewicht 379 kg. Das schwerste Pony wog 508 kg und das leichteste 188 kg.

Es wurde von 112 Pferden und Ponys der BCS bestimmt. Sieben Probanden zeigten einen BCS von 4, bei 65 Probanden wurde ein BCS von 5 bestimmt, einen BCS von 6 konnte bei 33 Pferden und Ponys erfasst werden und die restlichen acht Probanden hatten einen BCS von 7.

Die prozentualen Verteilungen der einzelnen BCS sind in Abb. 10 aufgezeigt.

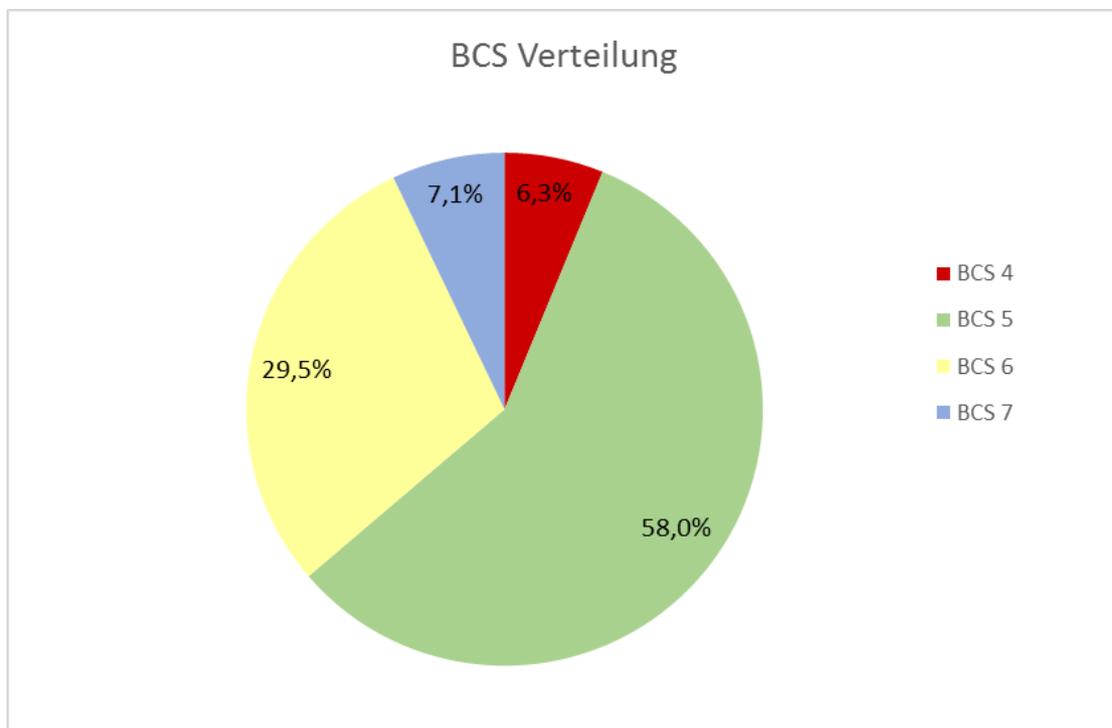


Abb. 10: Kreisdiagramm über die prozentuale BCS-Verteilung der einzelnen Probanden (n = 112)

4.2. Herzfrequenz (HF)

4.2.1. Ruheherzfrequenz

Bei 105 von 112 Probanden wurde die Ruheherzfrequenz mit dem Stethoskop vor dem Training gemessen. Bei sieben Pferden aus dem Vielseitigkeitssport erfolgte aus Gründen, die nicht mit dem Versuch in Zusammenhang standen, keine Messung. In Tab. 7 sind die Ruheherzfrequenzen (in „beats per minute“ = bpm) der Probanden – unterschieden nach Körpergröße – dargestellt. Beim Mittelwert bestand kein Unterschied, allerdings war bei den Großpferden das Minimum niedriger, als bei den anderen beiden Gruppen.

Tab. 7: Ruheherzfrequenz (Ruhe-HF in bpm) – Mittelwerte, Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte innerhalb der einzelnen Gruppen

	Pony (n =35)	Kleinpferd (n =30)	Großpferd (n =40)
	$\bar{x} \pm s$ (bpm)	$\bar{x} \pm s$ (bpm)	$\bar{x} \pm s$ (bpm)
Mittelwert	36±5	35±4	35±5
Min	30	30	25
Max	48	44	48

\bar{x} : Mittelwert

s : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

Der BCS hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Ruheherzfrequenz ($p = 0,346$; Abb. 11). Der niedrigste Median und die kleinste Streuung wurden bei einem BCS von 6 beobachtet.

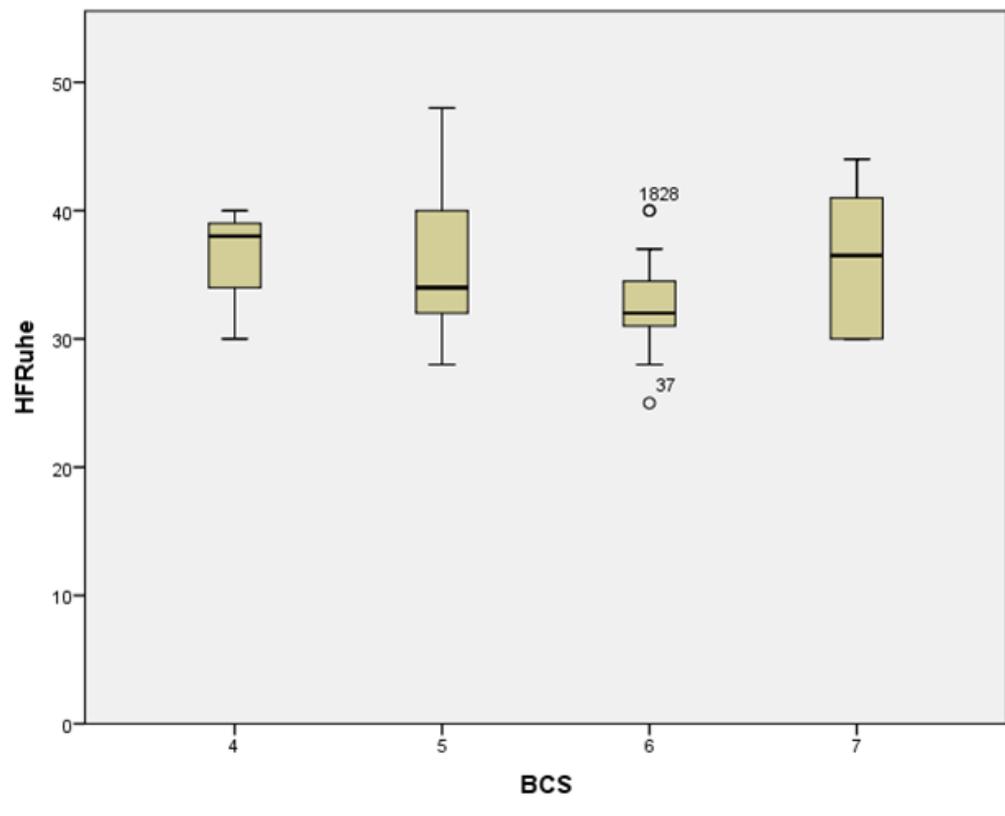


Abb. 11: Boxplotdarstellung der Ruheherzfrequenz (in bpm) in Abhängigkeit vom BCS (Median, 75/25-Perzentile, 5/95-Perzentile, Ausreißer)

Der Kaliberindex korrelierte über alle Größenklassen hinweg negativ mit der Ruheherzfrequenz ($r^2 = 0,12$) (Abb. 12). Innerhalb der Ponys (Abb. 13) war kein deutlicher Trend zu erkennen ($r^2 = 0,01$), während bei den Klein- und Großpferden (Abb. 14 und 15) eine signifikante negative Beziehung bestand (jeweils $r^2 = 0,41$), so dass schwerere Pferde im Mittel eine niedrigere Herzfrequenz aufwiesen.

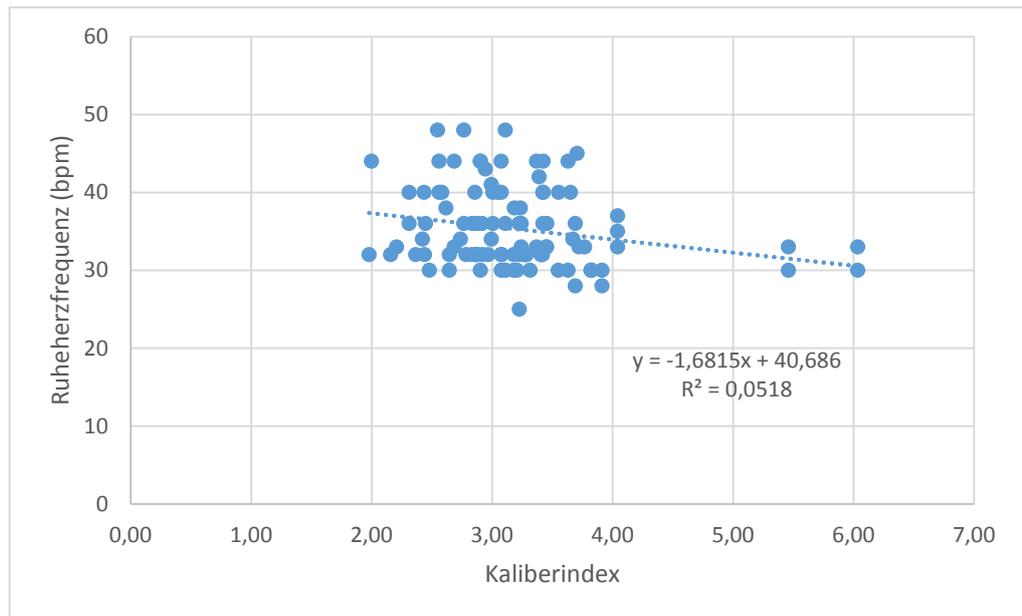


Abb. 12: Beziehungen zwischen Kaliberindex und Ruheherzfrequenz (in bpm) in allen Größenklassen

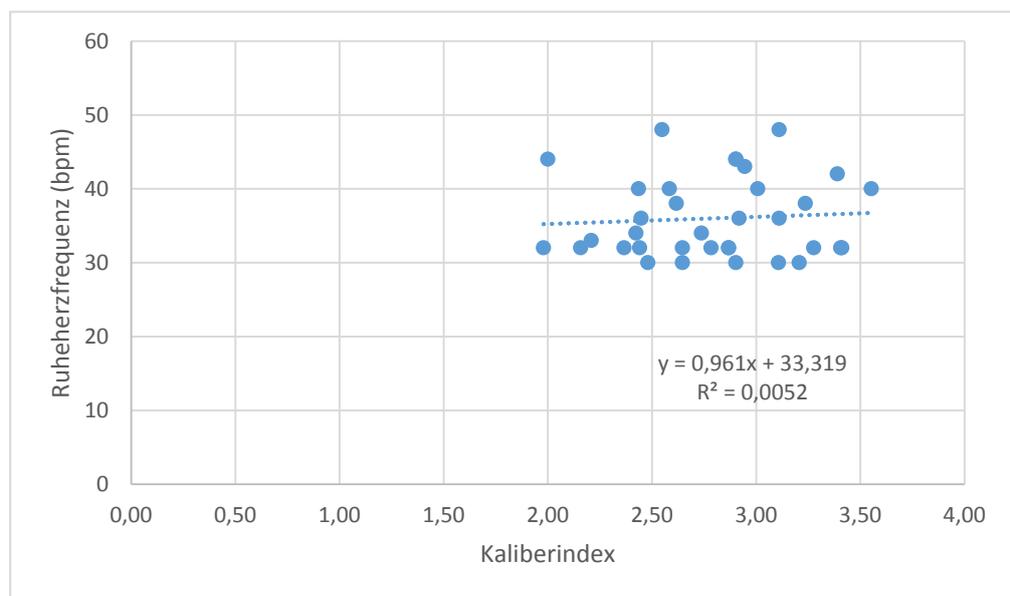


Abb. 13: Beziehung zwischen Kaliberindex und Ruheherzfrequenz (in bpm) in der Gruppe der Ponys

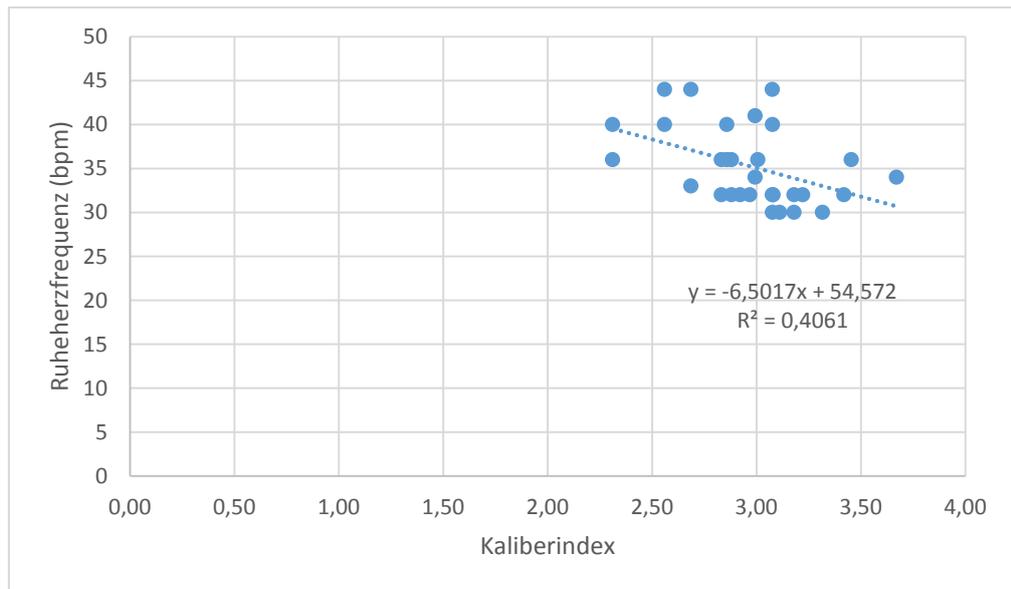


Abb. 14: Beziehung zwischen Kaliberindex und Ruheherzfrequenz (in bpm) in der Gruppe der Kleinpferde

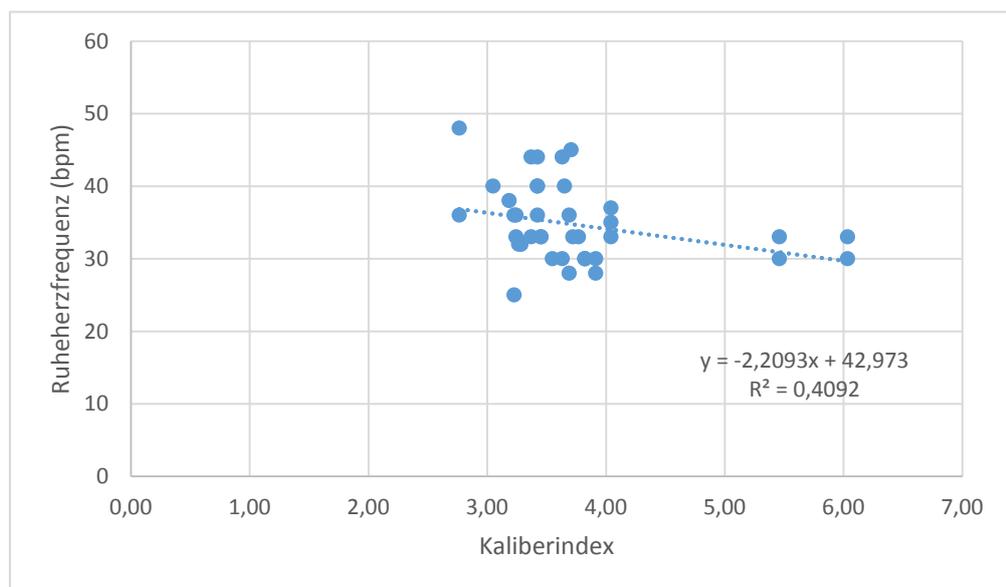


Abb. 15: Beziehung zwischen Kaliberindex und Ruheherzfrequenz (in bpm) in der Gruppe der Großpferde

4.2.2. Herzfrequenz in der Bewegung

Zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz gab es über den gesamten Datenpool hinweg eine signifikante Beziehung ($p = 0,000$; $r = 0,58$; Abb. 16), wobei die Streuung der Werte um die Gerade bei langsamen Tempo höher wurde.

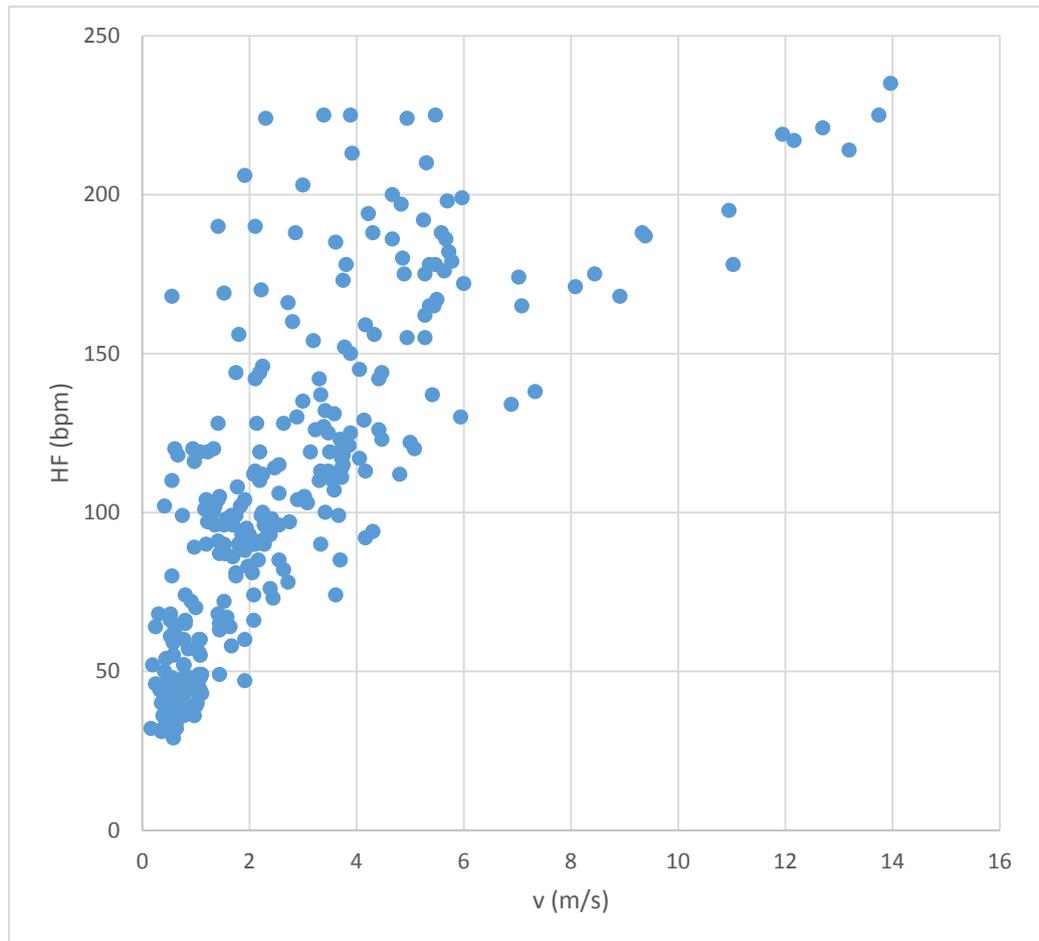


Abb. 16: Beziehung zwischen Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) in allen Gangarten.

4.2.2.1. Herzfrequenz im Schritt

Tab. 8 zeigt die Herzfrequenz im Schritt in Abhängigkeit von der Größe und der Art der Bewegung. Die Ponys, die überwiegend aus einer Reitschule stammten und das Longieren wenig gewohnt waren, zeigten an der Longe auffällig hohe Herzfrequenzen im Schritt. Dagegen gab es keinen Unterschied zwischen Bahn und Gelände. Bei den Kleinpferden hatte die Art der Bewegung keinen Einfluss. Bei den Großpferden, zu denen auch Hochleistungspferde aus dem Vielseitigkeitssport zählten, waren Bahn und Longe ebenfalls wenig unterschiedlich, im Gelände hingegen waren die Werte bei großer Streuung deutlich höher. Signifikant waren die Effekte an der Longe beim Kleinpferd ($p = 0,04$) und im Gelände beim Großpferd ($p = 0,07$), sowie die Interaktion Pferdegröße versus Bewegungsart ($p = 0,00$).

Tab. 8: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm) im Schritt innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte

	Pony (n = 35)			Kleinpferd (n = 30)			Großpferd (n = 40)		
	$\bar{x} \pm s$ (bpm)			$\bar{x} \pm s$ (bpm)			$\bar{x} \pm s$ (bpm)		
	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe
	46±11	47±7	68±29	47±15	43±4	53±11	42±10	76±26	45±5
Min	32	38	32	31	38	32	32	29	40
Max	66	60	118	74	49	65	65	105	55

\bar{x} : Mittelwert

s : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

4.2.2.2. Herzfrequenz im Trab

Tab. 9 zeigt die Herzfrequenzen im Trab in Abhängigkeit von der Größe und der Art der Bewegung. Auch hier zeigten die Ponys, ähnlich wie im Schritt, an der Longe auffallend hohe Herzfrequenzen. Zwischen Bahn und Gelände hingegen gab es nur minimale Unterschiede. Bei den Kleinpferden zeigten sich ebenfalls an der Longe die höchsten gemessenen Herzfrequenzen, die in der Bahn und im Gelände waren vergleichbar. Im Gegensatz dazu waren bei den Großpferden die Herzfrequenzen im Gelände die höchsten, hingegen die an der Longe und in der Bahn ohne Unterschiede. Die zu beobachtende Signifikanz bezieht sich auch hier auf die Interaktion zwischen Pferdegröße und Bewegungsart ($p = 0,03$).

Tab. 9: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm) im Trab innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte

	Pony (n = 33)			Kleinpferd (n = 30)			Großpferd (n = 31)		
	$\bar{x} \pm s$ (bpm)			$\bar{x} \pm s$ (bpm)			$\bar{x} \pm s$ (bpm)		
	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe
	91±21	98±17	119±24	93±15	103±9	113±26	94±12	116±12	93±26
Min	60	74	80	72	92	82	67	90	49
Max	146	120	117	119	115	168	113	137	128

\bar{x} : Mittelwert

s : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

4.2.2.3. Herzfrequenz im Galopp

Tab. 10 zeigt die Herzfrequenzen im Trab in Abhängigkeit von der Größe und der Art der Bewegung. Es zeigte sich auch hier, dass die Herzfrequenzen der Ponys an der Longe zwar die höchsten, die Unterschiede zu denen im Gelände aber nur minimal waren. Bei den Kleinpferden zeigte sich ein ähnliches Bild wie bei den Ponys. Die Großpferde hingegen zeigten – wie bereits im Schritt und Trab – die höchsten Herzfrequenzen im Gelände, die in Bahn und an der Longe waren in dieser Gruppe vergleichbar.

Im Gegensatz zu Schritt und Trab, konnte im Galopp keine signifikante Interaktion zwischen Körpergröße und Bewegungsart gefunden werden. ($p = 0,22$)

Tab. 10 Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm) im Galopp innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte

	Pony (n = 32)			Kleinpferd (n = 30)			Großpferd (n = 31)		
	$\bar{x} \pm s$ (bpm)			$\bar{x} \pm s$ (bpm)			$\bar{x} \pm s$ (bpm)		
	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe
	147±30	180±28	185±40	142±39	173±10	177±31	159±30	204±23	166±26
Min	94	120	90	85	155	119	121	168	127
Max	197	199	225	224	182	225	225	235	203

\bar{x} : Mittelwert

s : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

4.2.3. Herzfrequenz in der Bewegung bezogen auf BCS und Kaliberindex

BCS und Kaliberindex (KI) wurden in allen Gruppen und allen Gangarten der durchschnittlichen Herzfrequenz gegenübergestellt und es konnten in allen Fällen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (BCS: $p = 0,255$; KI = $0,761$). Es konnte lediglich beobachtet werden, dass im Falle der longierten und der in der Bahn gerittenen Pferde die durchschnittliche Herzfrequenz bei größeren Pferden und denen mit höherem BCS und Kaliberindex niedriger war. Im Gelände verhielt es sich genau anders herum. Im Gruppenvergleich waren im Schritt keine Signifikanzen hinsichtlich BCS und Kaliberindex aufzudecken (jeweils $p = 0,1$). Allerdings zeigte sich auch hier, dass die größeren und schwereren Pferde im Gelände höhere Herzfrequenzen hatten, als kleinere und leichtere. In der Bahn und vor allem an der Longe drehte sich das Bild um.

Schaute man sich die einzelnen Gruppen P, K und G gesondert an, sah das etwas anders aus. Somit war im Schritt eine signifikante Interaktion zwischen Herzfrequenz und BCS innerhalb der einzelnen Gruppen zu finden ($p = 0,045$), was sich auch im Vergleich der einzelnen Bewegungsarten mit dem BCS, vor allem zwischen in der Bahn und im Gelände gerittener Pferde, widerspiegelte ($p = 0,02$).

Im Trab waren hinsichtlich der Interaktion zwischen Herzfrequenz und BCS ($p = 0,37$), sowie Kaliberindex ($p = 0,54$) keine signifikanten Unterschiede zu erkennen, weder im Gesamtvergleich, noch beim Vergleich innerhalb der einzelnen Gruppen ($p = 0,14$).

Es war zu erkennen, dass die Herzfrequenz im Gelände anstieg, je größer und „hochkalibriger“ das Pferd war. Im Hinblick auf die longierten Probanden, fiel die Herzfrequenz mit steigender Größe ab. In der Bahn konnten keine Unterschiede zwischen den verschiedenen BCS und des Kaliberindex hinsichtlich der Herzfrequenz gefunden werden.

Auch im Galopp schien BCS ($p = 0,46$) und Kaliberindex ($p = 0,17$) generell keinen signifikanten Einfluss auf die Herzfrequenz zu nehmen. Man konnte beobachten, dass BCS und Kaliberindex im Gelände in keiner Gruppe großen Einfluss auf die Herzfrequenz nahmen. An der Longe hingegen

zeigte sich, dass die Herzfrequenz mit steigender Größe abnahm, ebenso wie mit steigendem BCS und Kaliberindex. In der Bahn konnte eine niedrigere Herzfrequenz festgestellt werden, je kleiner das Pferd und je geringer BCS und Kaliberindex waren.

4.3. Geschwindigkeit (v)

4.3.1. Schrittgeschwindigkeit

Tab. 11 zeigt die Schrittgeschwindigkeit (in m/s) in Abhängigkeit von der Größe und der Art der Bewegung. Es war zu erkennen, dass die Probanden mit zunehmender Körpergröße im Mittel auch höhere Geschwindigkeiten zeigten, was vor allem im Gelände beobachtet werden konnte. Auffallend war, dass die Kleinpferde an der Longe minimal höhere Geschwindigkeiten hatten, als die Großpferde. Die geringsten Geschwindigkeitsunterschiede bezogen auf die Bewegungsart zeigte die Gruppe der Ponys.

Tab. 11: Mittelwerte der Geschwindigkeit (v in m/s) im Schritt innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie die Minimum- und Maximumwerte

	Pony (n = 35)			Kleinpferd (n = 30)			Großpferd (n =40)		
	$\bar{x} \pm \acute{s}$ (m/s)			$\bar{x} \pm \acute{s}$ (m/s)			$\bar{x} \pm \acute{s}$ (m/s)		
	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe
	0,6±0,2	0,8±0,2	0,5±0,2	0,6±0,2	1,0±0,1	0,8±0,3	0,7±0,3	1,4±0,5	0,7±0,2
Min	0,3	0,6	0,2	0,4	0,8	0,2	0,4	0,3	0,4
Max	1,1	1,1	0,8	1,0	1,1	1,1	1,4	1,9	1,1

\bar{x} : Mittelwert

\acute{s} : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

4.3.2. Trabgeschwindigkeit

Tab. 12 zeigt die Trabgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Größe und der Art der Bewegung. Auffällig hier war, dass die Körpergröße wenig Einfluss auf die Geschwindigkeit hatte. So zeigten Ponys, die in der Bahn geritten wurden höhere Geschwindigkeiten als die größeren Pferde der Gruppe K und G. An der Longe waren die Kleinpferde die schnellsten, im Gelände die Großpferde, auch wenn hier insgesamt die Unterschiede geringer ausfielen.

Tab. 12: Mittelwerte der Geschwindigkeit (v in m/s) im Trab innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie die Minimum- und Maximumwerte

	Pony (n = 35)			Kleinpferd (n = 30)			Großpferd (n = 40)		
	$\bar{x} \pm \acute{s}$ (m/s)			$\bar{x} \pm \acute{s}$ (m/s)			$\bar{x} \pm \acute{s}$ (m/s)		
	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe
	2,0±0,4	2,4±0,7	1,8±1,1	2,2±0,5	2,9±0,8	2,3±1,2	1,7±0,4	3,3±0,7	1,9±0,4
Min	1,2	2	0,6	0,9	2,2	0,6	1	1,6	1,3
Max	2,8	3,6	3,7	3,1	4,2	3,9	2,4	4,2	2,6

\bar{x} : Mittelwert

\acute{s} : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

4.3.3. Galoppgeschwindigkeit

Tab. 13 zeigt die Galoppgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Größe und Bewegungsart. Es zeigte sich ein Anstieg der Geschwindigkeit bei zunehmender Körpergröße, einzig in Gruppe K konnte eine Ausnahme gesehen werden, da die longierten Probanden dieser Gruppe höhere Geschwindigkeiten aufwiesen als die longierten Großpferde. Auffällig ist, dass ausnahmslos in allen Gruppen, die Geschwindigkeit an der Longe am geringsten und die im Gelände am höchsten ist. Die geringste Streuung wies die Gruppe der Kleinpferde auf.

Tab. 13: Mittelwerte der Geschwindigkeit (v in m/s) im Galopp innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, deren Standardabweichung, sowie die Minimum- und Maximumwerte

	Pony (n = 35)			Kleinpferd (n = 30)			Großpferd (n = 40)		
	$\bar{x} \pm s$ (m/s)			$\bar{x} \pm s$ (m/s)			$\bar{x} \pm s$ (m/s)		
	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe
	3,8±1,2	5,7±0,4	3,2±1,4	4,4±1,0	6,0±1,3	4,3±1,6	5,0±2,1	10,7±2,8	3,7±0,7
Min	1,8	5,1	1,2	1,9	4,9	1,1	3,0	4,4	2,9
Max	5,6	6,0	5,5	5,9	8,4	5,6	11,0	14,0	5,4

\bar{x} : Mittelwert

s : Standardabweichung

n : Anzahl der Probanden

4.3.4. Geschwindigkeiten bezogen auf BCS und Kaliberindex

Schaute man sich die Beziehung zwischen Geschwindigkeit zu BCS ($p = 0,004$) und Kaliber ($p = 0,002$) an, konnte man sehen, dass, anders als bei der Herzfrequenz, deutliche Signifikanzen zu sehen waren. Im Schritt zeigten sich die Unterschiede am deutlichsten zwischen Pony und Kleinpferd, sowie zwischen Kleinpferd und Großpferd. Die Schrittgeschwindigkeiten stiegen in Abhängigkeit von Körpergröße und Kaliberindex an, wobei dieser Anstieg bei den Geländepferden deutlicher ausfiel.

Im Trab und im Galopp verhielt es sich ähnlich, hier konnte man zusätzlich auch noch deutlichere Unterschiede hinsichtlich der Bewegungsart erkennen.

Es zeigte sich also, dass die Körpergröße, sowie die Art und Weise der Bewegung signifikanten Einfluss auf die Interaktion von Herzfrequenz und Geschwindigkeit hatten (Pony: $p = 0,000$ und $r = 0,88$; Kleinpferd: $p = 0,000$ und $r = 0,84$; Großpferd: $p = 0,000$ und $r = 0,86$). Dies zeigte sich auch bei dem Vergleich einzelner Pferd in verschiedenen Bewegungsweisen (siehe Kapitel 4.4). Generell war die Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei allen Probanden höher während des Longierens.

4.4. Herzfrequenzen und entsprechende durchschnittliche Geschwindigkeiten einzelner Individuen in verschiedenen Bewegungsarten, sowie die Erholung der Herzfrequenzen

Bei 13 der Probanden war es möglich Messungen in verschiedenen Bewegungsarten durchzuführen und es konnten daher sowohl Werte an der Longe, sowie im gerittenen Zustand (Gelände oder Bahn) gemessen und miteinander verglichen werden.

Die folgenden Tab. 14 bis 20 geben die Herzfrequenzen einzelner Individuen (mit entsprechender ID gekennzeichnet), bewegt auf verschiedene Art und Weise, und die entsprechende Geschwindigkeit in den einzelnen Gangarten wieder.

Verglich man ein Individuum mit sich selber, war klar zu erkennen, dass die Herzfrequenz mit zunehmender Geschwindigkeit anstieg. Die Art und Weise der Bewegung schien hier einen erheblichen Einfluss auf die Höhe des Anstiegs zu nehmen. So zeigte sich, dass bei fast allen Individuen die Herzfrequenz in allen Gangarten an der Longe höher war, als in der Bahn oder im Gelände.

Die entsprechenden durchschnittlichen Geschwindigkeiten waren sehr unterschiedlich. So fanden sich sogar bei einigen Individuen höhere Geschwindigkeiten an der Longe, als in der Bahn.

Tab. 14: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 79 und ID 27

ID 79			ID 27				
	Schritt	Trab	Galopp		Schritt	Trab	Galopp
HF Bahn	65	76	135	HF Bahn	36	91	134
HF Longe	45	93	203	HF Longe	44	49	145
\bar{v} Longe	1,1	2,4	3,0	\bar{v} Longe	0,5	1,4	4,1
\bar{v} Bahn	1,4	2,4	3,0	\bar{v} Bahn	0,5	1,4	6,9

Tab. 15: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (Øv in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 1 und ID 31

ID 1			ID 31				
	Schritt	Trab	Galopp		Schritt	Trab	Galopp
HF Gelände	46	115	182	HF Bahn	36	90	165
HF Longe	49	125	210	HF Longe	43	100	127
Øv Longe	1,1	3,4	5,3	Øv Longe	0,4	1,3	3,4
Øv Gelände	1,0	2,6	5,7	Øv Bahn	0,4	1,5	7,1

Tab. 16: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (Øv in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 83 und ID 16

ID 83			ID 16				
	Schritt	Trab	Galopp		Schritt	Trab	Galopp
HF Gelände	38	96	155	HF Bahn	36	67	155
HF Longe	55	99	162	HF Longe	42	72	154
Øv Longe	1,1	1,7	5,3	Øv Longe	0,6	1,5	3,2
Øv Gelände	0,8	2,3	4,9	Øv Bahn	0,4	1,6	5,3

Tab. 17: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (Øv in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 46 und ID 38

ID 46			ID 38				
	Schritt	Trab	Galopp		Schritt	Trab	Galopp
HF Gelände	49	111	174	HF Bahn	52	146	178
HF Longe	60	105	186	HF Longe	50	116	188
Øv Longe	1,1	3,0	4,7	Øv Longe	0,4	1,0	2,9
Øv Gelände	1,1	3,7	7,0	Øv Bahn	0,8	2,3	3,8

Tab. 18: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 70 und ID 71

ID 70				ID 71			
	Schritt	Trab	Galopp		Schritt	Trab	Galopp
HF Bahn	34	74	110	HF Bahn	46	78	123
HF Longe	44	130	188	HF Longe	52	99	119
\bar{v} Longe	0,7	2,9	4,3	\bar{v} Longe	0,2	0,8	1,1
\bar{v} Bahn	0,6	2,1	3,3	\bar{v} Bahn	0,8	2,7	4,5

Tab. 19: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 39 und ID 69

ID 39				ID 69			
	Schritt	Trab	Galopp		Schritt	Trab	Galopp
HF Bahn	56	81	132	HF Bahn	38	90	175
HF Longe	40	99	200	HF Longe	46	168	168
\bar{v} Longe	0,8	3,7	4,7	\bar{v} Longe	0,4	0,6	-
\bar{v} Bahn	1,1	2,1	3,4	\bar{v} Bahn	0,6	2,3	4,9

Tab. 20: mittlere Herzfrequenz (HF in bpm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (\bar{v} in m/s) in verschiedenen Gangarten und Bewegungsarten von ID 48

ID 48			
	Schritt	Trab	Galopp
HF Bahn	32	80	85
HF Longe	36	88	160
\bar{v} Longe	0,5	1,9	2,8
\bar{v} Bahn	0,4	1,8	3,7

Im Anschluss wurde bei denselben Individuen zusätzlich noch die Zeit gestoppt, die das einzelne Pferd gebraucht hat, um nach Beenden der Arbeit wieder auf die Ruheherzfrequenz zurück zu kommen. Die Ergebnisse sind in Abb. 17 dargestellt.

Hier war auffällig, dass 9 von 13 verglichenen Pferde eine längere Regenerationszeit benötigten, um zu ihrer Ausgangsherzfrequenz zurück zu kehren, wenn sie geritten wurden. Ausnahmen zeigten lediglich ID 16, ID 71,

ID 69 und ID 48, die nach der Longenarbeit länger für die Erholung ihrer Herzfrequenz brauchten (Abb. 17).

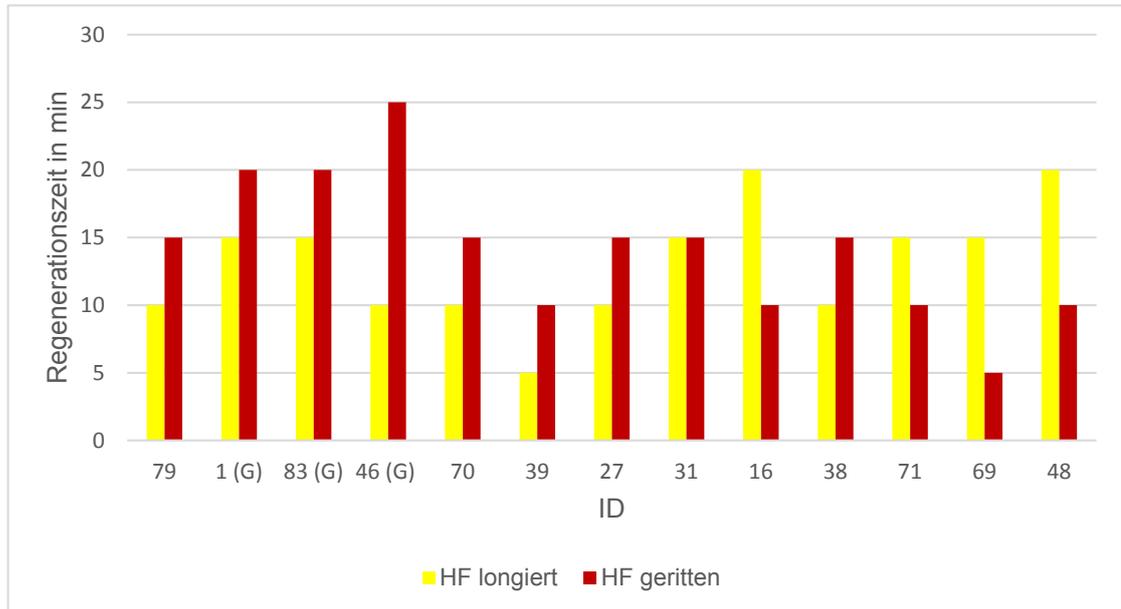


Abb. 17: Zeit der Regeneration (in min) auf die Ruheherzfrequenz nach verrichteter Arbeit von verschiedenen Individuen (mit entsprechender „ID“ gekennzeichnet) (G = im Gelände geritten).

4.5. Schrittlänge

4.5.1. Schrittlänge im Schritt

Tab. 21 zeigt die Schrittlängen im Schritt in Abhängigkeit von Pferdegröße und Bewegungsart.

Die mittlere Schrittlänge im Schritt war bei allen Probanden jeder Gruppe im Gelände am höchsten. Auffallend war, dass es bei Pferden, die in der Bahn geritten wurden, keine Unterschiede hinsichtlich der Schrittlänge gab, unabhängig davon welche Körpergröße sie hatten. Die höchsten individuellen Unterschiede bezüglich Schrittlänge in Abhängigkeit zur Körpergröße konnten bei den longierten Pferden gefunden werden.

Tab. 21: Mittelwerte der Schrittlängen im Schritt in m innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart, sowie die Standardabweichung, Minimum- und Maximumwerte

	Pony (n = 35)			Kleinpferd (n = 30)			Großpferd (n =36)		
	$\bar{x} \pm s$ (m)			$\bar{x} \pm s$ (m)			$\bar{x} \pm s$ (m)		
	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe
	0,4±0,2	0,5±0,2	0,3±0,2	0,4±0,1	0,6±0,1	0,5±0,2	0,4±0,2	0,6±0,4	0,4±0,2
Min	0,1	0,3	0,1	0,2	0,6	0,1	0,3	0,2	0,3
Max	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	1	1,3	0,7

\bar{x} : Mittelwert

s : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

Beim Vergleich der Schrittlängen im Schritt der einzelnen Probanden zwischen den Gruppen bezogen auf BCS und Kaliberindex konnten einige signifikante Unterschiede gesehen werden. Es zeigte sich deutlich, dass sowohl BCS ($p = 0,002$), als auch Bewegungsart ($p = 0,00$) und Kaliberindex ($p = 0,002$) Einfluss auf die Schrittlänge nahm. Die größten Unterschiede waren in allen Gruppen zwischen longierten und im Gelände gerittener Pferde zu finden, aber auch das Reiten in der Bahn unterschied sich signifikant vom Reiten im Gelände im Hinblick auf die Schrittlänge. Somit konnte mit zunehmender Körpergröße und –masse ein Anstieg der Schrittlänge im Schritt in allen Bewegungsarten erfasst werden, welcher im Gelände am deutlichsten ausfiel.

4.5.2. Schrittlänge im Trab

In Tab. 22 sind die mittleren Schrittlängen im Trab innerhalb der einzelnen Gruppen und nach Art der Bewegung aufgezeichnet. Die längste Schrittlänge im Trab fand sich bei allen Probanden jeder Größe im Gelände. Die Trab-Schrittlängen der Ponys waren im Vergleich in allen drei Bewegungsarten am kürzesten. Auffallend war, dass die Kleinpferde in allen Bewegungsarten weitere Schrittlängen (Longe und Bahn) im Trab aufwiesen, als die Großpferde. Im Gelände waren die Schrittlängen der Kleinpferde mit denen der Großpferde vergleichbar (Tab. 22).

Tab. 22: mittlere Schrittlängen im Trab in m, in Abhängigkeit von Körpergröße und Bewegungsart, sowie die Standardabweichung, Minimum- und Maximumwerte.

	Pony (n = 35)			Kleinpferd (n = 30)			Großpferd (n =36)		
	$\bar{x} \pm s$ (m)			$\bar{x} \pm s$ (m)			$\bar{x} \pm s$ (m)		
	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe
	1,2±0,3	1,5±0,6	1,1±0,7	1,4±0,5	2,0±0,4	1,5±0,7	1,2±0,4	2,0±0,8	1,3±0,3
Min	0,6	1	0,3	0,2	0,6	0,4	0,7	1,1	0,9
Max	1,6	2,4	2,4	0,7	2,1	2,5	2,1	2,8	1,8

\bar{x} : Mittelwert

s : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

Beim Vergleich der einzelnen Schrittlängen im Trab bezogen auf BCS und Kaliberindex konnten anders als im Schritt nur hinsichtlich des Kalibers signifikante Unterschiede gefunden werden ($p = 0,018$).

Es zeigte sich, dass je höher der Kaliberindex war, desto länger waren die Schritte. Es konnte festgestellt werden, dass mit zunehmender Größe und Gewicht auch die Schritte im Gelände länger wurden. In Bahn und an der Longe konnten nur minimale bis keine Unterschiede festgestellt werden.

4.5.3. Schrittlänge im Galopp

In Tab. 23 werden die mittleren Schrittlängen im Galopp innerhalb der einzelnen Gruppen in Abhängigkeit von der Bewegungsart aufgezeigt.

Im Gelände zeigten alle Probanden unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit die längsten Schritte, gefolgt von Bahn und Longe. Auffallend war, dass im Galopp die Körpergröße maßgeblich die Länge der Schritte beeinträchtigt hat – die Großpferde zeigten demnach die längsten Schritte, die Ponys die kürzesten. Die Schrittlängenunterschiede bezogen auf die Bewegungsart waren in der Gruppe der Großpferde am größten.

Tab. 23: mittlere Schrittlängen im Galopp in m, in Abhängigkeit von Körpergröße und Bewegungsart, sowie die Standardabweichung, Minimum- und Maximumwerte.

	Pony (n = 35)			Kleinpferd (n = 30)			Großpferd (n =36)		
	$\bar{x} \pm \acute{s}$ (m)			$\bar{x} \pm \acute{s}$ (m)			$\bar{x} \pm \acute{s}$ (m)		
	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe	Bahn	Gelände	Longe
	2,2±0,7	3,5±0,5	1,7±0,8	2,7±0,7	3,4±0,5	2,5±0,9	3,3±1,4	4,7±1,3	2,5±0,5
Min	1,2	2,8	0,6	1,3	2,9	0,7	3	4,4	2,9
Max	3,7	4	2,7	4	4,2	3,7	11	14	5,4

\bar{x} : Mittelwert

\acute{s} : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

Hinsichtlich des Einflusses des BCS und des Kaliberindex auf die Schrittlängen konnten nur Signifikanzen in Bezug auf die Bewegungsart gefunden werden, vor allem zwischen longierten und im Gelände gerittener Pferden ($p = 0,006$). Es zeigte sich ein leichter Anstieg der Schrittlänge mit zunehmender Körpergröße und –masse, vor allem beim Vergleich zwischen Ponys und Großpferden. Die Kleinpferde zeigten die geringsten Unterschiede an Schrittlängen bzgl. der Bewegungsweise.

4.6. Bewegung in der Führanlage und Kutsche

Zusätzlich zu Longe, Bahn und Gelände wurden einige Individuen auch in der Führanlage (nur Großpferde, $n = 4$) oder vor der Kutsche (Großpferde $n = 5$; Ponys $n = 2$) hinsichtlich Schrittlänge, Herzfrequenz und Geschwindigkeit beprobt. Diese Ergebnisse wurden gesondert behandelt, da es nur wenige Pferde in diesen Bewegungsarten gab und diese auch nicht in jeder Größengruppe vertreten waren.

4.6.1. Führanlage

Tab. 24 enthält die vier Pferde der Gruppe G, die in der Führanlage beprobt wurden.

Auffallend waren die großen Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden hinsichtlich ihrer Herzfrequenz. Diese Unterschiede waren im Trab am deutlichsten. Auf eine statistische Auswertung wurde aufgrund der zu geringen Datenmenge verzichtet.

Des Weiteren war zu sehen, dass die Herzfrequenz im Schritt in der Führanlage meist der Ruheherzfrequenz entsprach, die im Trab hingegen war in der Führanlage im Vergleich zu den anderen Bewegungsarten deutlich höher.

Bezüglich der Geschwindigkeit waren keine großen Unterschiede im Vergleich zu den anderen Bewegungsarten zu finden, auch waren die individuellen Unterschiede nur sehr gering.

Im Hinblick auf die Schrittlänge waren ebenfalls keine großen Unterschiede erkennbar und auch die individuellen Unterschiede konnten als gering eingestuft werden.

Tab. 24: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm), Geschwindigkeit (v in m/s) und Trittlängen (in m) von Pferden in der Führanlage, deren Standardabweichung, sowie Minimum- und Maximumwerte

Großpferd (n =4)								
	HF Schritt	HF Trab	HF Durchschnitt	V Schritt	V Trab	V Durchschnitt	Trittlänge Schritt	Trittlänge Trab
$\bar{x} \pm \acute{s}$	46±11	115±44	53±6	0,5±0,1	1,5±0,2	0,7±0,1	0,3±0,1	1,0±0,1
Min	33	63	45	0,3	1,3	0,6	0,2	0,9
Max	59	169	59	0,6	1,8	0,8	0,4	1,2

\bar{x} : Mittelwert

\acute{s} : Standardabweichung

n: Anzahl der Probanden

4.6.2. Kutsche

Die Kutschpferde wurden alle im Gelände gefahren und es wurde zusätzlich unterschieden, ob ein- oder zweispännig gefahren wurde. In Tab. 25 sind Herzfrequenzen und Geschwindigkeit in Abhängigkeit von Gruppenzugehörigkeit und Anspannung (ein- oder zweispännig) aufgezeichnet.

Aufgrund von zu geringer Datenmenge wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet.

Zwischen den beiden Gruppen (P und K) der Zweispänner konnten keine großen Unterschiede hinsichtlich der Herzfrequenzen im Trab gefunden werden. Im Schritt hingegen zeigten die Ponys eine deutlich geringere Herzfrequenz, als die Großpferde. Auffallend war auch, dass die Einspänner generell niedrigere Herzfrequenzwerte aufwiesen, als die zweispännig gefahrenen Probanden.

Verglich man die Kutschpferde mit denen, die auf andere Art und Weise bewegt wurden, war fest zu stellen, dass die erfassten Herzfrequenzwerte hier den Werten der Ponys bzw. Großpferde ähnelten, die im Gelände geritten wurden.

Im Hinblick auf die Geschwindigkeit zeigte sich, dass die Großpferde im Zweispänner durchschnittlich etwas schneller unterwegs waren, als die Ponys im Zwei- und die Großpferde im Einspänner. In Schritt und Trab konnten keine großen Unterschiede erkannt werden.

Tab. 25: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) in Schritt und Trab, sowie die durchschnittliche Herzfrequenz (HF in bpm) und durchschnittliche Geschwindigkeit (v in m/s) gefahrener Pferde und Ponys, sowie deren Standardabweichung und Minimum- und Maximumwerte

		HF Schritt	HF Trab	HF Durchschnitt	v Schritt	v Trab	v Durchschnitt
Pony (Zweispänner)	$\bar{x} \pm s$	46±3	117±4	103±2	1±0	3,7±0	1,1±0
	Min	44	114	101	1	3,7	1,1
	Max	48	120	104	1	3,7	1,1
Großpferd (Zweispänner)	$\bar{x} \pm s$	103±2	125±12	117±7	1,3±0,1	3,4±0,1	2,6±0
	Min	101	113	111	1,2	3,3	2,5
	Max	104	137	124	1,4	3,5	2,7
Großpferd (Einspanner)	$\bar{x} \pm s$	33±5	110±17	59±4	0,6±0	3,3±2,4	0,8±0,6
	Min	29	98	56	0,6	1,6	0,4
	Max	36	122	61	0,6	5	1,2

\bar{x} : Mittelwert

s : Standardabweichung

4.7. Aktivitätsmessungen

Daten zu den einzelnen „Activities“ wurden bei allen Probanden gewonnen, die mit einem Actical bestückt waren (n = 81). Tab. 26 enthält die entsprechenden Daten in den einzelnen Gangarten abhängig von Bewegungsart und Körpergröße.

Tab. 26: Mittelwerte der „Activity-Counts“ in den einzelnen Gangarten aller Probanden mit Actical in Abhängigkeit von ihrer Körpergröße und der Bewegungsart (n = Anzahl der Probanden)

Pferdegruppe	Bewegungsart	Activity Schritt	Activity Trab	Activity Galopp
G (n = 23)	Gelände	371	576	1605
	Bahn	354	537	1117
	Longe	313	488	1067
K (n = 26)	Gelände	288	724	1354
	Bahn	285	657	1107
	Longe	277	717	1166
P (n = 32)	Gelände	358	606	1172
	Bahn	288	655	1120
	Longe	278	711	1116

Bei allen Probanden zeigten sich die geringsten Aktivitäten im Schritt an der Longe und die höchsten im Gelände, wobei dies bei den Kleinpferden nur minimal zu sehen war.

Im Trab zeigte sich ein anderes Bild. Bei den Großpferden verhielt es sich ebenso wie im Schritt, mit der niedrigsten Aktivität an der Longe und der höchsten in der Bahn, bei den Ponys hingegen war dies genau umgekehrt. Bei den Kleinpferden zeigte sich die geringste Aktivität bei den in der Bahn gerittenen Probanden, die Aktivität von Longe und Gelände war hier ähnlich.

Im Galopp zeigten Ponys und Großpferde die niedrigste Aktivität an der Longe, die höchste im Gelände, auch wenn der Unterschied bei den Ponys zwischen den verschiedenen Bewegungsarten deutlich geringer ausfiel. Die Kleinpferde hatten im Galopp die niedrigste Aktivität in der Bahn und die höchste im Gelände.

Schaute man sich die einzelnen „Activities“ bezogen auf die Bewegungsweise an, ohne dabei auf die Körpergröße der Probanden zu achten, war zu erkennen, dass im Schritt die niedrigste Aktivität an der Longe zu finden ist und die höchste in der Bahn. Im Trab hingegen zeigte sich die geringste Aktivität in der Bahn, die höchste an der Longe. Im Galopp sah man die niedrigste Aktivität an der Longe, die höchste im Gelände (Abb. 18, 19 und 20).

Abb. 18 bis 20 zeigen alle „Activity-Counts“ in den einzelnen Gangarten in Abhängigkeit von der Bewegungsart der Probanden (L = Longe; HP = geritten Halle/Platz; G = geritten Gelände)

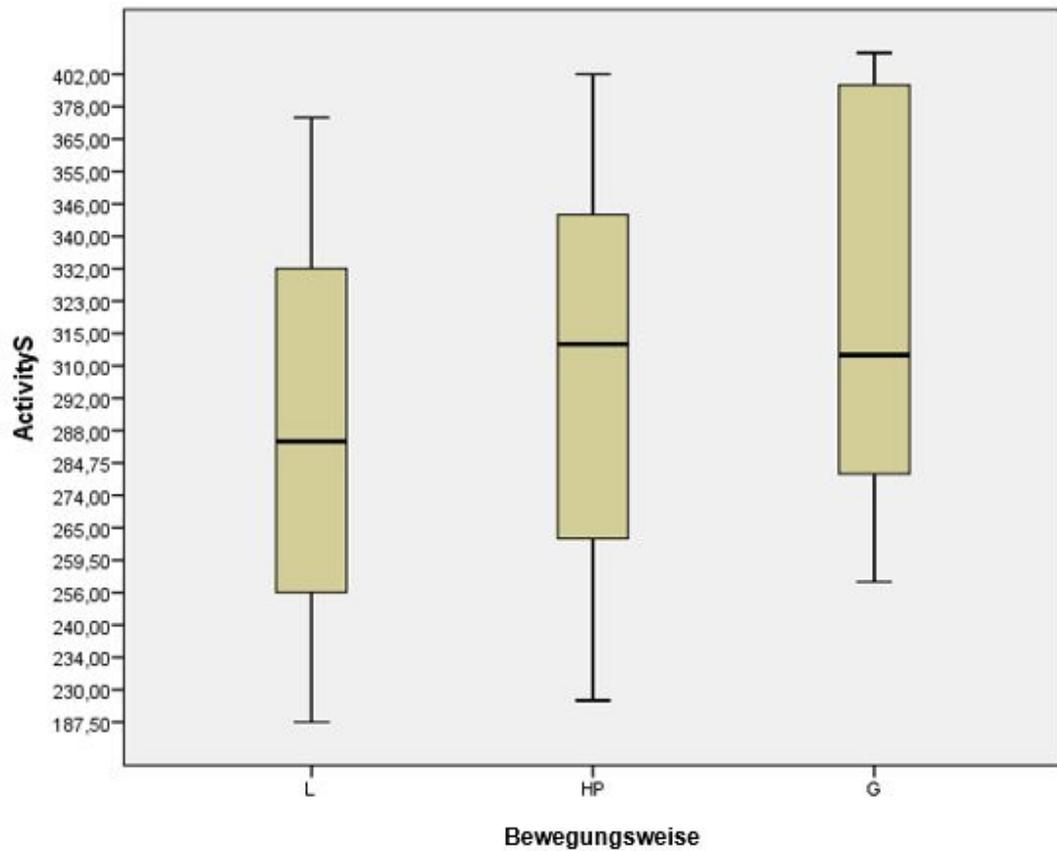


Abb. 18: Activity in den einzelnen Bewegungsarten im Schritt (L = Longe; HP = Halle/Platz; G = Gelände) (Median, 75/25-Perzentile, 5/95-Perzentile)

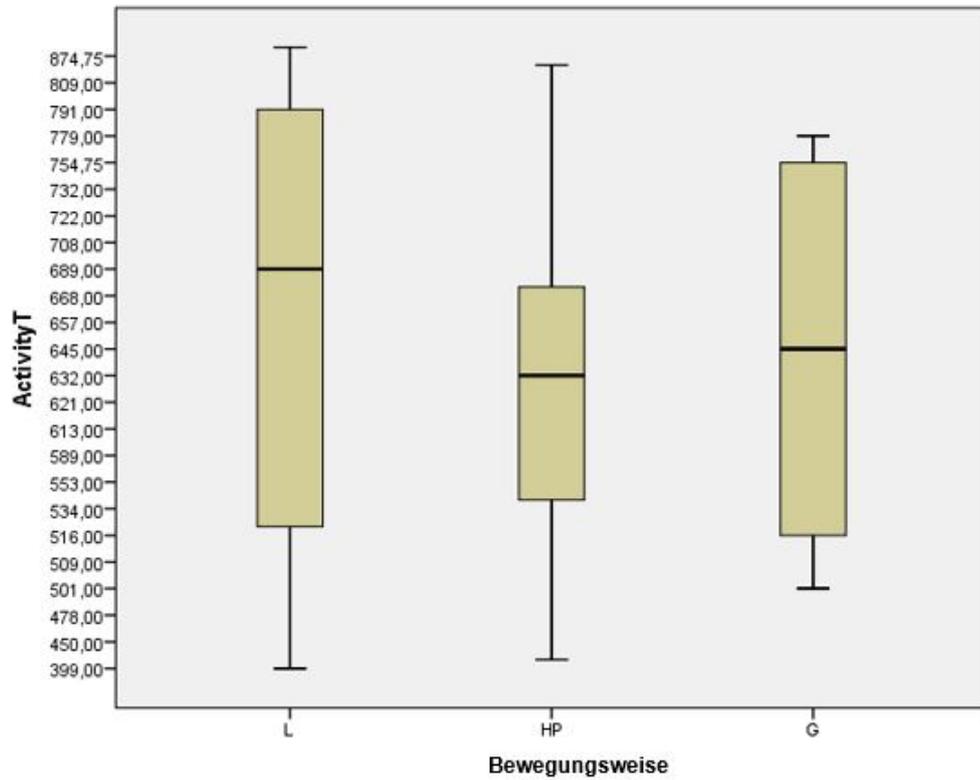


Abb. 19: Activity in den einzelnen Bewegungsarten im Trab (L = Longe; HP = Halle/Platz; G = Gelände) (Median, 75/25-Perzentile, 5/95-Perzentile)

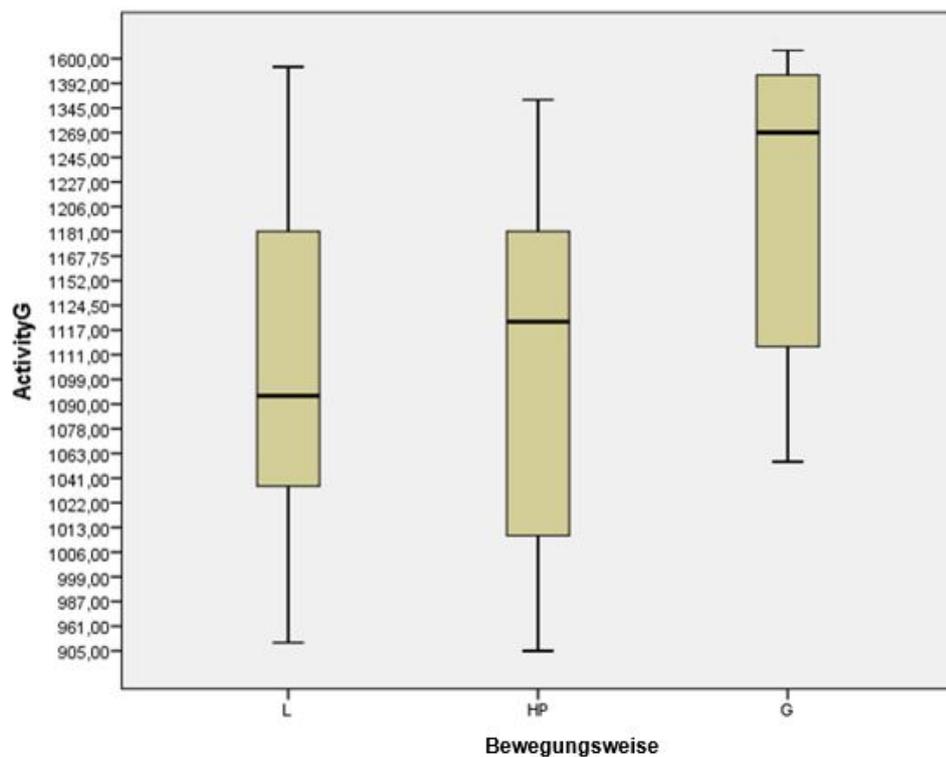


Abb. 20: Activity in den einzelnen Bewegungsarten im Galopp (L = Longe; HP = Halle/Platz; G = Gelände) (Median, 75/25-Perzentile, 5/95-Perzentile)

V. Diskussion

Herzfrequenzen und Geschwindigkeiten werden schon lange zum Beurteilen von Arbeitsleistungen und Ausdauer von Pferden verwendet. Viele Autoren, haben sich damit befasst und unterschiedliche Studien hierzu herausgebracht (VOSSWINKEL, 2010; EVANS et al., 1988; KUBO et al., 1974; EHRLEIN et al., 1973). Auch bzgl. Trittfrequenzen und –längen, sowie Bewegungsanalysen und Gangarten bezogen auf die Leistungsfähigkeiten sind für eine Leistungsbeurteilung in verschiedenen Studien herangezogen und als ein guter Indikator hierfür beschrieben worden (TAYLOR et al., 1982; HEGLUND et al., 1988; PREUSCHOFT et al., 1994). Es handelte sich jedoch in den meisten Fällen um Studien mit standardisierten Verfahren. Die Untersuchungen, die von einigen Autoren im Feld gemacht wurden beschränkten sich auf Rennpferde oder Vielseitigkeitspferde (HARBIG, 2006; UHDE, 2009; HEBENBROCK, 2005) und daher stellt sich die Frage, inwiefern man die Ergebnisse solcher Studien auf Freizeitpferde mit unterschiedlichen Trainingszuständen und welche auf unterschiedliche Art und Weise bewegt werden, reproduzieren kann.

Ziel des vorliegenden Feldversuches war es, anhand von Untersuchungen zu Herzfrequenzen, Schrittlängen, Geschwindigkeiten und Aktivitätsmessungen von Ponys, Kleinpferden und Großpferden in unterschiedlichen Bewegungsweisen (Longe, geritten in Bahn oder Gelände, gefahren und bewegt in der Führanlage) eine Aussage über den erbrachten Trainingsaufwand machen zu können und wie dies von der Körpergröße und Körpermasse des Individuums abhängt. Dies soll in weiterer Folge helfen, anhand von Besitzeraussagen über die Menge und vor allem die Art und Weise des erbrachten Trainings von Ponys und Pferden, herauszufinden, welche Leistung das Pony oder Pferd tatsächlich erbringt, um in Folge dessen eine individuelle Ernährungs- und Fütterungsempfehlung abgeben zu können.

5.1. Diskussion der Methoden

Durch die hohe Bandbreite der bei dieser Studie eingesetzten Ponys und Pferde, vom Shetland-Pony, über Haflinger, Norweger, Welsh Pony, Vollblütern, leichten und schweren Warmblütern, sowie großen schweren Kaltblütern, vom „Rentner auf der Weide“, über das regelmäßig gerittene Freizeitpferd bis hin zum anspruchsvoll gerittenem „Hochleistungspferd“ konnte man einen guten Überblick über die unterschiedlichen Pferdetypen und deren Trainingszustände erhalten.

Aufgrund der unterschiedlichen Varianten der Bewegung „longiert“, „geritten in der Bahn“ und „geritten im Gelände“, sowie vereinzelt „gefahren“ und „bewegt in der Führanlage“ war eine Analyse der einzelnen Probanden in unterschiedlichen Gangarten und unter verschiedenen Bedingungen möglich.

Bei einer Feldstudie wie der vorliegenden Arbeit ist eine Standardisierung der Bedingungen, wie z.B. Temperatur, Bodenverhältnisse oder Trainingszustand der Pferde unmöglich. Es ist aber trotzdem möglich, aus den erhobenen Daten Schlüsse zur praktischen Bedeutung der Variationsfaktoren zu ziehen. So stellt sich beispielsweise die Frage, ob Bodenverhältnisse oder auch Erregung unter Praxisbedingungen eine wesentliche Rolle spielen. Abb. 21 zeigt die Beziehungen zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz der Klein- und Großpferde nur beim Reiten ohne Sprünge. Von drei Ausreißern abgesehen, die eine auffallend hohe Herzfrequenz aufwiesen, bestand eine sehr enge Beziehung zwischen Herzfrequenz und Geschwindigkeit. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass die Variation der anderen Faktoren unter Praxisbedingungen im Vergleich zum Einfluss der Geschwindigkeit gering ist. Dies ist leicht erklärlich, da in aller Regel extreme Bodenverhältnisse wie z.B. sehr tiefer Boden nicht dauerhaft akzeptiert werden und auch im Gelände nur bei annehmbaren Bodenverhältnissen geritten wird. Auch die Temperaturen variierten nur wenig im Vergleich zum Temperaturvergleich, der von Pferden gut toleriert wird. Es ist bekannt, dass klimatische Bedingungen die Leistungsfähigkeit eines Pferdes direkt beeinflussen (CLAYTON, 1991; VON ENGELHARDT, 2004). So können Pferde eine hohe Luftfeuchtigkeit bei niedrigen Temperaturen gut vertragen, wohingegen sie bei hohen

Temperaturen durch eine Erhöhung der Körperinnentemperatur zu einem erheblichen Anstieg der Leistung führt. Durch Flüssigkeits- und folglich Elektrolytverluste kommt es kompensatorisch zu einem Anstieg der Herzfrequenz (JEFFCOTT et al., 1999).

Die drei Ausreißer aus Abb. 21 können eindeutig einer erregenden Situation zugeordnet werden. So befand sich ein Pferd, das sehr ungern allein in der Halle ist, alleine in der Bahn. In einem anderen Fall musste ein Pferd, das bevorzugt an der Tête geht, in der Abteilung hinten galoppieren. Bei den anderen Pferden handelte es sich um Ritte, die sie gewohnheitsmäßig absolvieren, ohne besondere Erregung. Die Reiter hatten keine Auseinandersetzungen mit den Pferden und es wurden keine unphysiologischen Körperhaltungen (wie z.B. starke Überzäumung oder Bewegungen, wie ständiges Seitwärts mit Abstellung um 45 Grad) verlangt. In aller Regel wurde über längere Strecken weder ein Galopp noch ein Trab abgefragt, dessen Geschwindigkeit deutlich aus dem von WICKLER et al. (2003) genannten Bereich der „EOTS“ (siehe Kapitel 2.1.1.) herausfiel. Unter diesen Umständen ist offensichtlich die Geschwindigkeit der wichtigste Faktor.

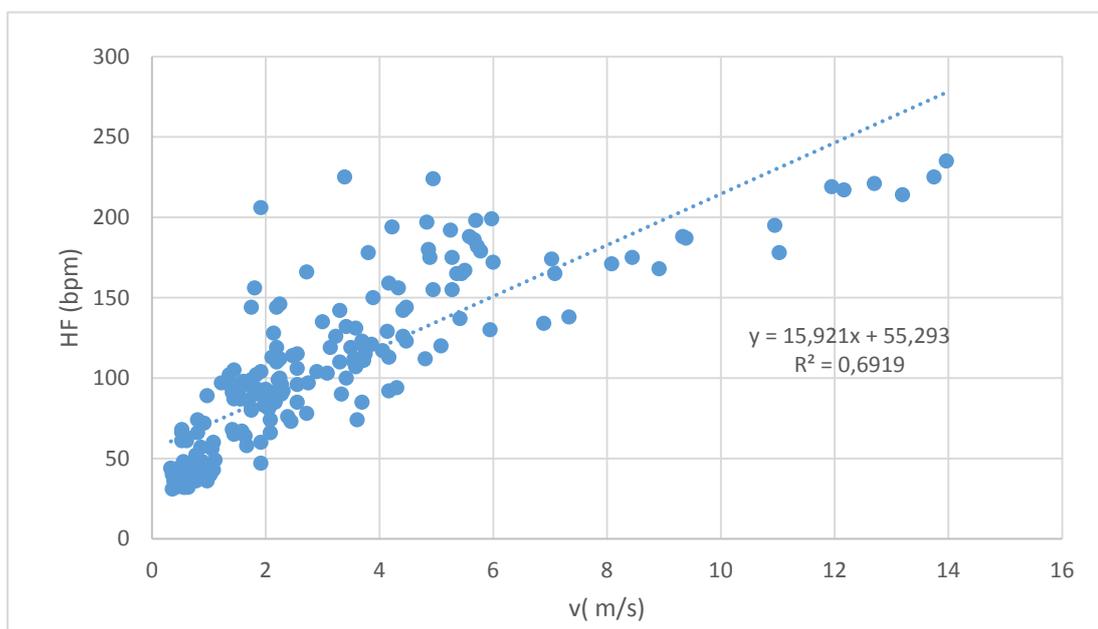


Abb. 21: Beziehung von Herzfrequenzen (HF in bpm) und Geschwindigkeiten (v in m/s) von Groß-, Kleinpferden und Ponys während des Reitens in der Bahn und im Gelände

Ein weiterer Faktor, der sich eindeutig zuordnen ließ, war die Bewegung an der Longe. Der Einfluss der engen Kreisbewegung (EHRLEIN et al., 1972) konnte auch unter Feldbedingungen eindeutig gezeigt werden (siehe Kapitel 2.3.2.). Es ist zu erwarten, dass sich ein derartiger Effekt auch durch kleinere Reitbahnen ergibt. Allerdings waren die Größen der Bahnen in der vorliegenden Studie immer mindestens 20*40m. Dies bedeutet, dass sich die Daten aus vorliegendem Versuch sehr wohl für die Ernährungsberatung in der Praxis nutzen lassen. Außerdem hat eine Feldstudie trotz einiger genannter Schwierigkeiten in der Dateninterpretation, den Vorteil, dass eine für Pferd und Reiter realistische Beanspruchung stattfinden kann und die doch wichtigen variierenden Einflüsse in die Studie mit einbezogen werden können.

Für das Training und die Bewertung von Leistung gelten die leistungsphysiologischen Werte (HF, Laktat, Atemkapazität und Muskelenzyme) als die Werte mit dem größten Einfluss (CLAYTON, 1991; ELLENDORF, 2011). Dennoch dürfen laut MILL et al. (1996) Schrittfrequenz und Schrittlänge in Abhängigkeit von der zurückgelegten Geschwindigkeit nicht außer Acht gelassen werden hinsichtlich einer Bewertung der Mobilisierung von Leistungsreserven. Diese stehen in engster Beziehung zur Ventilation (COOK, 1989). Der Autor erläuterte, dass Schrittfrequenz mit Atemfrequenz und Schrittlänge mit Atemzugvolumen direkt synchronisiert sind.

Zur Aktivitätsermittlung und zum Zählen der Schrittfrequenz wurde in der vorliegenden Studie ein Actical verwendet, das ursprünglich für den menschlichen Gebrauch produziert wurde. Laut Hersteller eignet es sich beim Menschen sehr gut, um den Bruttoenergieverbrauch, Kalorienverbrauch und den Energieverbrauch in der Bewegung zu beurteilen. Laut ROSENKRANZ et al. (2011) stellt es – im Vergleich mit anderen Pedometern – eine valide Methode dar, um die physische Aktivität anhand von Schritten bei Kindern zu ermitteln. HEIL et al. (2006) bestätigte dies ebenfalls für Erwachsene, sofern der Actical am Knöchel und nicht am Handgelenk befestigt ist. Beim Pferd wurden zu dieser Methodik bisher, nach bestem Wissen der Autorin, keine Ergebnisse publiziert. Eine Validierung wurde nicht vorgenommen. Es ist jedoch auffällig, dass Herzfrequenzen mit Aktivitätsmessung mittels dem Actical besser korrelierten als mit der Geschwindigkeit, insbesondere beim Longieren (Abb. 22 und 23).

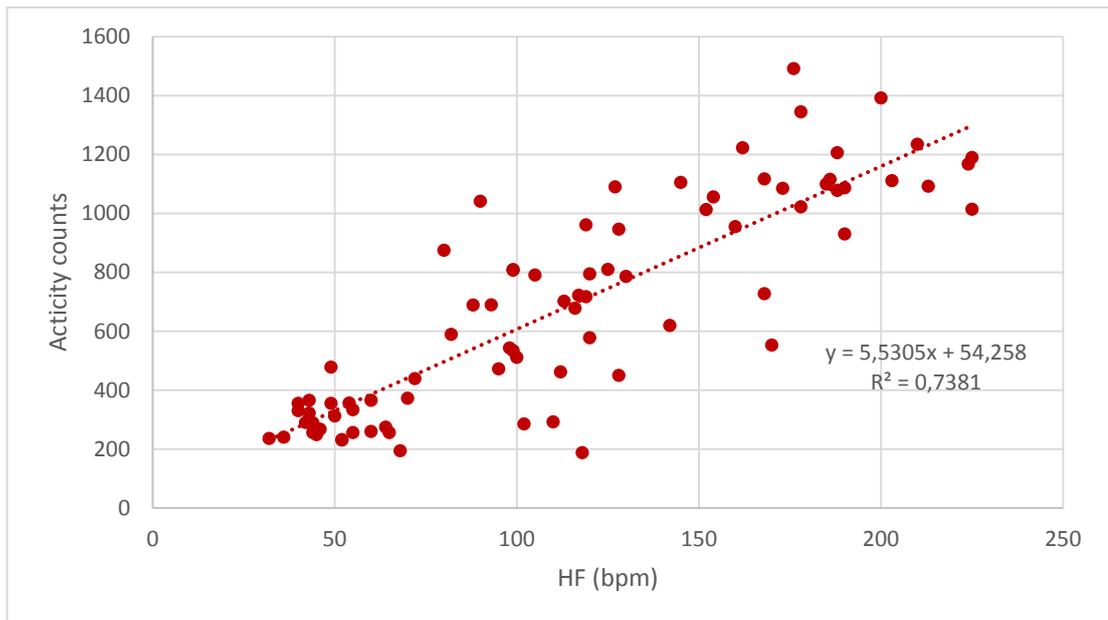


Abb. 22: Beziehung von Activity counts (in counts/s) und Herzfrequenz (HF in bpm) longierter Probanden jeder Körpergröße

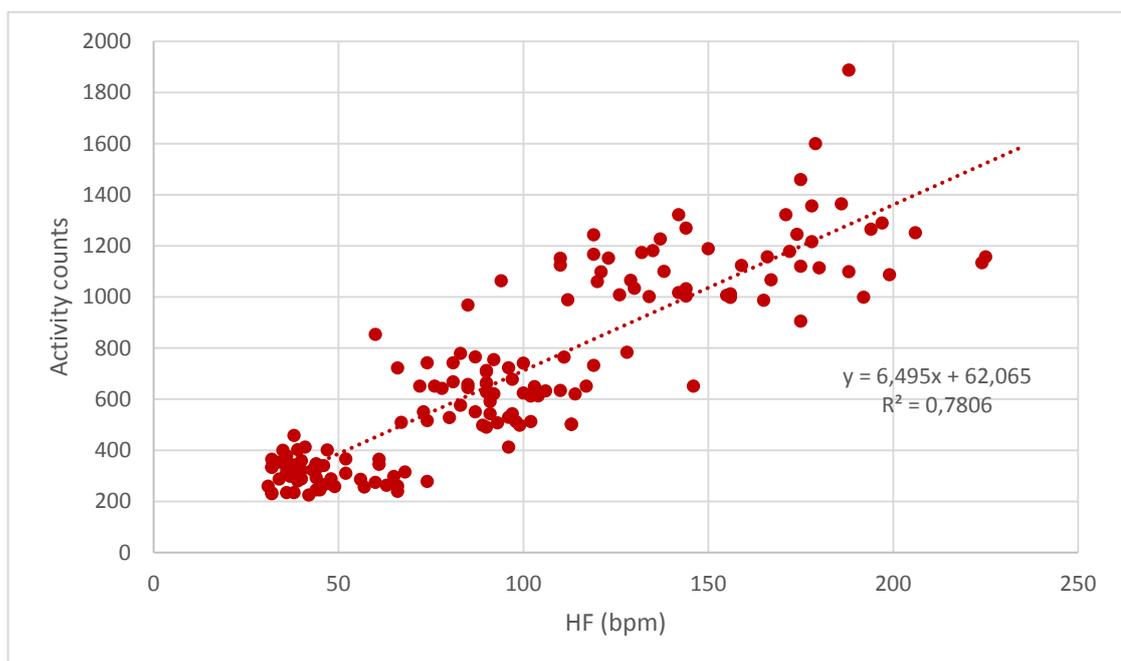


Abb. 23: Beziehung von Activity counts (in counts/s) und Herzfrequenz (HF in bpm) gerittener Probanden jeder Körpergröße in Bahn und Gelände

Es zeigte sich also, dass je höher die Aktivität wurde, desto höher wurde auch die Herzfrequenz. Eine gültige Aussage über den Energieverbrauch mit Hilfe des Acticals wurde in diesem Versuch dennoch nicht getroffen und bedarf weiterer wissenschaftlicher Versuche. Dies war jedoch nicht die Zielsetzung der eigenen Untersuchungen. Auch im Hinblick auf praktische Gegebenheiten ist ein Pulsmesser zur Bewertung des Energieverbrauchs sinnvoller, als die Schrittzähler, zumal es hierzu bereits Angaben zur Transformation in den tatsächlichen Energieverbrauch gibt.

Zur Schätzung der Schrittlänge haben sich die Acticals in Kombination mit GPS-Geschwindigkeitsmessung allerdings wenig bewährt, es konnten nur Differenzen festgestellt werden, wenn sehr große Unterschiede in der Schrittlänge bestanden.

Die Herzfrequenz in Ruhe wurde bei allen Probanden von derselben Person mittels Stethoskop gemessen und auf eine ruhige, dem Proband gewohnte Umgebung wurde geachtet. Deshalb kann man von verlässlichen und vergleichbaren Werten für die vorliegende Studie ausgehen. Zeigte ein Pferd eine sehr hohe Herzfrequenz in Ruhe, wurde dies der Tatsache zugesprochen, dass der Einsatz eines Stethoskops für den Probanden ungewohnt war und folglich zu einer Erhöhung der Herzfrequenz führte. Dieses „Problem“ wurde umgangen, indem länger abgehört wurde und erst bei Bemerkungen einer Beruhigung die Ruheherzfrequenz erfasst wurde.

Im Humanbereich wird die Herzfrequenz schon lange als Indikator für Trainings- und Wettkampfbelastungen herangezogen (SCHNABEL et al., 1997) und auch im Pferdesport erlangt dies immer mehr an Bedeutung (EHRLEIN et al, 1970; HARBIG, 2006; UHDE, 2009). Die Untersuchungen fanden bisher allerdings hauptsächlich im Rennsport und in der Vielseitigkeit statt, im Freizeitbereich wurde dies bisher kaum für wissenschaftliche Zwecke genutzt.

Laut der Firma „POLAR Elektro GmbH Deutschland“ eignen sich die „POLAR V800“ sehr gut für Herzfrequenzmessungen bei Pferden. Alle Elektroden, sowie Sender und Empfänger wurden nach Anleitung durch den Hersteller am Pferd angebracht. Der in diesem Versuche verwendete POLAR-Gurt wurde

schon für andere Messungen verwendet und erwies sich, wie auch in der vorliegenden Studie, trotz einiger Ausfälle als verlässliche Maßnahme (UHDE, 2009; HARBIG, 2006; HEBENBROCK, 2005). Auch SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN et al. (1988) bestätigen eine präzise Messung von Herzfrequenzen mittels dem POLAR-System in unterschiedlichen Bedingungen. ILLE et al. (2014) fanden in einem Versuch heraus, dass ein POLAR-System genauso adäquate Ergebnisse bringt hinsichtlich der Herzfrequenz, wie ein EKG, solange über einen längeren Zeitraum beprobt wird. Allerdings fanden diese Untersuchungen in Ruhe und nicht unter Belastung statt. Dies konnte ebenfalls von JANZEKOVIC et al. (2010) bestätigt werden.

Wie zu erwarten war, kam es bei den Aufzeichnungen der Herzfrequenzen auch in dieser Studie während der Bewegung zu einigen Ausfällen – manchmal nur von einigen Sekunden, manchmal auch von längeren Zeitsequenzen. Ausfälle, die länger als ein paar Sekunden andauerten, wurden in vorliegendem Versuch nicht in eine Auswertung miteinbezogen. Auch JANZEKOVIC et al. (2010) beschrieben, dass es trotz sorgfältiger Positionierung und Befeuchtung der Elektroden immer wieder zu Ausfällen des Messsignals kam, welche sich aber bei der Produktion von Schweiß reduzierten.

Grundsätzlich konnten in allen drei Versuchsgruppen Herzfrequenzbereiche im Schritt beobachtet werden, die mit dem Bereich übereinstimmt, den CLAYTON (1991) für Pferde im Schritt angibt ($v \leq 2,1$ m/s; HF = 50-90 bpm). Die einzelnen zu beobachteten Ausreißer sind vermutlich durch die äußeren Einflüsse zu erklären. So ist die Herzfrequenz bei langsamerem Tempo empfindlicher gegenüber Umgebungsreizen und plötzlichen Veränderungen (ELLENDORF, 2011). Dagegen spielen ab einer Herzfrequenz von 150 bpm die psychogenen Faktoren keine große Rolle mehr (VON ENGELHARDT et al., 2004).

Auch im Trab konnte die Vorgabe der Herzfrequenzzonen von CLAYTON (1991) bestätigt werden, wonach sich bei Geschwindigkeiten von 2,1 bis 5 m/s Herzfrequenzen von 80 bis 150 bpm zeigen. Auch hier sind die Ausreißer durch die von anderen Autoren genannten Einflüsse, wie Umgebungsreize, Rasse etc. zu erklären (HARBIG, 2006; UHDE, 2009).

Mit Ausnahme von einigen Probanden der Gruppe der Großpferde, kann man davon ausgehen, dass im Galopp nicht die maximalen Herzfrequenzen (HF_{\max}) erreicht wurden. Dadurch kann man die deutlich höhere mittlere Herzfrequenz der Großpferde, im Vergleich zu den Kleinpferden und Ponys, erklären. Laut CLAYTON (1991) erreichen Pferde ihre maximale Herzfrequenz (bis 250 bpm) dann, wenn sie im Renngalopp laufen (5,8 bis 8,3 m/s). Dies wurde in der vorliegenden Studie, wie bereits erwähnt, nur von einigen der Großpferde erreicht.

Die Körpermassebestimmungen wurden bei allen Pferden mit einem Körperumfang >365 cm nach demselben Prinzip durchgeführt und demnach müssen ggf. die Abweichungen hinsichtlich der Messgenauigkeit nicht berücksichtigt werden. Laut SCHRAMME (2003) kommt es bei der verwendeten Formel für diese Pferde zu Abweichungen von ± 20 kg, was durchaus als minimale Abweichung gesehen werden kann.

Die Körpermassen der Ponys dieser Studie, deren Körperumfang kleiner als der von SCHRAMME (2003) genannte war, wurden alle mit der Formel von HOIS (2004) berechnet, bei der laut dem Autor ebenfalls von einer Abweichung von ± 20 kg ausgegangen werden kann. Daher können evtl. Abweichungen in der eigenen Studie bei allen Probanden, unabhängig anhand welcher Formel sie „ausgemessen“ wurden, toleriert werden.

Die Einteilung in Pony, Klein- und Großpferd erlaubt im Bereich der größeren Pferde eine relative feine Unterteilung, bei den Ponys dagegen sind Tiere zwischen 1,08 m und 1,48 m in einer Gruppe. Eine weitere Unterteilung wäre grundsätzlich sinnvoll. Einschränkungen waren hierbei die Gesamtzahl der Ponys, aber auch die Rittigkeit. Da sehr kleine Ponys im Allgemeinen nur von Kindern geritten werden können, ist es schwierig zuzuordnen, was durch die Größe und was evtl. durch das Reiten bedingt ist.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

Die in dieser Studie ermittelten Ruheherzfrequenzen stimmen mit den Vorgaben von anderen Autoren (VON ENGELHARDT et al., 2004; UHDE, 2009; BAUMGARTNER et al., 2005) überein. Im Gegensatz zu CLAYTON (1991), die von höheren Ruheherzfrequenzen bei kleineren Individuen ausgeht, konnte in diesem Versuch keine direkte Abhängigkeit zu der Körpergröße der Probanden gefunden werden. Allerdings war zu erkennen, dass bei Großpferden der geringste Ruhewert ermittelt werden konnte, was wiederum für einen Einfluss der Körpergröße sprechen könnte. Die signifikante negative Beziehung des Kaliberindex mit der Herzfrequenz in Ruhe in der Gruppe der Klein- und Großpferde, bei denen niedrigere Herzfrequenzen bei schwereren Pferden zu sehen waren, könnte auch damit zusammenhängen, dass schwerere Pferde oft ein ruhigeres Temperament haben.

Auf die Annahme verschiedener Autoren hinsichtlich einer Rassedisposition (UHDE, 2009; HARBIG, 2006; IHMELS, 2012) oder des Alters (MC KEEVER et al., 1997) und des Geschlechtes (HARBIG, 2006) in Bezug auf die Ruheherzfrequenz kann in der vorliegenden Studie nicht konkret eingegangen werden, da hierfür die Tierzahlen in den verschiedenen Gruppen nicht ausreichten.

Während der Bewegung zeigte sich, dass die Herzfrequenz mit der Geschwindigkeit in signifikantem Zusammenhang steht. So kam es bei einem Anstieg der Geschwindigkeit durchwegs zu einer Erhöhung der Herzfrequenz. Die von ELLENDORF (2011) genannte „Linearität“ konnte hier entsprechend ebenfalls beobachtet werden. Dies ist nicht überraschend, da wie oben ausgeführt, die Pferde in einem der Gangart entsprechenden Tempo bewegt wurden und sich die Boden- und Wetterverhältnisse wenig unterschieden.

Ausnahme hiervon war die Bewegung an der Longe. Hierbei wurden durchweg im Verhältnis zu Geschwindigkeit höhere Herzfrequenzen gemessen (Abb. 24 und 25).

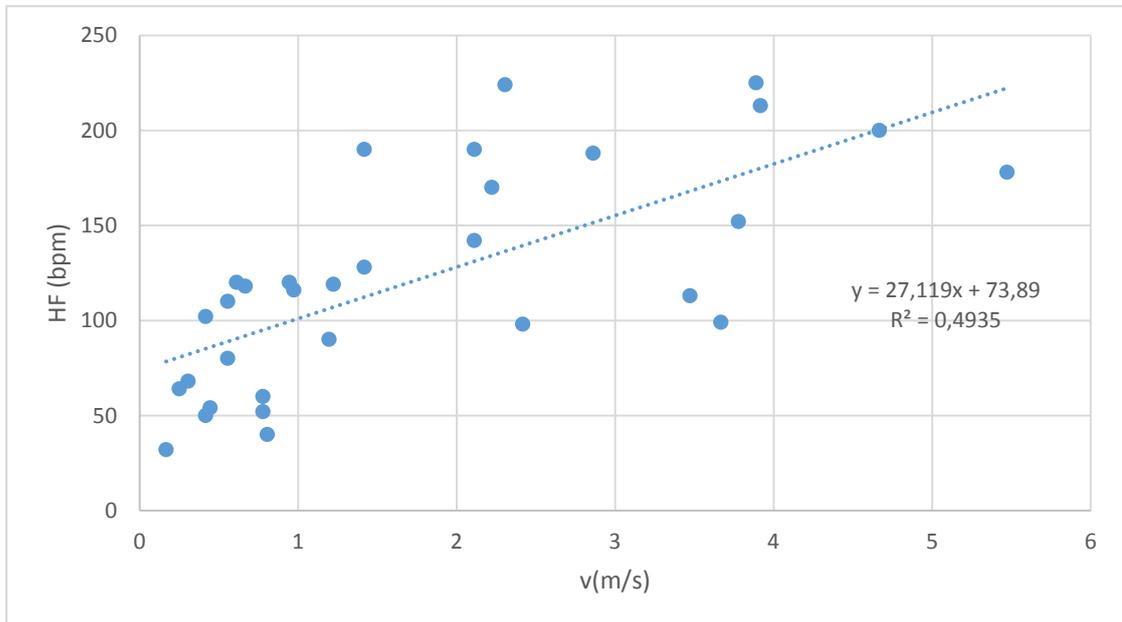


Abb. 24: Beziehung zwischen Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) longierter Ponys

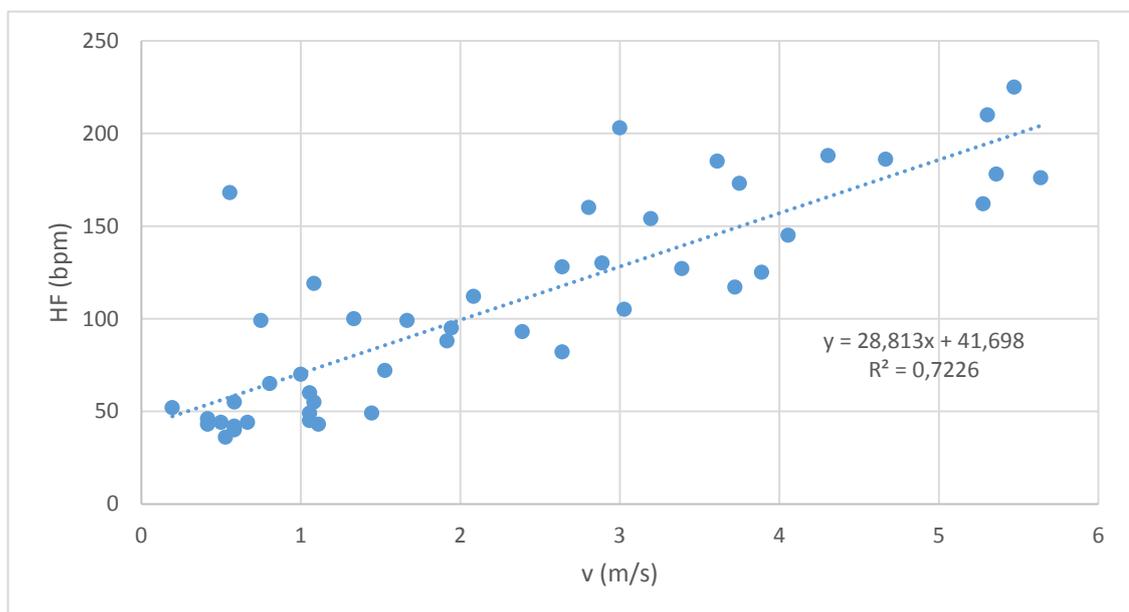


Abb. 25: Beziehung zwischen Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) longierter Klein- und Großpferde

Dies ist ebenfalls nicht überraschend und bestätigte ältere Untersuchungen von EHRLEIN et al. (1970). Einerseits stellt das ständige Wenden eine zusätzliche Anstrengung dar (Arbeit gegen die Zentrifugalkraft), zum anderen war die Trittlänge im Trab und die Länge der Galoppsprünge (Abb. 26) deutlich reduziert, so dass pro Streckeneinheit mehr Tritte oder Sprünge erforderlich wurden, was nach TAYLOR et al. (1982) den Energieverbrauch erhöht. Dies erklärt, warum die Aktivitätsmessung hier im Verhältnis zur Geschwindigkeit höhere Werte zeigte, als beim Reiten (siehe Abb. 22 und 23). Die Aktivitätsmessung und die Herzfrequenz korrelierten dabei unabhängig von der Art der Bewegung, was für weitere Studien methodisch von Bedeutung sein kann.

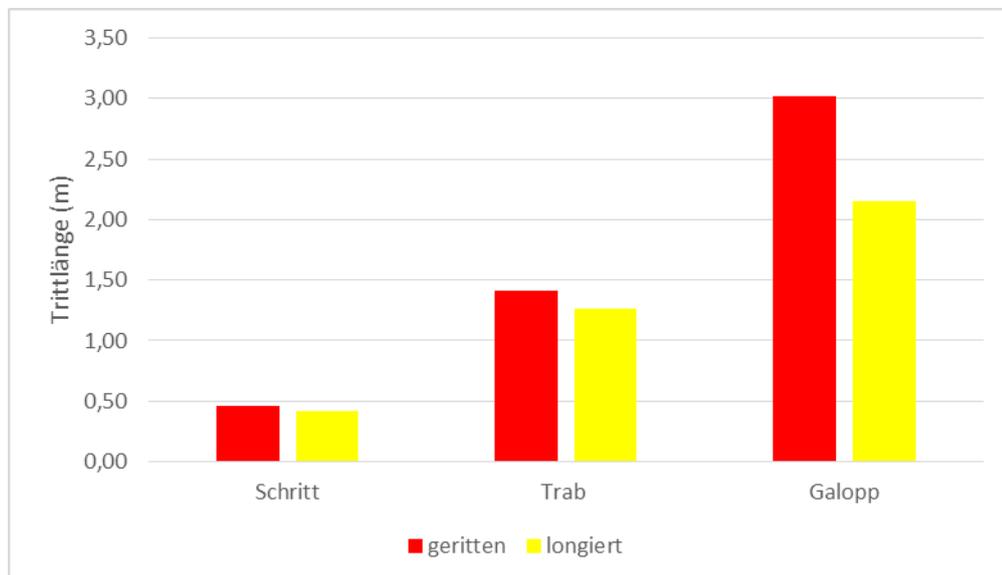


Abb. 26: Vergleich der Mittelwerte der Trittlängen (m) gerittener und longierter Probanden in Schritt, Trab und Galopp

In der Reitlehre wird schon seit langem dringend geraten das Longieren zeitlich deutlich zu begrenzen, was hierdurch wieder einmal bestätigt wird. Insbesondere das Verkürzen der Galoppsprünge ohne Versammlung ist wenig erwünscht. Das Longieren soll lediglich als gelegentliche Hilfe dienen, die „bessere Versammlung“ zu trainieren oder bei jungen Pferden das „Gewöhnen“ an Sattel und Reiter zu erleichtern. Außerdem sollte es nur von erfahrenen und einfühlsamen Personen durchgeführt werden, um falsche Belastung, z.B. durch sehr eilige und kurze Tritte, zu vermeiden (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG e.V., 1999).

Beim Vergleich einzelner Individuen mit sich selber, auf unterschiedliche Weise bewegt, zeigte sich in vorliegender Studie, dass bei allen Probanden die Herzfrequenz mit steigender Geschwindigkeit zunahm und die höchsten Herzfrequenzen in Relation zur Geschwindigkeit ausnahmslos dann gefunden wurden, wenn die Pferde/Ponys longiert wurden. Das bestätigt erneut die Annahme von EHRLEIN et al. (1973), dass es einen erheblichen Einfluss der Zirkelgröße zu geben scheint. Auch HARRIS et al. (2007) fanden heraus, dass Geschwindigkeit und Herzfrequenz sowohl während des Reitens als auch während des Longierens signifikant korrelierten. Die V_{140} (= die Geschwindigkeit bei einer Herzfrequenz von 140 bpm) war hier bei den gerittenen Pferden signifikant höher als bei den longierten Probanden, was einen Einfluss der Zirkelgröße auf die Herzfrequenz erneut bestätigt.

Die Beziehungen zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz waren für die Pferdegruppen unterschiedlicher Größe nicht gleich, sondern bei den kleineren Pferden stieg die Herzfrequenz steiler an, insbesondere bei den Ponys (Abb. 27).

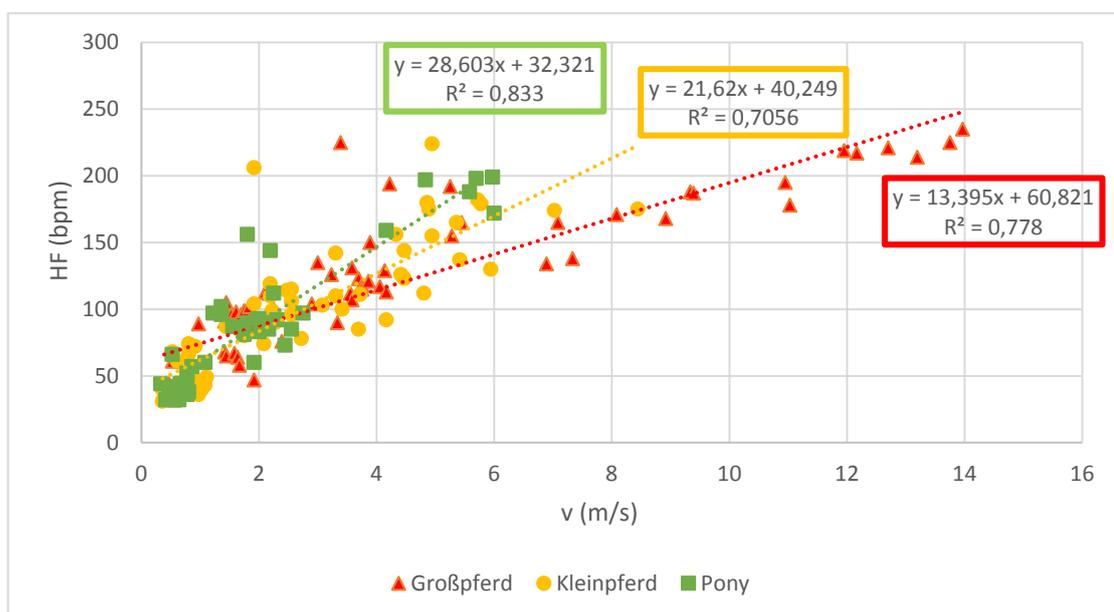


Abb. 27: Beziehung zwischen Herzfrequenz (HF in bpm) und Geschwindigkeit (v in m/s) gerittener Ponys ; gerittener Kleinpferde und gerittener Großpferde sowohl in Gelände, als auch in der Bahn

Es stellt sich daher die Frage nach dem Energieverbrauch und den allometrischen Gegebenheiten während der Bewegung. Das Herzschlagvolumen ist laut HOLT et al. (1968) linear abhängig von der Körpermasse (bei in etwa normalgewichtigen Individuen). Da die Pulsfrequenz ein Maß für die Sauerstoffaufnahme ist, lässt sich daraus die Vermutung ableiten, dass der Sauerstoffverbrauch des Körpers bei gleicher Pulsfrequenz, bezogen auf die Körpermasse, bei kleinen und großen Pferden vergleichbar ist. Dabei werden zunächst einmal Effekte der Rasse und des Trainingszustandes auf das Herzschlagvolumen außer Acht gelassen (siehe Kapitel 2.3.5.1.). Von wenigen Ausnahmen abgesehen handelte es sich in der vorliegende Studie ja auch um mäßig trainierte Pferde mit moderatem Vollblutanteil, so dass kalibrige, untrainierte Ponys nicht mit extrem trainierten Vollbluttypen verglichen wurden. Demnach dürfte der Energieverbrauch, der anhand des Pulses nach GfE (2014) geschätzt wird, bei Ponys und Pferden gleich hoch sein. Allerdings müssen die Geschwindigkeiten bei kleinen Pferden anders zugeordnet werden (Abb. 24 und 27; Tab. 27). Bei gleicher Geschwindigkeit im Trab und Galopp benötigt das Pony dann mehr Energie pro kg KM als das Großpferd. Dies entspricht den Ausführungen von TAYLOR et al. (1984) wonach die Anzahl der Schritte, Tritte oder Sprünge zum Zurücklegen einer bestimmten Strecke großen Einfluss auf den Energieverbrauch hat.

Demnach war die Empfehlung der GfE (2014), bei Ponys den Energieverbrauch für Arbeit auf die metabolische Körpermasse zu beziehen, prinzipiell sinnvoll, insbesondere im Trab und Galopp. Dies wird umso wichtiger, je höher die Geschwindigkeit wird (Tab. 27).

Tab. 27: Beispiele für Energieberechnung für Pferde und Ponys, geritten in der Bahn oder dem Gelände, anhand der gewonnenen Daten aus vorliegender Studie und der Empfehlungen aus GfE (2014) und NRC (2007)

Geschwindigkeit (m/s)	anhand Regression aus Abb. 24 und 27		nach NRC (2007)		wenn 1000ml O ₂ = 4,86 kcal (NRC, 2007)	
	HF (bpm) Pony	HF (bpm) Pferd	O ₂ -Verbrauch (ml/kg KM/min) Pony	O ₂ -Verbrauch (ml/kg KM/min) Pferd	Energieverbrauch (kJ/min/kg KM) Pony	Energieverbrauch (kJ/min/kg KM) Pferd
1	63	69	9,79	11,86	0,20	0,24
2	88	84	19,92	17,75	0,41	0,36
3	114	98	33,74	24,86	0,69	0,51
4	140	113	51,34	33,20	1,04	0,68
5	166	128	72,75	42,80	1,48	0,87
6	191	143	98,03	53,66	1,99	1,09
7	-	158	-	65,79	-	1,34
8	-	173	-	79,20	-	1,61
9	-	187	-	93,89	-	1,91
10	-	202	-	109,87	-	2,23

Die GfE (2014) schätzte die ME unter üblichen Reitbahnbedingungen für Pferde 0,19 kJ/min/kg KM für Schritt, 0,48 kJ/min/kg KM für Trab und 1,92 kJ/min/kg KM für Galopp.

Nach den eigenen Untersuchungen kommt man für die Geschwindigkeiten und Herzfrequenzen eines Pferdes, geritten in der Bahn, berechnet nach den Beispielen aus Tab 27 in Schritt, Trab und Galopp für Großpferde und Ponys auf folgende Werte, dagegen für das Gelände auf höhere Geschwindigkeiten und entsprechend höheren Verbrauch (Tab. 28).

Tab. 28: Energieverbrauchsberechnungen (in kJ/min/kg KM) für Pferde und Ponys, geritten in Bahn und Gelände, in Schritt, Trab und Galopp anhand gewonnener Daten aus vorliegender Studie

Gangart	Pony				Großpferd			
	Bahn		Gelände		Bahn		Gelände	
	Geschwindigkeit (m/s)	Energieverbrauch (kJ/min/kg KM)	Geschwindigkeit (m/s)	Energieverbrauch (kJ/min/kg KM)	Geschwindigkeit (m/s)	Energieverbrauch (kJ/min/kg KM)	Geschwindigkeit (m/s)	Energieverbrauch (kJ/min/kg KM)
Schritt	1,10	0,20	1,10	0,25	1,40	0,30	1,90	0,35
Trab	2,00	0,41	2,40	0,55	1,70	0,34	3,30	0,55
Galopp	3,80	1,00	5,70	1,90	5,00	0,87	10,70	2,30

Einige wenige Probanden aus der Gruppe der Großpferde konnten zusätzlich in der Führanlage mit Messgeräten bestückt und ausgewertet werden. Allerdings war hier der Datenpool zu gering, um valide Aussagen treffen zu können. Auffällig aber war, dass sich die Herzfrequenzen der einzelnen Individuen im Trab deutlich unterschieden, obwohl sie generell die Strecke in der Führanlage mit deutlich langsamerer Geschwindigkeit, als an der Longe zurücklegten. Hierzu ist anzumerken, dass die oben genannten Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich der Schrittlängen diese Unterschiede erklären können.

Neben der Führanlage, gab es noch einige Individuen (Gruppe Pony, Gruppe Großpferd), die vor eine Kutsche gespannt und mit Testequipment ausgestattet wurden. Diese Individuen wurden ausschließlich im Gelände gefahren, zum Teil einspännig, zum Teil auch zweispännig. Man konnte erkennen, dass die Herzfrequenzen in allen beprobten Gangarten mit denen der gerittenen Pferde im Gelände vergleichbar war, was sicherlich auch den ähnlichen Umgebungseinflüssen zuzuschreiben ist. Generell zeigte sich, dass hinsichtlich der Herzfrequenz im Schritt, die Ponys niedrigere Herzfrequenzen aufwiesen, als die Großpferde, im Trab waren die Unterschiede bzgl. der Herzfrequenz der unterschiedlich großen Tiere nur gering. Dies spricht gegen die Aussage von SCHWARZWALDT et al. (2012), dass kleinere Individuen höhere Herzfrequenzen als die größeren aufweisen. Allerdings war der Datenpool gefahrener Individuen in der vorliegenden Studie so gering, dass keine valide Aussage diesbezüglich getroffen werden konnte. Es ist dennoch bereits bekannt, dass Pferde, die Last ziehen, anderen Kräften und Energieverbräuchen ausgesetzt sind, als solche, die Kraft tragen (BARTH et al., 1977; HINTZ et al., 1971; PAGAN et al., 1985). Diese Unterschiede waren nicht Gegenstand der eigenen Studie. Für den Energieverbrauch in der Ernährungsberatung kann jedoch festgehalten werden, dass das Fahren im Gelände dem Ausritt ähnlich ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für eine genaue Einschätzung des Energieverbrauchs bei Ponys und Pferden während der Bewegung die Herzfrequenz oder Geschwindigkeit unter Praxisbedingungen sehr gut herangezogen werden können, was bereits in voran gegangenen Studien gezeigt wurde. Da Smartphones mit hierfür geeigneten Jogging-Apps fast

jedermann zur Verfügung stehen, bietet sich diese Methode zur Ermittlung der Dauer und Geschwindigkeit der Bewegung für Freizeitreiter gut an. Folglich ist eine Datengewinnung über Geschwindigkeit (und bei Vorhandensein von HF-Messer auch über Herzfrequenzen) für Reiter und Pferdebesitzer leicht möglich und entsprechend ist eine individuelle Ernährungsberatung für Pferde und Ponys in Zukunft noch einfacher.

VI. Zusammenfassung

Untersuchungen zu Pulsfrequenz und Geschwindigkeit von Reitpferden und –ponys unter Praxisbedingungen

Caroline von Reitzenstein

Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik; Tiermedizinische Fakultät;
Ludwig-Maximilian-Universität München

In der vorliegenden Feldstudie wurden Daten zur Herzfrequenz, zur Geschwindigkeit und Aktivität mittels Schrittzähler bei Pferden, Kleinpferden und Ponys, die auf unterschiedliche Art und Weise bewegt wurden (Longe, geritten in Bahn und im Gelände, sowie vereinzelt Führanlage und vor der Kutsche) ermittelt. Ziel der Studie war einerseits allometrische Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Spezies Pferd zu verifizieren, um die Voraussetzungen für eine Extrapolation bestehender Kenntnisse über den Energieverbrauch in Abhängigkeit von Herzfrequenz und Geschwindigkeit vom Pferd auf das Pony zu ermöglichen. Andererseits sollten praxisnahe Werte zu Geschwindigkeit und Herzfrequenz ermittelt werden, um den Energiebedarf für Arbeit bei der praktischen Ernährungsberatung besser abschätzen zu können.

Für die Studie wurden von insgesamt 84 Pferden (Kleinpferde $n = 30$; Großpferd $n = 47$) und Ponys ($n = 35$) 112 Datensätze erhoben. Es wurden Körpergröße (Stockmaß), sowie Körpermasse mittels Maßband von allen Probanden ermittelt. Die einzelnen Pferde und Ponys wurden anschließend anhand ihrer Körpergröße in drei Gruppen eingeteilt (≤ 148 cm = Pony; ≤ 160 cm = Kleinpferd; > 160 cm = Großpferd). Außerdem wurde der BCS, sowie der Kaliberindex (KI) aller Pferde und Ponys erfasst. Die Probanden wurden mit Herzfrequenzgurten, GPS, sowie Acticals (zur Ermittlung von Aktivität und Schrittfrequenz) ausgestattet und wurden von ihren Besitzern auf verschiedene Art und Weise in möglichst allen Gangarten bewegt (Longe, geritten in der Bahn oder geritten im Gelände, vereinzelt Führanlage und Kutsche).

Die meisten Probanden zeigten einen BCS von 5 (58%), gefolgt von Probanden mit BCS von 6 (29,5%). BCS von 4 (6,3%) und 7 (7,%) waren nur wenig vertreten. Das leichteste Pony wog 188 kg, das schwerste Pferd hingegen 1050 kg.

Die Ruheherzfrequenzen der Ponys betragen im Mittel 36 ± 5 bpm, die der Kleinpferde 35 ± 4 bpm und die der Großpferde 35 ± 5 bpm. Der BCS zeigte keinen Einfluss auf die Ruheherzfrequenz, lediglich hinsichtlich des KI zeigte sich, dass schwerere Pferde im Mittel niedrigere Ruhe-HF aufwiesen.

Bei der HF in der Bewegung stieg bei allen Probanden die HF mit steigender Geschwindigkeit an (Tab. 29). Es ergab sich eine signifikante Beziehung ($r=0,5822$). Bei langsamerem Tempo war die Streuung um die Regressionsgerade zwischen Geschwindigkeit und Herzfrequenz höher. Zwei Faktoren erklärten einen großen Anteil der Streuung: 1. Die Pferdegröße – bei den Großpferden stieg die Regressionslinie weniger steil an, als bei den Ponys; Kleinere Pferde hatten vor allem im Trab und Galopp höhere Herzfrequenzen bei niedrigeren Geschwindigkeiten. Da das Herzschlagvolumen mit der Körpermasse linear ansteigt, ist der Sauerstoffverbrauch bezogen auf die Körpermasse bei gleichen Herzfrequenzen bei kleinen und großen Pferden vergleichbar. Entsprechend brauchen Ponys für die gleichen Geschwindigkeiten in Trab und Galopp mehr Energie pro kg Körpermasse als Großpferde.

2. Die Art der Bewegung - während des Longierens war die Herzfrequenz in Relation zur Geschwindigkeit höher. Dabei war die durchschnittliche Geschwindigkeit in derselben Gangart beim Longieren langsamer, als während des Reitens. Im Gegensatz zur Geschwindigkeit korrelierte die Aktivität unabhängig von Körpergröße und Bewegungsart sehr eng mit der Herzfrequenz (Tab. 29, $y=5,5305x + 54,258$; $r^2= 0,7281$). Da die Aktivität der Schritt-, Tritt- oder Sprungzahl pro Zeiteinheit entspricht, zeigt dieser Befund, dass vor allem bei den Gangarten mit Schwebephase auch innerhalb der Spezies Pferd die Zahl der Bewegungszyklen pro Streckeneinheit eine wesentliche Bedeutung für den Energieverbrauch hat. Es lässt sich aus Aktivität und Geschwindigkeit die Länge der Tritte und Sprünge berechnen. So waren die mittleren Trittlängen an der Longe im Trab (1,26 m) und die Länge der Sprünge im Galopp (2,16 m) deutlich kürzer, als während des

Reitens (Trab: 1,41 m; Galopp: 3,01 m). Einen ähnlichen Effekt hat die Pferdegröße: Bei Kleinpferden betrug die Länge der Galoppsprünge im Gelände nur 3,5 m, bei Großpferden dagegen 4,7 m. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie kann daher eine Extrapolation des Energieverbrauchs vom Großpferd zum Pony anhand einer nicht-linearen Funktion der Körpergröße empfohlen werden. Der Vorschlag der GfE (2014) hierfür die metabolische Körpermasse zu wählen, erwies sich als sinnvoll. Allerdings muss zwischen Arbeit an der Longe, in der Bahn und im Gelände unterschieden werden.

Tab. 29: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen (HF), Geschwindigkeiten (v) und Aktivitäten aller Probanden (P = Pony; K = Kleinpferd; G = Großpferd) in allen Gangarten und während unterschiedlicher Bewegungsweisen (L = longiert, HP = geritten in Halle/Platz; F = Geritten Gelände)

Parameter	Gangart	P			K			G		
		L	HP	F	L	HP	F	L	HP	F
HF (bpm)	Schritt	68±29	46±11	47±7	53±11	47±15	43±4	45±5	42±10	76±26
	Trab	119±24	91±21	98±17	113±26	93±15	103±9	93±26	94±12	116±12
	Galopp	185±40	147±30	180±40	177±31	142±39	173±10	166±26	159±30	204±23
V (m/s)	Schritt	0,5±0,2	0,6±0,2	0,8±0,2	0,8±0,3	0,±0,2	1,0±0,1	0,7±0,2	0,7±0,3	0,7±0,2
	Trab	1,8±1,1	2,0±0,4	2,4±0,7	2,3±1,2	2,2±0,5	2,9±0,8	1,9±0,4	1,7±0,4	3,3±0,7
	Galopp	3,2±1,4	3,8±1,2	5,7±0,4	4,3±1,6	4,4±1,0	6,0±1,3	3,7±0,7	5,0±2,1	10,7±2,8
Activity (counts/s)	Schritt	278±61	288±46	358±91	277±50	285±41	288±29	313±39	354±30	371±43
	Trab	711±134	655±96	606±127	717±99	657±60	724±60	488±88	537±92	576±106
	Galopp	1116±147	1120±87	1172±137	1166±161	1107±120	1354±217	1067±51	1117±125	1605±400

VII. Summary

Studies on heart frequencies and velocity of saddle horses and ponies under practical conditions

Caroline von Reitzenstein

Institute of feeding and nutrition; Faculty of Veterinary Medicine
Ludwig Maximilian University Munich

In this field study, data about heart rate, velocity and activity (by pedometer) of tall horses, small horses and ponies, worked in different ways (lunged, ridden in a hippodrome or ridden in the fields and some of them driven or moved in a horse walker) was determined. The aim of the study was to verify allometric conditions within the species “horse” in order to create requirements for the extrapolation of existing findings on energy consumption from horse to pony in relation to heart rate and speed. On the other hand, practical values should be determined to be able to better estimate the energy requirements for nutritional advice.

Out of a total of 84 horses and ponies, 112 data sets (small horses n = 30, large horses n = 47, and ponies n = 35) were collected for the study. Body height, body weight of all animals were determined. The individual horses and ponies were then divided in different groups according to their height (≤ 148 cm = Pony; ≤ 160 cm = small horse; > 160 cm = tall horse). The BCS and index of caliber was captured. The horses and ponies were equipped with belts, measuring heart rate and GPS, as well as acticals (to determine activity and the amount of steps) and were worked in different ways in all gaits (lunged, ridden in a hippodrome or in the fields, sporadically in a horse walker or in front of a carriage).

Most of the animals showed a BCS of 5 (58%), followed by a BCS of 6 (29,5%). BCS of 4 (6,3%) and 7 (7%) were only sporadically represented. The lightest pony had a weight of 188 kg, whereas the heaviest horse showed a body weight of 1050 kg.

The ponies' mean heart rates at rest were 36 ± 5 bpm, the ones of the small horses were 35 ± 4 bpm and the tall horses showed mean heart rates of 35 ± 5

bpm. The BCS did not influence the heart rates at rest, only concerning the index of caliber, it was shown, that heavier horses had lower heart rates at rest. Concerning the heart rate during work in all animals of all heights, the heart rate increased with increasing velocity (Tab. 29). A significant relationship was constantly seen ($r = 0,5822$). At slower tempo the scattering around the straight was higher between velocity and heart rate. Two factors could explain a huge amount of the scattering: 1. Height of the horse – in tall horses the regression line rose less steeply as in ponies; small horses had higher heart rates at lower speeds, especially in trot and canter. As the volume of the heart beat rises linearly with body mass, the oxygen uptake based on the body mass is comparable in small and tall horses at the same heart rates. Accordingly, ponies need more energy per kg body weight for the same velocities in trot and canter than tall horses.

2. The kind of work – during lunging the heart rate was higher in relation to velocity. The average speed in the same gait was slower during lunging than during riding. In contrast to the speed, the activity correlated very closely with the heart rate regardless of body height and kind of work (Tab. 30, $y=5,5305x + 54,258$; $r^2= 0,7281$). As the activity corresponds to the amount of steps and jumps per time unit, this finding shows that within the species “horse” the amount of movement cycles per distance unit plays an important role for the energy consumption, especially in the gaits with “hover phase”. From activity and velocity one can calculate the lengths of the steps and jumps. So, the average lengths of steps during lunging in trot (1,26 m) and the jumps during cantering (2,16 m) were much shorter than during riding (trot: 1,41m; canter: 3,01 m). The height of the horse had a similar effect: in small horses, the length of the jumps during canter was only 3,5 m, in tall horses on the other hand it was 4,7 m. According to the results in this study an extrapolation of the energy consumption of tall horses to ponies can be recommended based on a non-linear function of body height. The suggestion of the GfE (2014) to choose the metabolic body mass in this case was proved to be useful. Indeed, it has to be distinguished between lunging, riding in an arena or hacking outside.

Tab. 30: means and standard deviations of heart rate (HR), velocity (v) and activity of all probands (P = pony; SH =small horse; TH = tall horse) in all gaits and during different kinds of work (L = lunged, A = ridden in an arena; F = ridden in the fields)

Parameter	gait	P			SH			TH		
		L	A	F	L	A	F	L	A	F
HR (bpm)	Walk	68±29	46±11	47±7	53±11	47±15	43±4	45±5	42±10	76±26
	trot	119±24	91±21	98±17	113±26	93±15	103±9	93±26	94±12	116±12
	canter	185±40	147±30	180±40	177±31	142±39	173±10	166±26	159±30	204±23
V (m/s)	walk	0,5±0,2	0,6±0,2	0,8±0,2	0,8±0,3	0,±0,2	1,0±0,1	0,7±0,2	0,7±0,3	0,7±0,2
	trot	1,8±1,1	2,0±0,4	2,4±0,7	2,3±1,2	2,2±0,5	2,9±0,8	1,9±0,4	1,7±0,4	3,3±0,7
	canter	3,2±1,4	3,8±1,2	5,7±0,4	4,3±1,6	4,4±1,0	6,0±1,3	3,7±0,7	5,0±2,1	10,7±2,8
Activity (counts/s)	walk	278±61	288±46	358±91	277±50	285±41	288±29	313±39	354±30	371±43
	trot	711±134	655±96	606±127	717±99	657±60	724±60	488±88	537±92	576±106
	canter	1116±147	1120±87	1172±137	1166±161	1107±120	1354±217	1067±51	1117±125	1605±400

VIII. Literaturverzeichnis

- ADAMS, O. (2003). Natural and artificial gaits. In M. ROSS, & S. DYSON, *Diagnosis and management of lameness in the horse* (pp. 60-61). Missouri: Elsevier.
- ART, T., & LEKEUX, P. (1993). Training-induced modifications in cardiorespiratory and ventilatory measurements in thoroughbred horses. *Eq. vet. journal* 25, pp. 532-536.
- BARNHART, C. (2003). The American college dictionary. In M. ROSS, & S. DYSON, *Diagnosis and management of lameness in the horse* (pp. 60-61). Missouri: Elsevier.
- BARTH, K., WILLIAMS, J., & BROWN, D. (1977). Digestible energy requirements of working and non-working ponies. *Journ. of anim. Science* 44, pp. 585-589.
- BARTH, K.M. (1977). Digestible Energy Requirements of Working and Non-working Ponies. *J. Animal Sci* 44, pp. 585-589.
- BAUMGARTNER, W. (2005). *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- BISHOP, C. (1999). The maximum oxygen consumption and aerobic scope of birds and mammals: getting to the heart of the matter. *Proc. R. Soc. Lond. B* 266, pp. 2275-2281.
- BISHOP, C. (1997). Heart mass and the maximum cardiac output of birds and mammals: implications for estimating the maximum aerobic power input of flying animals. *Phil. Trans. R. soc. Lond. B* 352, pp. 447-456.
- BITSCHNAU, C., WIESTNER, T., TRACHSEL, D., AUER, J., & WEISHAUPT, M. (2010). performance parameters and post exercise heart rate recovery in Warmblood sport horses of different performance levels. *Eq. vet. Journal* 42, pp. 17-22.
- CARROLL, C., & HUNTINGTON, P. (1988). Body condition scoring and weight estimation of horses. *Equine veterinary Journal*, pp. 41-45.
- CIKRYTOVA, E., KOSTELECKA, B., KOVAR, J., HORÁK, S., & HANÁK, J. (1991). Standardized exercise test on a track to evaluate exercise capacity in different breeds of horses. *Equine exercise Physiol.* 3, pp. 37-40.
- CLAYTON, H., & BARLOW, D. (1991). Stride characteristics of four Grand Prix Jumping horses. *Equine Exerc. Physiol.* 3, pp. 151-157.
- CLAYTON. (1991). *Conditioning sport horses*. Saskatoon: Sport Horse Publications.

- CLAYTON, H. (1995). Comparison of the stride kinematics of the collected, medium and extended walks in horses. *Am. J. vet. Res.* 56, pp. 849-852.
- COOK, W. (1989). *Specifications for Speed in the Racehorse: The Airflow Factors*. Menasha: The Russell Meerdink Company Ltd P.O.
- CORLEY, K., DONALDSON, L., DURANDO, M., & BIRKS, E. (2003). cardiac output technologies with special reference to the horse. *J. Vet. Intern. Med.* 17, pp. 262-272.
- DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG e.V. (1999). *Richtlinien für Reiten und Fahren - Longieren Band 6*. Warendorf: FN-Verlag.
- DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG E.V., (. (2018, 02 22). Retrieved from <https://www.pferd-aktuell.de/turniersport/turnierpferd/turnierpferdeeintragung-und-fortschreibung/turnierpferdeeintragung-und-fortschreibung>: www.pferd-aktuell.de
- DORLAND, W. (2003). Dorland's illustrated medical dictionary. In M. ROSS, & S. DYSON, *Diagnosis and Management of Lameness in the horse* (pp. 60-61). Missouri: Elsevier.
- DÚSEK, J., EHRLEIN, H., & ENGELHARDT, W. (1970). Beziehungen zwischen Trittlänge, Trittfrequenz und Geschwindigkeit bei Pferden. *Zentralblt. Tierz. Zuchtbiol.* 87, pp. 177-188.
- DYSON, S.J. (1994). Training the event horse. In D. u. Hodgson, *The athletic horse*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- EHRLEIN, H., HÖRNICKE, H., VON ENGELHARDT, W., & TOLKMITT, G. (1973). Die Herzschlagfrequenz während standardisierter Belastung als Maß für die Leistungsfähigkeit von Pferden. *Zbl. Vet. Med.A.* 20, pp. 188-208.
- EHRLEIN, H.-J., HÖRNICKE, H., V. ENGELHARDT, W., & TOLKMITT, G. (1973). Die Herzschlagfrequenz während standardisierter Belastung als Maß für die Leistungsfähigkeit von Pferden. *Zbl. Vet. Med. A.* 20, pp. 188-208.
- EILMANN, I. (1991). Fettverdauung beim Pferd sowie die Folgen einer marginalen Fettversorgung. Hannover.
- ELLENDORF, F. (2011). *Leistungstraining für das Pferd*. Hannover: Schlütersche.
- EVANS, D. (1994). Training thoroughbred Racehorses. In D. HODGSON, C. MC GOWAN, & K. MC KEEVER, *The athletic horse*. Saunders Company Philadelphia.
- EVANS, D. (2000). *Training and fitness in athletic horses*. Sydney: RIRDC.
- EVANS, D., & ROSE, R. (1988). Cardiovascular and respiratory responses in thoroughbred horses during treadmill exercise. *Journ. exp. Biol.* 134, pp. 397-408.

- FLAMINIO, M., GAUGHAN, E., & GILLESPIE, J. (1996). Exercise intolerance in endurance horses. *Vet. Clin. North. Am.* 12, pp. 565-580.
- GARLINGHOUSE, S., & BURRILL, M. (1999). Relationship of body condition score to completion rate during 160-km endurance races. *Equine Vet. J.* 31, pp. 591-595.
- GEYER, H., & WEISHAUPT, M. (2006). Der Einfluss von Zügel und Gebiss auf die Bewegung des Pferdes - anatomisch-funktionelle Betrachtungen. *Pferdeheilkunde*, pp. 597-600.
- GfE. (2014). *Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr.11; Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung*. Frankfurt/Main: DLG-Verlag.
- GÓMEZ ÁLVARES, C., RHODIN, M., BOBBERT, M., MEYER, H., WEISHAUPT, M., JOHNSTON, C., & VAN WEEREN, P. (2010). The effect of head and neck position on the thoracolumbar kinematics in the unriden horse. *Eq. vet. Journal*, pp. 445-451.
- HALSEY, L., KILLEN, S., & CLARK, T. (2018). Exploring key issues of aerobic sope interpretation in ectotherms: absolute versus factorial. *Fish Biology and Fisheries* 28, pp. 405-415.
- HARBIG. (2006). Leistungsmonitoring von Hochleistungsvielseitigkeitspferden im Wettkampf und Training: Untersuchungen zur Herzfrequenz. Hannover.
- HARBIG, S. (2006). Leistungsmonitoring von Hochleistungsvielseitigkeitspferden im Wettkampf und Training: Untersuchung zur Herzfrequenz. Hannover.
- HARRIS, P., MARLIN, D., DAVIDSON, H., RODGERSON, J., GREGORY, A., & HARRISON, D. (2007). Practical assessment of heart rate response to exercise under field conditions. *Equine and comparative exercise physiology* 4, pp. 15-21.
- HEBENBROCK, M. (2005). GPS gestütztes Monitoring von Hochleistungsvielseitigkeitspferden in Wettkampf und Training. Hannover.
- HEGLUND, N., & TAYLOR, C. (1988). Speed, stride frequency and energy cost per stride: How do they change with body size and gait. *Journal exp. Biol.* 138, pp. 301-318.
- HEGLUND, N., & TAYLOR, R. (1988). Speed, Stride frequency and energy cost per stride: how do they change with body size and gait? *J.exp. Biol.* 138, pp. 301-318.
- HEIL, D. (2006). Predicting activity energy expenditure using the Actical Activity monitor. *Physicale Education, Recreation and Dance* 77, pp. 64-80.

- HENNEKE, D., POTTER, G., KREIDER, J., & YEATES, B. (1983). Relationship between condition score, physical measurements and body fat percentage in mares. *Eq. vet. Journal* 15, pp. 371-372.
- HEUSCHMANN, G. (2008). *Finger in der Wunde*. Kandern: Narayana Verlag.
- HINTZ, H. S., SODERHOLM, L., & WILLIAMS, J. (1985). Extruded feeds for horses. *Proc. 9th Equine Nutrition Physiol. Symp.*, pp. 174-176.
- HINTZ, H., SODERHOLM, L., & WILLIAMS, J. (1985). Extruded feeds for horses. *Proc. 9th Equine nutrition symp.*, pp. 174-176.
- HINTZ, H.F. (1971). Energy requirements of light horses for various activities. *J. Anim. Sci.* 32, p. 100.
- HOIS, C. (2003). Feldstudie zur Gewichtsentwicklung und Gewichtsschätzung beim wachsenden Pferd. *Feldstudie zur Gewichtsentwicklung und Gewichtsschätzung beim wachsenden Pferd*. Bayern.
- HOLT, J., RHODE, E., & KINES, H. (1968). Ventricular volumes and body weights in mammals. *American Journal of physiology* 215, pp. 704-715.
- HOYT, D., & TAYLOR, C. (1981). Gait and the energetics of locomotion in horses. *Nature* 292, pp. 239-240.
- ILLE, N., ERBER, R., AURICH, C., & AURICH, J. (2014). Comparison of heart rate and heart rate variability obtained by heart rate monitors and simultaneously recorded ECG signals in non-exercising horses. *Journ. of vet. beh.* 9, pp. 341-346.
- JANZEKOVIC, M., PRISENK, J., MURSEC, B., VINDIS, P., STAJNKO, D., & CUS, F. (2010). The art equipment for measuring the horse's heart rate. *J. achiev. mater. manufact. engin.* 41, pp. 180-186.
- JEFFCOTT, L., & KOHN, L. (1999). Contributions of equine exercise physiology research to the success of the 1996 Equestrian Olympic Games: a review. *Equine Vet.J.* 30, pp. 347-355.
- JONES, J., LONGWORTH, K., LINDHOLM, A., CONLEY, A., KARAS, K., KAYAR, S., & TAYLOR, C. (1989). Oxygen transport during exercise in large mammals: Adaptive variation in oxygen demand. *J. appl. Physiol.* 67, pp. 862-870.
- KAMPHUES, J., COENEN, M., IBEN, C., & KIENZLE, E. (2014). *Supplemente der Tierernährung*. Hannover: Schaper.

- KIENZLE et al. (2009). Effects of hay versus concentrate on urinary energy excretion in horses. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 18, p. 118.
- KIENZLE, E., & FEHRLE, S. O. (2002). Interactions between the apparent energy and nutrient digestibilities of a concentrate mixture and roughages in horses. *J. Nutr.* 132, pp. 1778-1780.
- KIENZLE, E., & SCHRAMME, S. (2004). Beurteilung des Ernährungszustandes mittels Body Condition Scores und Gewichtsschätzung beim adulten Warmblutpferd. *Pferdeheilkunde* 20, pp. 517-524.
- KIENZLE, E., COENEN, M., & ZEYNER, A. (2010). Der Erhaltungsbedarf von Pferden an umsetzbarer Energie. *Übers. Tierernährg.* 38, pp. 33-54.
- KUBO, K., SENTA, T., & SUGIMOTO, O. (1973). Cardiac output in the Thoroughbred Horse. *Exp. Rep. Equine Hlth. Lab* 10, pp. 84-89.
- KUBO, K., SENTA, T., & SUGIMOTO, O. (1974). Relationship between Training and Heart in the thoroughbred Racehorse. *Exp. Rep. Equine Hlth. Lab.* 11, pp. 87-93.
- KUBUS, K. (2013). Zur Beziehung zwischen der akzelerometrisch erfassten Körperbeschleunigung und der Herzfrequenz beim Pferd. Sachsen.
- LEACH, D. (1987). Locomotion of the athletic horse. In J. GILLESPIE, & N. ROBINSON, *Equine exercise physiology 2* (pp. 516-535). Davis, CA: ICEEP-Publications.
- LEACH, D., & DREVEMO, S. (1991). Velocity-dependent Changes in Stride frequency and length of trotters on a treadmill. *Equine exercise Physiology* 3, pp. 136-140.
- LEUKEUX, P., & ART, T. (1994). The respiratory system: Anatomy, physiology and adaptations to exercise and training. In D. HODGSON, & R. ROSE, *The athletic horse* (pp. 79-129). Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- LINDSTEDT, S., & SCHAEFFER, P. (2002). Use of allometry in predicting anatomical and physiological parameters of mammals. *Laboratory animals* 36, pp. 1-19.
- MANSO FILHO, H., MANSO, H., MC KEEVER, K., DUARTE, S., & ABREU, J. (2012). Heart rate responses of two breeds of four-gaited horses to a standardised field gaited test. *Comparative exercise physiol.* 8 (1), pp. 41-46.
- MARLIN, D., & NANKERVIS, K. (2002). *Equine exercise physiology*. Oxford: Blackwell Publishing.
- MARTIN-ROSSET, W. (1990). *L'alimentation des chevaux*. Paris: INRA.

- Mc KEEVER, K., & MALINOWSKI, K. (1997). Exercise capacity in young and old mares. *Am. Journ. of Vet. Res.* 58, pp. 1468-1472.
- MEYER, H., & COENEN, M. (2004). *Pferdefütterung*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- MILL, J., & WOLF, K. (1996). Untersuchungen über den Einfluss der Schrittfrequenz und Schrittlänge auf die Laufgeschwindigkeit von Vollblut-Rennpferden. *Pferdeheilkunde* 12, pp. 119-125.
- MIZUNO, Y., AIDA, H., HARA, H., FUJINAGA, T., & HAGIO, M. (1995). Comparison of methods of cardiac output measurements determined by dye dilution, pulsed doppler echocardiography and thermodiultion in horses. *J. Vet. Med. Sci.* 56, pp. 1-5.
- MURRAY, J. (1919). Meat production. *Jorn. of Agricul. sciences Cambridge* 9, pp. 174-181.
- NICKEL, R., SCHUMMER, A., SEIFERLE, E., & HABERMEHL, K. (2004). *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, 3. Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane; Bd. III*. Berlin: Parey (ISBN: 3830441649).
- NRC. (2007). Nutrient requirements of horses. *6th rev.ed., National Academy Press, Washington DC*, 3-33.
- PAGAN, J., & HINTZ, H. (1985). *Energy expenditure in horses during submaximal Exercise*. Ithaca.
- PHYSICK-SHEARD, P. (1985). Cardiovascular response to exercise and training in the horse. *Vet. Clin. North Am.* 1, pp. 383-417.
- POOLE, D., & ERIKSON, H. (2003). Heart and vessels: function during exercise and response to training. In K. HINCHCLIFF, A. KANEPS, R. GOER, & (Hrsg.), *Equine Sports medicine and surgery*. Oxford: Elsevier Science Limited.
- PREUSCHOFT, H., & STREITLEIN, I. (1987). Die Kinematik der Trabtempi von Reitpferden. In H. Preuschoft, K. Hüllen-Kluge, G. Knisel, & I. Streitlein, *Studien zur Bewegung von Sportpferden* (pp. 20-65). Warendorf: FN-Verlag der Deutschen reiterlichen Vereinigung GmbH.
- PREUSCHOFT, H., FRITZ, M., HÜLLEN-KLUGE, K., KNISEL, G., & STREITLEIN, I. (1987). *Studien zu den Bewegungen von Sportpferden*. Warendorf: FN-Verlag .
- PREUSCHOFT, H., WITTE, H., CHRISTIAN, A., & RECKNAGEL, S. (1994). Körpergestalt und Lokomotion bei großen Säugetieren. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* 87, pp. 147-163.
- PREUSCHOFT, H., WITTE, H., CHRISTIAN, A., & RECKNAGEL, S. (1994). Körpergestalt und Lokomotion bei großen Säugetieren. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* 87.2, pp. 147-163.

- RHODIN, M. (2008). *A biomechanical analysis of relationship between the head and neck position, vertebral column and limbs in the horse at walk and trot*. Uppsala: Swedish university of agricultural sciences.
- RHODIN, M., GÓMEZ ÁLVAREZ, C., BYSTRÖM, A., JOHNSTON, C., VAN WEEREN, P., ROEPSTORFF, L., & WEISHAUPT, M. (2009). The effect of different head and neck positions on the caudal back and hindlimb kinematics in the elite dressage horse at trot. *Eq. vet. Journal* 41, pp. 274-279.
- ROSENKRANZ, R., ROSENKRANZ, S., & WEBER, C. (2011). Validity of the Actical-Accelerometer Step-count function in children. *Pediatric exercise science* 23, pp. 355-365.
- ROSS, M., & DYSON, S. (2003). *Diagnosis and management of lameness in the horse*. Missouri: Elsevier.
- SCHÄFER, B. (2000). Reaktionen physiologischer Leistungskriterien auf zusätzliches Ausdauertraining während der reiterlichen Ausbildung von Sportpferden. *Reaktionen physiologischer Leistungskriterien auf zusätzliches Ausdauertraining während der reiterlichen Ausbildung von Sportpferden*. Warendorf, Nordrhein-Westfalen: FN-Verlag der dt. reiterlichen Vereinigung 23.
- SCHNABEL, G., HARRE, D., BORDE, A., & (Hrsg.). (1997). *Trainingswissenschaft: Leistung - Training - Wettkampf*. Berlin: Sportverlag, Berlin.
- SCHRAMME, C. (2003). Body Condition Scores und biometrische Daten zur Abschätzung des Körpergewichts bei Warmblutpferden. Bayern.
- SCHRAMME, S. (2003). Body Condition Scores und biometrische Daten zur Abschätzung des Körpergewichtes von Warmblutpferden. München, Bayern.
- SCHUG, K. (2005). Untersuchung zur Energiebewertung von Standardmischfuttermitteln für Ratten. Bayern.
- SCHÜLER, C. (2009). Eine Feldstudie zu Energiebedarf und Energieaufnahme von arbeitenden Pferden zur Überprüfung eines Bewertungssystems auf der Stufe der umsetzbaren Energie. Berlin.
- SCHWARZWALD, C., KEDO, M., BIRKMANN, K., & HAMLIN, R. (2012). Relationships of heart rate and electrocardiographic time intervals to body mass in horses and ponies. *J. of Vet. Cardiology* 14, pp. 343-350.
- SEEWALDT, P. (2015). *MLP Beratungsstelle Nagold-Hochdorf*. Retrieved from www.zwseewaldt.net

- SEXTON, W., ERICKSON, H., & COFFMAN, J. (1987). Cardiopulmonary and metabolic responses to exercise in the quarter horse: effects of training. *ICEEP publications: Equine exercise Physiol.* 3 (pp. 77-91). Davis, California, USA: J.R. Gillespie; N.E. Robinson (Hrsg.).
- SLADE, L. H. (1969). Comparison of digestion in horses, ponies, rabbits and guinea pigs. *Journal of Animal Science.*
- SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN, M. (1990). Heart rate and blood lactate in exercise horses. Niederlande: Universität Utrecht Proefschrift.
- SMIET, E., VAN DIERENDONCK, M., SLEUTJENS, J., MENHEERE, P., VAN BREDA, E., DE BOER, D., . . . VAN DER KOLK, J. (2014). Effect of different head and neck positions on behaviour, heart rate variability and cortisol levels in lunged Royal Dutch Sport horses. *The veterinary Journal* 202, pp. 26-32.
- TAYLOR, C. (1978). Why change gaits? Recruitment of muscles and muscle fibres as a function of speed and gait. *Amer. Zool.* 18, pp. 153-161.
- TAYLOR, C. (1985). What determines the cost of locomotion? A closer look at what muscles do. *Pros. 5th Ann. Sci. Meet. Ass. Equine Sports Med.*, (pp. 13-21).
- TAYLOR, C., HEGLUND, N., & MALOIJ, G. (1982). Energetics and mechanics of terrestrial locomotion Part I. *Journal exp. Biol.* 97, pp. 1-21.
- THOMAS, D., & FREGIN, G. (1981). Cardiorespiratory and metabolic responses to treadmill exercise in the horse. *J. Appl. Physiol.* 50, pp. 864-868.
- UHDE, A. (2009). Trainingsauswirkungen auf Parameter der Herzfrequenz bei Vielseitigkeitspferden im Leistungssport. Gießen.
- UHDE, A. (2009). Trainingsauswirkungen auf Parameter der Herzfrequenz bei Vielseitigkeitspferden im Leistungssport. Gießen: VVB Lauferweiler Verlag.
- VERMOREL, M., MARTIN-ROSSET, W., & VERNET, J. (1997). Energy utilization of twelve forages or mixed diets for maintenance by sport horses. *Livestock Production Science*, pp. 157-167.
- VERMOREL, M. (1991). Energy utilization of two diets for maintenance by horses; agreement with the new french net energy system. *J. Equine Vet. Sci.* 11, pp. 33-35.
- VON ENGELHARDT, W., & BREVES, G. (2004). *Physiologie der Haussäugetiere*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

- VOSSWINKEL, L. (2010). Einfluss der Bewegungsaktivität auf Ausdauerparameter beim Pferd. *Züchtungskunde* 82, pp. 217-228.
- WEBB, S.P. (1990). Influence of body fat content on digestible energy requirements of exercising horses in temperate and hot environments. *Equine Vet. Science* 10, pp. 116-120.
- WEIBEL, E., BACIGALUPE, L., SCHMITT, B., & HOPPELER, H. (2004). Allometric scaling on maximal metabolic rate in mammals: muscle aerobic capacity as determinant factor. *Resp. Physiol. and Neurobiol.* 1400, pp. 115-132.
- WEISHAUPT, M., WIESTNER, T., VON PEINEN, K., WALDERN, N., ROEPSTORFF, L., VAN WEEREN, R., . . . JOHNSTON, C. (2006). Effect of head and neck position on vertical ground reaction forces and interlimb coordination in the dressage horse ridden at walk and trot on a treadmill. *Eq. vet. Journal* 38, pp. 387-392.
- WICKLER, S., HOYT, D., COGGER, E., & MYERS, G. (2003). The energetics of the trot - gallop transitions. *Journal of experimental Biology* 206, pp. 1557-1564.
- WITTE, H., LESCH, C., PREUSCHOFT, H., & LOITSCH, C. (1995). Die Gangarten der Pferde: Sind Schwingungsmechanismen entscheidend? Teil 1: Pendelschwingungen der Beine bestimmen den Schritt. *Pferdeheilkunde* 11, pp. 199-206.
- WITTE, H., LESCH, C., PREUSCHOFT, H., & LOITSCH, H. (1995). Die Gangarten der Pferde; Sind Schwingungsmechanismen entscheidend? Teil 2; Federschwingungen bestimmen den Trab und den Galopp. *Pferdeheilkunde* 11, pp. 265-272.
- YAMANOBÉ, A., HIRAGA, A., & KUBO, K. (1992). Relationships between stride frequency, stride length, step length and Velocity with asymmetric Gaits in the Thoroughbred horse. *Jpn. J. Equine Science* 3, pp. 143-148.
- YOUNG, L. (2003). Equine athletes, the equine athlete's heart and racing success. *Exp. Physiol.* 88, pp. 659-663.
- ZEYNER. (2008). *Energy providing nutrient sources - Nutrition of the exercising horse.*
- ZUNTZ, N., & HAGEMANN, O. (1898). Untersuchung über den Stoffwechsel des PFERDES bei Ruhe und Arbeit. *Landwirtsch. Jb.27, Erg. Bd. 3*, pp. 266, 285-338.

IX. Anhang

Tab. A 1: *Body condition scoring System für Warmblutpferde (Kienzle und Schramme, 2004)*

BCS	Hals	Schulter	Rücken und Kruppe	Brustwand	Hüfte	Schweifansatz
1	Seitenfläche konkav, Atlas sichtbar, 3.-6. Wirbel fühlbar, 4.-5. Sichtbar, kein Kammfett, Axthieb	Scapula komplett sichtbar, 6.-8. Rippe sichtbar, Faltenbildung an Schulter nicht möglich	Dorn-/Querfortsätze und Rippenansätze sichtbar, Kruppe konkav, Haut unverschieblich	6.-18. Rippe sichtbar, Haut unverschieblich	Hungergrube eingefallen, Hüfthöcker prominent, Sitzbeinhöcker sichtbar, über Kreuzbein konkav, After eingefallen	Einzelne Wirbel abzugrenzen, Linie konkav
2	Seitenfläche konkav, Atlas und 4.-5. Wirbel fühlbar, kein Kammfett, Axthieb	Schulterblatt cranial und Spina sichtbar, 6.-8. Rippe fühlbar, 7.-8. Sichtbar, Faltenbildung schwierig	Dornfortsätze sichtbar, Rippenansätze fühlbar, Kruppe konkav, Haut unverschieblich	7.-18. Rippe komplett sichtbar, Haut unverschieblich	Hungergrube eingefallen, Hüfthöcker prominent, Sitzbeinhöcker sichtbar, After eingefallen	Einzelne Wirbel nicht abzugrenzen, Linie konkav
3	Seitenfläche leicht konkav, 4./5. HW bei Druck fühlbar, kein Kammfett, Axthieb	Spina sichtbar, 7./8. Rippe fühlbar, Faltenbildung schwierig	Dornfortsätze sichtbar, Kruppe gerade, Haut unverschieblich	Seitenfläche 7.-18. Rippe sichtbar, Haut nicht verschieblich	Hungergrube eingefallen, Hüfthöcker prominent, craniale Kante scharf, Sitzbeinhöcker sichtbar, After etwas eingefallen	Wirbel-Seitenfläche nicht sichtbar, Linie konkav
4	Seitenfläche gerade, HW nur bei starkem Druck	Spina teilw. Sichtbar, über 7. Bedeckt, 8. Rippe fühlbar,	Dornfortsätze nur am Widerrist sichtbar, Kruppe leicht konvex,	11.-14. Rippe sichtbar, 9.-18. Rippe fühlbar,	Dorsaler Hüfthöcker prominent, craniale Kante	Kontur der Schwanzwirbel zu erahnen,

	fühlbar, Kammfett bis 4 cm, Axthieb undeutlich	kleine Falte unter großer Spannung möglich, Haut etwas verschieblich	Haut unverschieblich	Haut etwas verschiebbar	scharf, Sitzbeinhöcker zu erahnen	Linie leicht konkav
5	Seitenfläche leicht konvex, Kammfett > 4-5,5 cm	Spina zu erahnen, über 7. Rippe weich, 8. Rippe fühlbar, Falte unter großer Spannung möglich, Haut leicht verschiebbar	Haut etwas verschiebbar, 14.-18. Rippe bei leichtem Druck fühlbar	Rippen undeutlich sichtbar, 10.-18. Rippe fühlbar, Haut leicht verschieblich	Dorsaler Hüfthöcker leicht prominent, craniale Kante rund, Sitzbeinhöcker fühlbar	Schwanzwirbel bedeckt, Linie gerade
6	Seitenfläche leicht konvex, Kammfett > 5-5,7 cm	Über 7.-8. Rippe weich, kleine Falte unter wenig Spannung möglich, Haut leicht verschiebbar	Haut leicht verschiebbar, 14.-18. Rippe bei starkem Druck fühlbar	Rippen nicht sichtbar, 14.-18. Rippe fühlbar, Haut leicht verschieblich	Dorsaler Hüfthöcker zu erahnen, Sitzbeinhöcker schwer fühlbar	Festes Fettpolster über 3. SW, Linie konvex
7	Seitenfläche leicht konvex, Kammfett > 7-8,5 cm	Über 7.-9. Rippe weich, Falte spannungsfrei zu bilden	Kruppe fühlt sich weich an, über 14.-18. Rippe Fettpolster, Faltenbildung möglich	15.-17. Rippe fühlbar, Haut leicht verschieblich, über 9.-18. Rippe weich, Fingerkuppen sinken etwas ein, Falte mit viel Spannung möglich	Hüfthöcker fühlbar, durch Fett abgedeckt	Weiches Fettpolster über 3. SW, Linie deutlich konvex
8	Seitenfläche leicht konvex, Kammfett > 8,5-10 cm	Über 7.-9. Rippe weich, hohe Falte spannungsfrei zu bilden	Kruppe fühlt sich weich an, über 14.-18. Rippe dickes Fettpolster, dicke Falten möglich	Rippe kaum fühlbar, Haut leicht verschieblich, über 9.-18. Rippe weich, Fingerkuppen sinken deutlich ein, Faltenbildung möglich	Hüfthöcker fühlbar, durch Fettpolster abgedeckt	Weiches Fettpolster über 1.-3. SW, Linie deutlich konvex

9	Seitenfläche konvex, Kammfett >10 cm	Fettdepot bis Widerrist und Brust, hohe Schulterfalte spannungsfrei zu bilden	Durchgehendes Fettpolster	Rippen nicht fühlbar, durchgehendes Fettpolster	Hüfthöcker nicht mehr als Vorwölbung erkennbar	Durchgehendes Fettpolster über den SW
---	--------------------------------------	---	---------------------------	---	--	---------------------------------------

Tab. A 2: *gesammelte Daten der einzelnen Probanden (mit ID gekennzeichnet) aus vorliegender Studie*

ID	Rasse	Alter	Größe	Gruppe	Gewicht	BCS	KI	Boden	Bewegungsart
28	Warmblut	10	173	G	614	6	3,5	Matten	Führanlage
32	Warmblut	11	181	G	682	6	3,8	Matten	Führanlage
57	Warmblut	15	181	G	692	6	3,8	Matten	Führanlage
34	Warmblut	8	188	G	760	6	4,0	Matten	Führanlage
47	Haflinger	13	141	P	478	7	3,4	Gelände	gefahren
50	Haflinger	7	143	P	508	7	3,6	Gelände	gefahren
61	Warmblut	12	168	G	610	7	3,6	Gelände	gefahren
62	Warmblut	12	168	G	610	7	3,6	Gelände	gefahren
63	Warmblut	12	169	G	617	7	3,7	Gelände	gefahren
60	Percheron	9	174	G	950	7	5,5	Gelände	gefahren
59	Percheron	19	174	G	1050	7	6,0	Gelände	gefahren
22	Welsh A	11	120	P	265	6	2,2	Gelände	Geritten Englisch
21	Welsh A	6	120	P	310	6	2,6	Gelände	Geritten Englisch
73	Dt Reitpony	7	134	P	328	6	2,4	Sand Platz	Geritten Englisch
4	Haflinger	22	142	P	336	5	2,4	Sand Halle	Geritten englisch
17	Vollblutaraber	6	151	K	349	5	2,3	Gelände	Geritten Englisch
80	New Forrest	8	137	P	375	5	2,7	Sand Platz	Geritten Englisch
1	Vollblutaraber	15	150	K	384	5	2,6	Gelände	Geritten Englisch
83	Partbred	11	147	P	389	5	2,6	Gelände	Geritten Englisch
49	Haflinger	17	136	P	390	6	2,9	Sand Platz	Geritten Englisch
14	Welsh Mix	16	130	P	391	6	3,0	Sand Halle	Geritten englisch
82	Vollblutaraber	13	153	K	411	5	2,7	Gelände	Geritten Englisch
81	dt Reitpony	19	148	P	412	5	2,8	Sand Halle	Geritten Englisch
41	Welsh	4	144	P	418	5	2,9	Sand Platz	Geritten Englisch
48	Araber-Mix	14	149	K	422	4	2,8	Sand Halle	Geritten Englisch
35	Welsh Mix	4	145	P	427	5	2,9	Sand Halle	Geritten Englisch
26	Knabstrupper	13	155	K	443	4	2,9	Sand Platz	Geritten Englisch
79	engl VB	8	162	G	448	5	2,8	Sand Halle	Geritten Englisch
66	Freiberger	10	154	K	450	5	2,9	Sand Platz	Geritten Englisch
25	Freiberger	10	153	K	458	5	3,0	Sand Platz	Geritten Englisch

Wetter	HF Schritt	HF Trab	HF Galopp	HF ø	Steps ø pro 2s	Steps ø pro s	Schrittlänge ø	Steps Schritt ø	Steps Schritt pro s	Steps Trab ø
Regen 14°	33	108		53	3	1,5	0,43	3	1,5	3
Regen 14°	59	169		59	3	1,5	0,54	3	1,5	3
Regen 14°	45	63		45	3	1,5	0,39	3	1,5	3
Regen 14°	46	120		55	3	1,5	0,50	3	1,5	3
sonnig 8°	44	114	193	101	4	2	0,57	4	2	3
sonnig 8°	48	120	189	104	4	2	0,57	4	2	3
bedeckt 13°	104	113		111						
bedeckt 13°	104	137		124						
bedeckt 13°	101	125		116						
sonnig 26°	29	122		61	3	1,5	0,80	3	1,5	3
sonnig 26°	36	98		56	3	1,5	0,24	3	1,5	3
sonnig 10°	38	83	199	98	3,5	1,75	0,76	4,5	2,25	4
bewölkt 22°	41	93	172	79	4	2	0,49	4	2	4
sonnig 10°	36	97	188	135	3	1,5	0,93	4	2	4
sonnig 16°	32	96	144	85	3	1,5	0,24	4	2	3
	44	99	165	96	3	1,5	0,78	3	1,5	3
sonnig 10°	37	85	159	88	4	2	0,76	4	2	4
	46	115	182	102	4	2	0,64	3,5	1,75	3
	48	112	198	96	3	1,5	0,83	3	1,5	3
sonnig18°	66	90	197	98	2	1	1,19	3	1,5	3
sonnig 16°	44	102	156	97	3,5	1,75	0,25	4	2	4
	38	96	155	83	3	1,5	0,72	3	1,5	3
sonnig 20°	42	87	108	77	3	1,5	0,46	3	1,5	3
sonnig 10°	32	90	167	67	3	1,5	0,81	4	2	3
sonnig 17°	32	80	85	45	3	1,5	0,50	3	1,5	2
bedeckt 5°	32	97	144	87	3	1,5	0,30	4	2	4
sonnig18°	66	103	137	90	2,5	1,25	1,09	3	1,5	3
sonnig 12°	65	76	135	81	2,5	1,25	0,62	3	1,5	3
sonnig 10°	45	104	156	76	3	1,5	0,87	3	1,5	3
sonnig 10°	74	119	224	163	3	1,5	0,87	4	2	4

Steps Trab pro s	Steps Galopp \varnothing	Steps Galopp pro s	Schrittlänge Schritt	Schrittlänge Trab	Schrittlänge Galopp	v Schritt (km/h) \varnothing	v Schritt m/s	v Trab km/h \varnothing	v Trab (m/s)
1,5	3	1,5	0,31	1,19		1,7	0,47	6,40	1,78
1,5	3	1,5	0,39	1,02		2,1	0,58	5,50	1,53
1,5	3	1,5	0,39	0,96		2,1	0,58	5,20	1,44
1,5	3	1,5	0,17	0,89		0,9	0,25	4,80	1,33
1,5		0	0,54	2,48		3,9	1,08	13,40	3,72
1,5		0	0,54	2,48		3,9	1,08	13,40	3,72
						4,3	1,19	12,00	3,33
						5,1	1,42	12,00	3,33
						4,2	1,17	12,50	3,47
1,5	3	1,5	0,39	3,33		2,1	0,58	18,00	5,00
1,5	3	1,5	0,37	1,06		2	0,56	5,70	1,58
2	3,25	1,625	0,36	1,00	3,68	2,9	0,81	7,20	2,00
2	3	1,5	0,29	1,00	4,00	2,1	0,58	7,20	2,00
2	4	2	0,39	1,38	2,79	2,8	0,78	9,90	2,75
1,5	3	1,5	0,21	0,91	1,46	1,5	0,42	4,90	1,36
1,5	3	1,5	0,57	1,48	3,57	3,1	0,86	8,00	2,22
2	4	2	0,33	1,28	2,08	2,4	0,67	9,20	2,56
1,5	4	2	0,56	1,70	2,86	3,5	0,97	9,20	2,56
1,5	3	1,5	0,52	1,50	3,80	2,8	0,78	8,10	2,25
1,5	3	1,5	0,35	1,41	3,22	1,9	0,53	7,60	2,11
2	3	1,5	0,17	0,68	1,20	1,2	0,33	4,90	1,36
1,5	3	1,5	0,56	1,52	3,30	3	0,83	8,20	2,28
1,5	3	1,5	0,31	1,04		1,7	0,47	5,60	1,56
1,5	3	1,5	0,32	1,20	3,67	2,3	0,64	6,50	1,81
1	3	1,5	0,26	1,75	2,46	1,4	0,39	6,30	1,75
2	3	1,5	0,29	0,61	1,17	2,1	0,58	4,40	1,22
1,5	3	1,5	0,54	2,06	3,61	2,9	0,81	11,10	3,08
1,5	3	1,5	0,96	1,59	2,00	5,2	1,44	8,60	2,39
1,5	3	1,5	0,43	1,28	2,89	2,3	0,64	6,90	1,92
2	3,5	1,75	0,40	1,10	2,83	2,9	0,81	7,90	2,19

v Gallopp km/h \varnothing	v Galopp (m/s)	\varnothing v (km/h)	\varnothing v (m/s)	Activity Schritt	Activity Trab	Activity Gallopp	Activity \varnothing	Distanz (km)	HF in Ruhe
		2,30	0,64	310	467		445	0,7	30
		2,90	0,81	356	498		478	0,5	33
		2,10	0,58	330	441		435	0,4	30
		2,70	0,75	305	478		456	0,9	33
		4,10	1,14	400	889		409	9,26	42
		4,10	1,14	400	889		409	9,26	40
		9,90	2,75					5,59	30
		9,15	2,54					7,02	44
		9,00	2,50					6,99	40
	0,00	4,30	1,19	355	468		488	5,01	30
	0,00	1,30	0,36	310	420		423	0,42	33
21,50	5,97	4,80	1,33	458	779	1087	474	5,14	33
21,60	6,00	3,50	0,97	412	507	1178	484	4,68	40
20,10	5,58	5,00	1,39	234	678	1099	412	2,3	36
7,90	2,19	1,30	0,36	333	529	1032	611	1,5	32
19,30	5,36	4,20	1,17					4,9	40
15,00	4,17	5,50	1,53	298	657	1123	379	1,86	34
20,60	5,72	4,60	1,28					5,3	44
20,50	5,69	4,50	1,25					4,65	30
17,40	4,83	4,30	1,19	260	708	1289	383	2,17	32
6,50	1,81	1,60	0,44	245	512	998	512	1,49	40
17,80	4,94	3,90	1,08					4,3	33
		2,50	0,69	225	550	kein	337	2	32
19,80	5,50	4,40	1,22	365	712	1067	456	1,41	30
13,30	3,69	2,70	0,75	230	528	968	244	3,1	32
6,30	1,75	1,60	0,44	233	543	1003	362	1,37	43
19,50	5,42	4,90	1,36	239	649	1227	421	3,67	36
10,80	3,00	2,80	0,78	297	651	1181	413	2,4	48
15,60	4,33	4,70	1,31	245	613	1012	345	1,42	32
17,80	4,94	4,70	1,31	278	732	1134	532	2,83	34

HF max	HF Schritt (abreiten)	HF in Ruhe (absatteln)	HF σ	Dauer (min)	Besonderheit
	50	44	53	18	Polizeipferd
	90	44	90	9	Polizeipferd
	60	40	45	10	Polizeipferd
	65	40	55	19	Polizeipferd
193	66	52	101	134	
186	70	58	104	134	
198	100	66	111	32	
225	99	70	124	44	
162	102	68	116	43	
kein	66	44	61	69	Kutschpferd
kein	60	44	56	18	Kutschpferd
199	84	66	98	63	
172	61	60	79	79	Rehe
188	96	68	135	27	
144	77	48	92	66	
160	99	52	92	80	
159	85	64	88	19	
182	103	56	100	88	
198	70	65	85	86	
197	66	48	98	29	
156	78	56	97	44	
160	80	44	78	82	
108	74	52	77	34	
162	90	68	56	19	
85	60	40	45	67	
144	85	66	87	50	
137	72	66	90	44	
135	68	44	81	51	Ex-Galopper
169	90	66	56	17	
224	87	60	74	35	

ID	Rasse	Alter	Größe	Gruppe	Gewicht	BCS	KI	Boden	Bewegungsart
68	Freiberger	18	156	K	463	6	3,0	Sand Platz	Geritten Englisch
67	Freiberger	10	155	K	464	5	3,0	Sand Halle	Geritten englisch
11	Dt Sportpferd	6	161	G	491	5	3,0	Gelände	Geritten Englisch
46	Quarab	7	158	K	486	5	3,1	Gelände	Geritten Englisch
70	Quarter-Mix	12	156	K	480	5	3,1	Sand Halle	Geritten Englisch
33	Andalusier Mix	8	150	K	462	6	3,1	Sand Platz	geritten Englisch
74	Norweger	4	140	P	435	6	3,1	Sand Halle	Geritten Englisch
18	Freiberger	8	154	K	479	5	3,1	Sand Platz	Geritten Englisch
15	Warmblut	9	168	G	535	4	3,2	Sand Halle	Geritten englisch
8	Quarab	21	145	P	465	5	3,2	Sand Platz	Geritten Englisch
6	Haflinger	25	149	K	480	5	3,2	Gelände	Geritten Englisch
27	Warmblut	12	168	G	542	6	3,2	Sand Platz	Geritten Englisch
76	Norweger	5	144	P	466	5	3,2	Sand Halle	Geritten Englisch
16	Warmblut	7	169	G	548	5	3,2	Sand Platz	Geritten Englisch
3	Haflinger	23	145	P	475	6	3,3	Gelände	Geritten Englisch
31	Warmblut	10	169	G	555	5	3,3	Sand Platz	Geritten Englisch
55	Warmblut	10	165	G	556	5	3,4	Gelände	Geritten Englisch
56	Warmblut	10	165	G	556	5	3,4	Gelände	Geritten Englisch
77	Warmblut	5	168	G	572	5	3,4	Sand Halle	Geritten Englisch
72	Norweger	11	143	P	487	6	3,4	Sand Platz	Geritten Englisch
2	Hannoveraner	13	165	G	563	6	3,4	Sand Halle	Geritten Englisch
20	Freiberger	6	160	K	547	6	3,4	Sand Platz	Geritten Englisch
53	Warmblut	8	168	G	575	5	3,4	Gelände	Geritten Englisch
54	Warmblut	8	168	G	575	5	3,4	Gelände	Geritten Englisch
51	Warmblut	8	170	G	582	5	3,4	Gelände	Geritten Englisch
52	Warmblut	8	170	G	582	5	3,4	Gelände	Geritten Englisch
64	Warmblut	14	168	G	580	5	3,5	Gelände	Geritten Englisch
65	Warmblut	14	168	G	580	5	3,5	Gelände	Geritten Englisch
28	Warmblut	10	173	G	614	6	3,5	Gelände	Geritten Englisch
42	Warmblut	17	174	G	621	6	3,6	Sand Halle	Geritten Englisch
23	Warmblut	12	168	G	620	6	3,7	Gelände	Geritten Englisch

Wetter	HF Schritt	HF Trab	HF Galopp	HF ø	Steps ø pro 2s	Steps ø pro s	Schrittlänge ø	Steps Schritt ø	Steps Schritt pro s	Steps Trab ø
sonnig 10°	31	83	112	46	4	2	0,50	4	2	4
bedeckt 4°	40	72	206	83	3	1,5	0,24	3	1,5	3
regnerisch 13°	46	117	188	74	3	1,5	0,93	4	2	3
sonnig 4°	49	111	174	88	3	1,5	1,02	3	1,5	3
sonnig 20°	34	74	110	64	3	1,5	0,67	3	1,5	3
sonnig 10°	36	96	126	83	3	1,5	0,80	3	1,5	4
sonnig 27°	38	60	110	64	3	1,5	0,28	4	2	3
sonnig 10°	61	106	130	79	3	1,5	0,91	3	1,5	3
sonnig 16°	38	100	150	89	3	1,5	0,78	3	1,5	3
sonnig 13°	57	73	142	99	2,5	1,25	1,22	4	2	3
sonnig 16°	40	110	180	105	3	1,5	0,63	3	1,5	3
bedeckt 5°	36	91	134	97	3	1,5	1,02	3	1,5	3
sonnig 27°	44	81	166	108	3	1,5	0,37	3	1,5	3
bedeckt 6°	36	67	155	89	3	1,5	0,94	3	1,5	3
sonnig 7°	60	92	120	78	2,5	1,25	0,80	3	1,5	3
sonnig 13°	36	90	165	88	3	1,5	0,98	3	1,5	3
sonnig 20°	90	131	214	119						
sonnig 24°	93	123	225	203						
sonnig 15°					3	1,5	0,81	3	1,5	3
sonnig 10°	52	85	119	94	3	1,5	0,78	3	1,5	3
sonnig 15°					3	1,5	0,67	3	1,5	3
sonnig 10°	43	87	142	91	3	1,5	1,06	3	1,5	4
sonnig 20°	87	112	187	101						
sonnig 23°	64	118	217	190						
sonnig 10°	105	126	221	109						
Regen 9°	96	115	219	205						
sonnig 10°	86	107	195	107						
Regen 18°	58	90	235	208						
sonnig 22°					3	1,5	0,72	3	1,5	3
sonnig 17°					3	1,5	0,98	3	1,5	3
sonnig 22°	47	113	171	92	3	1,5	1,26	3	1,5	3

Steps Trab pro s	Steps Galopp \varnothing	Steps Galopp pro s	Schrittlänge Schritt	Schrittlänge Trab	Schrittlänge Galopp	v Schritt (km/h) \varnothing	v Schritt m/s	v Trab km/h \varnothing	v Trab (m/s)
2	4	2	0,18	0,99	2,40	1,3	0,36	7,10	1,97
1,5	3	1,5	0,24	0,61	1,28	1,3	0,36	3,30	0,92
1,5	4	2	0,40	2,70	4,67	2,9	0,81	14,60	4,06
1,5	4	2	0,74	2,48	3,51	4	1,11	13,40	3,72
1,5	3	1,5	0,37	1,39	2,20	2	0,56	7,50	2,08
2	3	1,5	0,65	1,28	2,94	3,5	0,97	9,20	2,56
1,5	3,75	1,875	0,31	1,28	1,90	2,2	0,61	6,90	1,92
1,5	3	1,5	0,41	1,70	3,96	2,2	0,61	9,20	2,56
1,5	3	1,5	0,52	1,50	2,59	2,8	0,78	8,10	2,25
1,5	3	1,5	0,43	1,63	2,94	3,1	0,86	8,80	2,44
1,5	3	1,5	0,69	1,46	3,24	3,7	1,03	7,90	2,19
1,5	3	1,5	0,35	0,94	4,59	1,9	0,53	5,10	1,42
1,5	3	1,5	0,44	1,17	1,81	2,4	0,67	6,30	1,75
1,5	3	1,5	0,30	1,06	3,52	1,6	0,44	5,70	1,58
1,5	3	1,5	0,72	1,54	3,39	3,9	1,08	8,30	2,31
1,5	3	1,5	0,26	1,02	4,72	1,4	0,39	5,50	1,53
						6,5	1,81	12,90	3,58
						6,7	1,86	13,30	3,69
1,5	3	1,5	0,54	1,13	2,37	2,9	0,81	6,10	1,69
1,5	3	1,5	0,52	1,44	2,33	2,8	0,78	7,80	2,17
1,5	3	1,5	0,33	0,93	2,13	1,8	0,50	5,00	1,39
2	3	1,5	0,72	0,72	2,20	3,9	1,08	5,20	1,44
						5,6	1,56	12,80	3,56
						5,9	1,64	13,50	3,75
						5,2	1,44	11,64	3,23
						6,1	1,69	13,50	3,75
						6,1	1,69	12,90	3,58
						6	1,67	12,00	3,33
1,5	3	1,5	0,41	1,07	2,93	2,2	0,61	5,80	1,61
1,5	3	1,5	0,44	1,00	2,26	2,4	0,67	5,40	1,50
1,5	3	1,5	1,28	2,78	5,39	6,9	1,92	15,00	4,17

v Gallopp km/h \varnothing	v Galopp (m/s)	\varnothing v (km/h)	\varnothing v (m/s)	Activity Schritt	Activity Trab	Activity Gallopp	Activity \varnothing	Distanz (km)	HF in Ruhe
17,30	4,81	3,60	1,00	259	576	989	345	28	32
6,90	1,92	1,30	0,36	322	651	1251	364	1,57	41
33,60	9,33	5,00	1,39	340	651	1887,75	340	6,66	40
25,30	7,03	5,50	1,53	258	764,5	1245	612	4,52	32
11,90	3,31	3,60	1,00	287	742	1124,5	346	3,5	30
15,90	4,42	4,30	1,19	313	723	1008	456	2,73	32
12,80	3,56	1,50	0,42	317,5	853	1151,25	337	1,2	30
21,40	5,94	4,90	1,36	345	632	1034	389	2,51	30
14,00	3,89	4,20	1,17	342	624	1189	478	2,98	38
15,90	4,42	5,50	1,53	256	550	1017	310	3,21	30
17,50	4,86	3,40	0,94	288	634,25	1113,5	270	4,9	32
24,80	6,89	5,50	1,53	332	543	1001	545	3,99	36
9,80	2,72	2,00	0,56	346,5	742	1157	384	1	38
19,00	5,28	5,10	1,42	378	509	1006	546	6,1	36
18,30	5,08	3,60	1,00	274	621	1060	265	4,67	32
25,50	7,08	5,30	1,47	345	490	987	456	4,83	32
47,50	13,19	11,80	3,28					5,4	44
49,50	13,75	29,60	8,22					7,2	33
12,80	3,56	4,40	1,22					3,3	
12,60	3,50	4,20	1,17	310	645	1243	408	2,45	32
11,50	3,19	3,60	1,00					4,6	
11,90	3,31	5,70	1,58	323	765	1322	578	2,02	32
33,80	9,39	13,30	3,69					10,2	40
43,80	12,17	32,50	9,03					12,1	36
45,72	12,70	10,90	3,03					10,3	40
43,02	11,95	32,20	8,94					9,06	44
39,42	10,95	12,70	3,53					11,5	33
50,28	13,97	35,34	9,82					11,6	33
15,80	4,39	3,90	1,08					4,71	
12,20	3,39	5,30	1,47					4,8	
29,10	8,08	6,80	1,89	401	501	1322	423	8,8	36

HF max	HF Schritt (abreiten)	HF in Ruhe (absatteln)	HF σ	Dauer (min)	Besonderheit
112	83	36	46	44	
206	65	56	83	69	
188	70	58	74	79	
170	79	56	88	49	
110	54	51	64	59	
126	64	40	83	37	
110	70	54	64	27	BuCha
130	103	64	79	30	
150	86	56	89	42	
142	108	75	99	35	
180	100	60	105	65	Rehe-Rentner
134	69	54	97	43	
166	81	64	108	28	BuCha
155	62	44	89	71	
120	64	48	78	77	Rentner
165	56	44	75	53	
214	90	76	119	27	VS Pferd
225	132	93	203	31	VS Pferd
				55	
119	93	60	94	34	
				62	
142	87	48	42	21	
187	100	80	101	45	VS Pferd
217	100	86	190	54	VS Pferd
221	105	96	109	56	VS Pferd
219	102	88	205	32	VS Pferd
195	90	58	107	54	VS Pferd
208	140	100	208	35	VS Pferd
				27	Polizeipferd
				54	
171	80	44	92	77	Jagdpferd

ID	Rasse	Alter	Größe	Gruppe	Gewicht	BCS	KI	Boden	Bewegungsart
23	Warmblut	12	168	G	620	6	3,7	Sand Halle	Geritten Englisch
10	Warmblut	4	176	G	655	5	3,7	Sand Halle	Geritten Englisch
9	Warmblut	15	181	G	692	6	3,8	Sand Halle	Geritten Englisch
9	Warmblut	15	181	G	692	6	3,8	Sand Platz	Geritten Englisch
29	Warmblut	9	181	G	697	6	3,9	Gelände	Geritten Englisch
19	Hannoveraner	15	184	G	720	5	3,9	Gelände	Geritten Englisch
19	Hannoveraner	15	184	G	720	5	3,9	Sand Halle	Geritten Englisch
34	Warmblut	8	188	G	760	6	4,0	Sand Halle	Geritten Englisch
31	Warmblut	10	170	G	555	5	3,3	Sand Platz	geritten Halsring
7	Isländer-Mix	10	115	P	293	5	2,5	Sand Platz	geritten sattellos
75	Haflinger	10	147	P	429	5	2,9	Sand Halle	geritten Springen
34	Warmblut	8	188	G	760	6	4,0	Sand Halle	geritten Springen
45	Welsh Mix	16	128	P	335	4	2,6	Sand Halle	geritten Western
38	QH	6	144	P	418	5	2,9	Sand Halle	geritten Western
69	QH	6	151	K	435	5	2,9	Sand Halle	geritten Western
36	Pony-Mix	13	149	K	448	5	3,0	Sand Platz	geritten Western
39	QH	12	145	P	451	5	3,1	Sand Halle	geritten Western
73	QH	11	150	K	477	5	3,2	Sand Halle	geritten Western
13	Dt Sportpferd	8	155	K	514	5	3,3	Gelände	geritten Western
5	Haflinger	9	141	P	481	5	3,4	Gelände	geritten Western
12	dt Reitpony	9	152	K	525	5	3,5	Gelände	geritten Western
43	Kaltblut-Mix	23	158	K	580	6	3,7	Sand Platz	geritten Western
78	Shettie	20	95	P	188	6	2,0	Sand Platz	longiert
40	Shettie	18	95	P	190	5	2,0	Sand Patz	longiert
30	Shettie	7	95	P	205	6	2,2	Sand Platz	longiert
24	Isländer-Mix	11	124	P	302	4	2,4	Sand Platz	longiert
44	Welsh Mix	6	127	P	315	4	2,5	Sand Halle	longiert
17	Vollblutaraber	6	151	K	349	5	2,3	Sand Platz	longiert

Wetter	HF Schritt	HF Trab	HF Galopp	HF ø	Steps ø pro 2s	Steps ø pro s	Schrittlänge ø	Steps Schritt ø	Steps Schritt pro s	Steps Trab ø
sonnig 20 °	44	98	138	66	3	1,5	1,06	3	1,5	3
sonnig 15°	44	112	165	95	3	1,5	1,17	3	1,5	3
	61	89	129	77	3	1,5	0,78	3	1,5	3
	40	99	121	68	3	1,5	0,70	3	1,5	3
sonnig 23°					3	1,5	0,39	3	1,5	3
sonnig 16°	68	104	168	81	3	1,5	1,19	3	1,5	3
bedeckt -1°	34	91	225	72	3	1,5	0,72	3	1,5	2
	39	102	178	87	3	1,5	0,70	3	1,5	3
bedeckt 5°	32	96	192	114	3	1,5	1,00	3	1,5	3
sonnig 18°	63	128	175	105	3	1,5	0,67	4	2	3
sonnig 16°	44	66	94	56	2	1	0,89	3	1,5	3
	35	113	194	91	3	1,5	0,76	3	1,5	3
bewölkt 11°	48	90	119	105	3	1,5	0,46	3	1,5	3
sonnig 15°	52	146	178	127	3	1,5	0,43	3	1,5	4
bewölkt 11°	38	90	175	125	3	1,5	0,63	3	1,5	3
sonnig 13°	39	90	144	94	3	1,5	0,85	3,5	1,75	3
sonnig 5°	56	81	132	85	3	1,5	0,56	3	1,5	3
sonnig 5°	46	78	123	115	2,5	1,25	0,76	3	1,5	3
sonnig 15°	39	92	175	89	3	1,5	1,02	3	1,5	3
bewölkt 13°	48	74	186	81	2	1	1,17	3	1,5	3
sonnig 15°	44	100	179	83	3	1,5	0,83	3	1,5	3
Sonnig 8°	68	114	122	93	3	1,5	0,61	3	1,5	3
sonnig 6°	102	142	213	128	4	2	0,32	4	2	4
sonnig 18°	68	120	190	125	3	1,5	0,28	4	2	3,5
sonnig 13°	64	120	190	125	4	2	0,07	4	2	4
Sonnig 6°	110	128	224	199	4	2	0,33	4	2	3
bewölkt 13°	32	80	90	40	3	1,5	0,09	3	1,5	3
bedeckt 7°	70	117	176	149	3	1,5	1,02	3	1,5	3

Steps Trab pro s	Steps Galopp \varnothing	Steps Galopp pro s	Schrittlänge Schritt	Schrittlänge Trab	Schrittlänge Galopp	v Schritt (km/h) \varnothing	v Schritt m/s	v Trab km/h \varnothing	v Trab (m/s)
1,5	3	1,5	0,31	1,07	4,89	1,7	0,47	5,80	1,61
1,5	3	1,5	0,46	1,44	3,63	2,5	0,69	7,80	2,17
1,5	3	1,5	0,35	0,65	2,76	1,9	0,53	3,50	0,97
1,5	3	1,5	0,37	1,17	2,57	2	0,56	6,30	1,75
1,5	3	1,5	0,22	1,37		1,2	0,33	7,40	2,06
1,5	3	1,5	0,94	1,93	5,94	5,1	1,42	10,40	2,90
1	3	1,5	0,43	2,11	2,26	2,3	0,64	7,60	2,11
1,5	3	1,5	0,41	1,22	7,35	2,2	0,61	6,60	1,83
1,5	3	1,5	0,37	1,02	3,50	2	0,56	5,50	1,53
1,5	4	2	0,31	1,43	2,64	2,2	0,61	7,70	2,14
1,5	4	2	0,39	1,39	2,15	2,1	0,58	7,50	2,08
1,5	3	1,5	0,43	1,41	2,81	2,3	0,64	7,60	2,11
1,5	4	2	0,37	1,33	1,57	2	0,56	7,20	2,00
2	4	2	0,52	1,13	1,90	2,8	0,78	8,10	2,25
1,5	3	1,5	0,43	1,52	3,26	2,3	0,64	8,20	2,28
1,5	4	2	0,33	1,37	2,24	2,1	0,58	7,40	2,06
1,5	3	1,5	0,70	1,37	2,28	3,8	1,06	7,40	2,06
1,5	4	2	0,52	1,81	2,24	2,8	0,78	9,80	2,72
1,5	4	2	0,67	2,78	4,22	3,6	1,00	15,00	4,17
1,5	4	2	0,59	2,41	2,83	3,2	0,89	13,00	3,61
1,5	4	2	0,65	2,28	2,89	3,5	0,97	12,30	3,42
1,5		0	0,35	1,65		1,9	0,53	8,90	2,47
2	4	2	0,21	1,06	1,96	1,5	0,42	7,60	2,11
1,75	4	2	0,15	0,54	1,06	1,1	0,31	3,40	0,94
2	4	2	0,13	0,31	0,71	0,9	0,25	2,20	0,61
1,5	4	2	0,28	0,94	1,15	2	0,56	5,10	1,42
1,5	4	2	0,11	0,37	0,60	0,6	0,17	2,00	0,56
1,5	4	2	0,67	2,48	2,82	3,6	1,00	13,40	3,72

v Galopp km/h \varnothing	v Galopp (m/s)	\varnothing v (km/h)	\varnothing v (m/s)	Activity Schritt	Activity Trab	Activity Galopp	Activity \varnothing	Distanz (km)	HF in Ruhe
26,40	7,33	5,70	1,58	346	512	1100	543	5,1	28
19,60	5,44	6,30	1,75						33
14,90	4,14	4,20	1,17	365	498	1065	452	4,8	30
13,90	3,86	3,80	1,06	359	498	1098	566	4,52	30
		2,10	0,58					2,73	
32,10	8,92	6,40	1,78					11,2	30
12,20	3,39	3,90	1,08	353,75	591	1157	414	4	28
39,70	11,03	3,80	1,06	402	612	1356	560	3,8	37
18,90	5,25	5,40	1,50	334	412	999	435	2,65	32
19,00	5,28	3,60	1,00	263	783	1120	426	2,04	48
15,50	4,31	3,20	0,89	292	722	1063	370	3,14	36
15,20	4,22	4,10	1,14	400	502	1265	498	4,5	35
11,30	3,14	2,50	0,69	268	628	1167	422	1,86	38
13,70	3,81	2,30	0,64	366	651	1216	615	1,71	44
17,60	4,89	3,40	0,94	234	660,5	905	287	2,46	32
16,10	4,47	4,60	1,28	340	664	1269	494	4,59	36
12,30	3,42	3,00	0,83	286	668	1174	549	3,43	48
16,10	4,47	3,40	0,94	265	642	1152	414	3,51	30
30,40	8,44	5,50	1,53	280	754,75	1459,25	287	14,99	30
20,40	5,67	4,20	1,17	288	516	1364	220	4,38	32
20,80	5,78	4,50	1,25	327	741	1600	376	7,43	36
		3,30	0,92	315	620		256	2,24	34
14,10	3,92	2,30	0,64	284,75	619,5	1092	382	1,67	32
7,60	2,11	1,50	0,42	194	578	930	385	0,7	44
5,10	1,42	0,50	0,14	274	794,5	1087	717	0,5	32
8,30	2,31	2,40	0,67	292	946,5	1167,75	343	1,33	40
4,30	1,19	0,50	0,14	235,5	874,75	1041	294	0,38	30
20,30	5,64	5,50	1,53	372,25	722	1491,5	702	2,06	36

HF max	HF Schritt (abreiten)	HF in Ruhe (absatteln)	HF σ	Dauer (min)	Besonderheit
138	70	44	78	66	Jagdpferd
169	96	60	95	65	
129	88	56	77	68	Polizeipferd
121	66	40	68	71	Polizeipferd
				77	Polizeipferd
169	77	58	81	103	Jagdpferd
225	70	65	72	62	Jagdpferd
178	98	56	87	60	Polizeipferd
					Zahn OP vor 8 Wochen
192	90	56	114	29	
175	107	76	105	33	
94	56	44	56	59	Sportpferd
194	88	56	91	66	Polizeipferd
119	100	60	105	44	
178	90	56	127	45	Kopper
175	64	44	125	43	Hengst
144	77	44	94	59	
132	77	56	85	69	
118	68	60	115	62	
175	88	52	89	164	
186	72	48	81	63	
179	70	48	83	100	
122	80	66	93	40	
213	117	80	128	43	
198	86	72	125	28	Rehe
190	72	48	125	51	
					Kolik OP 6 Monate
224	191	80	199	32	
90	40	32	48	42	
176	80	60	149	22	

ID	Rasse	Alter	Größe	Gruppe	Gewicht	BCS	KI	Boden	Bewegungsart
84	Tinker	3	143	P	349	6	2,4	Sand Platz	longiert
1	Vollblutaraber	15	150	K	384	5	2,6	Sand Platz	longiert
83	Partbred	11	147	P	389	5	2,6	Sand Platz	longiert
49	Haflinger	17	136	P	390	5	2,9	Sand Platz	longiert
82	Araber	13	153	K	411	5	2,7	Sand Platz	longiert
38	QH	6	144	P	418	5	2,9	Sand Halle	longiert
48	Araber-Mix	14	149	K	422	5	2,8	Sand Halle	longiert
69	QH	6	151	K	435	5	2,9	Sand Halle	longiert
26	Knabstrupper	13	155	K	443	4	2,9	Sand Platz	longiert
79	engl VB	8	162	G	448	5	2,8	Sand Platz	longiert
46	Quarab	7	158	K	486	5	3,1	Sand Platz	longiert
70	QH	12	156	K	480	5	3,1	Sand Halle	longiert
39	QH	12	145	P	451	5	3,1	Sand Halle	longiert
73	QH	11	150	K	477	5	3,2	Sand Halle	longiert
27	Warmlut	12	168	G	542	6	3,2	Sand Platz	longiert
16	Warmblut	7	169	G	548	5	3,2	Sand Platz	Longiert
31	Warmblut	10	169	G	555	5	3,3	Sand Platz	longiert
58	Trakehner	9	170	G	630	5	3,7	Sand Platz	longiert
34	Warmblut	8	188	G	760	6	4,0	Sand Halle	longiert
34	Warmblut	8	188	G	760	6	4,0	Sand Halle	longiert
60	Percheron	9	174	G	950	5	5,5	Sand Platz	longiert
59	Percheron	19	174	G	1050	7	6,0	Sand Platz	longiert
37	Welsh Mix	4	130	P	315	5	2,4	Sand Platz	longiert

Wetter	HF Schritt	HF Trab	HF Galopp	HF \varnothing	Steps \varnothing pro 2s	Steps \varnothing pro s	Schrittlänge \varnothing	Steps Schritt \varnothing	Steps Schritt pro s	Steps Trab \varnothing
sonnig 8°	54	119		90	3	1,5	0,19	3	1,5	3
bedeckt 5°	49	125	210	130	3,5	1,75	0,90	3	1,5	4
bedeckt 5°	60	113	178	125	3	1,5	0,93	3	1,5	3
sonnig 6°	118	170	225	162	3	1,5	0,61	3	1,5	3
bedeckt 7°	55	99	162	116	3	1,5	1,00	3	1,5	3
bedeckt 4°	50	116	188	121	3	1,5	0,65	3	1,5	3
bedeckt -5°	36	88	160	84	3	1,5	0,44	3	1,5	3
bedeckt 7°	46	168	168	97	3	1,5	0,54	3	1,5	3
sonnig 6°	65	82	225	144	3	1,5	0,78	3	1,5	3
bedeckt 4°	45	93	203	90	3	1,5	0,46	3	1,5	3
bedeckt 7°	60	105	186	130	3	1,5	1,06	3	1,5	3
bedeckt -5°	44	130	188	92	3,5	1,75	0,76	3	1,5	3,5
Bedeckt -5°	40	99	200	97	3	1,5	0,98	3	1,5	3
bedeckt 3°	52	99	119	110	3	1,5	0,07	3	1,5	3
sonnig 13°	44	49	145	83	3	1,5	0,43	3	1,5	3
sonnig 13°	42	72	154	74	3	1,5	0,50	3	1,5	3
sonnig 14°	43	100	127	70	3	1,5	0,41	3	1,5	3
sonnig 22°	55	95	178	83	3	1,5	1,09	3	1,5	3
					3	1,5	0,61	3	1,5	3
					3	1,5	0,74	3	1,5	3
sonnig 22°	40	112	185	120	2	1	1,14	3	1,5	3
sonnig 22°	43	128	173	96	2	1	1,06	3	1,5	3
sonnig 10°	52	98	152	97	4	2	0,51	2,5	1,25	4

Steps Trab pro s	Steps Galopp \varnothing	Steps Galopp pro s	Schrittlänge Schritt	Schrittlänge Trab	Schrittlänge Galopp	v Schritt (km/h) \varnothing	v Schritt m/s	v Trab km/h \varnothing	v Trab (m/s)
1,5		0	0,30	0,81		1,6	0,44	4,40	1,22
2	4	2	0,70	1,94	2,65	3,8	1,06	14,00	3,89
1,5	4	2	0,52	2,31	2,74	2,8	0,78	12,50	3,47
1,5	3	1,5	0,44	1,48	2,59	2,4	0,67	8,00	2,22
1,5	4	2	0,72	1,11	2,64	3,9	1,08	6,00	1,67
1,5	4	2	0,28	0,65	1,43	1,5	0,42	3,50	0,97
1,5	3	1,5	0,35	1,28	1,87	1,9	0,53	6,90	1,92
1,5	4	2	0,28	0,37		1,5	0,42	2,00	0,56
1,5	3	1,5	0,54	1,76	3,65	2,9	0,81	9,50	2,64
1,5	3	1,5	0,70	1,59	2,00	3,8	1,06	8,60	2,39
1,5	3	1,5	0,70	2,02	3,11	3,8	1,06	10,90	3,03
1,75	4	2	0,44	1,65	2,15	2,4	0,67	10,40	2,89
1,5	4	2	0,54	2,44	2,33	2,9	0,81	13,20	3,67
1,5	3	1,5	0,13	0,50	0,72	0,7	0,19	2,70	0,75
1,5	3	1,5	0,33	0,96	2,70	1,8	0,50	5,20	1,44
1,5	3	1,5	0,39	1,02	2,13	2,1	0,58	5,50	1,53
1,5	3	1,5	0,28	0,89	2,26	1,5	0,42	4,80	1,33
1,5	3	1,5	0,39	1,30	3,57	2,1	0,58	7,00	1,94
1,5	3	1,5	0,43	1,20	1,96	2,3	0,64	6,50	1,81
1,5	3	1,5	0,35	1,20	2,61	1,9	0,53	6,50	1,81
1,5	3	1,5	0,39	1,39	2,41	2,1	0,58	7,50	2,08
1,5	3	1,5	0,74	1,76	2,50	4	1,11	9,50	2,64
2	4	2	0,62	1,21	1,89	2,8	0,78	8,70	2,42

v Gallopp km/h \varnothing	v Galopp (m/s)	\varnothing v (km/h)	\varnothing v (m/s)	Activity Schritt	Activity Trab	Activity Gallopp	Activity \varnothing	Distanz (km)	HF in Ruhe
		1,00	0,28	356	717		256	0,5	32
19,10	5,31	5,70	1,58	355	810	1234,5	567	2,61	40
19,70	5,47	5,00	1,39	365	702	1345	656	2,73	32
14,00	3,89	3,30	0,92	187,5	553	1014	391	1,92	32
19,00	5,28	5,40	1,50	256	807	1223	592	3,09	44
10,30	2,86	3,50	0,97	312	678,25	1078	456	1	44
10,10	2,81	2,40	0,67	240	689	955	240	2,4	36
		2,90	0,81	267	727,25	1117	585	0,35	36
19,70	5,47	4,20	1,17	256	589	1189,5	529	2,99	40
10,80	3,00	2,50	0,69	248,5	689,5	1111	278	2,16	36
16,80	4,67	5,70	1,58	259,5	791	1115,5	688	2,2	44
15,50	4,31	4,80	1,33	256	786	1206	699	3,6	40
16,80	4,67	5,30	1,47	330	809	1392	745	4,1	36
3,90	1,08	0,40	0,11	232	534	961	253	0,27	32
14,60	4,06	2,30	0,64	289	478	1105	511	1,77	25
11,50	3,19	2,70	0,75	290	439	1056	604	2,19	33
12,20	3,39	2,20	0,61	322	511	1090	561	1,97	32
19,30	5,36	5,90	1,64	333	472	1022	456	1,85	45
10,60	2,94	3,30	0,92	298	399	965	401	2,88	
14,10	3,92	4,00	1,11						
13,00	3,61	4,10	1,14	355	462	1100	466	1,3	33
13,50	3,75	3,80	1,06	365	450	1085	456	1,3	30
13,60	3,78	3,70	1,03	230	543	1013	285	1,93	34

HF max	HF Schritt (abreiten)	HF in Ruhe (absatteln)	HF α	Dauer (min)	Besonderheit
0	80	60	90	27	Jungpferd Anreiten
210	96	66	130	27	
178	80	56	125	33	
225	135	68	162	34	
162	76	54	116	34	
176	80	56	121	33	Kopper
160	74	56	84	40	
168	56	48	97	28	Hengst
225	85	60	144	42	
204	54	35	90	52	
186	90	66	130	23	
188	88	60	92	50	
200	80	58	97	45	
119	60	44	100	37	
173	60	48	83	45	
95	48	43	74	48	
127	66	46	70	52	
178	99	55	83	19	
				52	Polizeipferd
185	100	66	120	19	Kutschpferd
170	95	60	96	20	Kutschpferd
152	91	62	97	30	

X. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Ellen Kienzle für die Überlassung dieses interessanten Themas meiner Promotionsarbeit. Außerdem bedanke ich mich sehr für ihre tatkräftige Unterstützung und ihre stets hilfsbereite und gute Betreuung während der Anfertigung der Arbeit.

Vielen Dank an Dr. Nadine Gerth und Dr. Linda Böswald für die Einarbeitung in die Methodik der Acticals und die stets hilfsbereite Unterstützung während des Auslesens der Daten, sowie die vielen Ratschläge hinsichtlich der Ergebnisse der Daten.

Ich danke zudem dem freundlichen Team des Lehrstuhls für Tierernährung und Diätetik für fortwährende Unterstützung und Beantworten jedweder Fragen.

Besonderer Dank gilt auch allen Reitern, die mir sich und ihre Pferde und Ponys für die Datengewinnung zur Verfügung gestellt haben und geduldig während der gesamten Arbeit bereit waren für eventuell weitere Versuche parat zu stehen.

Von Herzen danke ich meiner Familie, allen voran meinen Eltern, die mir das Studium der Veterinärmedizin ermöglicht haben und mich während der Anfertigung der Doktorarbeit bedingungslos unterstützt und immer an mich geglaubt haben.

