

Aus der Klinik für Pferde  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

# **Speckletracking, Herzratenvariabilität und Blutdruckmessung beim Distanzpferd**

**Inaugural-Dissertation**  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Veterinärmedizin  
an der  
Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
**Selina Karoline Kerstin Kuban**  
Tierärztin aus Fürth

Berlin 2021  
Journal-Nr.: 4270







Aus der Klinik für Pferde  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

**Speckletracking, Herzratenvariabilität und Blutdruckmessung beim Distanzpferd**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades  
eines Doktors der Veterinärmedizin  
an der  
Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
**Selina Karoline Kerstin Kuban**  
Tierärztin  
aus Fürth

**Berlin 2021**

**Journal-Nr.: 4270**

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek  
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Heidrun Gehlen  
Zweiter Gutachter: PD Dr. Marianne Skrodzki  
Dritter Gutachter: Prof. Dr. Karl-Heinz Lahrmann

*Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):*  
horses, animal sports, horse riding, heart rate, blood pressure,  
echocardiography, veterinary practice

Tag der Promotion: 17.03.2021

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<https://dnb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-96729-102-5

**Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2021**

Dissertation, Freie Universität Berlin

**D188**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2021

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – [www.menschundbuch.de](http://www.menschundbuch.de)

*Für Mama*





# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Literaturübersicht</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. Grundlagen des Distanzsports</b> .....	<b>3</b>
2.1.1. Reglement und Abläufe während eines Distanzrittes .....	3
2.1.2. Leistungsphysiologie des Pferdes .....	6
2.1.3. Pathologien des muskuloskelettalen Systems bei Distanzpferden .....	9
2.1.4. Metabolische Pathologien bei Distanzpferden .....	11
<b>2.2. Echokardiografie</b> .....	<b>14</b>
2.2.1. Grundlagen der Echokardiografie.....	14
2.2.2. Darstellungsmöglichkeiten mittels Echokardiografie .....	14
2.2.3. Grundlagen des Speckle Trackings.....	17
2.2.4. Speckle Tracking zur Untersuchung auf belastungsinduzierte Herzmuskelermüdung .....	20
<b>2.3. Herzratenvariabilität</b> .....	<b>23</b>
2.3.1. Physiologische Grundlagen der Herzratenvariabilität.....	23
2.3.2. Darstellung der verschiedenen Parameter der HRV .....	24
2.3.2.1. Zeitbezogene Parameter (time domain) .....	24
2.3.2.2. Frequenzbezogene Parameter (frequency domain).....	25
2.3.2.3. Nichtlineare Parameter .....	27
2.3.3. HRV im Ausdauersport.....	28
<b>2.4. Blutdruckmessung</b> .....	<b>30</b>
2.4.1. Physiologie des Blutdrucks.....	30
2.4.2 Methoden der Blutdruckmessung.....	30
2.4.2.1. Direkte Methode .....	30
2.4.2.2. Indirekte Methoden .....	31
2.4.3. Blutdruckmessung und Ausdauersport.....	32
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1. Probandenauswahl</b> .....	<b>34</b>

<b>3.2. Untersuchungsablauf.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3. Klinische Untersuchung .....</b>	<b>37</b>
3.3.1. Anamnese .....	37
3.3.2. Signalement.....	37
3.3.3. Allgemeine klinische Untersuchung.....	37
3.3.4. Spezielle Herz-Kreislauf-Untersuchung.....	37
<b>3.4. Echokardiografie .....</b>	<b>38</b>
3.4.1. Aufzeichnung .....	38
3.4.2. Auswertung B-Mode .....	39
3.4.3. Auswertung M-Mode .....	42
3.4.4. Auswertung Speckle Tracking .....	43
<b>3.5. Elektrokardiografie.....</b>	<b>46</b>
3.5.1. Aufzeichnung .....	46
3.5.2. Auswertung Elektrokardiogramme .....	47
3.5.3. Auswertung Herzratenvariabilität.....	48
<b>3.6. Blutdruckmessung .....</b>	<b>49</b>
3.6.1. Aufzeichnung .....	49
3.6.2. Auswertung.....	49
<b>3.7. Statistik.....</b>	<b>50</b>
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1. Patientengut.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2. Rittbedingungen .....</b>	<b>55</b>
<b>4.3. Trainingsroutine und Turnierdaten.....</b>	<b>55</b>
<b>4.4. Klinische Untersuchung .....</b>	<b>55</b>
4.4.1. Allgemeine klinische Untersuchung.....	55
4.4.2. Spezielle Herz-Kreislauf-Untersuchung.....	56
<b>4.5. Echokardiografie .....</b>	<b>56</b>
4.5.1. Auswertung B-Mode .....	56
4.5.2. Auswertung M-Mode .....	57
4.5.3. Auswertung Farbdoppler-Echokardiografie .....	59
4.5.4. Auswertung Speckle Tracking .....	59
4.5.4.1. Allgemeine Auswertung .....	59
4.5.4.2. Vergleich der Speckle Tracking Daten der Ausscheider und Finisher nach dem Rennen .....	60
4.5.4.3. Vergleich der Speckle Tracking Daten vor dem Rennen mit den Daten nach dem Rennen .....	63

4.5.4.4. Vergleich der Speckle Tracking Daten nach dem Rennen und nach drei Tagen.....	66
<b>4.6. Elektrokardiografie.....</b>	<b>67</b>
4.6.1. Allgemeine Auswertung.....	67
4.6.2. Vergleich der HRV-Daten nach dem Rennen.....	69
4.6.3. Vergleich der HRV-Daten vor dem Rennen mit den Daten nach dem Rennen....	69
4.6.4. Vergleich der HRV-Daten nach dem Rennen und nach drei Tagen.....	70
<b>4.7. Blutdruckmessung.....</b>	<b>71</b>
4.7.1. Allgemeine Daten.....	71
4.7.2. Vergleich des Blutdrucks nach dem Rennen.....	73
4.7.3. Vergleich des Blutdrucks vor dem Rennen mit nach dem Rennen.....	74
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>75</b>
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>88</b>
<b>7. Summary.....</b>	<b>90</b>
<b>8. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>92</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>XXV</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung.....</b>	<b>XXVI</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für eine Aufzeichnung der Bewegung des Interventrikularseptums mittels PW-TDI. ....	17
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Verformung des Myokards während eines Herzzyklus (SHETYE et al. (2015)). ....	19
Abbildung 3: Beispiel eines Poincaré-Plots. SD1 stellt die Breite der dargestellten Ellipse dar, SD2 die Länge. Links vor dem Distanztritt, rechts danach. ....	28
Abbildung 4: Farbdoppler der Aortenklappe von rechts. Zu sehen ist ein kleiner Regurgitationsjet an der Aortenklappe (Pfeil). LV= linker Ventrikel, RA= rechtes Atrium, RV= linker Ventrikel. ....	39
Abbildung 5: Vierkammerblick, modifiziert mit Blick auf den linken Vorhof. LA = linkes Atrium; LV = linker Ventrikel; PV = Pulmonalvene; RV = rechter Ventrikel.....	40
Abbildung 6: Vierkammerblick von rechts. LA = linkes Atrium; LV = linker Ventrikel; RA = rechtes Atrium; RV = rechter Ventrikel. ....	41
Abbildung 7: M-Mode Messung in der kurzen Achse auf Höhe der Papillarmuskeln. IVSd/s = Interventrikularseptum Diastole/Systole; LVFWd/s = linksventrikuläre Außenwand Diastole/Systole; LVIDd/s = linksventrikulärer innerer Diameter Diastole/Systole. ....	42
Abbildung 8: Darstellung der ROI in der kurzen rechtsparasternalen Achse auf Höhe der Papillarmuskeln aus DECLOEDT et al. (2013). Mit freundlicher Genehmigung von Annelies Decloedt. ....	45
Abbildung 9: Darstellung der ROI des Vierkammerblicks in der langen Achse, die apikalen Segmente sind von der Auswertung ausgeschlossen worden aus DECLOEDT et al. (2011). Mit freundlicher Genehmigung von Annelies Decloedt. ....	45
Abbildung 10: Befestigungspunkte der EKG-Klebelektroden für das Ruhe-EKG mit farblicher Markierung der jeweiligen Anschlüsse. Ansicht von links.....	46
Abbildung 11: Befestigung der EKG-Klebelektroden für das Ruhe-EKG mit farblicher Markierung des Anschlusses. Ansicht von rechts. ....	47
Abbildung 12: Berechnung Korrekturfaktor Blutdruckmessung. Die obere Linie stellt eine Horizontale zum Messpunkt am Schweif dar. Die untere Linie ist eine Horizontale auf Herzhöhe. Für einen Abstand von 30 cm wird mittels dem Korrekturfaktor 0,769 ein Druckunterschied von 23 mmHg berechnet, der auf die gemessenen Werte am Schweif hinzuaddiert wurde. ....	50

Abbildung 13: Boxplots der maximalen linksatrialen Fläche ( $LAA_{max}$ ). Vergleich der Werte von vor dem Ritt zu nach dem Ritt. Die Fläche ist in $cm^2$ angegeben. Nach dem Ritt war die $LAA_{max}$ mit einem p-Wert von 0,01 statistisch signifikant kleiner als vor dem Ritt. ...	57
Abbildung 14: Boxplots der Interventrikularseptumdicke in der Diastole (IVSd) im Vergleich zwischen vor dem Ritt zu nach dem Ritt. Die Dicke ist in cm angegeben. Nach dem Ritt konnte mit einem p-Wert von $< 0,001$ eine statistisch signifikant größere Dicke des IVSd gemessen werden. ....	59
Abbildung 15: Boxplots der gemittelten positiven longitudinalen Strain (Avg SLp). Vergleich zwischen Finishern und Ausscheidern. Die Strain ist in Prozent (%) angegeben. Die Avg SLp war bei den Ausscheidern nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,028 statistisch signifikant niedriger als bei den Finishern. ....	61
Abbildung 16: Boxplots der zirkumferentiellen Strain der linksventrikulären Außenwand (SC Post). Vergleich zwischen Finishern und Ausscheidern. Die Strain ist in Prozent (%) angegeben. SC Post ist bei den Finishern nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,037 statistisch signifikant niedriger als bei den Ausscheidern.....	62
Abbildung 17: Boxplots der systolischen longitudinalen Strain Rate der basalen linksventrikulären Außenwand ( $SrL_A$ basLat). Vergleich der Werte nach dem Rennen zwischen Finishern, metabolischen Ausscheidern und aus Lahmheitsgründen ausgeschiedenen Pferden. Die Einheit ist in $s^{-1}$ angegeben. Die $SrL_A$ der basalen linksventrikulären Außenwand war bei den Finishern mit einem p-Wert von 0,005 im Vergleich zu den aus metabolischen und aus Lahmheitsgründen ausgeschiedenen Pferden statistisch signifikant höher. ....	63
Abbildung 18: Boxplots des über alle Segmente gemittelten Peaks der longitudinalen Strain (Avg $SL_G$ ) im Vergleich zwischen vor dem Ritt zu nach dem Ritt. Die Strain ist in Prozent (%) angegeben. Der Durchschnitt der $SL_G$ war nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,003 statistisch signifikant höher als vor dem Ritt.....	64
Abbildung 19: Boxplots der systolischen longitudinalen Verformungsgeschwindigkeit über alle Segmente gemittelt (Avg $VL_S$ ). Vergleich zwischen den Werten vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen. Die Einheit ist in $s^{-1}$ angegeben. Der Durchschnitt der $VL_S$ war nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,043 statistisch signifikant niedriger als vor dem Ritt. Die mit • markierten Kategorien stellen die verglichenen Werte dar.....	67
Abbildung 20: AV-Block Grad II. Zu sehen ist eine P-Welle (roter Pfeil) ohne dazugehörigen QRS-Komplex. Der Abstand der RR-Abstände verdoppelt sich.....	68
Abbildung 21: Beispiel einer falschen Detektion einer R-Zacke (roter Pfeil).....	68
Abbildung 22: Beispiel einer Sinusarrhythmie. Zu erkennen ist eine Zunahme der Herzfrequenz (höhere Zahl der RR-Abstände pro Zeit), die dann langsam wieder abnimmt (niedrigere Zahlen der RR-Abstände).....	68

- Abbildung 23: Boxplots des Herzfrequenzverlaufs der mittleren gemessenen Herzfrequenz vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen. Die Einheit ist in bpm angegeben. Die mittlere Herzfrequenz war nach dem Ritt im Vergleich zu vor dem Ritt mit einem p-Wert von 0,001 statistisch signifikant höher. Die mittlere Herzfrequenz nach drei Tagen war im Vergleich zu den Werten nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,042 statistisch signifikant niedriger. Die mit • und \* markierten Kategorien stellen jeweils die verglichenen Werte dar. ....70
- Abbildung 24: Boxplots des mittleren RR-Abstands vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen. Die Einheit des RR-Abstandes ist in ms angegeben. Der mittlere RR-Abstand war im Vergleich zu vor dem Ritt mit einem p-Wert von 0,003 nach dem Ritt statistisch signifikant kürzer. Der mittlere RR-Abstand drei Tage nach dem Ritt war mit einem p-Wert von 0,043 im Vergleich zu den Werten nach dem Ritt statistisch signifikant höher. Die mit • und \* markierten Kategorien stellen jeweils die verglichenen Werte dar. ....71
- Abbildung 25: Boxplots der gemessenen systolischen Blutdruckwerte im Vergleich vor dem Rennen, ab der dritten Pause und nach dem Rennen. Die Einheit des Blutdrucks ist in mmHg angegeben. ....72
- Abbildung 26: Boxplots der Werte des systolischen Blutdrucks im Vergleich nach dem Rennen zwischen den Gruppen Finisher, metabolische Ausscheider sowie aufgrund von Lahmheit ausgeschiedenen Pferden. Der Blutdruck ist in mmHg angegeben. ....73

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Rittlängen von Eintageswettkämpfen sowie Anzahl der mindestens vorgeschriebenen Verfassungskontrollen zwischen den Loops national (VDD, 2019). ...4	
Tabelle 2: MOOCs im Vergleich zwischen nationaler Regelung des VDD und internationalen Regeln der FEI (VDD, 2019; FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020). Die zusätzlichen Tage der FEI gelten für Vorfälle pro Jahr..6	
Tabelle 3: Referenzwerte für verschieden HRV Frequenzbereiche für Mensch und Pferd....26	
Tabelle 4: Probandengut. ....35	
Tabelle 5: Nomenklatur der Abschnitte des Speckle Trackings. ....44	
Tabelle 6: Aufschlüsselung der ausgeschiedenen Teilnehmer insgesamt für alle an dem Wettkampftag ausgewerteten Distanzen, sowie Aufschlüsselung der Anzahl der ausgeschiedenen Studienteilnehmer inklusive Gründe des Ausscheidens. ....54	
Tabelle 7: Aufschlüsselung der Teilnehmer in die geplanten Kilometer, die jeweilige Anzahl der Finisher für diese Kilometer und die durchschnittliche Geschwindigkeit.....54	
Tabelle 8: Messwerte des linken Atriums und des linken Ventrikels im B- und M-Mode im Vergleich zwischen vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen. .... VII	
Tabelle 9: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der langen Achse des linken Ventrikels; Vergleich der Werte nach dem Distanzritt zu vor dem Ritt und nach dem Ritt und zur Messung nach drei Tagen. .... VIII	
Tabelle 10: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der kurzen Achse des linken Ventrikels auf Höhe der Papillarmuskeln; Vergleich der Werte vor und nach dem Distanzritt und nach drei Tagen..... X	
Tabelle 11: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der langen Achse des linken Ventrikels; Vergleich der Werte zwischen Finishern und Ausscheidern nach dem Ritt. XII	
Tabelle 12: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der langen Achse des linken Ventrikels. Vergleich der Werte nach dem Distanzritt der Gruppen „Finisher“, „Lahmheit“ und „metabolische Ausscheider“. .... XIV	
Tabelle 13: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der kurzen Achse des linken Ventrikels; Vergleich der Werte nach dem Distanzritt der Gruppen „Finisher“ und „Ausscheider“. .... XV	
Tabelle 14: HRV Parameter; Vergleich der Werte vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen. .... XVIII	
Tabelle 15: Blutdruckwerte; Vergleich der Werte vor und nach dem Ritt. .... XVIII	

# Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
<b>A.</b>	Arteria (lat.), Arterie
<b>AA</b>	Anglo-Araber (Pferderasse)
<b>ANS</b>	autonomes Nervensystem
<b>ant</b>	anterior
<b>antSept</b>	anteriores Septum
<b>apLat</b>	apikale Lateralwand
<b>apSept</b>	apikales Septum
<b>AP</b>	Arabisches Padbred (Pferderasse)
<b>AST</b>	Aspartat-Transaminase
<b>AV</b>	Atrioventrikular
<b>Avg</b>	average (engl.), arithmetischer Mittelwert
<b>basLat</b>	basale Lateralwand
<b>basSept</b>	basales Septum
<b>B-Mode</b>	brightness-Mode (engl.), zweidimensionale Darstellungsvariante bei der Echokardiografie
<b>BP</b>	blood pressure (engl.), Blutdruck
<b>bpm</b>	beats per minute (engl.), Schläge pro Minute
<b>CK</b>	Kreatinkinase (Muskelenzym)
<b>CRT</b>	cardiac recovery time (engl.), Zeitraum bis zum Erreichen des Ruhepuls
<b>cTnl</b>	cardiales Troponin I
<b>CW-Doppler</b>	continuous wave-Doppler (engl.), Verfahren der Doppler Untersuchung
<b>d</b>	diastolisch
<b>DLs</b>	systolische longitudinale Verschiebung
<b>DRs</b>	systolische radiale Verschiebung
<b>EF</b>	Ejektionsfraktion
<b>EHS</b>	exhausted horse syndrom (engl.), Symptomkomplex schwerwiegender metabolischer Veränderungen
<b>EICF</b>	exercise-induced cardiac fatigue (engl.), belastungsinduzierte Herzmuskelermüdung



<b>EIH</b>	exercise-induced hypertension (engl.), belastungsinduzierter Bluthochdruck
<b>EIPH</b>	exercise-induced pulmonary hemorrhage (engl.), belastungsinduziertes Lungenbluten
<b>EKG</b>	Elektrokardiografie
<b>engl.</b>	englisch
<b>ER</b>	Einführungsrütt
<b>FEI</b>	Fédération Equestre Internationale (franz.), Dachorganisation des Pferdesportes
<b>FS</b>	fractional shortening (engl.), fraktionierte Verkürzung
<b>franz.</b>	französisch
<b>FTQ-GA</b>	fail to qualify - irregular gait (engl.), Ausscheiden aufgrund von Gangunregelmäßigkeiten
<b>FTQ-ME</b>	fail to qualify - metabolic (engl.), Ausscheiden aufgrund von metabolischen Abweichungen
<b>FTQ-OTH</b>	fail to qualify - other reasons (engl.), Ausscheiden aufgrund anderer Gründe
<b>HDO</b>	high definition oscillometry (engl.), hochauflösende Ozillometrie
<b>HF</b>	high frequency (engl.), hoher Frequenzbereich
<b>HMV</b>	Herzminutenvolumen
<b>HR</b>	heart rate (engl.), Herzfrequenz
<b>HRV</b>	Herzratenvariabilität
<b>Hz</b>	Hertz
<b>inf</b>	inferior
<b>ital.</b>	italienisch
<b>IVS</b>	Interventrikularseptum
<b>lat</b>	lateral
<b>KDR</b>	kurzer Distanzritt
<b>LA</b>	linkes Atrium
<b>LAA<sub>a,min,max</sub></b>	linksatriale Fläche (zum Zeitpunkt der P-Welle, minimale, maximale)
<b>LAD<sub>max</sub></b>	maximaler atrialer Durchmesser
<b>LA-FAC<sub>total,passiv,aktiv</sub></b>	linksventrikuläre fraktionierte Flächenänderung (totale, passive, aktive)
<b>LAX</b>	long axis (engl.), Anschallung des Herzens in der Längsachse
<b>LAX-4CH</b>	long axis - four chamber (engl.), Anschallung des Herzens in der Längsachse im Vierkammerblick

<b>LDR</b>	langer Distanzritt
<b>LF</b>	low frequency (engl.), niedriger Frequenzbereich
<b>LV</b>	linker Ventrikel
<b>LVFW</b>	left ventricular free wall (engl.), linksventrikuläre Außenwand
<b>LVID</b>	linksventrikulärer innerer Diameter
<b>LVIV</b>	linksventrikuläres Volumen
<b>MAP</b>	mittlerer arterieller Blutdruck
<b>MDR</b>	mittlerer Distanzritt
<b>MHz</b>	Megahertz
<b>midLat</b>	mittlere Lateralwand
<b>midSept</b>	mittleres Septum
<b>min</b>	Minute
<b>M-Mode</b>	motion-Mode (engl.), Bewegungsmodus
<b>MOOCP</b>	Mandatory Out Of Competition Period (engl.), vorgeschriebene Ruhezeit
<b>ms</b>	Millisekunde
<b>MWT</b>	mittlere Wanddicke
<b>n</b>	Anzahl
<b>n.b.</b>	nicht bekannt
<b>NN-Intervall</b>	Abstand zwischen zwei R-Zacken im EKG
<b>PNS</b>	parasympathisches Nervensystem, Parasympathikus
<b>post</b>	posterior
<b>PSSM</b>	polysaccharide storage myopathy (engl.), Polysaccharid-Speichererkrankung des Muskels
<b>PV</b>	Pulmonalvene
<b>PW-TDI</b>	pulsed wave - tissue doppler imaging (engl.), gepulster Gewebedoppler
<b>RA</b>	rechtes Atrium
<b>RMSSD</b>	root mean square of successive differences between normal heartbeats (engl.), Quadratwurzel des quadrierten Mittelwerts aller Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen
<b>ROI</b>	region of interest (engl.), Bereich von Interesse
<b>RR-Intervall</b>	Abstand zwischen zwei R-Zacken im EKG
<b>RV</b>	rechter Ventrikel

<b>RWT</b>	relative Wanddicke
<b>s</b>	systolisch
<b>SA</b>	Shagya Araber (Pferderasse)
<b>SAX</b>	short-axis (engl.), Anschallung des Herzens in der Querachse
<b>SAX-PM</b>	short-axis-papillary muscle (engl.), Anschallung des Herzens in der Querachse auf Höhe der Papillarmuskeln
<b>SC</b>	zirkumferentielle Strain
<b>SCp</b>	frühsystolische positive Strain
<b>SD</b>	standard deviation (engl.), Standardabweichung
<b>SDF</b>	synchronous diaphragmatic flutter (engl.), synchrones Zwerchfellflattern
<b>SDFT</b>	superficial digital flexor tendinitis (engl.), Tendinitis des oberflächlichen Zehenbeugers
<b>SDNN</b>	standard deviation of normal NN-intervals (engl.), Standardabweichung aller NN-Intervalle, Wurzel der Varianz
<b>sept</b>	septal
<b>SL<sub>G,S,P</sub></b>	maximale, systolische, positive longitudinale Strain
<b>SNS</b>	sympathisches Nervensystem, Sympathikus
<b>SR</b>	radiale Strain
<b>SrC<sub>S,E,A</sub></b>	systolische, frühdiastolische, spätdiastolische zirkumferentielle Strain Rate
<b>SrL<sub>S,E,A</sub></b>	systolische, frühdiastolische, spätdiastolische longitudinale Strain Rate
<b>SrR<sub>S,E,A</sub></b>	systolische, frühdiastolische, spätdiastolische radiale Strain Rate
<b>STE</b>	Speckle Tracking Echokardiografie
<b>SV</b>	stroke volumen (engl.), Auswurfvolumen, Schlagvolumen
<b>Tab.</b>	Tabelle
<b>TDI</b>	tissue-doppler imaging (engl.), Gewebedoppler
<b>TPR</b>	totaler peripherer Widerstand
<b>ULF</b>	ultra low frequency (engl.), ultra niedriger Frequenzbereich
<b>VA</b>	Vollblutaraber (Pferderasse)
<b>VLF</b>	very low frequency (engl.), sehr niedriger Frequenzbereich
<b>VL<sub>S,E,A</sub></b>	systolische, frühdiastolische, spätdiastolische longitudinale Verformungsgeschwindigkeit



# 1. Einleitung

Der Distanzsport ist eine Disziplin des Pferdesportes, die von Pferd und Reiter neben einer guten Kondition auch Willensstärke und eine gute Einteilung der Ressourcen verlangt. Während eines Tages werden bei Wettkämpfen bis zu 162 km auf dem Rücken des Pferdes zurückgelegt. Dabei müssen die Pferde und Reiter neben unterschiedlichen Terrains auch Temperaturschwankungen und je nach Austragungsort auch einige Höhendifferenzen überwinden.

In den letzten Jahren hat sich der Distanzsport durch eine zunehmende Popularität und Kommerzialisierung gewandelt. Der Sport war in den Medien zunehmend von negativen Ereignissen und Berichten geprägt. Immer mehr Reiter bringen ihre Pferde bis über die Belastungsgrenzen hinaus. Das führt, neben dem vermehrten Ausscheiden der Tiere, zu vereinzelt Todesfällen. Zuletzt wurde ein Reiter, aufgrund des Todes seines Pferdes während eines Rittes, für 20 Jahre von weiteren Wettkämpfen ausgeschlossen.

Die bei einem Distanzritt abverlangte Leistung ist mit der Belastung von humanen Extremausdauersportlern, wie zum Beispiel Ultramarathonläufern, vergleichbar. Ultramarathonläufer legen eine Strecke an einem Tag zurück, die über die normale Marathondistanz von 42,195 km hinausgeht. Es ist naheliegend zu untersuchen, ob durch übermäßiger Ausdauersport beim Menschen auftretende pathologische Veränderungen ebenfalls beim Distanzpferd vorkommen. Es wird diskutiert, ob ein beim humanen Ausdauersportler vorkommendes Phänomen der Herzmuskelermüdung (die sogenannte „exercise-induced cardiac fatigue“) auch bei leistungsschwachen Distanzpferden eine Rolle spielt. Vor allem bei der „Königsdisziplin“ – dem Ritt über 162 km – kommt es zu einer gehäuften Anzahl an Ausfällen von Pferden durch metabolische Probleme. Diese machen sich durch zu hohe Herzfrequenzen vor der tierärztlichen Verfassungskontrolle, durch Dehydratation und durch verminderte Darmgeräusche bemerkbar. Inwiefern die Herzmuskelermüdung dabei eine Rolle spielt, ist noch nicht abschließend geklärt. Neben metabolischen Problemen treten zunehmend auch muskuloskelettale Pathologien beim Distanzpferd auf. Um die Pferde während des Rittes vor einer Überbelastung und den damit verbundenen Problemen zu schützen, werden in regelmäßigen Abständen tierärztliche Kontrollen durchgeführt. Bei diesen sogenannten Vet-Checks wird untersucht, ob die Pferde weiterhin teilnahmefähig sind. Trotz dieser Kontrollen gibt es einige Pferde, die nach einem Wettkampf tierärztlich betreut werden müssen.

In dieser Dissertation soll in einer Feldstudie untersucht werden, ob sich die bei Distanzpferden mittels der echokardiografischen Untersuchungsmethode „Speckle Tracking“ gemessenen Myokardbewegungen, die Herzratenvariabilität und der Blutdruck nach dem Distanzritt im Vergleich zu vor dem Ritt verändern. Ebenfalls soll in der Studie erörtert werden, ob es einen Unterschied bei den erhobenen Parametern zwischen ausgeschiedenen Pferden und jenen Pferden, die den Ritt erfolgreich beendet haben, gibt. Dabei wird die Hypothese aufgestellt, dass es nach einem Distanzritt von über 80 km zu einer Verringerung der systolischen und diastolischen Funktion des Myokards, zu einer Verringerung der parasymphatischen Herzratenvariabilitätsparameter und zu einer belastungsinduzierten Erhöhung des Blutdrucks kommt. Weiterhin wird die Hypothese aufgestellt, dass aus metabolischen Gründen ausgeschiedene Pferde im Vergleich zu aus anderen Gründen ausgeschiedenen Pferden, vermehrt Anzeichen einer Herzmuskelermüdung zeigen. Es wird erwartet, dass erfolgreiche Pferde nur geringe Veränderungen aufweisen.

Ziel dieser Studie ist es, durch die Ausdauerbelastung eines Distanzrittes entstandene Veränderungen am Herz-Kreislauf-System, vor allem in Bezug auf eine Herzmuskelermüdung, zu untersuchen. Es sollen Parameter gefunden werden, die eine Bewertung der Überbelastung der Pferde in einem möglichst frühen Stadium erlauben. Diese sollen zur Vorbeugung von Erschöpfung und der damit verbundenen orthopädischen und metabolischen Probleme dienen.

## **2. Literaturübersicht**

### **2.1. Grundlagen des Distanzsports**

#### **2.1.1. Reglement und Abläufe während eines Distanzrittes**

Distanzritte sind laut dem Verein deutscher Distanzreiter- und fahrer e.V. „Ausdauerprüfungen für Pferde auf einer Geländestrecke von bestimmter Länge...“ (VDD, 2019). Die Fédération Equestre Internationale (FEI) – die internationale Dachorganisation des Pferdesports – agiert als Veranstalter der meisten internationalen Distanzritte. Sie beschreibt in ihren Regeln zu Veranstaltungen des Distanzsportes diese Disziplin als einen Test für den Teilnehmer, die Ausdauerfähigkeit und Fitness seines Pferdes über eine Ausdauerstrecke gegen das Geläuf, die Distanz, das Klima, das Gelände und die Uhr sicher zu bewältigen ohne das Wohlergehen des Pferdes zu gefährden (FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020).

Die Streckenlängen liegen im nationalen Bereich zwischen 25 und 162 km, die an einem Tag zurückgelegt werden müssen (Tabelle 1). Die zurückzulegenden Strecken sind dabei in ähnlich lange Abschnitte (sogenannte „Loops“, für Englisch „Schleifen“) eingeteilt, die bis zu 40 km lang sind (YOUNES et al., 2015). Auf nationaler Ebene nehmen auf Strecken von kurzer und mittlerer Distanz Pferde und Ponys aller Rassen teil. Bei internationalen Ritten findet man vor allem Araber und Kreuzungen aus Arabern, die aufgrund ihrer Züchtung für Ausdauerleistungen besonders für den Distanzsport geeignet sind (NAGY et al., 2012).

Um sicher zu stellen, dass die teilnehmenden Pferde körperlich und gesundheitlich in der Lage sind die geplante Strecke zurückzulegen, erfolgt vor jedem Ritt eine Voruntersuchung durch einen pferde- oder distanzwettbewerbserfahrenen Tierarzt. Die Untersuchung beinhaltet eine vollständige klinische Untersuchung inklusive Vortrabens des Pferdes an der Hand. Besonderen Wert wird neben einer anstandslosen Herz-Kreislauf-Untersuchung auf ein reguläres Gangbild gelegt (VDD, 2019). Des Weiteren müssen die Pferde zwischen jeder Loop in sogenannten Vet-Checks tierärztlich untersucht werden, um in die nächste Loop starten zu dürfen. Die Anzahl der Vet-Checks pro Wettkampf richtet sich dabei nach der zurückzulegenden Strecke (Tabelle 1). Durch die Verfassungskontrollen während des Rittes soll sichergestellt werden, dass die Pferde die noch vor ihnen liegende Strecke ohne körperlichen Schaden zurücklegen können (VDD, 2019). Während der Vet-Checks wird die Pulsfrequenz gemessen, die Herz-Kreislauf Funktionen beurteilt und der Dehydratationsstatus ermittelt (Untersuchung der Farbe und Feuchtigkeit der Maulschleimhaut, der kapillären Rückfüllungszeit und Untersuchung des Hauturgors). Ebenfalls erfolgt ein Vortrabens an der

Hand zur Beurteilung des Gangbildes (VDD, 2019; FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020).

Tabelle 1: Einteilung der Rittlängen von Eintageswettkämpfen sowie Anzahl der mindestens vorgeschriebenen Verfassungskontrollen zwischen den Loops national (VDD, 2019).

Rittlänge	Bezeichnung	Mindestanzahl an Verfassungskontrollen	
25 - 40 km	Einführungsritt (ER)	1	
41 - 60 km	kurzer Distanzritt (KDR)	1	
61 - 80 km	mittlerer Distanzritt (MDR)	2	
81 - 162 km	langer Distanzritt (LDR)	81 - 120 km	3
		> 120 km	4

Während eines Distanzrittes werden durchschnittliche Herzfrequenzen zwischen 120 - 160 Schlägen pro Minute (bpm) gemessen (HOLBROOK, 2020). Die Herzfrequenz muss vor jeder Verfassungskontrolle unter einen vorher festgelegten Höchstwert (meist 65 bpm) abgefallen sein (VDD, 2019; FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020). Der Zeitraum bis zum Erreichen des festgesetzten Schwellenwertes der Herzfrequenz wird zur Gesamtzeit gezählt (VDD, 2019). Eine schnelle Erholungszeit (Zeit bis zum Erreichen der geforderten Herzfrequenz) ist für den Erfolg des Pferd-Reiter-Paares daher maßgebend (YOUNES et al., 2015).

Nach dem Zieleinlauf findet eine letzte tierärztliche Untersuchung statt. Bei dieser erfolgen die gleichen Untersuchungen, die zuvor bei den Vet-Checks durchgeführt wurden. Erst wenn die abschließende Untersuchung ohne größere Beanstandungen erfolgt ist, ist der Ritt erfolgreich beendet (VDD, 2019).

Treten während des Rittes oder bei den tierärztlichen Verfassungskontrollen Beanstandungen auf, können betroffene Pferde aufgrund dessen vom Rennen ausgeschlossen werden. Es gibt drei verschiedene Kategorien, in die Pferde mit abweichenden Befunden während der Untersuchungen eingeteilt werden. Eine Unregelmäßigkeit im Gangbild führt zum Ausscheiden des Pferdes aus Lahmheitsgründen („fail to qualify - irregular gait“, FTQ-GA) (FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020). Mit einem Anteil von 59 - 65 % der ausgeschiedenen Pferde sind Gangunregelmäßigkeiten der häufigste Grund für das Ausscheiden von Pferden während eines Distanzrittes (NAGY et al., 2014; YOUNES et al., 2015). Alle stark abweichenden Befunde des Herz-Kreislauf-Apparates, das Nichterreichen der vorgegebenen Herzfrequenz innerhalb von 20 Minuten vor einem Vet-Check, stark verminderte Darmgeräusche, Anzeichen von starker Dehydratation oder der subjektive Eindruck von Erschöpfung führen zum Ausscheiden des Pferdes aus metabolischen Gründen („fail to qualify - metabolic“, FTQ-ME) (VDD, 2019; FÉDÉRATION EQUESTRE



INTERNATIONALE, 2020). Dies ist mit einem Anteil von 15 - 17 % der ausgeschiedenen Pferde der zweithäufigste Grund für ein vorzeitiges Beenden des Distanzrittes (NAGY et al., 2014; YOUNES et al., 2015). Unter einem dritten Punkt werden andere Gründe für das Ausscheiden zusammengefasst (YOUNES et al., 2015). Hierzu gehören Läsionen durch das Gebiss oder den Sattel, Verletzungen und kleinere Wunden (BENNET und PARKIN, 2018). Es ist auch möglich, dass ein Reiter den Ritt freiwillig vorzeitig beendet oder, dass Reiter aufgrund von Regelverstößen wie unfaires Verhalten gegenüber anderen Reitern oder Pferden disqualifiziert werden (NAGY et al., 2014; VDD, 2019). Die Gründe des Ausscheidens unterscheiden sich in ihrem Anteil durch das Klima, das Alter des Pferdes, die Streckenlänge, das Geschlecht des Reiters und die durchschnittliche Geschwindigkeit des Pferdes während des Rennens (BENNET und PARKIN, 2018). Insgesamt beträgt bei internationalen Rennen die durchschnittliche Rate an Ausscheidern je nach Studie zwischen 39 % und 54 % aller teilnehmenden Pferde (YOUNES et al., 2015; NAGY et al., 2010).

Nach dem Beenden des Rittes beginnt eine vorgeschriebene Zeitspanne, in der das Pferd nicht an weiteren Distanzritten teilnehmen darf (Mandatory Out Of Competition Period – MOOCP) (Tabelle 2) (VDD, 2019; FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020). Diese Zeitspanne dient zum Schutz vor Überbelastung der Pferde durch häufige Teilnahme an Distanzwettbewerben innerhalb einer kurzen Zeitperiode. Bei internationalen Wettbewerben der FEI gilt diese MOOCP sowohl für Pferde, die erfolgreich den Ritt beendet haben als auch für ausgeschiedene Pferde. Die Pausenzeit zwischen zwei Rennen ist nach FEI Regularien für die ausgeschiedenen Pferde je nach Grund länger als für Pferde, die den Distanzritt erfolgreich beendet haben. Einen Einfluss auf die vorgeschriebene Zeitspanne zwischen zwei Ritten hat ebenfalls die Streckenlänge des Distanzrittes. Ist ein Pferd von einer gravierenden metabolischen oder muskuloskelettalen Erkrankung betroffen, verlängert sich der Zeitraum ebenfalls. Diese Erkrankungen sind fest in den Regeln der FEI definiert. So gilt als eine gravierende metabolische Erkrankung jede metabolische Veränderung, die eine sofortige Behandlung benötigt oder, die eine weiterführende Behandlung abseits des Veranstaltungsortes erfordert. Als eine gravierende muskuloskelettale Erkrankung gilt jede Erkrankung oder Verletzung, bei der das Pferd auf dem betroffenen Bein keine Last aufnehmen kann (FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020). Die nationalen Regeln in Deutschland sind weniger streng. Es ist alleinig für ausgeschiedene Pferde und für junge Pferde im Alter von fünf bis sechs Jahren eine Sperrfrist zwischen zwei Distanzritten vorgesehen (VDD, 2019). Dabei hat die Länge der MOOCP zwischen den Rennen nach einer retrospektiven Studie von BENNET und PARKIN (2019) einen statistisch signifikanten Einfluss auf das Ergebnis des folgenden Rennens. Mit steigender Anzahl der Tage zwischen den Ritten sinkt die Wahrscheinlichkeit den folgenden Ritt auszuschneiden. Durch die Zeit zwischen den Rennen wird dem Bewegungsapparat und dem Stoffwechsel der Pferde ausreichend

Möglichkeit gegeben um sich entsprechend zu regenerieren. BENNET und PARKIN (2018) sehen in diesem Punkt aber weiterhin Verbesserungsmöglichkeiten für das Wohlergehen der Pferde. Dazu würden generell längere oder an Geschwindigkeiten gekoppelte MOOCPS zwischen den Ritten zählen. Auch NAGY et al. (2014) empfehlen nach ihrer Studie mindestens einen Zeitabstand von 90 Tagen zwischen zwei Ritten, um die Gefahr des Ausscheidens aufgrund von Lahmheit zu reduzieren.

Tabelle 2: MOOCPS im Vergleich zwischen nationaler Regelung des VDD und internationalen Regeln der FEI (VDD, 2019; FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020). Die zusätzlichen Tage der FEI gelten für Vorfälle pro Jahr.

	Dauer MOOCP [Tage]	Bedingung
<b>VDD</b>	15	alle ausgeschiedenen Pferde
	5	alle 5-jährigen zwischen ER
	5	alle 6-jährigen zwischen KDR
<b>FEI</b>	5	alle Pferde nach 0 - 54 km
	12	alle Pferde nach 55 - 106 km
	19	alle Pferde nach 107 - 126 km
	26	alle Pferde nach 127 - 146 km
	33	alle Pferde nach > 146 km
	zusätzlich 7	durchschnittlich > 20 km/h bei einer Loop
	zusätzlich 14	FTQ-GA (1. Vorfall) oder FTQ-ME (2. Vorfall)
	zusätzlich 21	FTQ-GA (2. Vorfall)
	zusätzlich 60	FTQ-ME (3 oder mehr Vorfälle) oder schwerer metabolischer Vorfall
zusätzlich 180	FTQ-GA (3 oder mehr Vorfälle) oder schwerer muskuloskelettale Verletzung	

ER = Einführungsritt; FEI = Fédération Equestre Internationale (internationale Dachorganisation des Pferdesports); FTQ-GA = engl. fail to qualify - irregular gait, Ausscheiden aufgrund von Gangunregelmäßigkeiten; FTQ-ME = engl. fail to qualify - metabolic, Ausscheiden aufgrund metabolischer Gründe; KDR = kurzer Distanzritt; MOOCP = engl. Mandatory Out Of Competition Period (vorgeschriebene Ruhezeit); VDD = Verein deutscher Distanzreiter und -fahrer e.V.

## 2.1.2. Leistungsphysiologie des Pferdes

Pferde besitzen durch verschiedene angeborene physiologische Eigenschaften eine besondere Leistungsfähigkeit für Ausdauerbelastungen (VOTION et al., 2012). Die physiologischen und anatomischen Besonderheiten sorgen zum größten Teil durch

verschiedene Mechanismen für einen besseren Sauerstofftransport in das Gewebe und die Organe. Zudem wird für einen besseren Abtransport von Stoffwechselmetaboliten gesorgt, sodass Pferde durch diese Optimierungen eine besonders gute aerobe Leistungsfähigkeit haben (VON ENGELHARDT, 2015).

Die physiologische Fähigkeit der Pferde bis zu 50 % der in der Milz gespeicherten Erythrozyten in bestimmten Situationen freisetzen zu können, ist ein Grund für die gute Ausdauerleistung von Pferden (THOMAS und FREGIN, 1981). In Situationen mit einer hohen Katecholaminausschüttung, wie körperlicher oder psychischer Stress, kommt es zu einer Katecholamin-vermittelten Freisetzung der Erythrozyten aus der Milz. Die dadurch erhöhte Anzahl im Blutkreislauf zirkulierender Erythrozyten verbessert die Sauerstoffversorgung des Pferdes (THOMAS und FREGIN, 1981).

Einen weiteren Mechanismus stellt die Anpassung des Herz-Kreislauf-Apparates des Pferdes dar. Pferde können unter starker Belastung bis zu zweimal mehr Sauerstoff aufnehmen als die meisten trainierten Menschen (JONES und LINDSTEDT, 1993). Im Vergleich zum Ruhewert ist es Pferden sogar möglich ihre Sauerstoffaufnahmekapazität um das bis zu 30-fache zu steigern (LAFORTUNA et al., 2003). Dies ist zum einen durch ein großes Lungenvolumen und zum anderen durch eine bis zu 9,8-fache Erhöhung des Herzminutenvolumens möglich (SNOW und VOGEL, 1987). Die Steigerung des Herzminutenvolumens geschieht dabei vornehmlich über eine Erhöhung der Herzfrequenz (VON ENGELHARDT, 2015). Pferde können unter Belastung eine maximale Herzfrequenz von 210 - 240 bpm erreichen. Sie können ihre Ruheherzfrequenz um den Faktor zehn erhöhen (VINCENT et al., 2006). Dabei kommt es bei hohen Herzfrequenzen nur zu einer sehr kurz andauernden Versorgung des Myokards mit sauerstoffreichem Blut, da die Versorgung des Herzmuskels zum großen Teil nur in der Diastole über die Herzkranzgefäße (*Arteriae coronales*) erfolgt. Diese dauert während einer hohen Herzfrequenz von 230 bpm nur 60 - 70 ms an. Eine andauernd stark erhöhte Herzfrequenz geht daher zu Lasten der Versorgung des Myokards mit Sauerstoff (VON ENGELHARDT, 2015). Dieser Faktor könnte bei der zunehmenden Geschwindigkeit der Distanzritte eine Rolle spielen, da die Herzfrequenz während Belastungen mit steigender Geschwindigkeit linear zunimmt (MADSEN et al., 2014). Nach Belastungen spielt die Zeit bis zum Erreichen der Ruheherzfrequenz, die sogenannte Herzfrequenzerholungszeit (*cardiac recovery time - CRT*), bei Distanzpferden eine entscheidende Rolle für den Erfolg bei Wettkämpfen. Sie kann als ein Parameter zur Einschätzung verwendet werden, ob das Pferd-Reiter-Paar die folgenden Loops erfolgreich zurücklegt. Pferde mit einer längeren CRT zwischen den Runden haben eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit das Rennen vorzeitig beenden zu müssen (YOUNES et al., 2015). Bei humanen Athleten wurde ein schnelleres Erreichen der Ruheherzfrequenz ermittelt, wenn sie sehr gut trainiert waren (HAGBERG et al., 1980).

Eine weitere Anpassung des Herz-Kreislauf-Apparates von Pferden stellt ihre Herzgröße dar. Im Vergleich zu ihrer Körpergröße ist diese größer als bei anderen Tieren (VON ENGELHARDT, 2015). Mit der Größe des Herzens einhergehend ist das Auswurfvolumen (engl. stroke volume, SV). Je größer das Herz im Verhältnis zum Körper ist, desto mehr Blutvolumen kann bei einem Herzschlag über die abführenden Gefäße in den Körper transportiert werden. Dies führt wiederum zu einer besseren Sauerstoffversorgung der Organe und der Muskulatur (POOLE, 2003). YOUNG et al. (2002) fanden einen Zusammenhang zwischen der Herzgröße und der maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität bei Rennpferden. Mit steigender Größe des Herzens konnte eine Zunahme der Sauerstoffaufnahme beobachtet werden. Eine Steigerung der Herzgröße ist durch Training möglich. Dies wurde von GEHLEN und SCHLAGA (2019) in einer Studie mit Rennpferden nachgewiesen. Auch SLEEPER et al. (2014) wiesen eine signifikant größere linksventrikuläre Größe bei Elitedistanzpferden im Vergleich zu weniger erfolgreichen Pferden nach. Allerdings kann diese Anpassung der Herzgröße auch zu Problemen führen: Sowohl bei menschlichen Athleten als auch bei Pferden kann es zu einer Hypertrophie der Herzmuskulatur durch Belastung bei extremer Ausdauerleistung kommen (MARON et al., 1980; YOUNG, 1999). Die Verdickung der Herzmuskulatur kann beim Pferd zu einer Prädisposition für Klappeninsuffizienzen mit nachfolgender Entwicklung von belastungsinduzierten Arrhythmien führen (ALLEN et al., 2016). Auch Distanzpferde zeigten in einer Studie zur belastungsinduzierten Herzhypertrophie zum großen Teil dopplersonografisch milde Klappeninsuffizienzen. Ein Pferd der genannten Studie zeigte bereits klinisch relevante ventrikuläre Arrhythmien (SLEEPER et al., 2014).

Neben den Anpassungen des Herz-Kreislauf-Apparates ermöglichen physiologische Veränderungen der Muskulatur Pferden eine besonders gute Ausdauerleistung. Zur Verbesserung der Versorgung der Muskulatur mit Sauerstoff und dem Abtransport von Stoffwechselmetaboliten können Pferde die Durchblutung ihrer Muskulatur um das bis zu 70-fache des Ruhewertes erhöhen. Die Steigerung der Durchblutung erfolgt vor allem durch eine Dilatation der Gefäße und der damit verbundenen Abnahme des totalen peripheren Widerstands (TPR) des Körperkreislaufs. Die Dilatation der Gefäße wiederum wird durch eine Abnahme des pH-Wertes und durch einen erhöhten Anfall von bestimmten Stoffwechselprodukten verursacht (VON ENGELHARDT, 2015). Zudem ist es möglich die Sauerstoffkapazität der Muskulatur durch Training weiter zu steigern, um mehr Energie auf aerobem Weg zu gewinnen (SNOW und VOGEL, 1987). Die für Distanzritte bevorzugt verwendeten Araber besitzen zusätzlich im Vergleich zu anderen Pferderassen einen höheren Anteil an Typ I Muskelfasern. Dieser Typ von Muskelfaser kontrahiert langsamer und ist fähig zum großen Teil Energie aus dem aeroben Stoffwechsel zu gewinnen. Diese Pferde haben

durch die vermehrte Anzahl an Typ I Muskelfasern eine verbesserte Ausdauerleistung (LÓPEZ-RIVERO et al., 1989).

Die für einen Distanzritt benötigte Energie wird bevorzugt aus dem aeroben Stoffwechsel von Glykogen und Fettsäuren gewonnen (ROBERT, 2013). Bei Distanzpferden liegt der Anteil der auf aerobem Weg gewonnenen Energie bei 94 % (VON ENGELHARDT, 2015). Aufgrund der größtenteils aeroben Energiegewinnung fällt bei Distanzpferden nur eine geringe Menge an Laktat an. Erst gegen Ende des Rennens, wenn die Pferde im vollen Galopp die letzten Kilometer absolvieren, entsteht durch anaeroben Stoffwechsel Laktat als Metabolit, welches sich in den Muskeln ansammelt (LE MOYEC et al., 2019). Dadurch entwickelt nur ein sehr geringer Teil der Pferde eine metabolische Azidose (FLAMINIO et al., 1996). Häufiger entsteht hingegen eine metabolische Alkalose, die zusätzlich durch eine erhöhte Atemfrequenz und damit einhergehender vermehrter Abatmung von Kohlenstoffdioxid eine respiratorische Komponente haben kann (FOREMAN, 1998). Der größte Teil (75 - 80 %) der vom Muskel umgesetzten Energie wird während des Rittes als Wärme freigesetzt (FELDMAN, 1994). Zur Kühlung produziert der Körper eine große Menge an Schweiß. Bei Distanzritten mit einer Länge von 80 km wurde eine Schweißproduktion für ein Pferd von 500 kg von 37 Liter berechnet (circa 7 - 8 Liter Schweiß pro Stunde) (MCCUTCHEON und GEOR, 1996; VON ENGELHARDT, 2015). Trotz eines höheren Elektrolytverlustes bei der Absonderung von Schweiß bei Pferden im Vergleich zum Menschen führt Schwitzen nicht zu einer Veränderung der Osmolarität des Blutes (VON ENGELHARDT, 2015). Die Aufnahme von Elektrolyten und Wasser nach oder während des Rennens ist unabhängig davon für die Funktionalität der Muskulatur und für den Ausgleich von Dehydratation essentiell (DUREN, 1998).

### **2.1.3. Pathologien des muskuloskelettalen Systems bei Distanzpferden**

Obwohl der häufigste Grund für das Ausscheiden bei einem Distanzritt eine auftretende Lahmheit ist, wird selten eine vollständige Diagnose der Ursache gestellt (NAGY et al., 2010; ROBERT, 2013). Die meisten Gangunregelmäßigkeiten erfordern keine weiterführende Untersuchung, da sie in den folgenden Tagen nach dem Ritt verschwinden (ROBERT, 2013). Trotzdem gibt es Erkrankungen des Bewegungsapparates, welche gehäuft auftreten und weiterführende Untersuchungen und Behandlungen erfordern.

Grundsätzlich kann man die Ursachen von auftretender Lahmheit während Distanzritten in drei Untergruppen aufteilen. Zur ersten Gruppe kann man Gangunregelmäßigkeiten durch Sehnen- und Bänderpathologien zählen. Darunter fallen Veränderungen des

Fesseltrageapparates. Eine Entzündung des Fesselträgers (Musculus interosseus medius) kommt am häufigsten vor. Bei Distanzpfed treten diese vorwiegend an den proximalen Abschnitten, sowie an den Fesselträgerschenkeln des Musculus interosseus medius auf. Meistens sind die Vordergliedmaßen betroffen (ROBERT, 2013). Als weitere häufige Lahmheitsursache treten Tendinitiden der oberflächlichen Beugesehne (superficial digital flexor tendinitis - SDFT) auf. Diese kommen ebenfalls häufiger an den Vordergliedmaßen vor. Beide Erkrankungen können nicht nur während des Rennens, sondern auch nach harten Trainingsritten auftreten. Zu den Symptomen zählen Lahmheit, Schwellungen im Bereich des palmaren oder plantaren Röhrbeins und eine Schmerzhaftigkeit in diesem Bereich (MISHEFF, 2011).

Zur zweiten Gruppe kann man Pathologien der Muskulatur zählen. Die am häufigsten auftretenden muskulären Gründe für eine Lahmheit bei Distanzpfeden sind Schmerzen im Bereich der Rücken- oder Glutealmuskeln. Häufig kommen diese im Rückenbereich durch unpassende Sättel oder schlecht sitzende Reiter zustande (ROBERT, 2013). Die betroffenen Pferde zeigen in den meisten Fällen keine vollständige Lahmheit, sondern ein steifes Gangbild mit verkürzten Schritten (MISHEFF, 2011).

Zur dritten Gruppe werden pathologische Veränderungen der Gelenke, Knochen und Hufe gezählt. Dabei sind die Ursachen für Gelenkserkrankungen oder -verletzungen weitreichend. Eine große Anzahl der Distanzpfede mit Lahmheiten ist an chronische Osteoarthritiden der Fessel- und Sprunggelenke erkrankt. Häufig sind die Läsionen bilateral auftretend mit einer schwerer betroffenen Seite. Nicht immer führen diese Erkrankungen zum Ausscheiden aus dem Rennen, da Gangbildabweichungen erst nach dem Rennen oder nur intermittierend während des Trainings auftreten können (ROBERT, 2013). Neben Gelenkserkrankungen können auch pathologische Veränderungen der Hufe zu Gangunregelmäßigkeiten bei Distanzpfeden führen (MISHEFF, 2011). Dabei spielen vor allem Quetschungen der Hufsohle durch weit zurückgelegte Strecken auf hartem Boden eine große Rolle (FLAMINIO et al., 1996). Die betroffenen Pferde zeigen einen verkürzten Gang und reagieren auf Druck am Sohlenrand des Hufes mittels Hufzange schmerzhaft (MISHEFF, 2011). In einer steigenden Anzahl von Fällen werden in den letzten Jahren Frakturen bei Distanzpfeden diagnostiziert. Dabei wird von einigen Autoren die zunehmende Geschwindigkeit der Ritte als Ursache angenommen (MISHEFF et al., 2010; RAJAO et al., 2019). Die Frakturen entstehen aufgrund der steigenden mechanischen Belastungen auf das Skelett. Die daraus resultierenden Mikroläsionen können im Verlauf der Belastungen zu Frakturen führen. Die am häufigsten durch Stressfrakturen betroffenen Regionen sind der laterale Kondylus des Röhrbeins, sowie Frakturen des Fesselbeins, wie sie auch bei Rennpfeden gesehen werden. Eine Besonderheit der Distanzpfede stellen bilaterale Frakturen der Vordergliedmaße dar (MISHEFF et al., 2010).

### **2.1.4. Metabolische Pathologien bei Distanzpferden**

Durch die Belastung während eines Distanzrittes kann es zu einer Vielzahl von metabolischen Veränderungen kommen. Die aus metabolischen Gründen ausgeschiedenen Pferde stellen einen geringeren Teil der ausgeschiedenen Pferde dar, sie sind aber häufig schwerwiegender (FIELDING et al., 2009; NAGY et al., 2014; YOUNES et al., 2015). Der Anteil an metabolisch ausgeschiedenen Pferden ist in warmem und feuchtem Klima erhöht (NAGY et al., 2012). Dabei können schon vermehrt metabolische Ausscheider ab einer Temperatur von 22 °C auftreten (LANGLOIS und ROBERT, 2008).

Als eine der häufigsten metabolischen Störungen während eines Distanzrittes treten Koliksymptome auf. Sie sind bei 20 - 40 % der metabolisch ausgeschiedenen Pferde die Ursache für das vorzeitige Beenden des Rittes (LANGLOIS und ROBERT, 2008; FIELDING et al., 2009). Ursächlich für die Symptome können neben einem funktionellen Ileus auch Ulzerationen der Magenschleimhaut oder Obstipationen sein (NIETO et al., 2004; FIELDING und DECHANT, 2012). Eine Rolle bei der Pathophysiologie spielt eine reduzierte Blutversorgung des Gastrointestinaltraktes zu Gunsten der Versorgung der Skelettmuskulatur während Belastung, Dehydratation sowie eine Veränderung im Elektrolythaushalt (FIELDING und DECHANT, 2012). Trotz der relativ hohen Prävalenz ist die Prognose der behandelten Pferde auch ohne chirurgisches Eingreifen in den meisten Fällen gut (FIELDING und DECHANT, 2012).

Nicht alle metabolischen Veränderungen während eines Distanzrittes zeigen sich durch klassische metabolische Symptome wie Dehydratation oder eine Tachykardie. Bei einer Hufrehe treten als Symptome für metabolisch zugrundeliegende Veränderungen Gangbildabweichungen auf. Die klinischen Symptome treten meist schon wenige Stunden nach der Belastung auf. Betroffene Pferde haben Schwierigkeiten auf allen vier Gliedmaßen zu stehen und schieben die Hintergliedmaßen weit unter den Körper (ROBERT, 2013). Als Ursachen werden zum einen hohe Belastungen durch lange Strecken auf hartem Boden, zum anderen eine Kombination aus Dehydratation, Endotoxämie und Mikrothromben in den distalen Gliedmaßen diskutiert (MISHEFF, 2011).

Ein weiteres häufig vorkommendes metabolisches Problem stellt die belastungsinduzierte Rhabdomyolyse (engl. exertional rhabdomyolysis, „Kreuzerschlag“) dar. In einer Studie gaben 12 % der Besitzer von Distanzpferden an, dass ihr Pferd bereits Symptome einer Rhabdomyolyse gezeigt hat (WILBERGER et al., 2015). Auch bei dieser Erkrankung zeigen die betroffenen Pferde eher Gangunregelmäßigkeiten durch Muskelsteifheit und Schmerzhaftigkeit der Muskulatur. Weitere Symptome können Zittern und eine dunkle Verfärbung des Urins sein (ROBERT, 2013; WILBERGER et al., 2015). Die Verfärbung des

Urins entsteht bei der Rhabdomyolyse durch das Freiwerden von Myoglobin aus nekrotischem Skelettmuskel, das über den Urin ausgeschieden wird (WILBERGER et al., 2015). In Laboruntersuchungen kann eine deutlich erhöhte Kreatinkinase (CK) sowie eine Erhöhung der Aspartat-Transaminase (AST) festgestellt werden (VALBERG, 2006). Das Ausmaß der CK Erhöhung muss dabei nicht mit der Schwere der Symptomatik einhergehen. Manche Pferde zeigen eine schwere Symptomatik ohne eine deutliche CK Erhöhung. Umgekehrt gibt es auch betroffene Tiere, die trotz einer deutlichen Erhöhung der Kreatinkinase keinerlei Symptomatik einer Rhabdomyolyse zeigen (WILBERGER et al., 2015). Verschiedene Studien sehen in der starken Belastung durch einen Distanzritt mit folgender Dehydratation oder anderen metabolischen Veränderungen die Hauptursache, durch die eine Rhabdomyolyse und dazugehörige Folgen an Schwere zunehmen (SCHOTT et al., 2006; FIELDING et al., 2009). Bei Arabern wird als zusätzliche Ursache eine Polysaccharid-Speichererkrankung des Muskels (PSSM Typ II) diskutiert (VALBERG et al., 2016).

Belastungsinduziertes Lungenbluten (engl. exercise-induced pulmonary hemorrhage, EIPH) ist ein Phänomen, das vor allem bei Rennpferden häufig auftritt (PASCOE et al., 1981). In den letzten Jahren nahm allerdings auch bei Distanzpferden die Prävalenz von Lungenblutungen zu. Bei nahezu der Hälfte der in einer Studie untersuchten Distanzpferde wurde EIPH nach einem Rennen nachgewiesen (TARANCON et al., 2019). EIPH entsteht vermutlich durch einen „stress failure“ der Lungenkapillaren in Kombination mit einem erhöhten Herzminutenvolumen mit fehlender Dilatation der Pulmonalarterien und gesteigerter Blutviskosität durch Belastung. Das führt zu einem erhöhten Druck in den Lungenkapillaren, der schlussendlich einen Übertritt von Erythrozyten und Blutplasma in die Alveolen zur Folge hat. Pferde sind für das EIPH aufgrund ihrer hohen aeroben Leistungsfähigkeit prädisponiert (WEST et al., 1993). TARANCON et al. (2019) sehen einen Zusammenhang zwischen erhöhter Prävalenz von EIPH bei Distanzpferden und der in den letzten Jahren stark gestiegenen Geschwindigkeit bei Distanzritten. Bei Rennpferden ist ein Zusammenhang zwischen der Schwere des EIPH und dem Ergebnis einzelner Rennen sowie ein Zusammenhang zwischen der Dauer der gesamten Rennkarriere nachgewiesen worden. Schwerer von EIPH betroffene Tiere zeigen in einzelnen Rennen eine schlechtere Leistung (CRISPE et al., 2017). Insgesamt dauert die Rennkarriere eines schwer betroffenen Pferdes signifikant kürzer an als bei nur mild oder nicht betroffenen Tieren (SULLIVAN et al., 2015). Im Distanzsport konnte noch kein Einfluss von EIPH auf die Leistung der Pferde festgestellt werden (TARANCON et al., 2019).

Neben den genannten metabolischen Veränderungen tritt beim Distanzpferd synchrones Zwerchfellflattern (engl. synchronous diaphragmatic flutter, SDF) auf (FIELDING et al., 2009). SDF stellt eine zum Herzschlag synchrone Bewegung des Zwerchfells dar (DWYER und THOMPSON, 1985). Die Prävalenz bei Distanzpferden liegt bei circa 10 % der gestarteten



Pferde (AL-QUDAH und AL-MAJALI, 2008; FIELDING et al., 2009). Ursächlich für das SDF ist eine erhöhte Erregbarkeit des Nervus phrenicus, welcher über die Herzbasis zum Zwerchfell verläuft und dieses innerviert. Bei SDF führt jede elektrische Erregung des Herzens zu einer Kontraktion des Diaphragmas. Betroffene Pferde zeigen eine einseitige oder beidseitige herzschragsynchrone Bewegung der Flanken. Die Übererregbarkeit des Nervus phrenicus ist eine Folge von Elektrolytverlust, ausgelöst durch das starke Schwitzen während eines Distanzrittes (DWYER und THOMPSON, 1985). Zusätzlich entwickeln viele Pferde während des Rittes eine metabolische Alkalose. Durch diese werden vermehrt Magnesium- und Calciumionen an durch einen Wasserstoffionenverlust freiwerdende negative Ladungen gebunden. Als Folge entsteht eine relative Hypocalciämie, durch die Natrium in die Nerven gelangen kann und so eine Instabilität der Depolarisation der Nerven erzeugt (TORIBIO, 2011). Meistens tritt SDF erst nach Pausen auf, wenn Pferde Wasser ohne Elektrolytsubstitution zu sich nehmen und der vorhandene Elektrolytverlust durch das Ausschwemmen von Ionen verstärkt wird (DWYER und THOMPSON, 1985). SDF selbst stellt keine schwerwiegende Erkrankung dar, ist aber ein Symptom eines starken Elektrolytungleichgewichts und Abweichungen des pH-Wertes, das bei Nichtbeachtung fatale Folgen haben kann (ROBERT, 2013).

Ein Symptomkomplex mit häufig schwerwiegenden Folgen ist das „Exhausted Horse Syndrom“ (EHS). Circa 15 % der aus metabolischen Gründen ausgeschiedenen Pferde fallen unter diesen Oberbegriff (LANGLOIS und ROBERT, 2008). EHS ist ein vielschichtiger Begriff, dessen Symptome alle oben genannten metabolisch-pathologischen Veränderungen darstellen können. Trotz Behandlung können Pferde an dessen Folgen versterben (ROBERT, 2013).

Bei allen metabolischen Veränderungen stellt die frühe Erkennung von Symptomen während der Vet-Checks eine wichtige Maßnahme zum Schutz der Pferde dar. Sollten Veränderungen festgestellt werden, ist eine schnelle Therapie mittels Flüssigkeits- und Elektrolytsubstitution, wenn notwendig auch intravenös, indiziert. Somit können schwerwiegende Folgeschäden bis hin zum Tod der Pferde vermieden werden (ROBERT, 2013). Sollte bei einem Vet-Check nach einer Loop Zweifel bestehen, ob ein Pferd weiter teilnahmefähig ist, ist es nach den internationalen Regularien der FEI auch möglich, eine Neubewertung der Parameter vor dem Ende der Pause durchzuführen (FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020).

## **2.2. Echokardiografie**

### **2.2.1. Grundlagen der Echokardiografie**

Als Grundlage der Echokardiografie dienen Ultraschallwellen. Als Ultraschallwellen bezeichnet man Frequenzen des Schalls, die über der Hörfrequenz des Menschen (circa 20.000 Hertz) liegen (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000). In der Pferdekardiologie werden meistens Frequenzen von 2 - 3 Megahertz (MHz) verwendet (GEHLEN, 2009a).

Die Ultraschallwellen werden durch piezoelektrische Kristalle im Ultraschallkopf (Transducer) erzeugt. Es gibt zwei verschiedene Transducersysteme. Zum einen die mechanischen Transducer, bei welche die Piezokristalle mechanisch rotieren oder kreisförmig angeordnet sind. Zum anderen gibt es elektrische Systeme („phased-array“), bei denen parallel angeordnete Kristalle im zeitlichen Abstand voneinander angesteuert werden. Dieser Mechanismus wird heutzutage bevorzugt verwendet (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000).

Die Ausbreitung von Ultraschallwellen erfolgt mit der vom Medium abhängigen Schallgeschwindigkeit. In einem homogenen Medium ist die Schallgeschwindigkeit deswegen konstant (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000). Treffen Ultraschallwellen auf eine Grenzfläche zwischen zwei Medien, werden sie je nach akustischer Impedanz der Grenzfläche abgeschwächt (attenuiert), reflektiert, gebrochen (refraktiert) oder gestreut (REITH, 2011). Die akustische Impedanz (Schalleitfähigkeit eines Gewebes) ist vereinfacht eine Funktion der Dichte des Gewebes (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000). Je größer der Impedanzunterschied an Grenzflächen von verschiedenen Medien ist, desto mehr Ultraschallwellen werden reflektiert (REITH, 2011). Die reflektierten Ultraschallwellen bewegen sich zurück zum Transducer, der sie empfängt und in ein elektrisches Signal umwandelt. Das Ultraschallgerät berechnet aus der Zeit, die die Schallwellen vom Aussenden bis zum Wiedereintreffen am Transducer nach Reflektion an einer Grenzfläche gebraucht haben und aus der Geschwindigkeit von Schallwellen in bestimmten Geweben, die Entfernung zwischen Schallkopf und der Grenzfläche (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000; GEHLEN, 2009a).

### **2.2.2. Darstellungsmöglichkeiten mittels Echokardiografie**

#### **2.2.2.1. B-Mode**

Beim B-Mode (engl. brightness) werden die Strukturen des Herzens durch ein zweidimensionales Bild in verschiedenen Graustufen dargestellt. Dabei wird der jeweilige Anteil des von Grenzflächen reflektierten Ultraschalls als Graupunkte verschiedener Helligkeit dargestellt (GEHLEN, 2009a). Je heller sie dargestellt werden, desto höher ist der Anteil der an der Grenzfläche reflektierten Ultraschallwellen. Gewebe mit einem hohen

Impedanzunterschied kann somit sehr gut unterschieden werden (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000). Das typische B-Mode Bild entsteht durch eine Darstellung verschiedener Scanlinien nebeneinander (GEHLEN, 2009a).

### **2.2.2.2. M-Mode**

Der M-Mode (engl. motion) ist eine Darstellung der Strukturen des Herzens, die linear aufgereiht werden. Ein einzelner Schallstrahl stellt die verschiedenen Bildpunkte eindimensional dar. Durch die Bewegung des Schallmediums (Gewebe) erfolgt die Darstellung der Änderung der Bildpunkte als Funktion der Zeit (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000). Mit Hilfe des M-Modus ist es somit möglich, Bewegungen des Herzens eindimensional grafisch darzustellen. Er wird zur Vermessung der Wanddicken, sowie zur Berechnung der fraktionierten Verkürzung (engl. fractional shortening - FS) verwendet (GEHLEN, 2009a).

### **2.2.2.3. Doppler**

Durch die Doppleruntersuchung kann die Geschwindigkeit und die Richtung von bewegten Objekten erfasst werden.

Sie beruht auf dem sogenannten Doppler-Effekt, welcher besagt, dass sich die Frequenz von Wellen verändern, wenn die Schallwellen von bewegten Objekten reflektiert werden. Dabei nimmt die Frequenz der Ultraschallwellen zu, wenn sich das Objekt in Richtung der Ultraschallquelle bewegt und nimmt ab, wenn sich das Objekt von ihr wegbewegt. Die Differenz zwischen ausgesandter und empfangener Frequenz wird Dopplerverschiebung genannt. Dessen Frequenz liegt in dem für den Menschen hörbaren Bereich. Als bewegte, schallreflektierende Medien dienen im Körper Erythrozyten (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000).

In der Kardiologie werden folgende Dopplerverfahren verwendet:

#### **CW- („continuous wave“) Doppler**

Bei diesem Verfahren werden kontinuierlich Schallwellen vom Transducer ausgesendet. Es erfolgt eine Darstellung der Blutflussgeschwindigkeit, die sich in diesem Strahl befindet. Dabei werden Blutflüsse in Richtung des Transducers oberhalb einer Nulllinie und vom Schallkopf wegfließende Ströme unterhalb dieser Linie dargestellt. Das Ultraschallgerät kann durch Bestimmung des Geschwindigkeits-Zeit Integrals die mittlere Blutflussgeschwindigkeit berechnen (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000). Dieses Verfahren wird verwendet, um hohe Blutflussgeschwindigkeiten, zum Beispiel die Rückflussgeschwindigkeit bei Klappeninsuffizienzen, zu bestimmen (GEHLEN, 2009a).

### **PW- („pulsed wave“) Doppler**

Das PW-Doppler Verfahren arbeitet mit pulsatil ausgesandten Schallwellen des Transducers. Dabei wird im zweidimensionalen Bild ein Messpunkt („sample volume“) auf dem Schallstrahl festgelegt, dessen Geschwindigkeit im Gewebe gemessen wird. Der PW-Doppler misst nur zuverlässig, solange die Rate der ausgesandten Schallimpulse (Pulsrepetitionfrequenz) doppelt so hoch wie die Dopplerverschiebung ist und somit die sogenannte „Nyquist-Grenze“ erreicht ist (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000). Mittels des PW-Dopplers können langsame Blutströme, wie zum Beispiel die Geschwindigkeit des Blutflusses in den vom Herzen abführenden Gefäßen (Pulmonalarterie, Aorta) gemessen werden (GEHLEN, 2009a).

### **Farbdoppler**

Der Farbdoppler ist eine Weiterentwicklung des PW-Dopplers. In einem vorgegebenen Bereich befinden sich viele Messunkte, die über das sogenannte „Mapping“ in diesem Bereich die Blutströmungsrichtung, -geschwindigkeit und -qualität messen. Die Darstellung erfolgt mittels farbcodierter Punkte im zweidimensionalen Bild, wodurch das zum Schallkopf fließende Blut rot und das wegfließende Blut blau codiert wird. Auch hier muss die Nyquist-Grenze beachtet werden. Liegt die Geschwindigkeit des Blutes über dieser kann es zur Farbumkehr kommen. Treten turbulenten Strömungen auf werden gelb-grüne Punkte dargestellt (LA ROSÉE und DEUTSCH, 2000). Das Farbdopplerverfahren wird zur Darstellung von hohen Blutflussgeschwindigkeiten an Klappeninsuffizienzen und Shunts verwendet (GEHLEN, 2009a).

### **Gewebedoppler**

Das Verfahren des Gewebedopplers beruht ebenfalls auf dem Dopplereffekt. Allerdings werden hier nicht Erythrozyten als bewegte, schallreflektierende Objekte erkannt, sondern die Myokardwand. Bei diesem Verfahren erfolgt die gleiche Farbcodierung wie beim konventionellen Farbdoppler (GEHLEN, 2009a). Bei echokardiografischen Untersuchungen kann mit dem Gewebedoppler die Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit des Myokards gemessen werden. Dieses Verfahren ist möglich, da sich zum einen die Bewegungsgeschwindigkeit von Blut und Myokardgewebe deutlich unterscheiden und zum anderen, weil ein erheblicher Unterschied in der Echogenität von Blut und Myokard besteht (GEHLEN et al., 2009b). Es werden bei dieser Technik zwei verschiedene Verfahren unterschieden:

Mit dem gepulsten Gewebedoppler (engl. pulsed wave - tissue doppler imaging, PW-TDI) ist eine direkte Darstellung der Geschwindigkeitskurven des Myokards bei der Untersuchung möglich. Ein Nachteil des PW-TDI Verfahrens ist, dass nur sehr kleine Myokardbereiche gleichzeitig betrachtet werden können. Das zweite Verfahren, der sogenannte

Farbgewebedoppler, kann nur offline ausgewertet werden. Es bietet allerdings den Vorteil, dass ein größerer Messbereich betrachtet werden kann (GEHLEN et al., 2009b). Ein Beispiel für die Messung der Bewegung des Interventrikularseptums mittels PW-TDI ist in Abbildung 1 dargestellt.

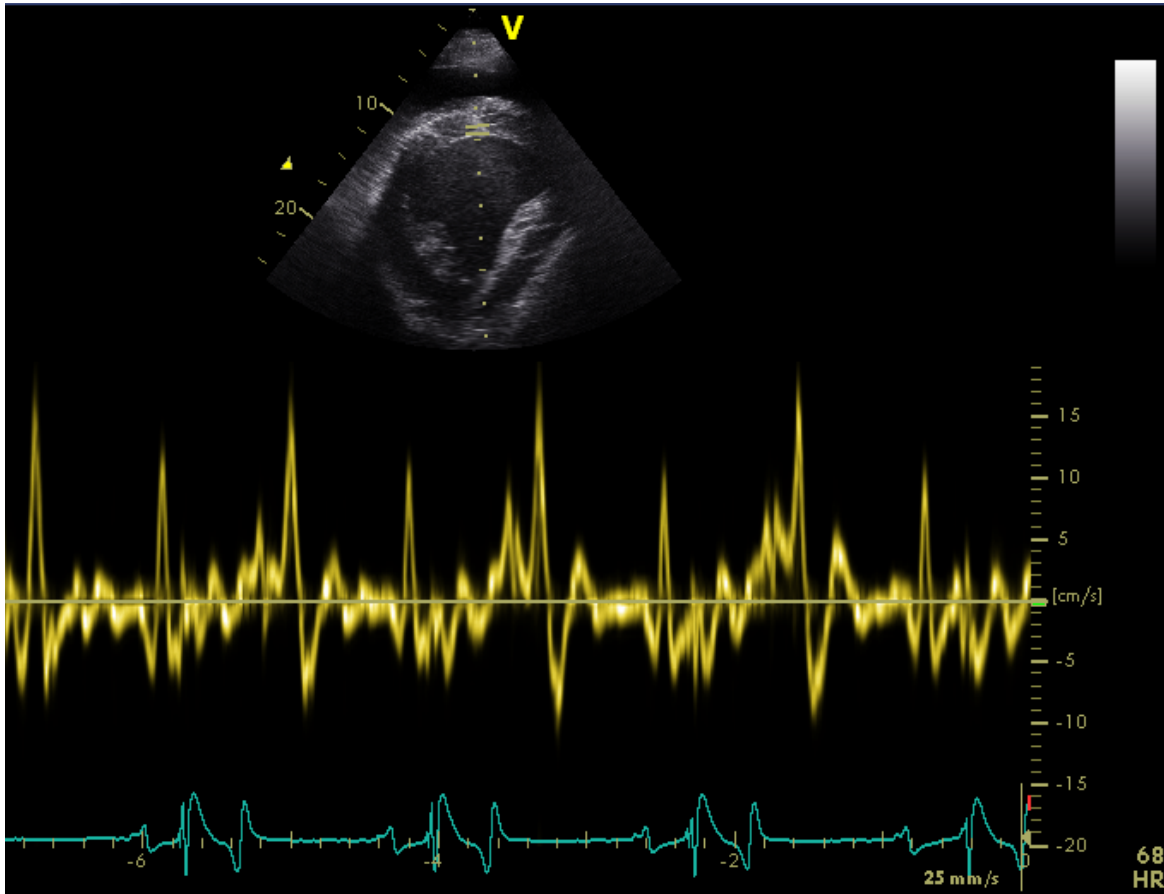


Abbildung 1: Beispiel für eine Aufzeichnung der Bewegung des Interventrikularseptums mittels PW-TDI.

### 2.2.3. Grundlagen des Speckle Trackings

Speckle Tracking Echokardiografie (STE) ist ein in der Humanmedizin etabliertes Untersuchungsverfahren. Es erzeugt durch die Interferenzen beziehungsweise Reflektionen von Ultraschallwellen mit zum Myokard benachbarten Strukturen akustische Marker („Speckles“) in verschiedenen Grautönen. Mittels einer Computersoftware wird mit diesen Markern die Bewegung des Myokards berechnet (BLESSBERGER und BINDER, 2010). Durch dieses Verfahren ist es möglich, die verschiedenen Bestandteile der Verformung des Myokards während eines Herzschlages darzustellen (BANSAL und KASLIWAL, 2013). Dabei hat jeder Bereich des Herzens seine individuelle Darstellung durch Speckles (DECLOEDT et al., 2013).

Durch die Aufzeichnung dieser Speckles kann die Verformung des Herzmuskels beschrieben werden. Dabei ist die Verformung (engl. strain) definiert als die Veränderung eines Segmentes der Herzmuskulatur im Verhältnis zum ursprünglichen Zustand und wird in Prozent angegeben. Die Veränderungsrate (engl. strain rate) beschreibt die Frequenz der Verformungen des Myokards und wird in der Einheit 1/s angegeben (CAMELI et al., 2019).

Die Bewegung des Myokards kann durch drei verschiedene Verformungsrichtungen beschrieben werden – die longitudinale Veränderung (engl. longitudinal strain), die radiale Veränderung (engl. radial strain) und die Veränderung des Umfangs (engl. circumferential strain) (Abbildung 2).

Die longitudinale Strain stellt die Längenveränderung des Herzmuskels entlang der Längsachse des Herzens dar. Die radiale Strain beschreibt die Dickenveränderung des Herzmuskels im Querschnitt, eine positive Strain entspricht dabei einer Dickenzunahme. Die zirkumferentielle Strain beschreibt Umfangsveränderungen des Herzmuskels während eines Herzschlages. Als vierte Dimension erfolgt eine Rotation des Herzens während der Bewegung (BANSAL und KASLIWAL, 2013).

Während der Systole erfolgt eine Abnahme der longitudinalen Strain, in der Diastole eine Dehnung in Richtung der Längsachse des Herzens. In der Systole wird die longitudinale Strain als eine negative Kurve beschrieben, in der Diastole als eine positive. In der Systole erfolgt bei der radialen Strain eine Dickenzunahme des Muskels, die als positive Kurve dargestellt wird. Die zirkumferentielle Strain wird in der Systole als negative Kurve angegeben. Die Rotation der Herzspitze erfolgt in der Systole gegen den Uhrzeigersinn, die Basis rotiert im Uhrzeigersinn. In der Diastole erfolgt die Rotation in die gegengesetzte Richtung (CAMELI et al., 2019).

Die Veränderungen des Umfangs (zirkumferentielle Strain), sowie die Dickenzu- und abnahme (radiale Strain) des Muskels des linken Ventrikels können nur in der kurzen Achse (SAX) bestimmt werden (DECLOEDT et al., 2013).

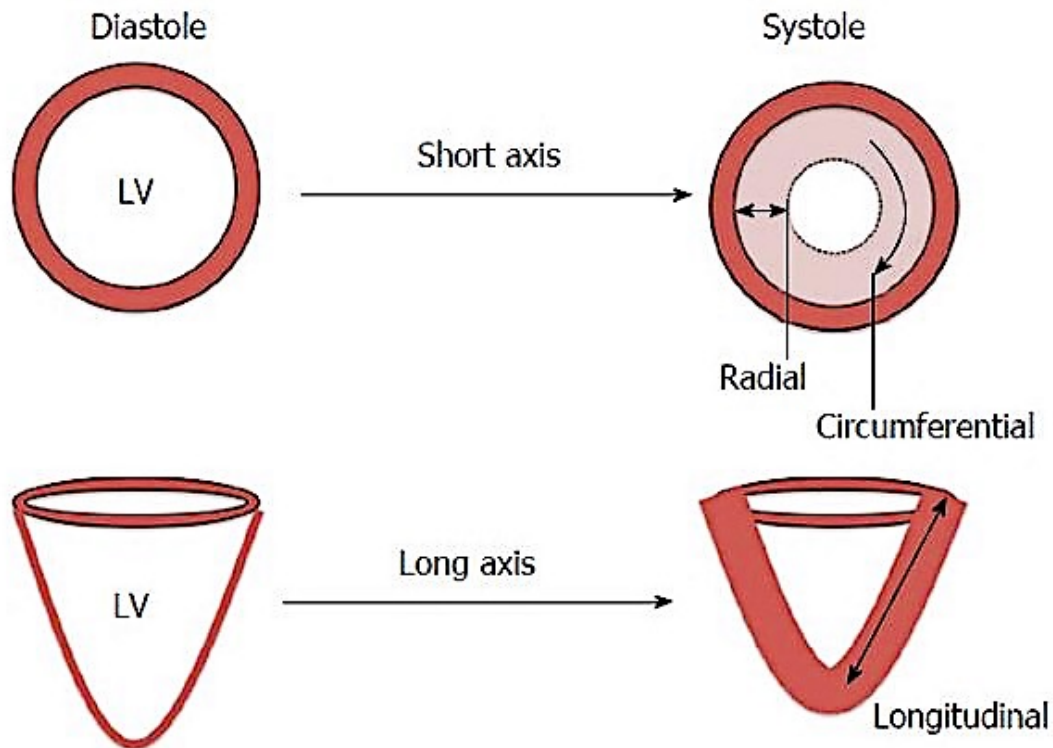


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Verformung des Myokards während eines Herzzyklus (SHETYE et al. (2015)).

Das Speckle Tracking hat im Vergleich zu anderen echokardiografischen Methoden mehrere Vorteile. Im Vergleich zu M-Mode Messungen sind mehrdimensionale Messungen möglich (DECLOEDT et al., 2011). Weiterhin ist die systolische Strain Rate unabhängig vom Maß der Füllung des Herzens, was ein Problem von volumenbasierten Messungen darstellt (FLETHØJ et al., 2016b). Auch der Eindringwinkel der Ultraschallwellen beeinflusst die Messungen mittels Speckle Tracking im Vergleich zum Gewebedoppler nicht (BANSAL und KASLIWAL, 2013). Durch die STE ist zudem eine Messung von regionalen Veränderungen des Myokards möglich. Ebenso erlaubt diese Methode im Gegensatz zu flächenbasierenden Messungen eine Untersuchung der Wandbewegungen in drei Ebenen. Durch STE können auch asynchrone Wandbewegungen gut ermittelt werden. Auch der Nachteil von verformten Wänden, die volumenbasierte Messwerte beeinflussen, spielt bei der STE keine bedeutsame Rolle (SCHEFER et al., 2010).

Limitierend für die Aussagekraft des Speckle Trackings ist eine gute Qualität der Bilder sowie eine hohe Bildrate von mindestens 40 - 70 Bildern pro Sekunde (DECLOEDT et al., 2011). Eine weitere Einschränkung ist, dass Speckle Tracking Messungen nur offline durchgeführt werden können (CAMELI et al., 2019).

## 2.2.4. Speckle Tracking zur Untersuchung auf belastungsinduzierte Herzmuskelermüdung

Lange Ausdauerbelastungen fordern das Herz-Kreislauf-System. In einigen Fällen kann sich als Folge eine veränderte Herzfunktion, die als „exercise-induced cardiac fatigue“ (EICF) bezeichnet wird, entwickeln (MIDDLETON et al., 2006). Die EICF ist definiert als eine signifikante, aber vorübergehende, verminderte systolische und diastolische linksventrikuläre Funktion (LORD et al., 2018). Während diastolische Veränderungen schon bald nach Belastungsbeginn auftreten, entwickelt sich eine systolische Dysfunktion beim Menschen erst nach Belastungen über sechs Stunden (DOUGLAS et al., 1987).

Die Mechanismen hinter der EICF sind noch nicht sicher geklärt. Es existieren verschiedene Theorien diesbezüglich (SHAVE et al., 2010). Eine direkte Schädigung von Kardiomyozyten als Ursache für die veränderte linksventrikuläre Funktion halten die meisten Autoren für unwahrscheinlich, da nur in vereinzelt Studien ein Zusammenhang zwischen einem erhöhten Spiegel an cardialem Troponin I (cTnI) und einer Reduktion der linksventrikulären Funktion gefunden wurde (NEILAN et al., 2006; SHAVE et al., 2010). Beim Pferd konnten erhöhte cTnI-Werte nach Ausdauerleistung nachgewiesen werden (FLETHØJ et al., 2016a). Es bestand jedoch keine Korrelation zwischen den echokardiografischen Befunden und den erhöhten cardialen Biomarkern (FLETHØJ et al., 2016b).

Eine weitere in der Humanmedizin diskutierte mögliche Ursache für die EICF stellt die Downregulation von  $\beta$ -Rezeptoren dar. Ursächlich dafür ist eine anhaltende Erhöhung von Katecholaminen durch den Stress während einer Ausdauerleistung. Die verminderte Ansprache der Rezeptoren hat eine verringerte inotrope (kontraktile) und chronotrope (frequente) Ansprache des Herzens auf Stimuli zur Folge. Da die Downregulation nur die systolische Funktion betreffen würde, die diastolische Funktion allerdings auch vermindert ist, können die Mechanismen dieser Theorie nicht die alleinige Ursache für eine EICF sein (LORD et al., 2018).

Eine aktuelle Theorie sieht einen Zusammenhang zwischen EICF und Veränderungen des rechten Ventrikels, die über Interaktionen zu einer verminderten linksventrikulären Funktion führen (OXBOROUGH et al., 2010; LA GERCHE et al., 2011; OXBOROUGH et al., 2011; LA GERCHE et al., 2012). Durch erhöhten Druck in der Pulmonalarterie kommt es zu einer insuffizienten Leistung des rechten Ventrikels. Dieser kann mit seinem dünneren Myokard die entsprechend notwendige Pumpleistung nicht erbringen (LA GERCHE et al., 2011). Als Folge kann weniger Blut in die Lunge gepumpt werden, wodurch der linke Vorhof weniger gefüllt wird (OXBOROUGH et al., 2010). Dies hat eine verminderte Füllung des linken Ventrikels zur Folge, wodurch er eine reduziertere systolische Funktion aufweist, die man dann als EICF



bezeichnet (LORD et al., 2018). In der Pferdemedizin wurden zu dieser Theorie noch keine Studien durchgeführt.

Da sich die Untersuchungsverfahren zur Feststellung einer Veränderung der Herzfunktion in den letzten Jahren verbessert haben, erhofft man sich neue Erkenntnisse zur Entstehung der EICF. Zunächst beruhten die Untersuchungen auf Berechnungen von Volumina der Vorhöfe und Ventrikel im B-Mode und Messungen der Geschwindigkeit des Myokards mit Hilfe des PW-TDIs (LORD et al., 2018). Diese Größen haben den Nachteil, dass sie bei der Bestimmung der systolischen Herzfunktion ladungsabhängig sind und die Messwerte unter anderem von Dehydratation abhängig sind (FLETHØJ et al., 2016b). Im Gegensatz dazu stellt die STE beim Menschen eine zuverlässige Methode dar, um Veränderungen der Kontraktilität und den Füllungseigenschaften des Herzens festzustellen (LORD et al., 2018).

Bei einer EICF kann mittels STE eine reduzierte Strain gemessen werden. Vorwiegend nehmen in Studien der Humanmedizin die systolische longitudinale Strain, sowie die systolische Strainrate bei einer EICF ab. Die Veränderungen scheinen dabei in den septalen Segmenten größer zu sein als in den wandständigen (GEORGE et al., 2009). In vereinzelt Studien konnten ebenfalls die Verringerungen der zirkumferentiellen und der radialen Strains ermittelt werden (GEORGE et al., 2009; OXBOROUGH et al., 2010; LORD et al., 2018). Beim Menschen wurde mit Hilfe der STE eine Verminderung der Rotation der Herzspitze nach langanhaltender Ausdauerleistung nachgewiesen (LORD et al., 2018). Die Veränderung der Rotation der Herzspitze wurde im Vergleich zur Humanmedizin beim Pferd in Bezug auf Ausdauerbelastung noch nicht untersucht.

In der Pferdemedizin wurden ebenfalls zunächst Untersuchungen zur EICF mittels ladungsabhängigen Größen durchgeführt. Neben Distanzpferden wurden auch Rennpferde auf diese Veränderungen untersucht (AMORY et al., 2010; GUNTHER-HARRINGTON et al., 2018). Bei Distanzpferden konnte in einer Studie eine verminderte linksventrikuläre systolische Funktion nachgewiesen werden, die mit dem Vorhandensein einer EICF übereinstimmt (AMORY et al., 2010). Bei Rennpferden konnten trotz der nur kurz andauernden Belastung während eines Rennens ähnliche Ergebnisse erzielt werden, wie in der Studie von AMORY et al. (2010) beschrieben. In beiden Studien bestehen Einschränkungen der Ergebnisse durch die Verwendung von ladungsabhängigen Größen, wie die Größe und das Volumen des linken Ventrikels und des linken Atriums und die fraktionierte Verkürzung. (AMORY et al., 2010; GUNTHER-HARRINGTON et al., 2018). Nachdem die Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit der STE bei gesunden Pferden sowohl in der kurzen als auch in der langen Achse während der letzten Jahre nachgewiesen wurde, wurde in verschiedenen Studien die Verwendbarkeit dieser Methode bei pathologischen Veränderungen untersucht (SCHWARZWALD et al., 2009; DECLOEDT et al., 2011; DECLOEDT et al., 2013). Die STE wurde beim Pferd zur Untersuchung von Veränderungen des Myokards im Alter (GEHLEN

und BILDHEIM, 2018), von Veränderungen des Herzens durch Aortenklappeninsuffizienzen (DECLOEDT et al., 2020) und von Veränderungen des Myokards durch Training verwendet (GEHLEN und SCHLAGA, 2019). FLETHØJ et al. (2016b) verwendeten die STE um die Folgen von Distanzritten auf die systolische und diastolische Funktion des linken Ventrikels zu untersuchen. Die Autoren stellten die Hypothese auf, dass ein der humanen EICF ähnliches Phänomen nach Distanzritten von 120 - 160 km nachweisbar ist. Mit Hilfe der STE konnte eine diastolische Dysfunktion nachgewiesen werden. Die Messungen nach dem Distanzritt zeigten eine Reduktion der frühdiastolischen longitudinalen Geschwindigkeiten und Strain Raten, sowie einiger Strain Werte. Im Gegensatz zu den Studien der Humanmedizin konnte in dieser Studie aufgrund einer kleinen Studienpopulation und teilweise schwierig auszuwertenden Daten keine systolische Dysfunktion nachgewiesen werden (FLETHØJ et al., 2016b; LORD et al., 2018; DONALDSON et al., 2019).

## 2.3. Herzratenvariabilität

Als Herzratenvariabilität bezeichnet man die Veränderungen der Abstände der R-Zacken im Elektrokardiogramm (EKG) (RR-Intervalle oder NN-Intervalle) durch das autonome Nervensystem (ANS) (MCCRATY und SHAFFER, 2015). Durch diese Veränderungen ist der Körper fähig sich an verschiedene Umweltbedingungen, körperliche Veränderungen und psychische Herausforderungen anzupassen (SHAFFER und GINSBERG, 2017).

Die Untersuchung der Herzratenvariabilität stellt ein nichtinvasives Verfahren zur Untersuchung der Regulation der Herzfrequenz durch das autonome Nervensystem dar (BOGUCKI und NOSZCZYK-NOWAK, 2017).

### 2.3.1. Physiologische Grundlagen der Herzratenvariabilität

Die primären Schrittmacher am Herzen sind Zellen im rechten Vorhof, die als Taktgeber für den Herzschlag fungieren. Sie werden als sogenannter Sinusknoten zusammengefasst. Vom Sinusknoten geht die elektrische Erregung der Erregungsbildungsmuskelzellen über den Atrioventrikular-Knoten (AV-Knoten), der zwischen rechtem und linkem Vorhof und den Ventrikeln liegt, weiter zu den Purkinjefasern. Von dort aus geht die Erregung durch das Interventrikularseptum zu den Tawaraschenkeln auf die Herzmuskelzellen der Ventrikel über. Der Sinusknoten gibt dabei beim Menschen einen Takt von circa 60 - 100 bpm vor (SHAFFER et al., 2014). Die normale Ruheherzfrequenz liegt allerdings bei großen Hunden, bei Pferden und beim Menschen bei einer geringeren Schlagfrequenz. Sie liegt bei großen Hunden bei durchschnittlich 60 - 80 bpm, beim Pferd bei einer Frequenz von bis zu 40 bpm und beim Mensch bei circa 75 bpm (SHAFFER et al., 2014; VON ENGELHARDT, 2015).

Die autonome Regulation der Herzfrequenz unterliegt zwei gegensätzlich agierenden Anteilen des autonomen Nervensystems. Zum einen dem Einfluss des Parasympathikus, der vor allem durch den Nervus vagus repräsentiert wird, zum anderen unterliegt das Herz in seiner Regulation dem Sympathikus (SHAFFER et al., 2014).

Unter normalen Bedingungen ist die autonome Regulation des Herzens in Ruhe vorwiegend durch den Parasympathikus gesteuert (SAMMITO et al., 2014). Der parasympathische Anteil wirkt dabei hemmend auf die Herzfrequenz. Er vermindert die Pulsgeberaktivität des Sinusknoten insoweit, dass die Ruheherzfrequenz unter der Frequenz des Sinusknoten liegt (SHAFFER et al., 2014). Der Parasympathikus sendet vor allem hochfrequente elektrische Impulse. Die Reduktion der Herzfrequenz erfolgt in unter einer Sekunde Reaktionszeit. Die Steigerung der Herzfrequenz, die durch den Sympathikus mit niederfrequenten elektrischen Impulsen erreicht wird, dauert mit über fünf Sekunden Reaktionszeit länger (NUNAN et al.,

2010). Unter Belastung nimmt die Herzfrequenz bis zu einer Frequenz von 100 - 120 bpm durch den abnehmenden Einfluss des parasympathischen Nervensystems (PNS) zu. Ab diesem Zeitpunkt erhöhen der Sympathikus und die neurohumorale Steuerung des Herzens die Herzfrequenz über 120 bpm (HAMLIN et al., 1972). Nach Belastungen nimmt der Einfluss des Sympathikus ab und die Regulation durch den Nervus vagus wieder zu. Während der folgenden Erholungsphase können vermehrt Arrhythmien auftreten. Dazu gehören Artrioventrikular (AV)-Blöcke des 1. und 2. Grades, sowie Sinusarrhythmien (FRICK et al., 2018). Beim Menschen wird als Ursache für diese Arrhythmien eine Instabilität der autonomen Regulation des Herzens angenommen (FRANCO et al., 2014).

Die Signalübertragung von Parasympathikus auf die Zellen des Sinus- und AV-Knotens erfolgt durch Freisetzung von Acetylcholin als Transmittermolekül, das an muskarinergen Rezeptoren (meist M2) bindet (HARVEY, 2012). Durch die Bindung erfolgt eine Verringerung der Depolarisationsrate an den Schrittmacherzellen der Vorhöfe (SHAFFER et al., 2014)

Die Steigerung der Herzrate durch den Sympathikus erfolgt mittels Freisetzung der Transmittermoleküle Noradrenalin und Adrenalin, die an  $\beta_1$  Rezeptoren binden. Durch die Bindung kommt es zu einer schnelleren Depolarisation von Sinusknoten und AV-Knoten. Folglich erhöht sich die Herzfrequenz (SHAFFER und GINSBERG, 2017).

Die übergeordnete Regulation des Herzens erfolgt aus einem Teil der Medulla oblongata. Sie verarbeitet Signale von Chemorezeptoren, Barorezeptoren und Signale der Propriozeption. Zudem wirken Signale des limbischen Systems und der Großhirnrinde auf dieses Regulationszentrum ein. Die Weitergabe der Informationen von übergeordneten Zentren erfolgt durch Veränderung des Gleichgewichts zwischen Sympathikus und Parasympathikus (SHAFFER et al., 2014).

### **2.3.2. Darstellung der verschiedenen Parameter der HRV**

#### **2.3.2.1. Zeitbezogene Parameter (time domain)**

Diese Parameter beschreiben die Veränderungen der HRV in Bezug auf die Zeit (SHAFFER, 2017). Die zeitbezogenen Parameter stellen die einfachste Art der Untersuchung der Herzratenvariabilität dar (ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Die zeitbezogenen Größen können aufgrund der immer gleichen Berechnung zwischen verschiedenen Studien verglichen werden, vorausgesetzt die Aufzeichnungsdauer und -modalitäten sind die gleichen (SHAFFER et al., 2014).

### **SDNN**

(englisch: standard deviation of normal NN-intervals, Standardabweichung aller NN-Intervalle, Wurzel der Varianz aller NN-Intervalle)

Die Standardabweichung aller NN-Intervalle stellt die am einfachsten zu berechnende Variable der zeitbezogenen Parameter dar und gibt alle Faktoren wieder, die auf die HRV einwirken. Für die Berechnung des Parameters werden nur die vom Sinusknoten verursachten Herzschläge verwendet (SHAFFER et al., 2014). Die SDNN ist abhängig von der Länge der EKG-Aufzeichnung (ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Sie wird in Millisekunden (ms) gemessen (SHAFFER und GINSBERG, 2017).

### **RMSSD**

(englisch: root mean square of successive differences between normal heartbeats, Quadratwurzel des quadrierten Mittelwerts aller Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen)

Dieser Parameter wird verwendet, um die durch den Parasympathikus verursachten Veränderungen der HRV darzustellen. Er stellt die Veränderungen der Herzfrequenz von Schlag zu Schlag dar (SHAFFER und GINSBERG, 2017).

Eine Zunahme der Kontrolle des Nervus vagus geht häufig mit einer Steigerung der Belastungsfähigkeit einher, während Erschöpfung an eine Verringerung des vagalen Einflusses gekoppelt ist (PICHOT et al., 2000).

### **NN50**

Dieser Parameter stellt die Anzahl der folgenden NN-Intervalle dar, die sich mehr als 50 ms im Abstand unterscheiden (SHAFFER und GINSBERG, 2017).

### **pNN50**

Dieser Parameter ist definiert als NN50 geteilt durch die Gesamtanzahl von NN-Intervallen und wird in Prozent angegeben. Er ist das Verhältnis der mehr als 50 ms voneinander abweichenden NN-Intervalle zu allen NN-Intervallen. Der pNN50 korreliert mit der Aktivität des parasympathischen Nervensystems und mit der RMSSD (SHAFFER und GINSBERG, 2017).

#### **2.3.2.2. Frequenzbezogene Parameter (frequency domain)**

Die frequenzbezogenen Parameter stellen die Verteilung der Frequenzanteile, aus denen sich die HRV zusammensetzt, dar (SHAFFER und GINSBERG, 2017). Die verschiedenen Referenzbereiche für Menschen und Pferde sind in Tabelle 3 dargestellt.

Diese Parameter sind in vier verschiedene Frequenzbereiche aufgeteilt (ELECTROPHYSIOLOGY, 1996):

- ultra-niedriger Frequenzbereich (engl. ultra-low frequency band, ULF)
- sehr-niedriger Frequenzbereich (engl. very-low frequency band, VLF)
- niedriger Frequenzbereich (engl. low frequency band, LF)
- hoher Frequenzbereich (engl. high frequency band, HF).

Tabelle 3: Referenzwerte für verschieden HRV Frequenzbereiche für Mensch und Pferd.

AUTOR	Referenzen für	ULF [Hz]	VLF [Hz]	LF [Hz]	HF [Hz]
SCHAFFER et. al. (2014)	Mensch	< 0,0033	0,0033 - 0,04	0,04 - 0,15	0,15 - 0,4
KUWAHARA et. al. (1996)	Pferd			0,01 - 0,07	0,07 - 0,6
BOWEN und MARR (1998)	Pferd		0,001 - 0,005	0,005 - 0,07	0,07 - 0,5

HF = hoher Frequenzbereich; Hz = Hertz; LF = niedriger Frequenzbereich; ULF = ultra-niedriger Frequenzbereich; VF = sehr niedriger Frequenzbereich

Der ULF-Bereich kann nur bei einer Aufnahmezeit von mindestens 24 Stunden bestimmt werden (KLEIGER et al., 2005). Es gibt keine Einigkeit wodurch genau die Frequenzen des ULF-Bereichs entstehen. Man vermutet, dass sehr langsam agierende biologische Prozesse einen Einfluss auf diese Frequenzen haben. Eine weitere Theorie ist, dass die Körperkerntemperatur, der Stoffwechsel und das Renin-Angiotensin-Aldosteron System diesen Bereich beeinflussen (ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Bei Pferden ist dieser Bereich nicht definiert (BOWEN und MARR, 2010).

Für die Bestimmung des VLF-Frequenzbereiches benötigt man eine Aufnahmedauer von mindestens fünf Minuten. Allerdings ist auch hier eine EKG Aufnahmedauer von 24 Stunden von Vorteil (KUUSELA, 2013). Es wird vermutet, dass das intrinsische Nervensystem des Herzens die Frequenzen des VLF-Bandes erzeugen und eine efferente sympathische Aktivität die Amplitude sowie die Frequenz der Schwingungen beeinflusst (SHAFFER und GINSBERG, 2017).

Für die Bestimmung des LF-Bereichs reicht eine kurze Aufzeichnung des EKGs aus (SHAFFER et al., 2014). Dieser Frequenzbereich spiegelt die Aktivität von Barorezeptoren wieder. Auch hier ist man sich noch nicht im Klaren, ob die Schwingungen vom sympathischen

Nervensystem (SNS), vom parasympathischen Nervensystem (PNS) oder nur durch die Barorezeptoren beeinflusst werden (SHAFFER und GINSBERG, 2017).

Eine kurze Aufnahmezeit von einer Minute reicht für die Auswertung des HF-Bereichs aus. Dieser Frequenzbereich wird auch „respiratorischer Bereich“ genannt, da er mit der Veränderung der Herzfrequenz durch die Atmung übereinstimmt. Er ist vor allem durch die Aktivität des Parasympathikus beeinflusst (SHAFFER und GINSBERG, 2017). Die HF-Power ist in hohem Maße mit dem RMSSD assoziiert (KLEIGER et al., 2005). Eine niedrige HF-Power kann ein Zeichen für Stress, Panik oder Angst sein (SHAFFER et al., 2014).

### **Verhältnis LF/HF**

Dieser Parameter wurde ursprünglich verwendet, um den Einfluss von sympathischem und parasympathischem Nervensystem bei einem 24 Stunden EKG zu ermitteln. Ihm liegt zu Grunde, dass die LF-Power vom sympathischen und die HF Power vom parasympathischen Nervensystem beeinflusst werden. Allerdings muss dieser Parameter vorsichtig interpretiert werden, da die LF-Power nicht ein alleiniges Ergebnis der Beeinflussung durch das sympathische Nervensystem darstellt (SHAFFER und GINSBERG, 2017).

### **2.3.2.3. Nichtlineare Parameter**

Die nicht linearen Parameter stellen komplexe Zusammenhänge aus hämodynamischen Veränderungen, elektrophysiologischen Signalen und von humoralen Variablen dar, die die HRV beeinflussen (ELECTROPHYSIOLOGY, 1996).

Ein Beispiel für die Darstellung von nichtlinearen Parametern stellt der Poincaré-Plot dar (Abbildung 3). Dieser zeichnet den Bezug eines RR-Intervalls zum folgenden Intervall auf. Bei einer normalen HRV ist die Darstellung des Poincaré-Plots eine Ellipse, wobei SD1 (engl. Abkürzung für Standardabweichung) die Breite der Ellipse (entspricht der x-Achse) und SD2 die Länge (entspricht der y-Achse) darstellt. Das Verhältnis von SD1 zu SD2 wird verwendet um die Balance des autonomen Nervensystems darzustellen (MCCRATY und SHAFFER, 2015; SHAFFER und GINSBERG, 2017).

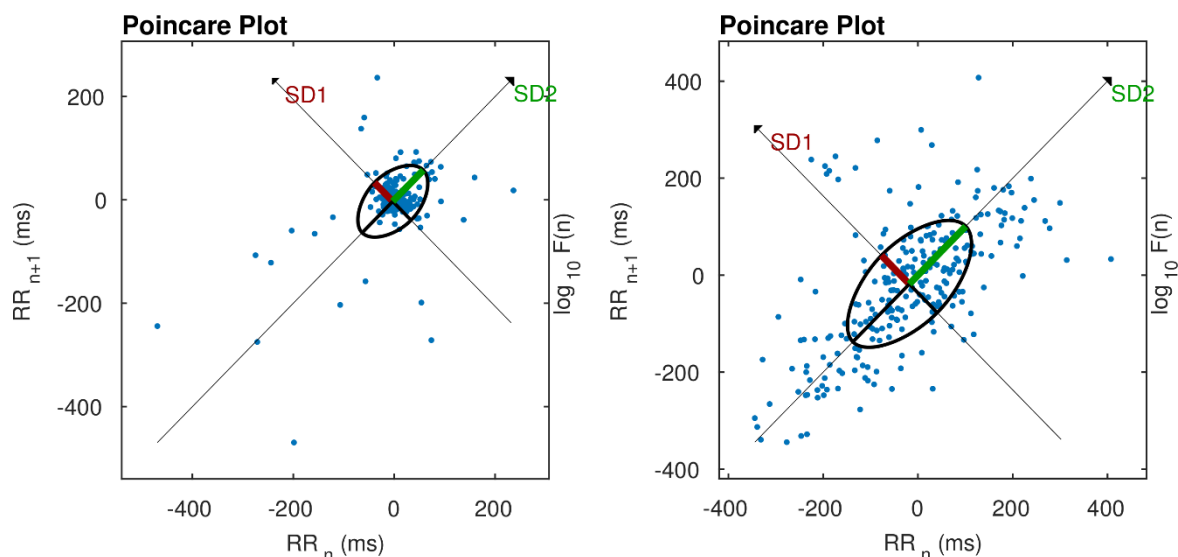


Abbildung 3: Beispiel eines Poincaré-Plots. SD1 stellt die Breite der dargestellten Ellipse dar, SD2 die Länge. Links vor dem Distanzritt, rechts danach.

### 2.3.3. HRV im Ausdauersport

Bei Menschen wird die HRV bei Ausdauersportlern verwendet, um einen idealen Trainingsbereich zu erreichen und ein „Übertraining“ zu vermeiden. Mit Hilfe von HRV-gestützten Trainingsprogrammen ist eine Optimierung des Trainings beim Menschen möglich (BORRESEN und LAMBERT, 2008). Bei Pferden ist eine Aufzeichnung der HRV zur Verhinderung eines Übertrainings ebenfalls hilfreich (KINNUNEN et al., 2006). Bestimmte Parameter der HRV zeigen beim Menschen einen guten Trainingsstatus an (BORRESEN und LAMBERT, 2008). Ein wichtiger Parameter scheint dabei die CRT zu sein. Diese ist bei Ausdauer trainierenden Sportlern im Vergleich zu untrainierten beschleunigt (SUGAWARA et al., 2001; YAMAMOTO et al., 2001). Auch bei Pferden haben die am besten trainierten Tiere die kürzeste CRT (MADSEN et al., 2014). Bei Distanzpferden ist eine schnelle Erholung der Herzfrequenz nach einer Belastung für den Erfolg essentiell. Die HRV kann bei der Selektion dieser Pferde hilfreich sein. Distanzpferde mit einer hohen RMSSD in der Erholungsphase zeigen die kürzeste CRT (YOUNES et al., 2016). Eine verlängerte CRT während eines Distanzrittes kann zudem als negativer prognostischer Faktor für die Wahrscheinlichkeit des Ausscheidens in der nächsten Loop dienen (YOUNES et al., 2015). Generell sprechen hohe parasympathische Parameter der HRV für einen guten Trainingszustand. Elitedistanzpferde zeigten im Vergleich zu weniger und kaum trainierten Distanzpferden sowohl nach einem Ruhetag als auch direkt nach dem Training eine höhere RMSSD (VENDRIG, 2013). Bei Menschen wurde zudem eine Steigerung der SDNN mit Ausdauertraining beobachtet (YAMAMOTO et al., 2001). Bei Pferden und Menschen konnten niedrige SD2 und RMSSD



Werte nach Belastungen mit stärkerer Erschöpfung verknüpft werden (HAUTALA et al., 2001; YOUNES et al., 2016).

Einen Einfluss auf die HRV haben neben dem Alter auch die Dauer der Belastung, sowie die dabei zurückgelegte Geschwindigkeit. Dabei nimmt mit zunehmendem Alter die RMSSD in Ruhe ab. Mit steigender Dauer der Belastung nimmt sowohl SD2 als auch die RMSSD ab (YOUNES et al., 2016).

Auch das Aufnahmemedium scheint eine Rolle bei der Auswertung der HRV beim Pferd zu spielen (LENOIR et al., 2017). Zur Aufzeichnung können Pulsuhren und EKG-Aufnahmegeräte verwendet werden (ALLEN et al., 2016). Ein Nachteil von Pulsuhren ist, dass eine manuelle Korrektur von EKGs nicht möglich ist, da nur der RR-Abstand aufgezeichnet wird (LENOIR et al., 2017). Vor allem unter Belastung aufgenommene Rohdaten sind häufig mit einer hohen Anzahl an Artefakten versehen. Als Goldstandard gilt das EKG-Aufnahmegerät (ALLEN et al., 2016). LENOIR et al. (2017) empfehlen nach ihrem Vergleich einer Pulsuhr mit einem portablen EKG zur Aufzeichnung von HRV-Daten unter Belastung die Verwendung eines EKGs. Zwischen den beiden Aufnahmemedien konnte lediglich bei der Herzfrequenz und dem RR-Abstand eine Übereinstimmung gefunden werden.

## 2.4. Blutdruckmessung

### 2.4.1. Physiologie des Blutdrucks

Spricht man vom Blutdruck ist zunächst der arterielle Blutdruck des Körperkreislaufs gemeint. Die Höhe des arteriellen Blutdrucks (engl. blood pressure - BP) ist durch das Herzminutenvolumen (engl. heart minute volume - HMV) sowie durch den Widerstand, der durch das Gefäßbett entsteht (totaler peripherer Widerstand, engl. total peripheral resistance - TPR), bestimmt. Das Herzminutenvolumen setzt sich dabei aus der Herzfrequenz (engl. heart rate - HR) mal dem Schlagvolumen des Herzens (engl. stroke volume – SV) zusammen (TAYLOR et al., 2017).

$$BP = HR \times SV \times TPR$$

bzw. 
$$BP = HMV \times TPR$$

Man unterscheidet den systolischen Blutdruck, der in der Austreibungsphase des Herzens erreicht wird und den diastolischen Blutdruck. Dieser ist als der arterielle Blutdruck während der Entspannungsphase des Herzens definiert. Daneben ist der mittlere arterielle Blutdruck der über die Zeit gemittelte Blutdruck. Er liegt näher am diastolischen Blutdruck, da die Diastole des Herzens länger andauert als die Systole (VON ENGELHARDT, 2015). Als Referenzwerte werden beim Pferd als systolischer Blutdruck 80 - 140 mmHg und als diastolischer Blutdruck 50 - 100 mmHg angegeben (GEHLEN, 2009a).

Die Regulation des Blutdrucks unterliegt vielen verschiedenen Mechanismen: Zum einen werden Signale von Barorezeptoren aus dem Carotissinus und dem Aortenbogen an das Gehirn als übergeordnetes Kontrollzentrum gesendet, das über alle drei Einflussfaktoren (HF, SV und TPR) den Blutdruck regulieren kann. Wenige Organe, wie die Niere, besitzen zudem die Fähigkeit in einem gewissen Rahmen ihren Blutdruck eigenständig zu regulieren (JEPSON, 2011).

### 2.4.2 Methoden der Blutdruckmessung

#### 2.4.2.1. Direkte Methode

Die Blutdruckmessung durch die direkte Methode erfolgt durch einen Zugang zu einer Körperarterie. Bei Pferden geschieht dies entweder mittels Katheter in der A. facialis, der A. metatarsalia dorsalis, der A. metatarsa medialis oder der A. metatarsa digitalis (TAYLOR,

1981). Die direkte Messung erlaubt eine sehr genaue Messung des Blutdruckes und gilt aufgrund dessen als Goldstandard und in Studien als Referenzgröße zur Etablierung neuer Messgeräte und -methoden (VON ENGELHARDT, 2015).

### **2.4.2.2. Indirekte Methoden**

Die indirekten Methoden werden in der Praxis aufgrund ihrer Nichtinvasivität häufiger verwendet. Sie sind im Vergleich zur direkten Methode ungenauer und erfordern ein höheres Maß an Übung mit den verwendeten Messmethoden. Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Methoden zur indirekten Blutdruckmessung entwickelt, die nachfolgend einzeln erläutert werden. Es ist bei der Blutdruckmessung essentiell, die Prozedur in einem möglichst ruhigen Raum durchzuführen. Weiterhin sollten mehrere Messungen durchgeführt werden. Aus diesen wird dann der Mittelwert gebildet. Ein einzelner erhobener Wert gilt als nicht aussagekräftig (ACIERNO et al., 2018). Die bevorzugte Arterie zur Messung des indirekten Blutdrucks beim Pferd ist die A. coccygealis medialis (mittlere Schweifarterie) (ALBERTI et al., 2019).

#### **Palpatorische Methode**

Die palpatorische Methode, auch Methode nach Riva-Rocci genannt, erfolgt mittels Unterdrückung der Pulswelle distal der Messstelle mit Hilfe einer Manschette. Diese wird dabei aufgeblasen, bis keine arterielle Pulswelle mehr fühlbar ist. Um mit Sicherheit über dem systolischen Blutdruck zu liegen wird sie auf weitere 30 mmHg aufgeblasen. Dann wird die Manschette abgelassen bis die Pulswelle der Arterie wieder tastbar ist. Der ermittelte Wert entspricht dabei dem systolischen Blutdruck. Die Ermittlung eines diastolischen Wertes ist mit dieser Methode nicht möglich (TAYLOR, 1981).

#### **Auskultatorische Methode**

Bei der auskultatorischen Methode wird ebenfalls eine Blutdruckmanschette distal der Messstelle aufgeblasen, bis mit dem aufgelegten Stethoskop die Pulsation der Arterie nicht mehr wahrnehmbar ist. Beim Ablassen des Manschettendrucks kommt es am Punkt des systolischen Blutdruckes zu einem Klopfen, welches anhält, bis der durch weiteres Ablassen erreichte diastolische Blutdruck erreicht wird. Die Klopfgeräusche, die dabei zu hören sind, nennt man Korotkoffgeräusch. Sie entstehen dadurch, dass die Arterienwand während der Diastole zusammenfällt, solange der Manschettendruck noch den diastolischen Blutdruck übersteigt (KÖHLING et al., 2013).

### **Dopplerultraschall Methode**

Die Messung des Blutdrucks mittels Dopplerultraschall funktioniert mittels einer Ultraschallsonde, deren Transducer Ultraschallwellen im Verlauf der Arterie sendet. Diese Ultraschallwellen werden von der Arterienwand und den Erythrozyten reflektiert (Doppler-Effekt). In der Ultraschallsonde werden sie von piezoelektrischen Kristallen empfangen und in ein akustisches Signal umgewandelt. Zusätzlich wird ein Sphygmomanometer und entsprechende Manschetten benötigt. Die Bestimmung des systolischen Blutdrucks ist mit dieser Methode einfach, der diastolische Druck kann nur schwer bestimmt werden (BINNS et al., 1995).

### **Oszillometrische Methode**

Die oszillometrische Messmethode erfolgt mittels einer Manschette, deren Druck so lange aufgebaut wird, bis das Messinstrument keine Schwingungen der Arterienwand mehr erfasst. Anschließend wird der Druck der Manschette so lange abgelassen, bis das Gerät wieder die Schwingungen der Arterienwand wahrnimmt (KÖHLING et al., 2013).

### **High-definition Oszillometrie (HDO)**

Auch bei diesem Verfahren werden Schwingungen der Arterienwand detektiert. Die HDO-Technik ist das neueste Verfahren zur oszillometrischen Messung des Blutdrucks. Artefakte werden durch den Computer des Messsystems automatisch herausgerechnet. Mittels der HDO Technik ist durch eine Software zudem die Darstellung der Blutdruckkurve möglich (EGNER, 2015).

## **2.4.3. Blutdruckmessung und Ausdauersport**

Der Blutdruck nimmt unter Belastung durch eine Steigerung des Herzzeitvolumens zu. Die Blutdruckerhöhung wird durch ein gesteigertes Auswurfvolumen und eine Steigerung der Herzfrequenz erreicht. Ein erhöhtes Herzzeitvolumen wird aufgrund des höheren metabolischen Bedarfs des Körpers und vor allem der Muskulatur benötigt. Bei einem gesunden Körper passt sich das Gefäßbett an das gesteigerte Herzzeitvolumen an. Die Gefäße in den Organen, welche einen erhöhten Verbrauch an Metaboliten haben, dilatieren und es erfolgt eine Dehnung der elastischen Arterien (VON ENGELHARDT, 2015). Durch die physiologischen Anpassungen des Körpers wird die Blutdruckerhöhung bei Belastung innerhalb eines gewissen Bereiches gehalten (SHARMAN und LA GERCHE, 2015). Unter Belastung steigt beim Mensch der systolische Blutdruck um circa 50 - 70 mmHg. Der diastolische Blutdruck verändert sich beim gesunden Menschen während Ausdauerbelastung

kaum. Bei hypertensiven Patienten steigt hingegen auch der diastolische Blutdruck an (PALATINI, 1988).

Bei Pferden nimmt der Blutdruck unter Belastung mit zunehmender Laufleistung zu. Am höchsten ist die Zunahme des systolischen Blutdrucks. Der diastolische Blutdruck steigt unter Belastung wie beim Menschen durch eine Abnahme der TPR nur geringfügig an. Nach der Belastung nimmt der systolische und mittlere arterielle Blutdruck für einen kurzen Moment ab, bevor sie wieder ansteigen. Im Mittel konnte beim Pferd in einer experimentellen Studie im Galopp ein systolischer Blutdruck von 205 mmHg, ein mittlerer arterieller Blutdruck von 160 mmHg und ein diastolischer Blutdruck von 116 mmHg gemessen werden. Mit steigendem Training sinkt der mittlere arterielle Blutdruck während Belastung (HORNICKE et al., 1977).

Beim Menschen können während der Belastung pathologische Veränderungen des Blutdrucks auftreten. Dazu gehört die belastungsinduzierte Hypertension (engl. exercise induced hypertension - EIH), die als ein systolischer Blutdruck  $> 230$  mmHg während der Belastung definiert ist (WILSON et al., 1990). EIH stellt einen Risikofaktor für kardiovaskuläre Erkrankungen und späterer Hypertension dar (KJELDSEN et al., 1997; SINGH et al., 1999). Ähnlich wie bei der EICF wird ein Zusammenhang zwischen belastungsinduzierter Hypertension und erhöhten Herzmarkern diskutiert. Bei Marathonläufern konnte in einer Studie kein Zusammenhang zwischen erhöhten kardialen Markern und Hypertension festgestellt werden (KIM et al., 2015). Im Gegensatz dazu konnte bei Ultramarathonläufern, die eine Strecke von über 100 km zurücklegten, bei Läufern die eine EIH entwickelten eine statistisch signifikante Erhöhung der kardialen Marker festgestellt werden (PARK et al., 2018). Auch bei Triathleten konnte ein Zusammenhang zwischen EIH und erhöhten kardialen Markern festgestellt werden. Es scheint dabei einen Zeitpunkt zu geben, an dem die Vorteile von Ausdauersport nicht mehr überwiegen und schwerwiegende Veränderungen wie Myokardfibrosen durch die andauernde Belastung entstehen (TAHIR et al., 2018).

Bei Pferden gibt es bezüglich einer EIH keinerlei Studien. Allerdings gibt es bei Pferden im Allgemeinen keine Berichte bezüglich einer Hypertension. Im Vergleich zum Menschen erkranken Pferde auch im fortgeschrittenen Alter nicht an kardiovaskulären Erkrankungen wie Herzinfarkte und primären Hypertonien (WALDERS, 2019). Hingegen können Veränderungen wie eine linksventrikuläre Hypertrophie des Herzens durch Ausdauerbelastungen auch beim Pferd festgestellt werden (FLETHØJ et al., 2016b). Es könnte daher möglich sein, dass durch Veränderungen des Herzens durch Ausdauerleistung bei Pferden Hypertonien entstehen.

## **3. Material und Methoden**

### **3.1. Probandenauswahl**

Die Rekrutierung der an der Studie teilnehmenden Pferde erfolgte im Vorhinein durch Anfrage an die Reiter per Aufruf bei einem Distanzreiterstammtisch sowie im Internet für zwei nationale und einen internationalen Distanzritt. Die nationalen Distanzritte waren die Deutsche Meisterschaft im Distanzreiten in Neustadt (Dosse) und die Berlin-Brandenburgische Landesmeisterschaft im Distanzreiten in Britz. Der Aufruf zur Teilnahme an der Studie für den internationalen Distanzritt erfolgte für die Weltmeisterschaft im Distanzreiten in Šamorín in Ungarn.

Es wurden Pferde in die Studie eingeschlossen, die mindestens 86 km bis maximal 162 km an einem Tag zurücklegen sollten. Das Alter, das Geschlecht sowie die Rasse der an der Untersuchung teilnehmenden Pferde waren dabei nicht relevant. Durch die sowohl von nationalen als auch internationalen Regeln vorgeschriebene tierärztliche Verfassungskontrolle vor jedem Ritt konnte davon ausgegangen werden, dass nur in guter körperlicher und gesundheitlicher Verfassung stehende Pferde an der Studie teilnahmen.

Eingeschlossen wurden insgesamt 29 Pferde, davon acht beim Ritt in Neustadt (Dosse), acht Pferde bei der Berlin-Brandenburgischen Meisterschaft in Britz und 13 Pferde wurden in Šamorín untersucht. Insgesamt wurden 17 Wallache, drei Hengste und neun Stuten untersucht. Das durchschnittliche Alter der Pferde betrug 11,9 Jahre (8 - 18 Jahre) zum Zeitpunkt der Datenerhebung. Das durchschnittliche Gewicht lag bei 416 kg (350 - 500 kg). Die durchschnittliche Größe der untersuchten Pferde lag bei 1,54 m (1,45 - 1,63 m). Es wurden 15 Vollblutaraber, drei Traber, zwei Shagya Araber, zwei Anglo-Araber und jeweils ein Kabardiner, ein arabisches Padbred, ein italienisches Reitpferd und ein Arasier (Kreuzung aus arabischen Vollblut und Achal-Tekkiner) untersucht. Bei drei Pferden war die Rasse nicht bekannt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Probandengut.

Pferd Nr.	Rasse	Alter [Jahre]	Geschlecht	Größe [m]	Gewicht [kg]	Ort	Distanz [km]
1	VA	11	Wallach	1,51	380	Britz	86
2	VA	8	Wallach	1,52	420	Britz	120
3	VA	9	Hengst	1,50	400	Britz	120
4	Traber	14	Stute	1,55	450	Britz	86
5	Traber	13	Wallach	1,52	430	Britz	120
6	VA	18	Wallach	1,55	450	Britz	120
7	VA	17	Wallach	1,53	450	Britz	86
8	Traber	12	Stute	1,63	450	Britz	120
9	VA	13	Stute	1,50	350	Neustadt	162
10	Arasier	10	Wallach	1,62	430	Neustadt	162
11	AP	10	Wallach	1,59	470	Neustadt	121
12	VA	12	Stute	1,55	420	Neustadt	162
13	VA	18	Wallach	1,54	420	Neustadt	162
14	Kabardiner	13	Stute	1,60	500	Neustadt	162
15	VA	16	Hengst	1,48	350	Neustadt	86
16	VA	15	Wallach	1,59	432	Neustadt	162
17	VA	12	Wallach	n.b.	450	Šamorín	162
18	VA	12	Wallach	n.b.	402	Šamorín	162
19	VA	9	Stute	n.b.	402	Šamorín	162
20	VA	12	Wallach	1,45	380	Šamorín	162
21	unbekannt	15	Wallach	n.b.	440	Šamorín	162
22	unbekannt	15	Stute	n.b.	402	Šamorín	162
23	VA	13	Wallach	n.b.	408	Šamorín	162
24	SA	12	Stute	n.b.	430	Šamorín	162
25	SA	10	Wallach	n.b.	370	Šamorín	162
26	unbekannt	9	Hengst	n.b.	372	Šamorín	162
27	AA	10	Stute	n.b.	408	Šamorín	162
28	AA	9	Wallach	n.b.	395	Šamorín	162
29	Ital. Reitpferd	17	Wallach	n.b.	n.b.	Šamorín	162

AA= Angloaraber; AP= Arabisches Padbred; Ital. Reitpferd = Italienisches Reitpferd; n.b.= nicht bekannt; SA= Shagya Araber; VA = Vollblutaraber

## 3.2. Untersuchungsablauf

Die Datenerhebung fand zwischen September 2016 und September 2017 statt. Ein Fragebogen zur Trainingsroutine, Signalement des Pferdes sowie der Anzahl der erfolgreich zurückgelegten Ritte wurde von den Besitzern bei allen in Deutschland erhobenen Ritten ausgefüllt. Um die Wetterbedingungen miteinander zu vergleichen wurden die Wetterdaten von zwei verschiedenen Websites (meteostat.net und worldweatheronline.com) im Nachhinein für den jeweiligen Austragungstag und -ort abgerufen und ein arithmetisches Mittel der Tiefst- und Höchsttemperatur, sowie der minimalen und maximalen Luftfeuchtigkeit gebildet. Da für Neustadt (Dosse) keine verfügbaren Daten vorhanden waren, wurde die nächstgrößere Stadt Neuruppin als Referenz verwendet. Neuruppin befindet sich circa 30 km von Neustadt (Dosse) entfernt.

Die Distanzpferde wurden am Tag beziehungsweise zwei Tage vor dem jeweiligen Ritt einer Allgemeinuntersuchung sowie einer speziellen Herz-Kreislauf-Untersuchung unterzogen und ein fünf Minuten andauerndes Ruhe-EKG wurde angefertigt. Anschließend wurde ein Herzultraschall durchgeführt sowie der Blutdruck mittels einem mit HDO arbeitendem Gerät an der Schweifwurzel gemessen.

Am Tag des Rittes wurde in den Pausen zwischen den Loops, soweit die Pferde in diesen verfügbar waren, ebenfalls der Blutdruck gemessen.

Nach der abschließenden offiziellen Verfassungskontrolle am Ende des Rittes wurden alle Pferde nochmals echokardiografisch untersucht sowie ein EKG angefertigt und der Blutdruck gemessen. Während des Distanzrittes ausgeschiedene Pferde wurden ebenfalls nochmals untersucht. Die Untersuchungen fanden jeweils auf dem direkten Weg nach dem Ausscheiden oder der finalen tierärztlichen Kontrolle statt. Die Dauer zwischen der abschließenden tierärztlichen Kontrolle und der Untersuchungen betrug in Britz und in Neustadt maximal 60 Minuten. Die Zeit bis zur Nachuntersuchung in Šamorín betrug bis zu 21 Stunden nach Beenden des Rittes. Den Pferden wurde erlaubt vor der zweiten Untersuchung zu fressen und zu trinken. Bei frühzeitig beendeten Ritten wurde der Grund für das Ausscheiden und die zurückgelegten Kilometer bis zu diesem Zeitpunkt notiert.

Bei fünf Pferden wurden außerdem ein EKG und eine Echokardiografie drei Tage nach dem Distanzritt durchgeführt.



### **3.3. Klinische Untersuchung**

#### **3.3.1. Anamnese**

Es wurde der Trainingsumfang, die bisher zurückgelegten Distanzkilometer sowie das Verhältnis der erfolgreich zu nicht-erfolgreich zurückgelegten Distanzritte ermittelt. Neben den Angaben der Besitzer, beziehungsweise der Reiter, wurde zudem noch die internationale FEI Datenbank zur Ermittlung der zurückgelegten Ritte verwendet. Es wurden anschließend die Reiter, respektive Besitzer, nach bekannten Herzerkrankungen oder anamnestischer Leistungsinsuffizienz gefragt.

#### **3.3.2. Signalement**

Es wurde die Rasse, das Geschlecht, das Alter in Jahren, die Widerristhöhe in Meter sowie das Körpergewicht in Kilogramm erhoben.

#### **3.3.3. Allgemeine klinische Untersuchung**

Die allgemeine klinische Untersuchung umfasste die Atemfrequenz in Atemzügen pro Minute, die Farbe und Feuchtigkeit der Maulschleimhaut und die Bestimmung der kapillären Füllungszeit, die Messung der rektalen Körpertemperatur in Grad Celsius sowie der Puls- und Herzfrequenz in Schlägen pro Minute.

#### **3.3.4. Spezielle Herz-Kreislauf-Untersuchung**

Im Rahmen der speziellen Herz-Kreislauf-Untersuchung wurde das Vorhandensein von Husten, von Ruhedyspnoe, Körperödemen samt Bestimmung der Lokalität (Unterbauch, Unterbrust, Gliedmaßen), die Pulsintensität, die Gleichmäßigkeit und die Regelmäßigkeit des Pulses (gemessen an der A. mandibularis) sowie ob ein Pulsdefizit vorhanden war oder nicht, untersucht. Weiterhin wurde das Herz auskultiert und der Rhythmus, die Intensität, die Abgesetztheit des Herztones bestimmt und, wenn vorhanden, Herzgeräusche ermittelt.

## 3.4. Echokardiografie

### 3.4.1. Aufzeichnung

Der Herzultraschall wurde am jeweiligen Veranstaltungsort in ruhiger Umgebung am unседierten Pferd durchgeführt. Die Pferde wurden von ihren Besitzern, respektive Reitern, am Halfter gehalten. Da die Schür des Fells für das Schallfenster vor dem Distanzritt von den Reitern aufgrund der Gefahr von auftretenden Scheuerstellen durch den Sattelgurt während des Rittes nicht erlaubt wurde, wurde das Fell und die Haut zunächst mit Alkohol entfettet und danach auf das Schallfenster Ultraschallgel aufgetragen.

Die Echokardiografie erfolgte mit dem portablen Ultraschallgerät Vivid i (GE Medical Systems) mit 3s Schallkopf mit einer Frequenz von 1,5/3,1 Megahertz. Mindestens drei artefaktfreie Herzzyklen wurden pro Einstellung aufgenommen. Begonnen wurde der Ultraschall im B-Mode mit dem Vierkammerblick von rechts. Der Vierkammerblick wurde anschließend auf den linken Vorhof fokussiert. Danach wurden ebenfalls drei konsekutive Herzzyklen in der kurzen Achse in Höhe der Papillarmuskeln für die Offlineanalyse aufgezeichnet und gespeichert. Danach folgte eine Aufzeichnung im M-Mode in der kurzen Achse auf Höhe der Papillarmuskeln. Um Klappeninsuffizienzen auszuschließen wurde die Trikuspidalklappe im Vierkammerblick, die Aorta im Vierkammerblick mit eingedrehter Aorta und die Pulmonalklappe in der rechten cranialen langen Achse mittels Farbdoppler beurteilt. Die Beurteilung der Mitralklappen erfolgte in der linken caudalen langen Achse. Wurde eine Insuffizienz, die subjektiv über eine Klappenregurgitation hinausging, detektiert, erfolgte eine Messung der Geschwindigkeit des Rückflussstroms mit Hilfe des CW-Dopplers. Ein Beispiel für eine geringgradige Klappeninsuffizienz an der Aortenklappe ist in Abbildung 4 zu sehen.

Nach dem Distanzritt wurden die gleichen Anschallungen nochmals aufgezeichnet. Jede der Messungen in den folgenden Kapiteln wurde in drei verschiedenen Herzzyklen durchgeführt und aus den sich daraus ergebenden Werten das arithmetische Mittel gebildet.

Ein Brust-Bauchwand EKG wurde während der Echokardiografie angefertigt, sodass bei Messungen die exakte Phase des Herzzyklus bestimmt werden konnte. Weiterhin diente das mitlaufende EKG zur Bestimmung der Herzfrequenz während der einzelnen Messungen.

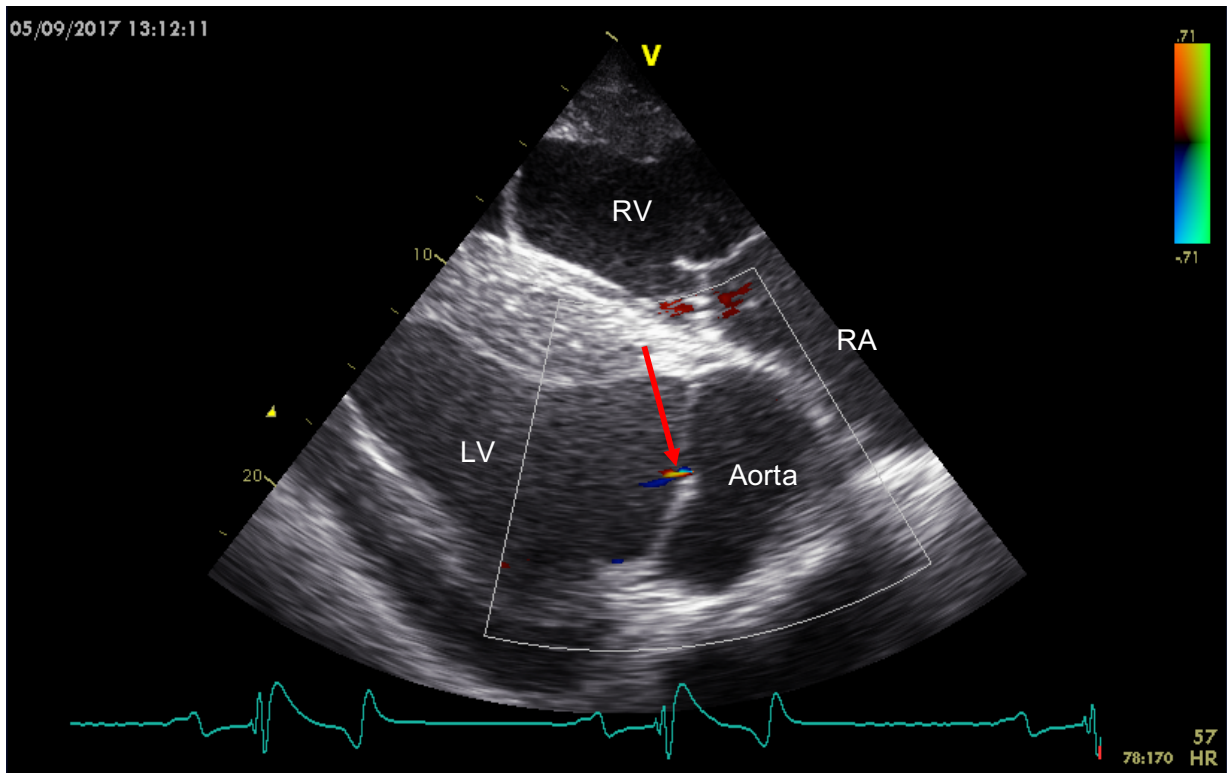


Abbildung 4: Farbdoppler der Aortenklappe von rechts. Zu sehen ist ein kleiner Regurgitationsjet an der Aortenklappe (Pfeil). LV= linker Ventrikel, RA= rechtes Atrium, RV= linker Ventrikel.

### 3.4.2. Auswertung B-Mode

Die Auswertung der Ultraschallbilder erfolgte offline mit der EchoPac Software (EchoPac Software Only®, GE Healthcare, Horton, Norway).

Die Messungen wurden nach der Studie zur Beurteilung der linksatrialen Größe und Funktion von SCHWARZWALD et al. (2007) durchgeführt, die bei FLETHØJ et al. (2016b) zur Untersuchung der Herzfunktion bei Distanzpferden verwendet wurden. Die Messungen zur Vorhofgröße wurden dabei in einem angepassten Vierkammerblick (siehe Abbildung 5), der den gesamten linken Vorhof darstellt, durchgeführt.

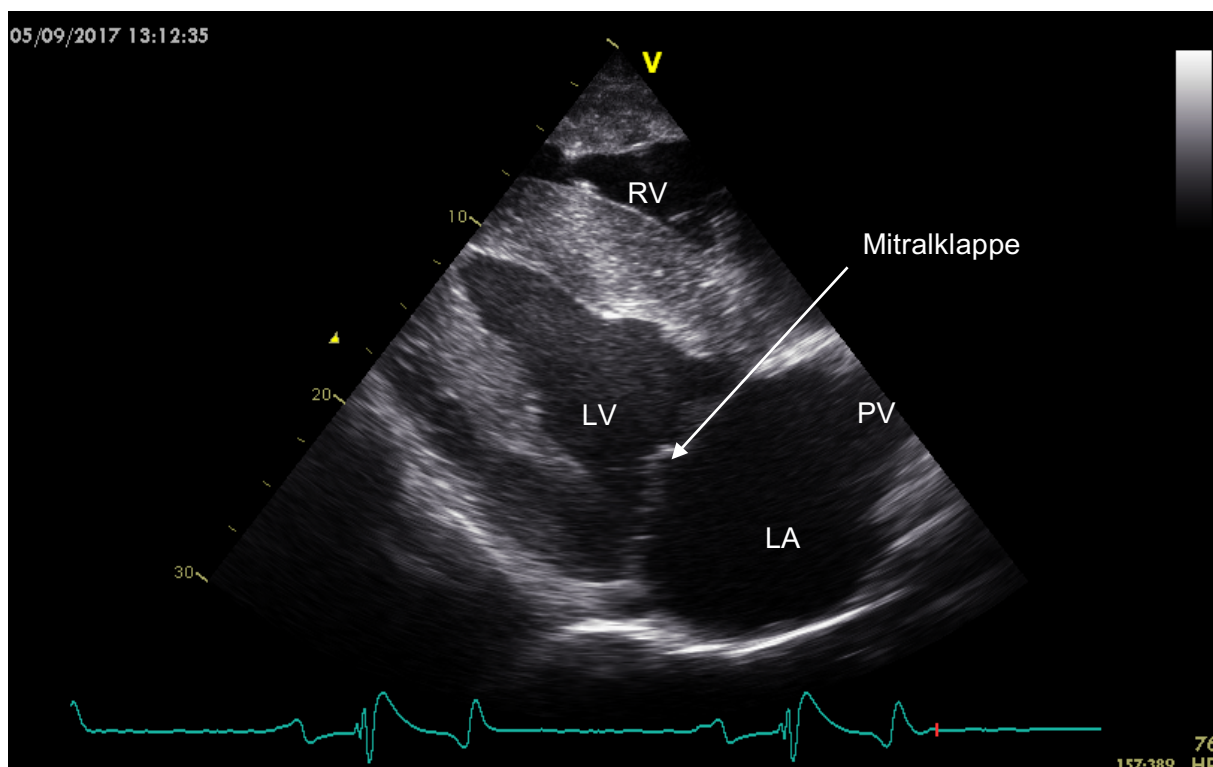


Abbildung 5: Vierkammerblick, modifiziert mit Blick auf den linken Vorhof. LA = linkes Atrium; LV = linker Ventrikel; PV = Pulmonalvene; RV = rechter Ventrikel.

Zur Messung der Fläche des linken Atriums wurde eine Messlinie am Endokard des Vorhofs entlang gezogen. Dabei wurde der Einlass der Pulmonalvene ausgespart. Die Messlinie begann und endete am Anulus fibrosus der Mitralklappe. Die Fläche des Vorhofs (LAA) wurde während drei unterschiedlicher Zeitpunkte während des Herzzyklus ermittelt. Die erste Messung ( $LAA_{max}$ ) fand ein Bild vor Öffnung der Mitralklappe statt. Die zweite Messung ( $LAA_a$ ) erfolgte zum Beginn der P-Welle. Die dritte Messung ( $LAA_{min}$ ) erfolgte bei Mitralklappenschluss.

Zusätzlich erfolgte die Messung des maximalen atrialen Diameters ( $LAD_{max}$ ). Die Messlinie zog parallel zum Mitralklappenanulus und reichte von den am weitest entfernten Punkten des Vorhofs vom septalen Rand zum äußeren wandständigen Rand. Die Messung erfolgte zum gleichen Zeitpunkt wie die  $LAA_{max}$  Messung.

Aus den gemessenen Parametern wurden die fraktionierten Flächen des linken Atriums ebenfalls nach der Studie von SCHWARZWALD et al. (2007) berechnet:

- gesamte linksatriale Funktion ( $LA-FAC_{total}$ )
  - $LA-FAC_{total} = (LAA_{max} - LAA_{min}) / LAA_{max}$
- passive atriale Entleerung während der frühen Diastole ( $LA-FAC_{passiv}$ )
  - $LA-FAC_{passiv} = (LAA_{max} - LAA_a) / LAA_{max}$

- aktive atriale Kontraktion ( $LA-FAC_{aktiv}$ )
  - o  $LA-FAC_{aktiv} = (LAA_a - LAA_{min}) / LAA_a$

Die Messung der Herzfrequenz erfolgte mittels entsprechender Funktion im EchoPac Programm durch Berechnung aus dem Abstand der R-Zacken im EKG. Hier wurde ebenfalls aus den drei gemessenen Werten das arithmetische Mittel gebildet. Die Herzfrequenz betrug im Durchschnitt vor dem Distanzritt  $42 \pm 11$  bpm, nach dem Distanzritt  $46 \pm 8$  bpm und nach drei Tagen  $39 \pm 3$  bpm.

Die Messung des Volumens des linken Ventrikels erfolgte nach der modifizierten Scheibchensummationsmethode von Simpson im parasternalen Vierkammerblick von rechts (Abbildung 6). Die Messung des Volumens in der Enddiastole erfolgte zu Beginn der P-Welle (linksventrikuläres Volumen in der Diastole, LVIVd), die Messung des Volumens in der Systole erfolgte zum Zeitpunkt der maximalen Systole (linksventrikuläres Volumen in der Systole, LVIVs).

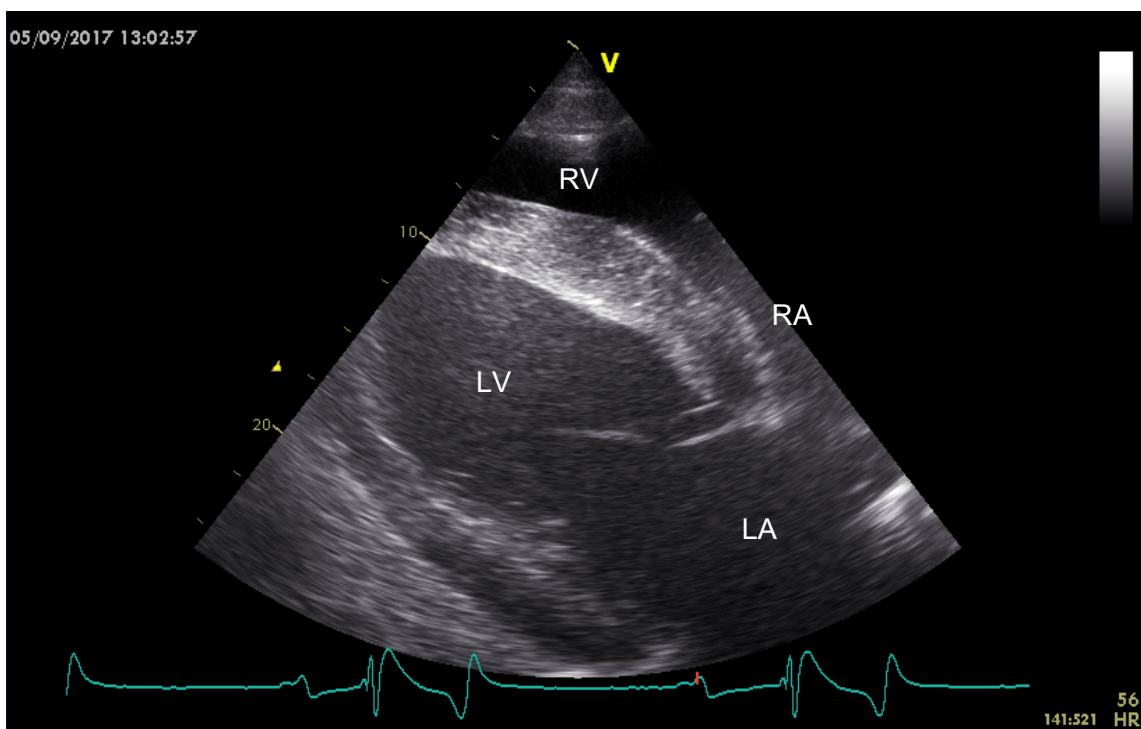


Abbildung 6: Vierkammerblick von rechts. LA = linkes Atrium; LV = linker Ventrikel; RA = rechtes Atrium; RV = rechter Ventrikel.

Aus den gemessenen Volumen wurden folgende Variablen berechnet (SCHWARZWALD et al., 2007):

- Ejektionsfraktion (Prozentsatz des Blutvolumens, das bei einem Herzschlag ausgeworfen wird)
  - o  $EF = (LVIVd-LVIVs)/LVIVd \times 100$
- Schlagvolumen (ausgeworfenes Volumen bei einem Herzschlag)
  - o  $SV = LVIVd-LVIVs$
- Herzminutenvolumen (ausgeworfenes Volumen pro Minute)
  - o  $HMV = SV \times HR$

### 3.4.3. Auswertung M-Mode

Es wurde in der kurzen Achse eine linksventrikuläre Studie zur Beurteilung der Myokarddicken und zur Berechnung der fraktionierten Verkürzung (fractional shortening - FS) auf Höhe der Papillarmuskeln durchgeführt. Die Messpunkte sind in Abbildung 7 dargestellt.

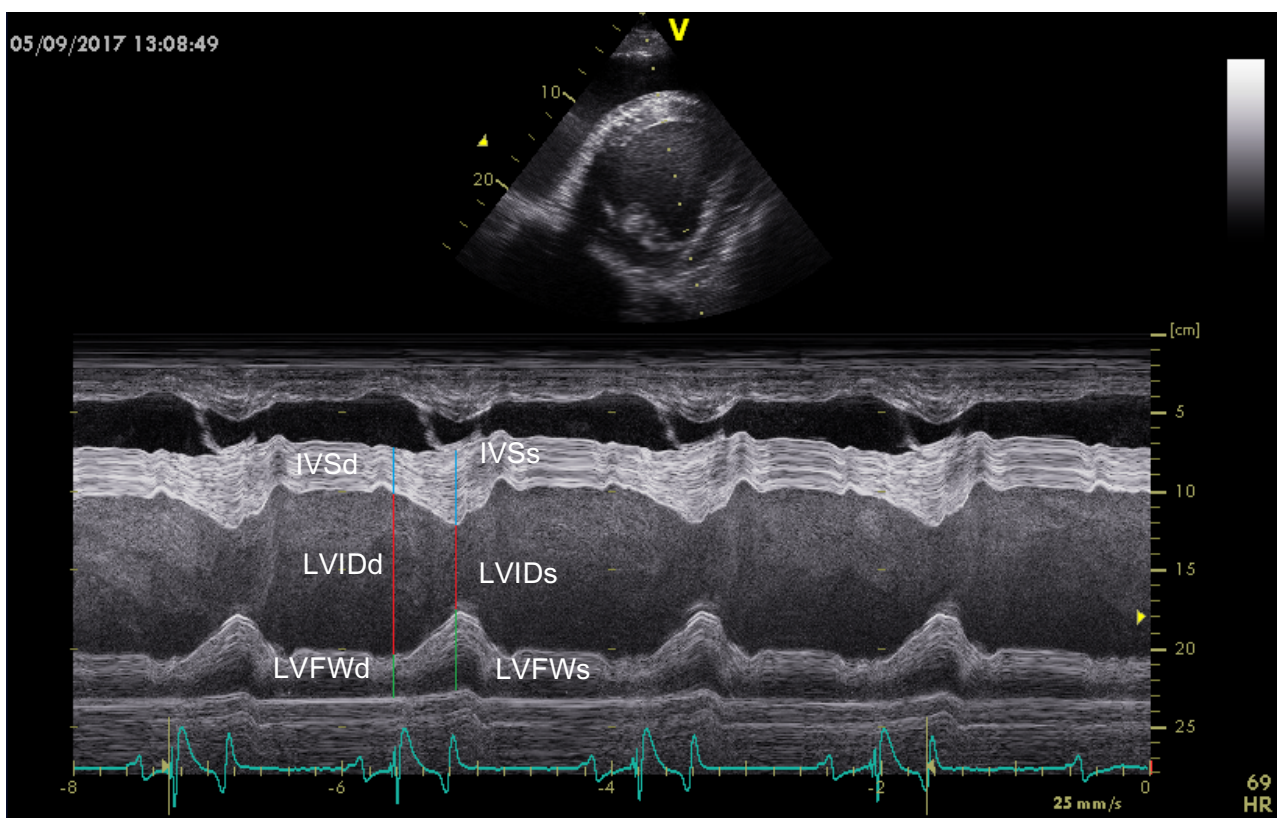


Abbildung 7: M-Mode Messung in der kurzen Achse auf Höhe der Papillarmuskeln.

IVSd/s = Interventrikularseptum Diastole/Systole; LVFWd/s = linksventrikuläre Außenwand Diastole/Systole; LVIDd/s = linksventrikulärer innerer Diameter Diastole/Systole.

Aus den gemessenen Variablen wurden nach FLETHØJ et al. (2016b) folgende Variablen berechnet:

- mittlere Wanddicke zum Zeitpunkt der Enddiastole
  - $MWTd = (IVSd + LVFWd) / 2$
- relative Wanddicke zum Zeitpunkt der Enddiastole
  - $RWTd = (IVSd + LVDWd) / LVIDd$
- fraktionierte Verkürzung
  - $FS = (LVIDd - LVIDs) / LVIDd \times 100$

### 3.4.4. Auswertung Speckle Tracking

Das Speckle Tracking wurde halbautomatisiert mittels der 2D-Strain Anwendung des Echo-Pac Programmes ausgewertet. Der auszuwertende Zyklus wurde im Programm ausgewählt und das „Q-Analyse“ Modul gestartet. Dabei wurde je ein Herzzyklus mittels zwei Markern ausgewählt (von S-Zacke zu S-Zacke des EKGs reichend nach SCHWARZWALD et al. (2009)) und nach dem Starten des „2D-Strain“ Moduls die jeweils auszuwertende Schnittebene der Echokardiografie zugeordnet. So wurde in der kurzen Achse in Höhe der Papillarmuskeln „SAX-PM“ (engl. für short-axis-papillary muscle) ausgewählt und bei der Auswertung des Vierkammerblicks in der langen Achse „LAX-4CH“ (engl. long-axis-four-chamber).

Danach wurde mittels des Cursors eine Umrandung um das Myokard gezogen - die sogenannte „region of interest“ (ROI). In der kurzen Achse wurde die ROI am Septum beginnend im Uhrzeigersinn am inneren Rand des Myokards erstellt. Dabei wurden die Papillarmuskeln ausgespart. Nachdem die Weite der ROI an die Dicke des Myokards angepasst wurde, ermittelte das Programm automatisch sechs verschiedene Bereiche des Myokards (siehe Abbildung 8). Die Benennung der einzelnen Segmente ist in der Tabelle 5 angeführt. Da das Programm für die Auswertung von humanen Echokardiografien ausgelegt ist, sind die sechs Abschnitte nach der humanen Nomenklatur benannt. Die Bezeichnungen stimmen daher nicht mit den Abschnitten des Pferdeherzens überein. „Ant“ sowie „AntSept“ stellen beim equinen Patienten das Interventrikularseptum dar.

In gleicher Ausführung erfolgte die Erstellung einer ROI im Vierkammerblick der langen Achse. Hierbei wurde am Septum an der Mitralklappe begonnen und am inneren Myokardrand bis zur Mitralklappe an der linken Außenwand eine ROI gezeichnet. An der langen Achse wurde ebenfalls die Dicke der ROI an die Myokarddicke angepasst. Das Programm teilte auch hier den Herzmuskel in sechs Segmente ein. Da es beim Großteil der Pferde nicht möglich war, den gesamten Ventrikel in einer Länge darzustellen, wurden die Segmente an der Spitze des Ventrikels (apikales Septum, apikale Lateralwand) nicht in die Auswertung mit einbezogen

(Abbildung 9). Diese Verfahrensweise wurde ebenfalls bei DECLOEDT et al. (2011) angewandt.

Anschließend wurde sowohl in der kurzen als auch in der langen Achse die Qualität des Trackings manuell überprüft und bestätigt. Dies erfolgte durch eine visuelle Kontrolle der ROI während eines Herzzyklus. Das Programm stellte nun die verschiedenen Strains und Strain Raten für die einzelnen Segmente als Kurven und als Zahlenwerte dar.

Tabelle 5: Nomenklatur der Abschnitte des Speckle Trackings.

	Bezeichnung	humane Nomenklatur	entspricht beim Pferd
<b>SAX</b>	AntSept	Anteroseptum	Interventrikularseptum
	Ant	Anterior	
	Lat	Lateral	
	Post	Posterior	linksventrikuläre Außenwand
	Inf	Inferior	
	Sept	Septum	
<b>LAX</b>	basLat	basale Lateralwand	linksventrikuläre basale (klappennahe) Außenwand
	midLat	mittlere Lateralwand	linksventrikuläre mittlere Außenwand
	apLat	apikale Lateralwand	linksventrikuläre apikale (an der Herzspitze gelegene) Außenwand
	apSept	apikales Septum	apikales Interventrikularseptum
	midSept	mittleres Septum	mittleres Interventrikularseptum
	basSept	basales Septum	basales Interventrikularseptum

LAX = lange Achse; SAX = kurze Achse



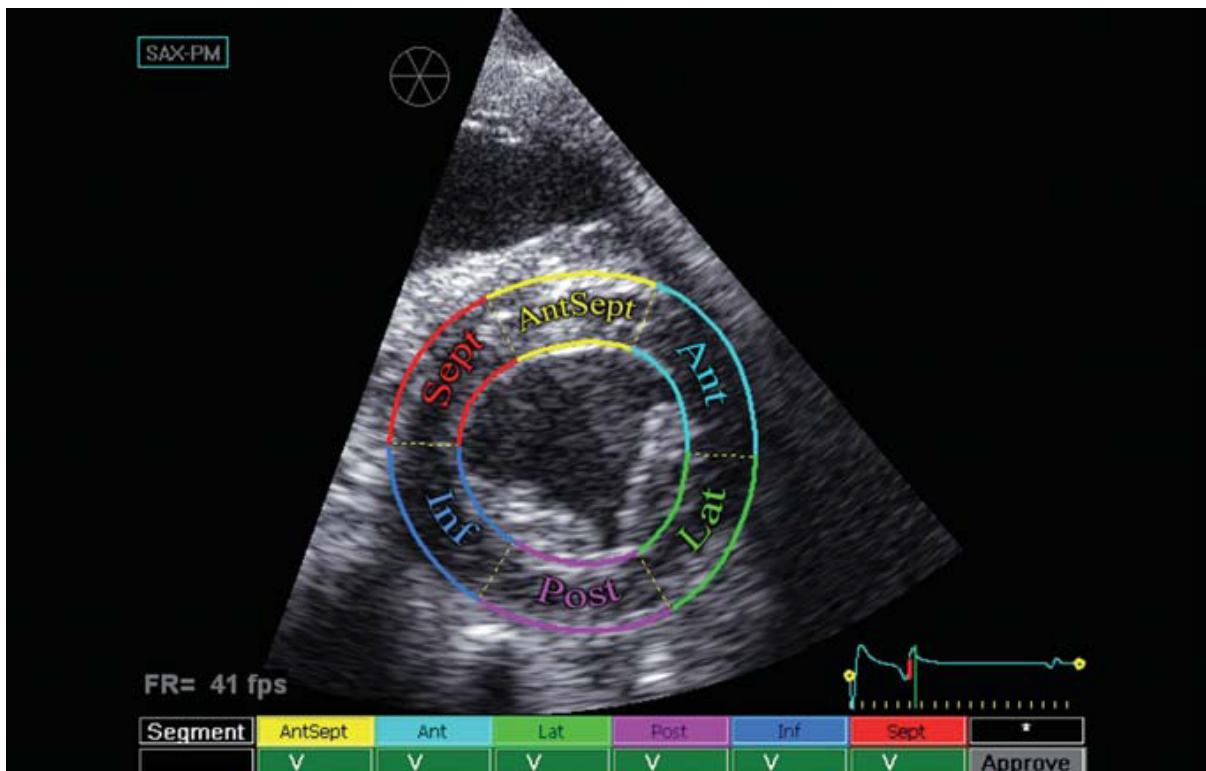


Abbildung 8: Darstellung der ROI in der kurzen rechtsparasternalen Achse auf Höhe der Papillarmuskeln aus DECLOEDT et al. (2013). Mit freundlicher Genehmigung von Annelies Decloedt.

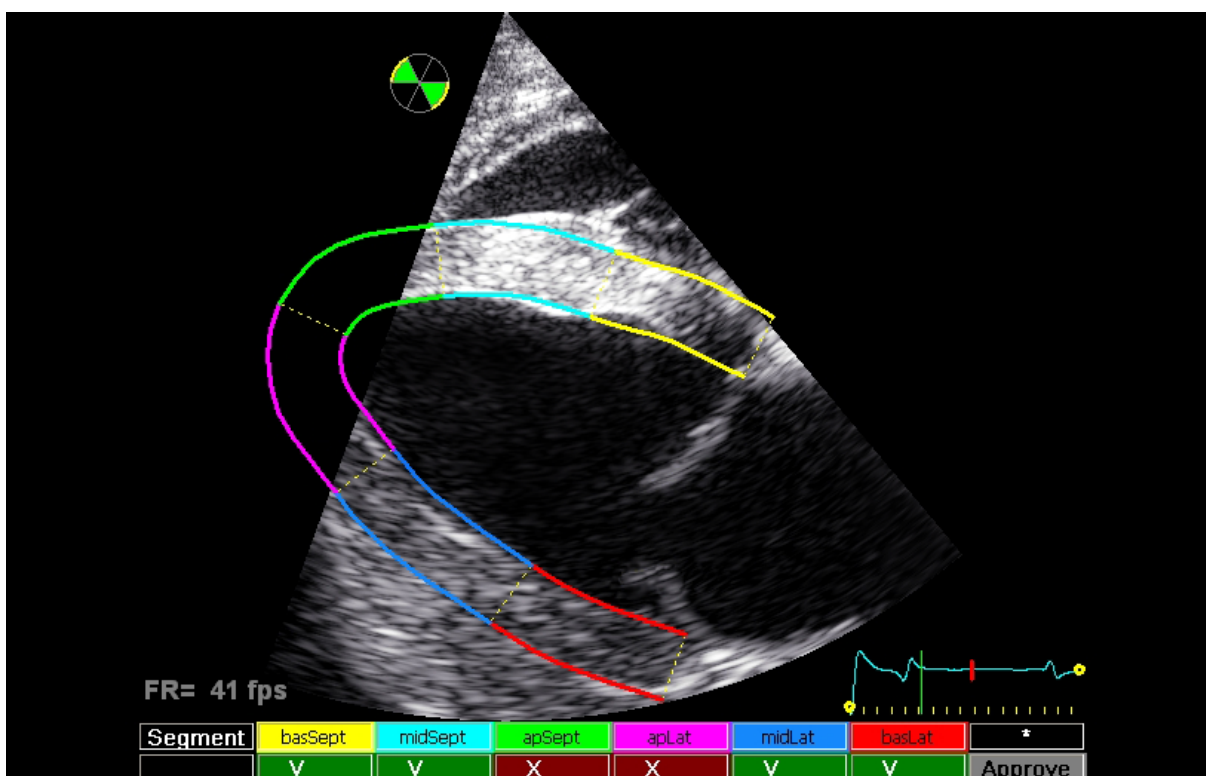


Abbildung 9: Darstellung der ROI des Vierkammerblicks in der langen Achse, die apikalen Segmente sind von der Auswertung ausgeschlossen worden aus DECLOEDT et al. (2011). Mit freundlicher Genehmigung von Annelies Decloedt.

## 3.5. Elektrokardiografie

### 3.5.1. Aufzeichnung

Die Aufzeichnung der Elektrokardiogramme erfolgte mit einem portablen EKG (Televet 100®, Engel Engineering Service GmbH, Deutschland) am jeweiligen Veranstaltungsort.

Das EKG wurde in Ruhe vor dem Ritt sowie nach dem Distanzrennen mittels Herzbasis-Herzspitzen-Ableitung angefertigt. Die EKGs wurden zur späteren Auswertung auf einem Laptop gespeichert.

Die Anordnung der Elektroden erfolgte in einer modifizierten Brustwandableitung. Hierzu wurden selbstklebende Schaumelektroden im Bereich der Gurtlage ohne Schur der entsprechenden Stellen fixiert (siehe Abbildungen 10 und 11). Die grüne Elektrode wurde im Bereich des Sternums fixiert, die rote Elektrode im oberen Drittel der linken Thoraxwand. Die schwarze Elektrode wurde in der Gurtlage zwischen roter und grüner Elektrode befestigt. Die gelbe Elektrode wurde an der rechten Thoraxwand kurz unter dem Widerrist fixiert. An die Elektroden wurde das Televet-Aufzeichnungsgerät mittels dazugehörigen Kabeln angeschlossen, welches mit einer Aufbewahrungstasche an einem Longiergurt angebracht war. Der Longiergurt wurde über die Elektroden gelegt und geschlossen.

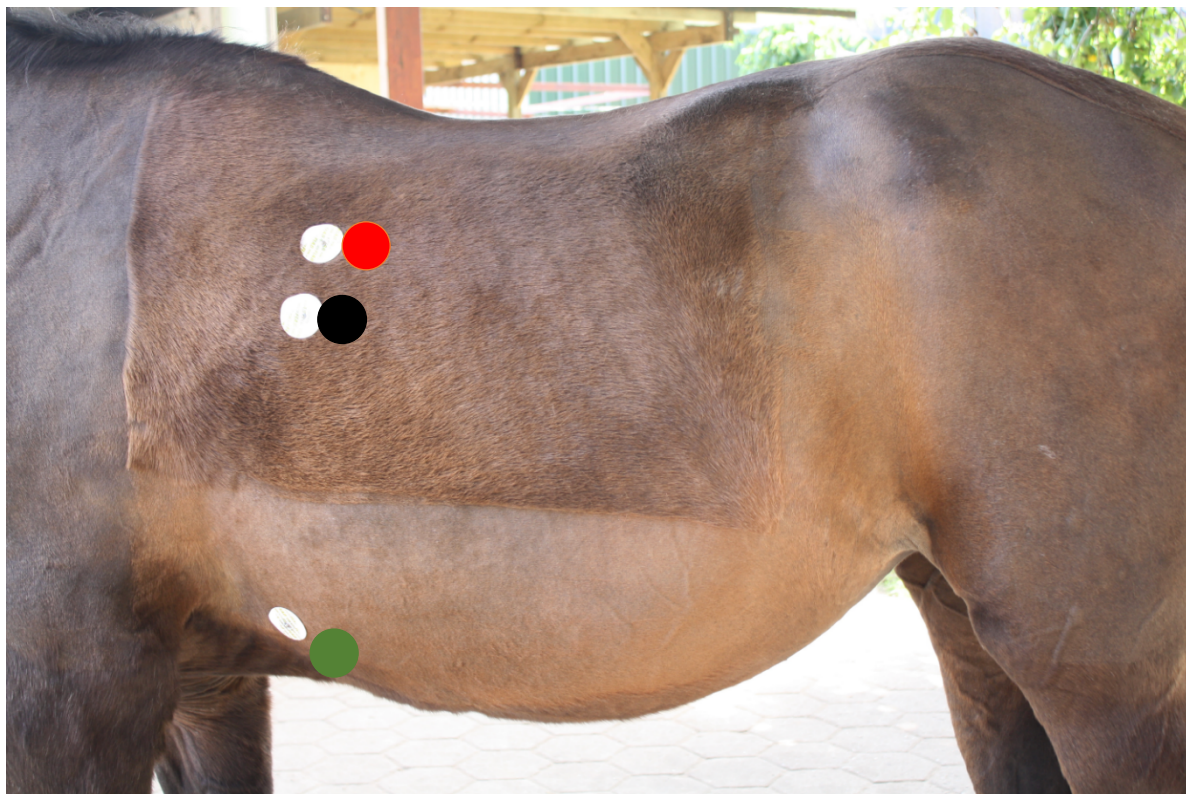


Abbildung 10: Befestigungspunkte der EKG-Klebelektroden für das Ruhe-EKG mit farblicher Markierung der jeweiligen Anschlüsse. Ansicht von links.



Abbildung 11: Befestigung der EKG-Klebelektroden für das Ruhe-EKG mit farblicher Markierung des Anschlusses. Ansicht von rechts.

Die Aufzeichnung erfolgte in allen drei Ableitungen von Goldberger. Während der Aufzeichnung wurde versucht die Pferde in einer möglichst ruhigen Position entspannt stehen zu lassen um Bewegungsartefakte zu vermeiden. Traten während der Aufzeichnung AV-Blöcke vom Grad II oder andere physiologische Arrhythmien (Sinusarrhythmie, Sinusblock) auf, wurden die Pferde trotzdem in die Studie eingeschlossen. Dieselbe Durchführung erfolgte nach dem Distanzritt sowie bei fünf Pferden drei Tage nach dem Distanzritt. Die mittlere Herzfrequenz bei der EKG-Aufzeichnung lag vor dem Ritt bei  $42 \pm 7,2$  bpm, nach dem Ritt bei  $52 \pm 5,8$  bpm und bei der Aufzeichnung nach drei Tagen bei  $37 \pm 4,3$  bpm.

### **3.5.2. Auswertung Elektrokardiogramme**

Die Auswertung der EKGs erfolgte mit Hilfe der Televet 100 Software (Televet 100®, Version 6.0.0., Engel Engineering Service GmbH, Deutschland) in der II. Ableitung von Goldberger. Zuerst erfolgten spezifische Einstellungen für die Analyse equiner EKGs. Hierzu musste die Einstellung gewählt werden, dass die R-Zacke beim Pferd im negativen Bereich aufzufinden

ist („RR Analysis (Equine)“, sowie „Detect on Negative“). Die Maximalabweichung wurde als 30 % festgesetzt. Danach erfolgte eine durch die Televet Software automatisch durchgeführte Analyse der R-Zacken des EKGs. Die R-Zacken wurden mittels roten Strichen von der Software gekennzeichnet und ihr Abstand jeweils in Millisekunden angegeben.

Anschließend wurden alle EKGs auf eine Länge von fünf Minuten gekürzt, um die daraus erhaltenen HRV Daten miteinander vergleichen zu können. Es wurde der Abschnitt des EKGs ausgewählt, bei dem die wenigstens Bewegungsartefakte vorhanden waren. Alle EKGs wurden optisch kontrolliert und die Markierungen der R-Zacken gegebenenfalls manuell korrigiert. Nach Korrektur der Aufzeichnungen wurden diese in drei verschiedene Kategorien eingeteilt: Bei gut auswertbaren EKGs wurden in der gesamten Aufzeichnungszeit höchstens drei Korrekturen für falsch detektierte R-Zacken durchgeführt. In die Gruppe der mäßig gut auswertbaren EKGs wurden solche Aufzeichnungen eingeordnet, die über die gesamte Aufnahmezeit höchstens zehn Korrekturen erforderten. Bei den schlecht auswertbaren EKGs waren Verbesserungen der Detektion des Programms in mehr als zehn Fällen während der gesamten Detektionszeit notwendig. Die Korrekturen waren vor allem durch falsche Ausschläge durch Bewegungsartefakte notwendig.

Nachdem alle EKGs manuell korrigiert, gekürzt und eingruppiert waren, wurden sie mittels der Televet Software in RR-Intervalle umgewandelt und für die weiteren Auswertungen gespeichert.

### **3.5.3. Auswertung Herzratenvariabilität**

Die Daten der Herzratenvariabilität wurden mittels der HRV Analysesoftware Kubios (Kubios HRV Analyse Software, Standard, Version 3.1.0., Finnland) durchgeführt. Diese ist im Standardumfang frei auf der Homepage der Entwickler verfügbar.

Nach Download und Installation der Software erfolgten folgende spezifische Einstellungen: Die Einstellungen der Frequenzbereiche für die frequenzbezogenen Parameter erfolgten für die für Pferde experimentell ermittelten und veröffentlichte Bereiche nach BOWEN und MARR (1998). Der VLF-Bereich wurde von 0 - 0,005 Hz definiert. Der LF-Bereich von 0,005 - 0,07 Hz und der HF-Bereich von 0,07 - 0,6 Hz. Als Input-Daten wurden ASCII-files als RR-Intervalle ausgewählt.

Anschließend wurden die nach oben genannten Verfahren prozessierten und gespeicherten RR-Intervalldaten geöffnet. Das Programm analysierte nun die RR-Daten und ein Ergebnissteil mit allen relevanten Daten konnte danach im pdf-Format abgespeichert werden.

## 3.6. Blutdruckmessung

### 3.6.1. Aufzeichnung

Die Blutdruckmessung erfolgte bei den Distanzponies jeweils vor und nach dem Rennen sowie in den Pausen zwischen den Loops mittels einem mit high-definition Oszillometrie arbeitendem Gerät (MemoDiagnostic Equine, Version 4.07.00, Firma S + B medVet GmbH, Babenhausen).

Die Messung erfolgte im Stand an der Schweifrübe an der A. coccygealis medialis. Die Manschette wurde mittels Klettverschluss an die Dicke des jeweiligen Schweifes angepasst, sodass noch ein kleiner Finger zwischen die Manschette und die Schweifrübe gepasst hat. Die Messungen wurden immer von derselben Person ausgeführt. Es wurden mindestens drei Messungen nacheinander durchgeführt und der arithmetische Mittelwert aus den drei Messungen ermittelt. Traten während der Messung Fehlermeldungen auf dem Gerät auf (z.B. durch Artefakte), wurde diese wiederholt. Solange das Gerät keine Fehlermeldungen anzeigte und keine offensichtlichen Aufregungsanzeichen des Pferdes vorhanden waren, wurde keine Grenze für die gemessenen Pulsfrequenzen gesetzt. Die mittlere Pulsfrequenz bei der Blutdruckmessung lag vor dem Rennen bei  $46 \pm 11,1$  bpm und nach dem Rennen bei  $57 \pm 9,9$  bpm.

Bei einigen Pferden erfolgte die Blutdruckmessung auch während der Pausen zwischen den einzelnen Runden. Da die Pferde die Pause nutzen sollen, um ausreichend zu trinken und zu fressen, wurde der Blutdruck auch während der Futter- und Wasseraufnahme gemessen. Da der Blutdruck von möglichst vielen Pferden in den Pausen gemessen werden sollte, konnte kein Zeitpunkt festgesetzt werden, wann die Messung in der Pause zu erfolgen hat. Die maximale Zeit zwischen Pausenbeginn und Messung des Blutdrucks lag bei 20 Minuten. Die Messungen vor dem Ritt und nach dem Ritt erfolgten im oben erwähnten Zeitfenster.

### 3.6.2. Auswertung

Bei der Auswertung erfolgte die Korrektur des gemessenen Blutdrucks in Schweifhöhe zum Blutdruck auf Höhe des Herzens mittels des Umrechnungsfaktors 0,769 mmHg pro cm Höhenunterschied (nach HAUKE et al. (1987)). Für ein Warmblut wird bei dieser Korrektur 27 mmHg auf den gemessenen Blutdruckwert addiert (WALDERS, 2019). Da die Distanzponies im Vergleich zu Warmblutponies kleinere Pferde sind, wurde als Abstand Schweifrübe zum Herzen eine Distanz von durchschnittlich 30 cm festgesetzt. Der Korrekturfaktor betrug somit

in der vorliegenden Studie 23 mmHg, der zu den jeweils gemessenen Werten hinzuaddiert wurde (siehe Abbildung 12).

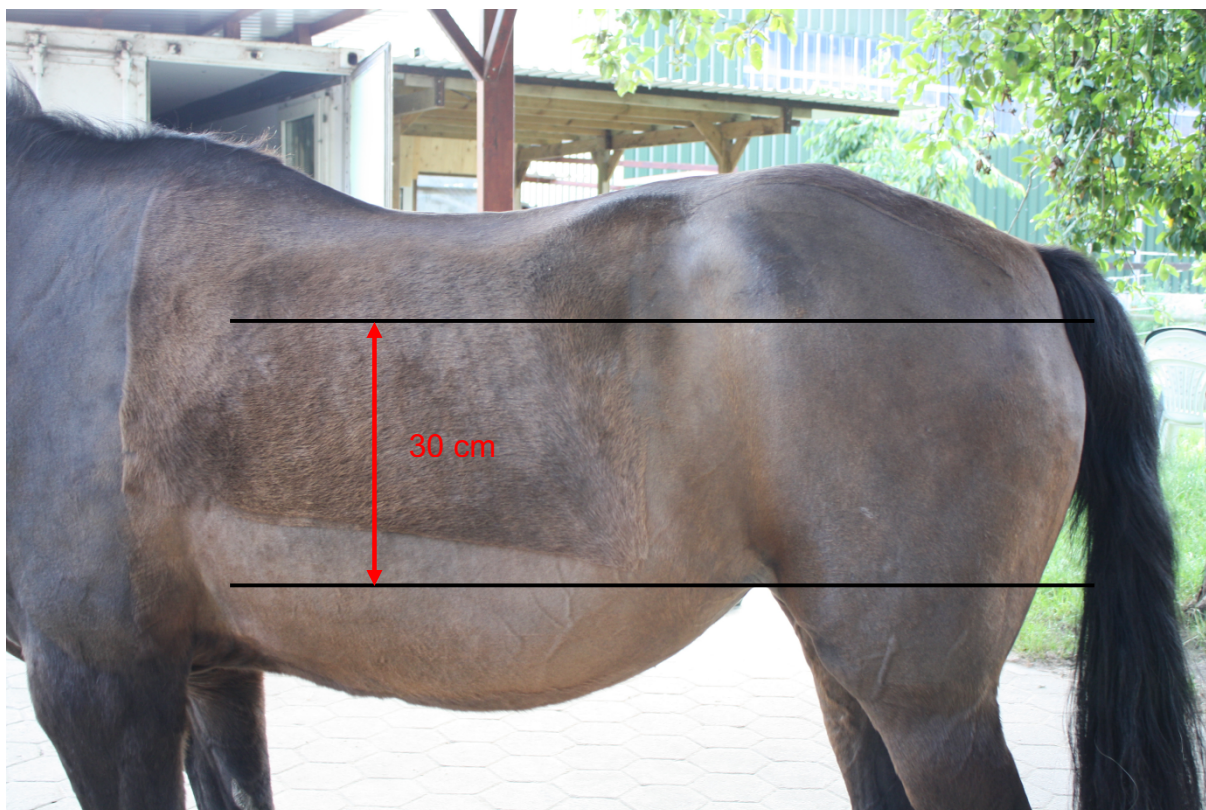


Abbildung 12: Berechnung Korrekturfaktor Blutdruckmessung. Die obere Linie stellt eine Horizontale zum Messpunkt am Schweif dar. Die untere Linie ist eine Horizontale auf Herzhöhe. Für einen Abstand von 30 cm wird mittels dem Korrekturfaktor 0,769 ein Druckunterschied von 23 mmHg berechnet, der auf die gemessenen Werte am Schweif hinzuaddiert wurde.

### 3.7. Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des kommerziellen Programms SPSS (IBM® SPSS Statistics, Version 25, Chicago, Illinois, USA).

Zur statistischen Auswertung wurden die Pferde in Untersuchungsgruppen eingeteilt. Pferde, die den Distanzritt erfolgreich beendeten („Finisher“) und solche, die den Ritt vorzeitig beenden mussten („Ausscheider“) gehörten unterschiedlichen Gruppen an. Die Ausscheider wurden zudem noch in zwei weitere Gruppen unterteilt. Zur ersten gehörten die Pferde, die aufgrund von Gangunregelmäßigkeiten („Lahmheit“) ausgeschieden sind, zur anderen jene Probanden, die aufgrund von metabolischen Problemen („metabolische Ausscheider“) das Rennen vorzeitig beenden mussten. Weiterhin wurden die ermittelten Werte vor und nach dem Ritt verglichen sowie bei einzelnen Pferden die Messwerte nach dem Ritt und nach drei Tagen. Zuerst wurden die Werte des Herzultraschalls, der HRV und des Blutdrucks, die nach dem Distanzritt ermittelt wurden, zwischen ausgeschiedenen Pferden („Ausscheider“) und der

Gruppe der erfolgreichen Pferde („Finisher“) verglichen. Hierfür wurde zunächst die Normalverteilung der erhobenen Werte der beiden Gruppen nach visuellen Methoden sowie durch die deskriptive Statistik geprüft. Lag eine Normalverteilung der erhobenen Werte vor, so wurde zur weiteren statistischen Auswertung der t-Test für unabhängige Stichproben angewandt. Bei nicht normalverteilten Daten wurde der Mann-Whitney-U-Test angewandt. Als statistisch signifikant wurde bei beiden statistischen Test ein Signifikanzniveau mit einem p-Wert  $< 0,05$  angenommen.

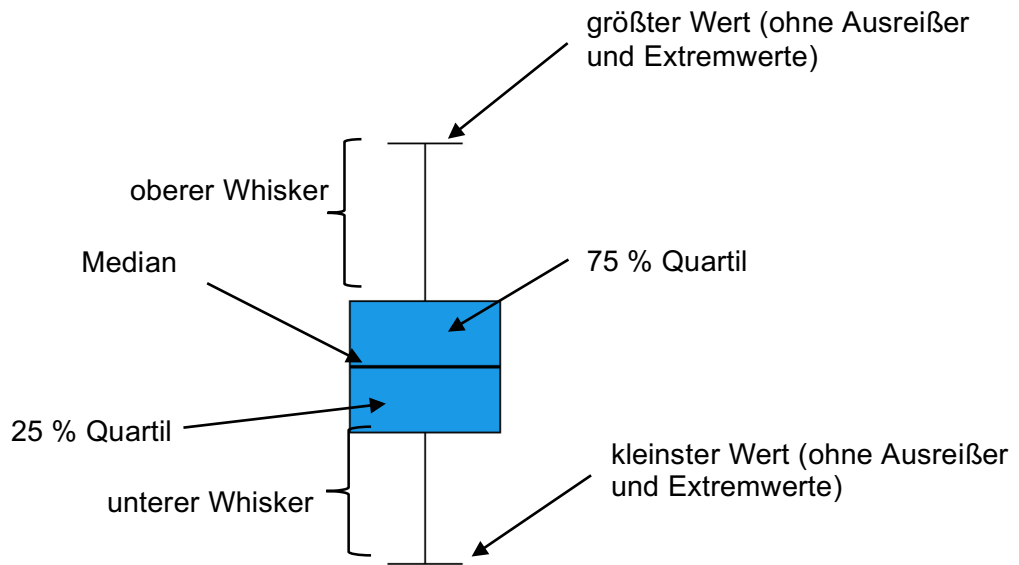
Anschließend wurden die Ergebnisse der Gruppen „metabolische Ausscheider“, Ausscheiden aufgrund von „Lahmheit“ und „Finisher“ nach dem Rennen miteinander verglichen. Dafür wurde auch hier zuerst die Normalverteilung der einzelnen Gruppen visuell und mittels deskriptiver Statistik geprüft und anschließend bei Normalverteilung mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) beziehungsweise Welch-Test auf Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen untersucht. Waren die erhobenen Daten nicht normalverteilt, wurde der Kruskal-Wallis-Test angewandt. Auch hier wurde ein p-Wert  $< 0,05$  als statistisch signifikant angenommen.

Um die Unterschiede zwischen den Werten vor dem Ritt mit den Werten nach dem Ritt zu vergleichen, wurde zuerst mittels SPSS für jedes Pferd eine neue Variable berechnet. Die Variable setzte sich aus der Differenz der Messergebnisse vor dem Ritt und danach zusammen. Diese Vorgehensweise ist mit einem paarweisen Vergleich der Daten gleichzusetzen. Die Werte der neuen Variablen wurden daraufhin visuell und mittels deskriptiver Statistik auf Normalverteilung geprüft und bei gegebener Normalverteilung mit dem t-Test für eine Stichprobe statistisch überprüft. Der Testwert wurde dabei als null festgesetzt. Bei nicht normalverteilten Ergebnissen wurde der Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei verbundenen Stichproben gewählt. Ebenfalls galt ein p-Wert  $< 0,05$  als statistisch signifikanter Unterschied und führte zu einer Ablehnung der Nullhypothese.

Nach gleichem Verfahren wurden alle erhobenen Werte der nach drei Tagen untersuchten Pferde mit den Werten nach dem Rennen verglichen. Auch hier wurde mittels SPSS für jedes Pferd eine neue Variable berechnet, welche aus der Differenz aus den Werten nach dem Rennen und nach drei Tagen bestand. Diese wurde wie oben beschrieben auf Normalverteilung geprüft und entweder der t-Test bei einer Stichprobe mit einem Testwert von null oder der Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei verbundenen Stichproben angewandt. Ein p-Wert von  $< 0,05$  wurde als statistisch signifikant festgesetzt.

Anschließend wurden ausgewählte Parameter mittels Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten ( $\rho$ ) auf eine Korrelation überprüft. Ein Korrelationskoeffizient von 0,5 bzw. -0,5 wurde als eine hohe Korrelation der Variablen festgelegt.

Die im Ergebnisteil verwendeten Boxplots stellen folgende Werte grafisch dar:



Die Whisker geben dabei das 95% Konfidenzintervall an. Mit Kreisen werden die Ausreißer markiert, welche bis zum 1,5-fachen des Interquartilabstands von der Box entfernt sind. Sterne markieren Extremwerte, die über das 1,5-fache des Interquartilsabstands von der Box entfernt sind.



## 4. Ergebnisse

### 4.1. Patientengut

Insgesamt schieden elf Pferde während des Rennens nach durchschnittlich 98,18 km (40 - 140 km) aus, davon vier Pferde (36,4 %) aufgrund von metabolischen Problemen und sieben Pferde (63,6 %) aufgrund von Lahmheit. Die Pferde, die aus metabolischen Gründen ausschieden, legten im Durchschnitt bis zum Ausscheiden 90 km (70 - 110 km) zurück. Pferde mit Gangunregelmäßigkeiten legten durchschnittlich 103 km (40 - 140 km) bis zum vorzeitigen Beenden des Rittes zurück.

Eine Reiterin (3,4 %) beendete zwar den Ritt über 120 km, war aber aufgrund von einer Lahmheit ihres Pferdes in der Abschlussuntersuchung nicht in der Wertung (Pferd Nr. 2, Tabelle 4). Eine weitere Reiterin (3,4 %) beendete bei 98 km vorzeitig den geplanten 120 km Ritt in der Wertung (Nr. 3, Tabelle 4).

Zwei Pferde erhielten nach dem Ausscheiden aus dem Rennen aufgrund metabolischer Probleme eine intravenöse Flüssigkeitstherapie (Nr. 12 und 17, Tabelle 4), ein Pferd nach dem Beenden in Wertung nach 162 km (Nr. 23, Tabelle 4). Die Aufschlüsselung der ausgeschiedenen Pferde und der bis dahin zurückgelegten Kilometer sind in den Tabellen 6 und 7 dargestellt.

Kein Pferd musste aufgrund von Herzerkrankungen wie Rhythmusstörungen oder schweren Klappeninsuffizienzen aus der Studie ausgeschlossen werden. Bei einem Pferd (Nr. 15, Tabelle 4) konnte eine vor der Untersuchung unbekannte, hämodynamisch relevante Aortenklappeninsuffizienz diagnostiziert werden. Dieses Pferd verstarb perakut zwei Jahre nach der Datenerhebung aufgrund nicht näher geklärter Umstände. Ein Pferd (Nr. 13, Tabelle 4) zeigte bei vorherigen Ritten eine Leistungsinsuffizienz infolge einer Perikarditits. Dieses Pferd zeigte auch während der durchgeführten Studie eine Leistungsinsuffizienz und musste vorzeitig das Rennen aufgrund von metabolischen Problemen beenden und wurde in eine Tierklinik zur weiteren Behandlung transportiert.

## Ergebnisse

Tabelle 6: Aufschlüsselung der ausgeschiedenen Teilnehmer insgesamt für alle an dem Wettkampftag ausgewerteten Distanzen, sowie Aufschlüsselung der Anzahl der ausgeschiedenen Studienteilnehmer inklusive Gründe des Ausscheidens.

Turnierort	Teilnehmer [n]	Q [n]	FTQ [n/%]	FTQ-ME [n]	FTQ-GA [n]
<b>insgesamt</b>					
Britz	12	10	2/16,7	-	2
Neustadt (Dosse)	51	24	27/53,0	-	-
Šamorín	133	47	86/64,7	-	-
<b>Studienteilnehmer</b>					
Britz	8	7	1/12,5	-	1
Neustadt (Dosse)	8	4	4/50,0	2	2
Šamorín	13	7	6/41,7	2	4

FTQ = Ausscheider insgesamt; FTQ-GA = aufgrund von Lahmheit ausgeschieden; FTQ-ME = aus metabolischen Gründen ausgeschieden; n = Anzahl; n.b. = nicht bekannt; Q = Finisher

Tabelle 7: Aufschlüsselung der Teilnehmer in die geplanten Kilometer, die jeweilige Anzahl der Finisher für diese Kilometer und die durchschnittliche Geschwindigkeit.

teilnehmende Pferde [n]	Finisher [n]	Kilometer [km]	durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]
4	4	86	15,27 (14,04 - 16,54)
1	1	98	13,27
5	4	120/121	13,53 (11,90 - 15,19)
19	9	162	17,00 (14,54 - 19,48)
gesamt 29	18		

km = Kilometer; km/h = Kilometer pro Stunde; n = Anzahl

## **4.2. Rittbedingungen**

Die Ritte fanden alle zur gleichen kalendarischen Jahreszeit (Sommer) statt. Alle Ritte wurden bei vergleichbaren Temperaturen und bei einer vergleichbaren Luftfeuchtigkeit ausgetragen. Die Minimaltemperatur betrug im Durchschnitt 13,8 °C (11 - 16 °C) und die Maximaltemperatur im Durchschnitt 19,7 °C (18 - 24 °C). Die minimale Luftfeuchtigkeit betrug im Durchschnitt 65 % (52 - 74 %) und die maximale Luftfeuchtigkeit 92 % (89 - 96 %). Allein die Bodenverhältnisse, sowie die Größe der Startgruppen unterschieden sich deutlich. Bei der deutschen Meisterschaft in Neustadt (Dosse) waren die Bodenverhältnisse schwierig. Die Reiter und Pferde hatten es mit sehr weichen, tiefen Streckenabschnitten mit Sandgeläuf zu tun. Die Startgruppe war in Neustadt (Dosse) größer (102 Starter) als bei der Landesmeisterschaft in Britz (29 Starter). Ebenfalls waren die Startgruppe bei der Weltmeisterschaft in Šamorín größer (133 Starter) als bei der Landesmeisterschaft in Britz und in Neustadt (Dosse).

## **4.3. Trainingsroutine und Turnierdaten**

Es konnte von 15 Pferden die Trainingsroutine sowie die Erfolgsbilanz der bisherigen Ritte erfragt werden. Die Trainingszeiten waren in Umfang und Art sehr unterschiedlich. Die bisherigen, bei allen Wettkämpfen zurückgelegten Kilometer, betragen durchschnittlich 1588 km (800 - 2100 km), aufgeteilt auf durchschnittlich 22 Ritte (8 - 40).

Bei der Auswertung der FEI-Datenbank konnten Daten von 18 Pferden ermittelt werden. Diese legten im Durchschnitt 1032 km (363 - 2700 km) bis zur Datenerhebung zurück. Die mittlere Anzahl der international aufgeführten Ritte lag bei acht Ritten (1 - 18). Die mittlere Geschwindigkeit bei diesen Rennen lag bei 16,11 km/h (13,23 - 18,86 km/h).

## **4.4. Klinische Untersuchung**

### **4.4.1. Allgemeine klinische Untersuchung**

Die mittlere Atemfrequenz lag bei 21 (12 - 40) Zügen pro Minute, die mittlere Herzfrequenz bei 42 bpm (28 - 64 bpm). Die mittlere rektal gemessene Körpertemperatur lag bei 37,27°C (36,8 - 38,1°C). Die Farbe der Maulschleimhaut war bei jedem untersuchten Pferd blass rosa, feucht und die kapilläre Füllungszeit lag unter zwei Sekunden.

#### **4.4.2. Spezielle Herz-Kreislauf-Untersuchung**

Bei einem Pferd konnte ein systolisches Herzgeräusch während der Auskultation mit dem Punktum Maximum auf der Aortenklappe festgestellt werden. Bei drei Pferden konnte auskultatorisch ein AV-Block Grad II festgestellt werden.

### **4.5. Echokardiografie**

#### **4.5.1. Auswertung B-Mode**

Vor dem Ritt konnte im B-Mode bei den Flächenmessungen die Daten von 24 Pferden ausgewertet werden. Bei den Volumenmessungen waren die Daten von 17 Pferde auswertbar. Nach dem Rennen war aus den Daten von 22 Pferden die Flächenmessung möglich. Bei 17 Pferden konnten die Daten nach dem Rennen zur Volumenberechnung ausgewertet werden. Bei der Auswertung der Messungen nach drei Tagen konnten die Daten von vier Pferden für die Flächenmessung und die Daten von fünf Pferden für die Volumenmessung verwendet werden.

In der vergleichenden Auswertung der Werte nach dem Ritt zwischen den Finishern und den ausgeschiedenen Pferden konnte allein bei der maximalen linksatrialen Fläche ( $LAA_{max}$ ) eine statistisch signifikant größere Fläche ( $p = 0,004$ ) bei den Finishern gemessen werden. Alle anderen Werte waren statistisch nicht signifikant unterschiedlich.

Im Vergleich der Werte von vor dem Ritt zu nach dem Ritt konnten für die Daten nach dem Ritt eine statistisch signifikant kleinere Fläche bei der maximalen linksatrialen Fläche ( $LAA_{max}$ ) ( $p = 0,001$ ), bei der Messung der Fläche zum Zeitpunkt der P-Welle ( $LAA_a$ ) ( $p < 0,001$ ) und bei der minimalen linksatrialen Fläche ( $LAA_{min}$ ) ( $p = 0,001$ ) ermittelt werden (siehe Abbildung 13). Weiterhin konnte ein statistisch signifikant niedrigeres systolisches linksventrikuläres Volumen (LVIVs) ( $p < 0,001$ ) nach dem Rennen im Vergleich zu vorher festgestellt werden. Die übrigen Werte unterschieden sich nicht statistisch signifikant.

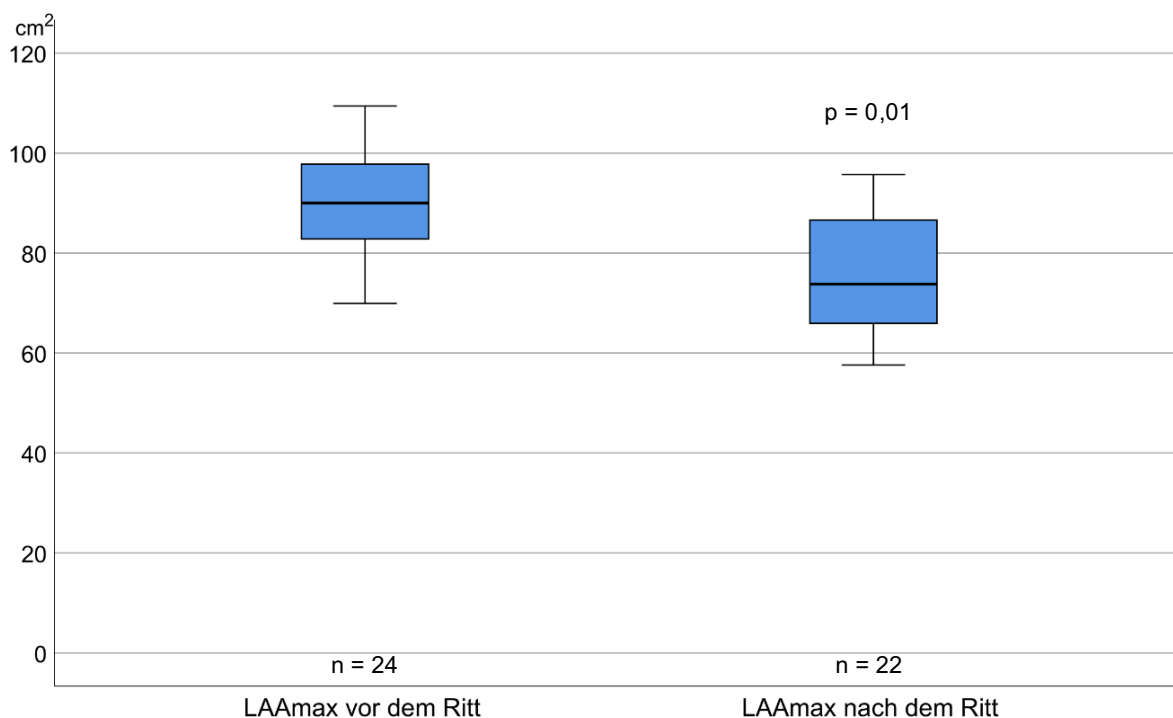


Abbildung 13: Boxplots der maximalen linksatrialen Fläche ( $LAA_{max}$ ). Vergleich der Werte von vor dem Ritt zu nach dem Ritt. Die Fläche ist in  $cm^2$  angegeben. Nach dem Ritt war die  $LAA_{max}$  mit einem p-Wert von 0,01 statistisch signifikant kleiner als vor dem Ritt.

Es konnte eine negative Korrelation im B-Mode zwischen zurückgelegter Strecke und dem diastolischen linksventrikulären Volumen ( $LVIVd$ ) mit einem Korrelationskoeffizienten  $\rho$  (Spearman) von -0,641 festgestellt werden. Weiterhin konnte eine negative Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und der linksatrialen maximalen Fläche ( $LAA_{max}$ ) ( $\rho = -0,561$ ), der linksatrialen mittleren Fläche ( $LAA_a$ ) ( $\rho = -0,527$ ) und der linksatrialen minimalen Fläche ( $LAA_{min}$ ) ( $\rho = -0,629$ ) festgestellt werden. Eine negative Korrelation bestand ebenfalls zwischen der durchschnittlichen Geschwindigkeit und der linksatrialen minimalen Fläche ( $LAA_{min}$ ) ( $\rho = -0,561$ ). Zwischen der gesamten linksatrialen Funktion ( $LA-FAC_{total}$ ) ( $\rho = 0,571$ ) und der passiven linksatrialen Funktion ( $LA-FAC_{passiv}$ ) ( $\rho = 0,732$ ) und der zurückgelegten Strecke bestand eine positive Korrelation.

Es konnten keine statistisch signifikanten Änderungen zwischen den Werten nach dem Ritt zu den Werten nach drei Tagen ermittelt werden.

#### 4.5.2. Auswertung M-Mode

Vor dem Rennen konnten Messwerte von 25 Pferden im M-Mode ausgewertet werden. Bei der Auswertung der Daten nach dem Rennen konnten Messungen von 23 Pferden verwendet

werden. Von fünf nachuntersuchten Pferden nach drei Tagen konnten die Daten von vier Pferden zur Auswertung verwendet werden.

Die erhobenen Messwerte vor dem Ritt stimmten im Mittel mit den Referenzwerten von GEHLEN (2009a) für Vollblüter überein. Kein Pferd zeigte eine deutliche Abweichung der Mittelwerte, sodass davon auszugehen ist, dass kein Pferd messbare Vergrößerungen des linken Ventrikels zeigte.

Beim Vergleich zwischen den Ausscheidern und den Finishern nach dem Rennen konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede gefunden werden.

In der vergleichenden Auswertung zwischen den Messwerten des M-Modus vor und nach dem Distanzritt konnte nach dem Ritt ein signifikant höherer Wert der Dicke des Interventrikularseptums in der Diastole (IVSd) ( $p < 0,001$ ) gemessen werden (siehe Abbildung 14). Ebenfalls konnte zwischen der mittleren und der relativen Wanddicke in der Diastole nach dem Rennen ein statistisch signifikant höherer Wert gemessen werden (MWTd:  $p = 0,005$ , RWTd:  $p = 0,014$ ). Alle weiteren Werte waren im Vergleich zwischen vor und nach dem Ritt nicht statistisch signifikant verschieden.

Eine negative Korrelation zwischen der mittleren Geschwindigkeit und den Messwerten nach dem Ritt konnte zwischen der Dicke des Interventrikularseptums in der Diastole (IVSd) ( $\rho = -0,518$ ) sowie der diastolischen mittleren Wanddicke (MWTd) ( $\rho = -0,559$ ) ermittelt werden. Es bestand eine positive Korrelation zwischen der mittleren Geschwindigkeit und der Dicke der linksventrikulären linken Hinterwand in der Diastole (LVFWd) ( $\rho = 0,553$ ). Es konnte keine Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und der erhobenen Messwerte des M-Modus nach dem Ritt ermittelt werden.

Beim Vergleich der Daten nach drei Tagen zu direkt nach dem Rennen konnte im M-Mode kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den erhobenen Werten gefunden werden.

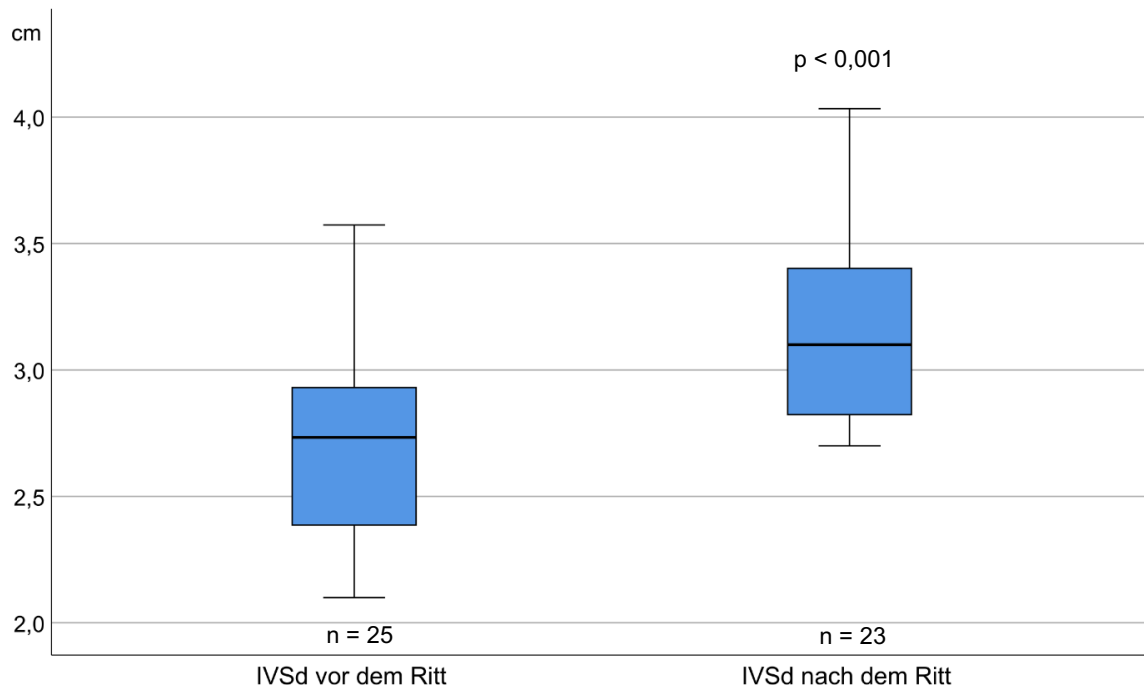


Abbildung 14: Boxplots der Interventrikularseptumdicke in der Diastole (IVSd) im Vergleich zwischen vor dem Ritt zu nach dem Ritt. Die Dicke ist in cm angegeben. Nach dem Ritt konnte mit einem p-Wert von  $< 0,001$  eine statistisch signifikant größere Dicke des IVSd gemessen werden.

### 4.5.3. Auswertung Farbdoppler-Echokardiografie

Bei der Auswertung der Farbdoppler-Messdaten konnte nur bei einem Pferd eine hämodynamisch relevante Klappeninsuffizienz (Geschwindigkeit des Rückflusses von über 1,5 Meter pro Sekunde) der Aortenklappe festgestellt werden. Alle anderen Pferde wiesen entweder keine Klappeninsuffizienzen oder nur hämodynamisch irrelevante Klappenregurgitationen auf.

### 4.5.4. Auswertung Speckle Tracking

#### 4.5.4.1. Allgemeine Auswertung

Vor dem Ritt konnte von 17 Pferden das Speckle Tracking in der langen Achse ausgewertet werden. In der kurzen Achse war vor dem Rennen nur eine Auswertung von 13 Echokardiografien möglich. Bei sechs Pferden, deren Herzultraschall nicht für das Speckle Tracking auswertbar war, konnte das anteriore Segment nicht durch die Software getrackt werden. Das lag in allen Fällen an einer zu schlechten Schallqualität der kurzen Achse mit auftretenden Artefakten, die häufig aufgrund von Schallauslöschung durch die Rippen auftraten.

Nach dem Distanzritt war eine Auswertung der Speckle Tracking Messdaten von 23 Pferden in der langen Achse möglich. Ein Pferd der vier fehlenden Aufzeichnungen wurde nach dem Ritt nicht mehr zur Datenerhebung vorstellig. Die anderen drei waren aufgrund von schlechter Schallqualität nicht auswertbar.

In der kurzen Achse war eine Auswertung nach dem Rennen von 13 Aufzeichnungen möglich. Auch hier bestand das Problem, dass das Programm das anteriore Segment nicht erkannte. Bei der Auswertung der Speckle Tracking Messwerte nach drei Tagen war in der langen Achse bei allen fünf untersuchten Pferden die Auswertung problemlos möglich. In der kurzen Achse konnten die Daten von vier der fünf untersuchten Pferde ausgewertet werden.

#### **4.5.4.2. Vergleich der Speckle Tracking Daten der Ausscheider und Finisher nach dem Rennen**

Beim Vergleich der Messungen des Speckle Trackings in der langen Achse zwischen den Ausscheidern und den Finishern nach dem Distanzritt war die maximale longitudinale Strain ( $SL_G$ ) im mittleren Segment des Septums (midSept) bei den Ausscheidern signifikant niedriger ( $p = 0,036$ ) als bei den Finishern. Ebenfalls war die gemittelte positive longitudinale Strain ( $AvgSL_P$ ) bei den Ausscheidern statistisch signifikant niedriger als bei den Finishern ( $p = 0,028$ ) (siehe Abbildung 15). Die frühdiastolische longitudinale Geschwindigkeit der Verformungsänderung ( $VL_E$ ) war im basalen Segment des Interventrikularseptums (basSept) bei den Ausscheidern statistisch signifikant niedriger als bei den Finishern ( $p = 0,02$ ). Ebenso verhielt es sich mit den Werten der systolischen Strain Rate des basalen Segments der Außenwand (basLat) ( $p = 0,010$ ).

Die über alle ausgewerteten Segmente gemittelte frühdiastolische Geschwindigkeit ( $AvgVL_E$ ) war bei den Ausscheidern ( $p = 0,052$ ) mit einem p-Wert von  $p = 0,052$  höher als bei den Finishern. Gleiches gilt für die systolische longitudinale Strain ( $SL_S$ ) des mittleren Septums (midSept) mit einem Signifikanzniveau von ebenfalls  $p = 0,052$ .



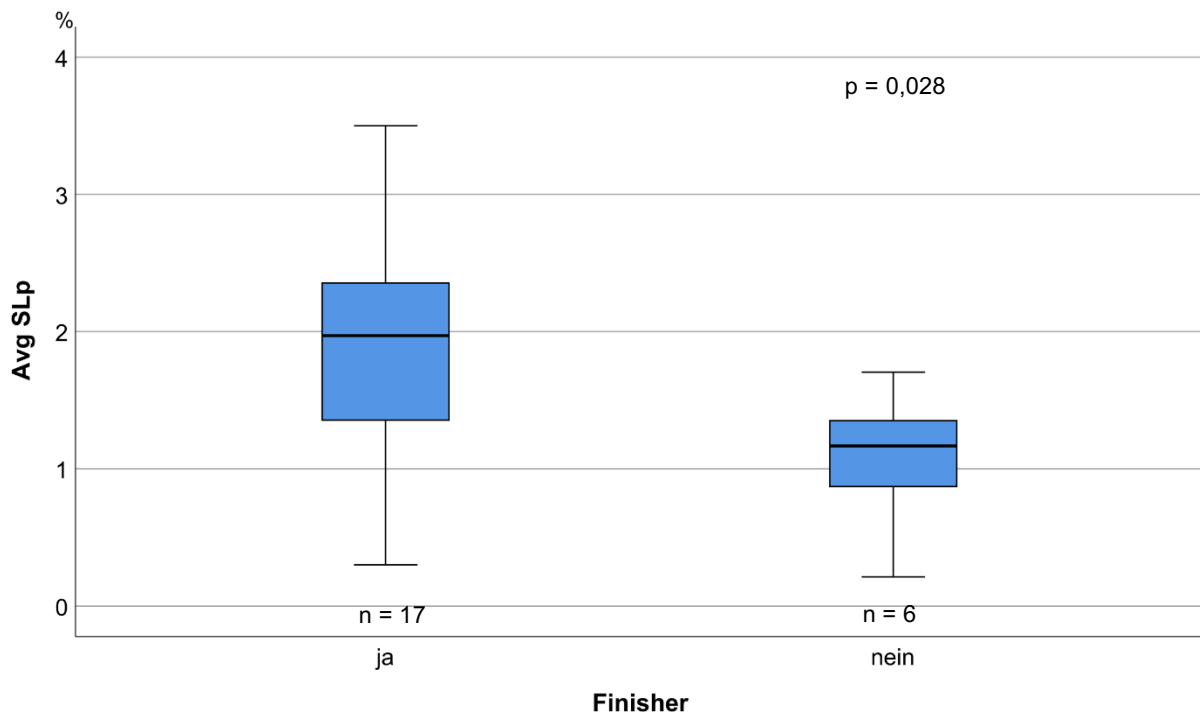


Abbildung 15: Boxplots der gemittelten positiven longitudinalen Strain (Avg SLP). Vergleich zwischen Finishern und Ausscheidern. Die Strain ist in Prozent (%) angegeben. Die Avg SLP war bei den Ausscheidern nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,028 statistisch signifikant niedriger als bei den Finishern.

In der kurzen Achse war die zirkumferentielle Strain (SC) im Segment der linksventrikulären Außenwand (Post) bei den Finishern statistisch signifikant niedriger ( $p = 0,037$ ) als bei den Ausscheidern (siehe Abbildung 16). Die systolische radiale Strain Rate ( $SrR_S$ ) war im lateralen Segment (Lat) bei den Finishern statistisch signifikant niedriger als bei den Ausscheidern ( $p = 0,034$ ). Weiterhin war der Durchschnitt über alle Segmente bei dieser Variable bei den Finishern statistisch signifikant niedriger als bei den Ausscheidern ( $p = 0,019$ ).

Die Werte der radialen systolischen Verschiebung ( $DR_S$ ) waren im lateralen Segment des linken Ventrikels (Inf) bei den Ausscheidern statistisch signifikant höher als bei den Finishern ( $p = 0,024$ ).

Alle anderen ermittelten Werte zeigten keinen statistisch signifikanten Unterschied.

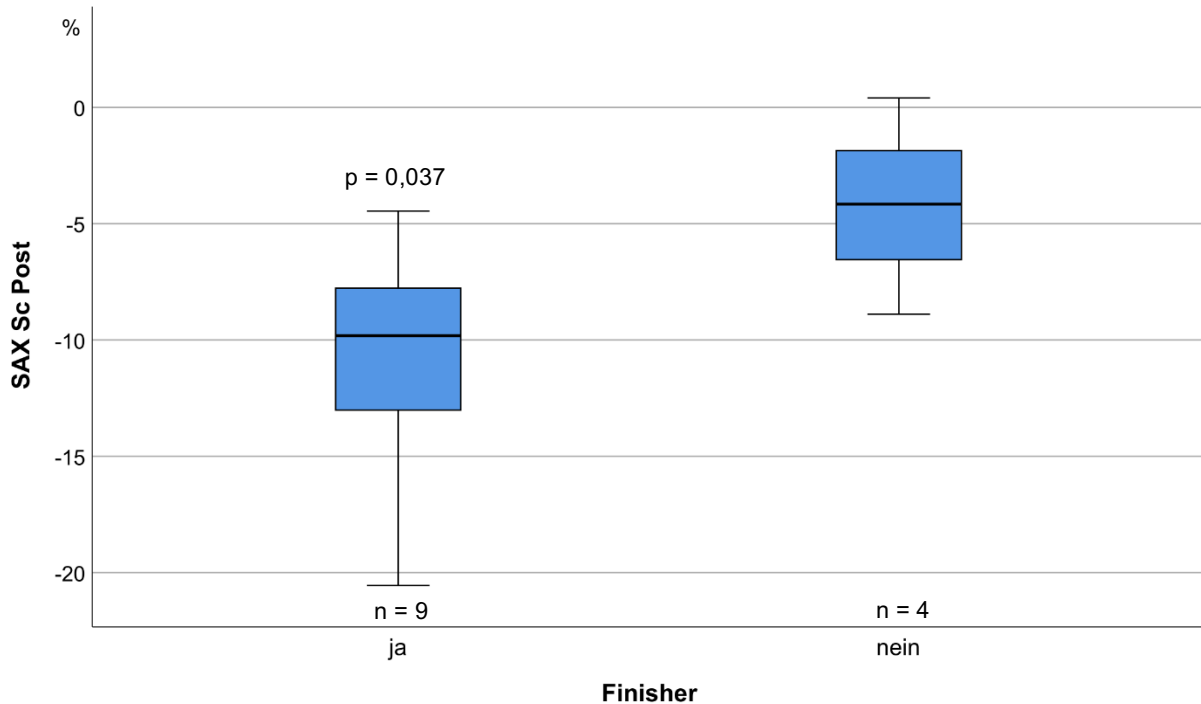


Abbildung 16: Boxplots der zirkumferentiellen Strain der linksventrikulären Außenwand (SC Post). Vergleich zwischen Finishern und Ausscheidern. Die Strain ist in Prozent (%) angegeben. SC Post ist bei den Finishern nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,037 statistisch signifikant niedriger als bei den Ausscheidern.

Beim Vergleich zwischen den Gruppen nach dem Rennen konnte allein bei der diastolischen longitudinalen Strain Rate ( $SrL_A$ ) im Segment der basalen linksventrikulären Außenwand (basLat) ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p = 0,005$ ) festgestellt werden (siehe Abbildung 17). Hier lag der Wert der Finisher ( $0,831 \pm 0,205 \text{ s}^{-1}$ ) deutlich über dem der aus metabolischen Gründen ausgeschiedenen Pferden ( $0,624 \pm 0,076 \text{ s}^{-1}$ ) und den aufgrund von Lahmheit ( $0,423 \pm 0,070 \text{ s}^{-1}$ ) ausgeschiedenen Pferden. Eine statistische Auswertung der kurzen Achse im Vergleich zwischen den drei Gruppen konnte aufgrund von zu wenigen auswertbaren Daten nicht sinnvoll durchgeführt werden.

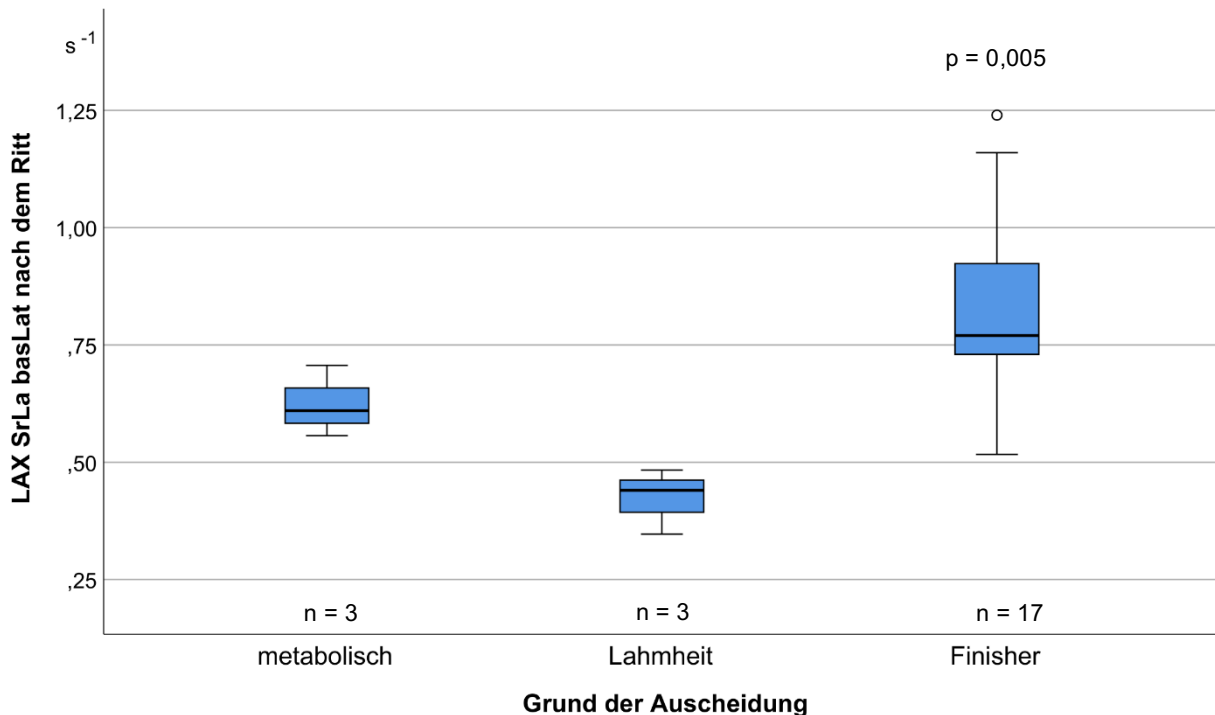


Abbildung 17: Boxplots der systolischen longitudinalen Strain Rate der basalen linksventrikulären Außenwand ( $Sr_{LA} \text{ basLat}$ ). Vergleich der Werte nach dem Rennen zwischen Finishern, metabolischen Ausscheidern und aus Lahmheitsgründen ausgeschiedenen Pferden. Die Einheit ist in  $s^{-1}$  angegeben. Die  $Sr_{LA}$  der basalen linksventrikulären Außenwand war bei den Finishern mit einem p-Wert von 0,005 im Vergleich zu den aus metabolischen und aus Lahmheitsgründen ausgeschiedenen Pferden statistisch signifikant höher.

#### 4.5.4.3. Vergleich der Speckle Tracking Daten vor dem Rennen mit den Daten nach dem Rennen

Im Vergleich der Ergebnisse der Auswertung des Speckle Trackings der Pferde vor dem Rennen im Vergleich zu nach dem Rennen konnte in der langen Achse eine Erhöhung des maximalen Peaks der longitudinalen Strain ( $SL_G$ ) nach dem Ritt in allen Segmenten ( $\text{basLat } p = 0,019$ ,  $\text{midLat } p = 0,074$ ,  $\text{midSept } p = 0,008$ ,  $\text{basSept } p = 0,006$ ), sowie im Mittel über die Segmente ermittelt werden ( $p = 0,003$ ) (siehe Abbildung 18). Die Erhöhung war bis auf das mittlere Segment der linken freien Wand ( $\text{midLat}$ ) statistisch signifikant. Ebenso war auch die systolische longitudinale Strain ( $SL_S$ ) nach dem Rennen erhöht. Statistisch signifikant waren hier die Erhöhung des mittleren Segments des Interventrikularseptums ( $\text{midSept}$ ) mit einem Signifikanzniveau von  $p = 0,041$  sowie der Durchschnitt über alle Segmente (Avg) mit einem Signifikanzniveau von  $p = 0,030$ .

Weiterhin war der frühdiastolische Peak ( $SL_P$ ) im basalen Segment des Interventrikularseptums ( $\text{basSept}$ ) nach der Belastung statistisch signifikant ( $p = 0,030$ ) höher als vor dem Rennen.

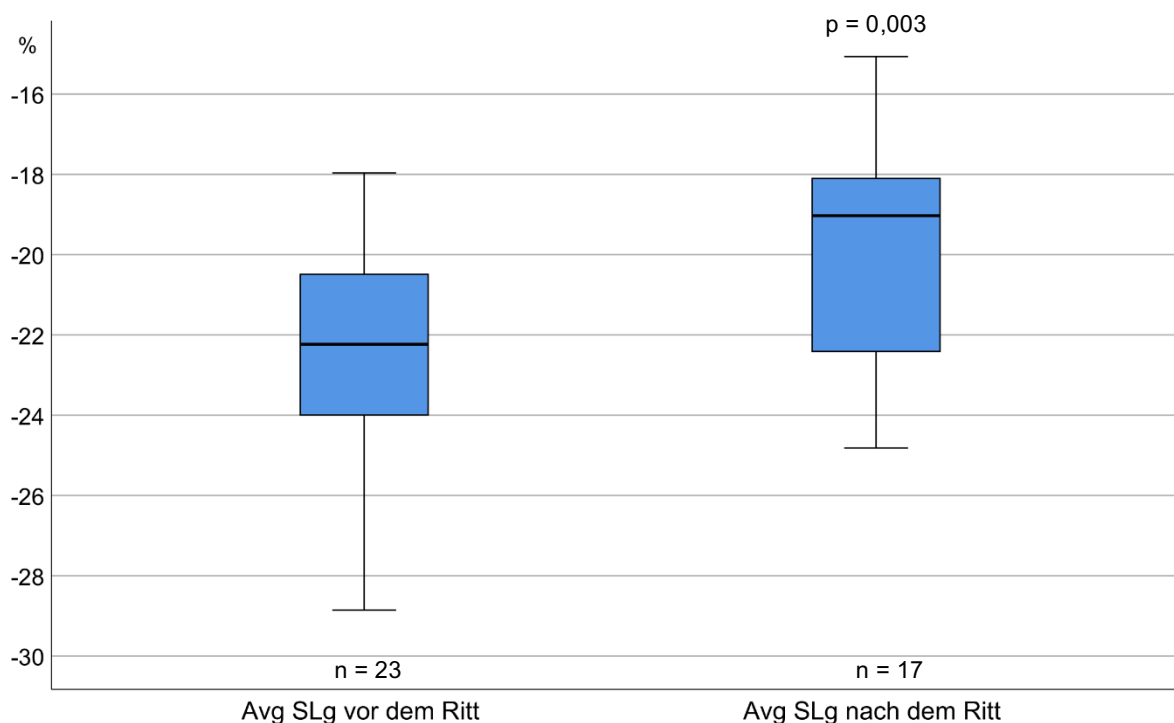


Abbildung 18: Boxplots des über alle Segmente gemittelten Peaks der longitudinalen Strain (Avg SL<sub>G</sub>) im Vergleich zwischen vor dem Ritt zu nach dem Ritt. Die Strain ist in Prozent (%) angegeben. Der Durchschnitt der SL<sub>G</sub> war nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,003 statistisch signifikant höher als vor dem Ritt.

Die Geschwindigkeit der frühdiastolischen longitudinalen Verformung (VL<sub>E</sub>) war nach dem Distanzritt im mittleren lateralen Segment der linksventrikulären Außenwand (midLat) im Vergleich zu vor dem Rennen statistisch signifikant höher ( $p < 0,001$ ). Im Gegensatz dazu war die Geschwindigkeit des basalen Segments des Septums nach dem Rennen statistisch signifikant ( $p = 0,030$ ) niedriger als davor.

Sowohl bei der Geschwindigkeit der spätdiastolischen als auch bei der Geschwindigkeit der systolischen longitudinalen Verformung konnte im Vergleich der Ergebnisse zwischen den zwei Messzeitpunkten vor und nach dem Ritt keine statistisch signifikante Veränderung festgestellt werden.

Die systolische longitudinale Strain Rate (SrL<sub>S</sub>) war im mittleren Septum (midSept) vor dem Rennen statistisch signifikant ( $p = 0,019$ ) höher als nach dem Rennen. Das gleiche Ergebnis konnte für den über alle ausgewertete Segmente gemittelten Wert (Avg SrL<sub>S</sub>) mit einer Signifikanz von  $p = 0,012$  ermittelt werden.

Ähnlich verhält sich die Auswertung der frühdiastolischen Strain Rate (SrL<sub>E</sub>). Auch hier ist im Segment des mittleren Septums die Geschwindigkeit der Verformungsänderung vor dem Distanzritt statistisch signifikant ( $p = 0,019$ ) höher als nach dem Rennen. Ebenso ist auch hier der über die Segmente gemittelte Wert nach dem Ritt statistisch signifikant ( $p = 0,001$ ) höher als davor. Es konnte eine positive Korrelation zwischen der mittleren Geschwindigkeit und dem

Durchschnitt aller Segmente der frühdiastolischen longitudinalen Strain Rate (Avg SrL<sub>E</sub>) ( $p = 0,517$ ) festgestellt werden.

Bei der spätdiastolischen longitudinalen Strain Rate war die Geschwindigkeit des mittleren Segments der linksventrikulären Außenwand vor dem Ritt statistisch signifikant ( $p = 0,012$ ) höher als danach.

Alle anderen Segmente wiesen keine statistisch signifikante Änderung der longitudinalen Strain Raten im Vergleich vor und nach den Distanzritten auf.

Die systolische longitudinale Verschiebung (DL<sub>S</sub>) war sowohl im basalen Segment der Außenwand des linken Ventrikels (basLat) mit einer Signifikanz von  $p = 0,042$  als auch gemittelt über die Segmente mit einer Signifikanz von  $p = 0,044$  vor dem Ritt größer als nach dem Distanzrennen.

In der kurzen Achse konnte beim septalen Segment (Sept) der frühdiastolischen zirkumferentiellen Strain (SC<sub>P</sub>) eine statistisch signifikante ( $p = 0,046$ ) Erniedrigung der Werte nach dem Distanzritt im Vergleich zu den Werten vor dem Ritt festgestellt werden. Ebenso verhielt es sich bei dem über die gesamten Segmente gemittelten Wert ( $p = 0,008$ ). Bei den übrigen Segmenten wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede erreicht. Es konnte eine positive Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und der positiven zirkumferentiellen Strain (SC<sub>P</sub>) des anterioren Septums (AntSept) ( $p = 0,627$ ) ermittelt werden. Die frühdiastolische radiale Strain Rate (SrR<sub>E</sub>) war sowohl im mittleren Septum (Ant) mit  $p = 0,049$  als auch im angrenzenden Segment (AntSept) mit  $p = 0,002$  nach dem Ritt statistisch signifikant niedriger als davor. Es bestand eine Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und der frühdiastolischen radialen Strain Rate (SrR<sub>E</sub>) des septalen Segmentes (Sept) ( $p = 0,587$ ).

Weder bei der zirkumferentiellen Strain (SC) noch bei der zirkumferentiellen Strain Rate (SrC<sub>S</sub>) konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Daten vor und nach dem Ritt ermittelt werden. Allerdings konnte eine negative Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und der systolischen zirkumferentiellen Strain Rate (SrC<sub>S</sub>) der linksventrikulären Lateralwand (Lat) ( $p = -0,548$ ) ermittelt werden. Der Vergleich der radialen Strain (SR) und der systolischen und spätdiastolischen radialen Strains (SrR<sub>S/A</sub>) sowie der systolischen radialen Verschiebung (DR<sub>S</sub>) ergab keine Signifikanz zwischen den beiden Messzeitpunkten vor und nach dem Distanzritt. Es konnte hier allerdings eine negative Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und der radialen Strain (SR) des Interventrikularseptums (Inf) ( $p = -0,595$ ), des lateralen Segments (Lat) ( $p = -0,593$ ), des posterioren Segments (Post) ( $p = -0,624$ ) und des septalen Segments (Sept) ( $p = -0,531$ ) in der kurzen Achse festgestellt werden. Ebenfalls konnte eine negative Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und des Durchschnitts aller Segmente der radialen Strain (Avg SR) ( $p = -0,618$ ) ermittelt werden. Eine negative Korrelation bestand weiterhin zwischen der zurückgelegten Strecke und der

systolischen radialen Strain Rate ( $SrR_S$ ) im anterioren Segment (Ant) ( $\rho = -0,570$ ), im lateralen Segment (Lat) ( $\rho = -0,564$ ), im posterioren Segment (Post) ( $\rho = -0,531$ ) und im septalen Segment (Sept) ( $\rho = -0,632$ ). Eine negative Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und des Durchschnitts über alle Segmente der systolischen radialen Strain Rate (Avg  $SrR_S$ ) ( $\rho = -0,641$ ) konnte ermittelt werden. Eine positive Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und der diastolischen radialen Strain Rate ( $SrR_A$ ) ( $\rho = 0,523$ ) des anterioren Segments (Ant) konnte festgestellt werden. Weiterhin bestand eine negative Korrelation zwischen der systolischen radialen Verschiebung ( $DR_S$ ) im inferioren Segment (Inf) ( $\rho = -0,666$ ) und im septalen Segment (Sept) ( $\rho = -0,607$ ) und der zurückgelegten Strecke.

Eine negative Korrelation zwischen der mittleren Geschwindigkeit und der systolischen zirkumferentiellen Strain Rate ( $SrC_A$ ) des inferioren Segments (Inf) ( $\rho = -0,550$ ) konnte ermittelt werden. Es bestand eine positive Korrelation zwischen der mittleren Geschwindigkeit und des lateralen Segments (Lat) ( $\rho = 0,567$ ) der systolischen zirkumferentiellen Strain Rate ( $SrC_A$ ) konnte ermittelt werden. Weiterhin bestand eine negative Korrelation zwischen der mittleren Geschwindigkeit und der diastolischen radialen Strain Rate ( $SrR_E$ ) für das inferiore Segment (Inf) ( $\rho = -0,700$ ), für das laterale Segment (Lat) ( $\rho = -0,633$ ), für das posteriore Segment (Post) ( $\rho = -0,633$ ), für das septale Segment (Sept) ( $\rho = -0,628$ ) und für den Durchschnitt über alle Segmente (Avg  $SrR_E$ ) ( $\rho = -0,600$ ). Eine positive Korrelation bestand zwischen der mittleren Geschwindigkeit und dem septalen Segment der systolischen radialen Verschiebung ( $DR_S$ ) ( $\rho = 0,567$ ).

#### **4.5.4.4. Vergleich der Speckle Tracking Daten nach dem Rennen und nach drei Tagen**

Es konnte beim Vergleich zwischen den Daten nach dem Rennen und nach drei Tagen ein statistisch signifikanter Unterschied bei der systolischen longitudinalen Verformungsgeschwindigkeit ( $VL_S$ ) im mittleren lateralen (midLat), mittleren septalen (midSept) und im Durchschnitt über alle Segmente (Avg) mit jeweils einem p-Wert von 0,043 festgestellt werden. Bei allen drei Variablen konnte nach drei Tagen eine geringere Geschwindigkeit der Verformung im Vergleich zu direkt nach dem Rennen festgestellt werden. Der Vergleich der gemittelten  $VL_S$  zwischen den drei Messzeitpunkten ist in Abbildung 19 zu sehen. Ebenso konnte mit einem p-Wert von 0,043 bei der spätdiastolischen longitudinalen Verformungsgeschwindigkeit ( $VL_A$ ) im mittleren septalen Segment ein statistisch signifikant niedrigerer Wert nach drei Tagen im Vergleich zu direkt nach dem Rennen festgestellt werden. Alle anderen Variablen des STEs in der langen Achse waren im Vergleich zwischen den Werten nach drei Tagen und direkt nach dem Rennen statistisch nicht signifikant verändert.

In der kurzen Achse konnte für die Variablen aufgrund von nur zwei vorhandenen Wertepaare allein eine explorative Beschreibung der Daten vorgenommen werden. Diese sind in Tabelle 10 im Anhang zu finden.

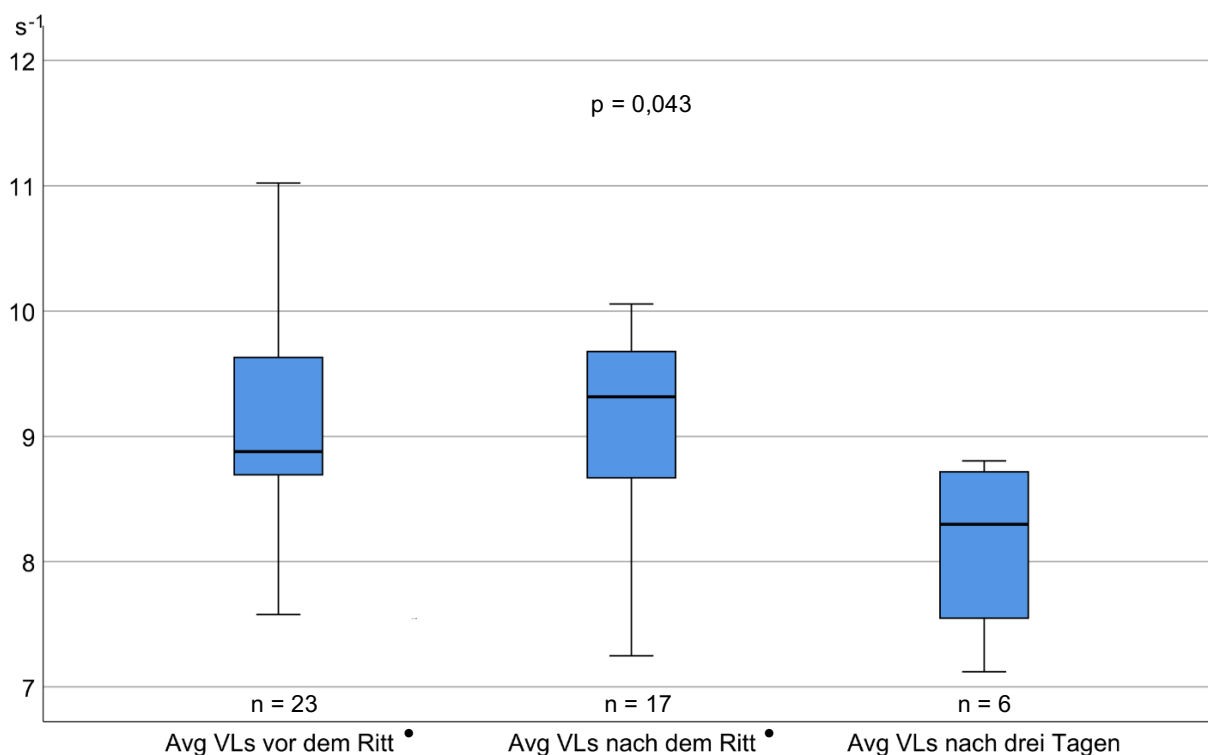


Abbildung 19: Boxplots der systolischen longitudinalen Verformungsgeschwindigkeit über alle Segmente gemittelt (Avg VL<sub>S</sub>). Vergleich zwischen den Werten vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen. Die Einheit ist in s<sup>-1</sup> angegeben. Der Durchschnitt der VL<sub>S</sub> war nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,043 statistisch signifikant niedriger als vor dem Ritt. Die mit • markierten Kategorien stellen die verglichenen Werte dar.

## 4.6. Elektrokardiografie

### 4.6.1. Allgemeine Auswertung

Es konnten 35 aufgezeichnete EKGs ausgewertet werden (15 EKGs vor dem Rennen, 15 nach dem Rennen und fünf Aufzeichnungen nach drei Tagen). Davon waren drei von schlechter Qualität (eins vor dem Rennen, zwei nach dem Rennen) und vier EKGs waren von mäßig guter Aufzeichnungsqualität (jeweils eins vor und nach dem Ritt, zwei nach drei Tagen aufgezeichnet, Beispiel siehe Abbildung 21). Die restlichen EKGs waren von guter Qualität (13 vor dem Ritt, zwölf nach dem Ritt und drei EKGs wurden nach drei Tagen aufgenommen). Fünf Pferde (33,3 %) zeigten eine Sinusarrhythmie (siehe Abbildung 22) vor dem Rennen, drei Pferde einen AV-Block Grad II (20 %, Beispiel siehe Abbildung 20), bei einem Pferd konnten beide Arten von Arrhythmien festgestellt werden. Bei fünf Pferden (33,3 %) konnte nach dem Distanzritt eine Sinusarrhythmie festgestellt werden, davon war diese bei drei Pferden (20 %)

schon vor dem Ritt vorhanden. Kein EKG direkt nach dem Rennen zeigte einen AV-Block Grad II. Bei zwei von fünf EKGs (40 %), die drei Tage nach dem Ritt aufgenommen worden waren, konnte ein AV-Block Grad II diagnostiziert werden. Bei beiden Pferden war diese physiologische Arrhythmie auch schon vor dem Distanzritt im EKG zu sehen.



Abbildung 20: AV-Block Grad II. Zu sehen ist eine P-Welle (roter Pfeil) ohne dazugehörigen QRS-Komplex. Der Abstand der RR-Abstände verdoppelt sich.



Abbildung 21: Beispiel einer falschen Detektion einer R-Zacke (roter Pfeil).

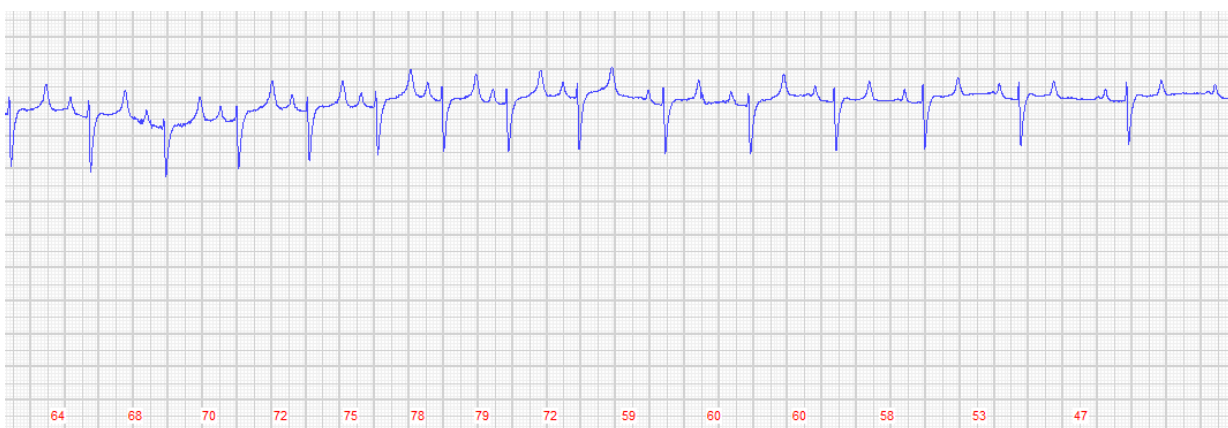


Abbildung 22: Beispiel einer Sinusarrhythmie. Zu erkennen ist eine Zunahme der Herzfrequenz (höhere Zahl der RR-Abstände pro Zeit), die dann langsam wieder abnimmt (niedrigere Zahlen der RR-Abstände).



#### **4.6.2. Vergleich der HRV-Daten nach dem Rennen**

Beim Vergleich der HRV Daten nach dem Rennen zwischen den Gruppen „Finisher“ und „Ausscheider“ konnte für keinen Parameter ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden.

Der Vergleich zwischen den Gründen des Ausscheidens und der Finisher nach dem Rennen war aufgrund der geringen Fallzahl für die Gruppen der Pferde, die aufgrund von einer Lahmheit und aufgrund von metabolischen Gründen ausschieden, nicht sinnvoll. Aus diesem Grund wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet.

#### **4.6.3. Vergleich der HRV-Daten vor dem Rennen mit den Daten nach dem Rennen**

Beim Vergleich der Werte vor dem Distanzritt und nach dem Ritt konnte ein statistisch signifikant kürzerer mittlerer RR-Abstände ( $p = 0,003$ ), eine statistisch signifikant höhere mittlere Herzfrequenz ( $p = 0,001$ ) und eine höhere minimale Herzfrequenz ( $p < 0,001$ ) nach dem Ritt festgestellt werden. Der Verlauf der mittleren Herzfrequenz vor und nach dem Ritt sowie nach drei Tagen ist in Abbildung 23 dargestellt. Die VLF Power war nach dem Rennen statistisch signifikant niedriger als vor dem Rennen ( $p = 0,027$ ). Die LF Power war ebenfalls nach dem Rennen mit einem p-Wert von 0,030 statistisch signifikant niedriger. Ebenfalls war das Verhältnis von LF zu HF mit einem p-Wert von 0,030 nach dem Rennen statistisch signifikant niedriger als davor. Der p-Wert für SD2 lag an der Grenze zur statistischen Signifikanz ( $p = 0,055$ ). Er war nach dem Rennen niedriger als davor. Bei den übrigen HRV-Parametern konnte im Vergleich keine statistisch signifikante Änderung festgestellt werden. Es konnten weder Korrelationen zwischen der zurückgelegten Strecke und den ermittelten HRV Daten nach dem Rennen noch zwischen der mittleren Geschwindigkeit und den HRV Daten nach dem Rennen festgestellt werden.

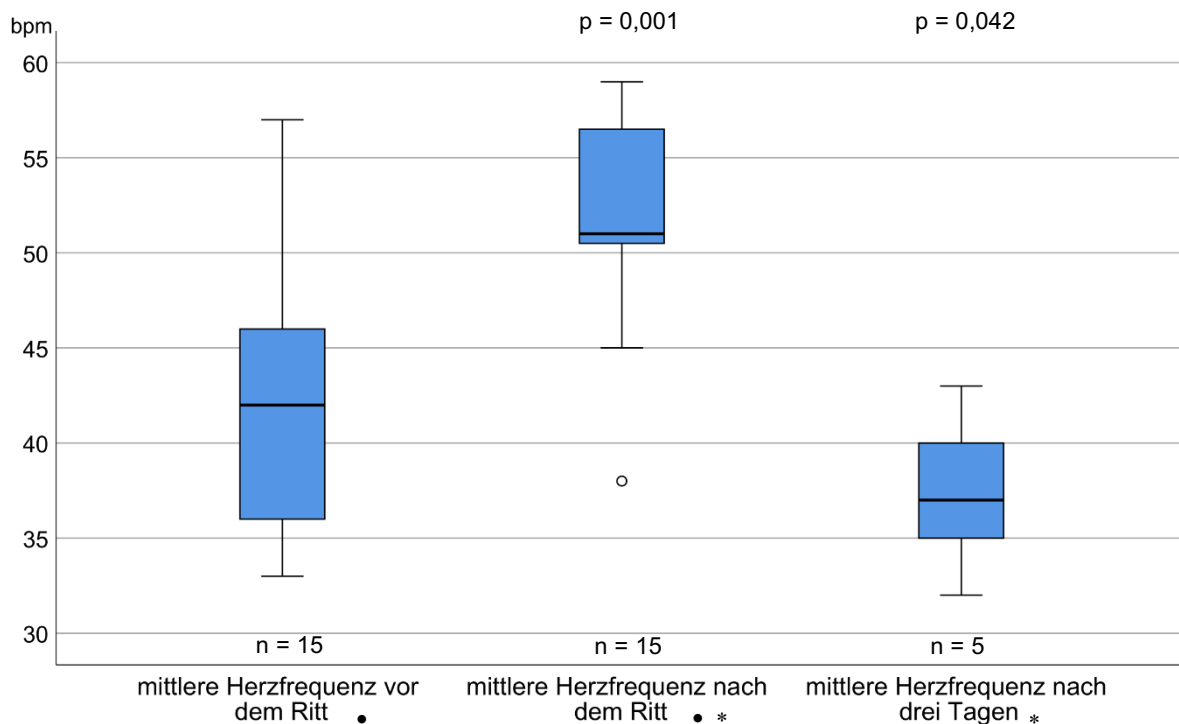


Abbildung 23: Boxplots des Herzfrequenzverlaufs der mittleren gemessenen Herzfrequenz vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen. Die Einheit ist in bpm angegeben. Die mittlere Herzfrequenz war nach dem Ritt im Vergleich zu vor dem Ritt mit einem p-Wert von 0,001 statistisch signifikant höher. Die mittlere Herzfrequenz nach drei Tagen war im Vergleich zu den Werten nach dem Ritt mit einem p-Wert von 0,042 statistisch signifikant niedriger. Die mit • und \* markierten Kategorien stellen jeweils die verglichenen Werte dar.

#### 4.6.4. Vergleich der HRV-Daten nach dem Rennen und nach drei Tagen

Beim Vergleich der Daten nach dem Rennen und nach drei Tagen konnte für den mittleren RR-Abstand ein statistisch signifikant ( $p = 0,043$ ) höherer Wert nach drei Tagen im Vergleich zu nach dem Rennen ermittelt werden (siehe Abbildung 24). Die mittlere Herzfrequenz ( $p = 0,042$ ) (siehe Abbildung 23), die minimale Herzfrequenz ( $p = 0,043$ ) und die maximale Herzfrequenz ( $p = 0,043$ ) waren nach drei Tagen nach dem Rennen statistisch signifikant niedriger als direkt danach.

Ebenfalls war das Verhältnis von LF zu HF nach drei Tagen statistisch signifikant niedriger ( $p = 0,043$ ) als nach dem Rennen. Die übrigen Parameter (SDNN, RMSSD, NN50, pNN50, SD1 und SD2) waren nach drei Tagen im Vergleich zu direkt nach dem Rennen zwar deutlich erhöht, jedoch ergab sich hier keine statistisch signifikante Änderung.

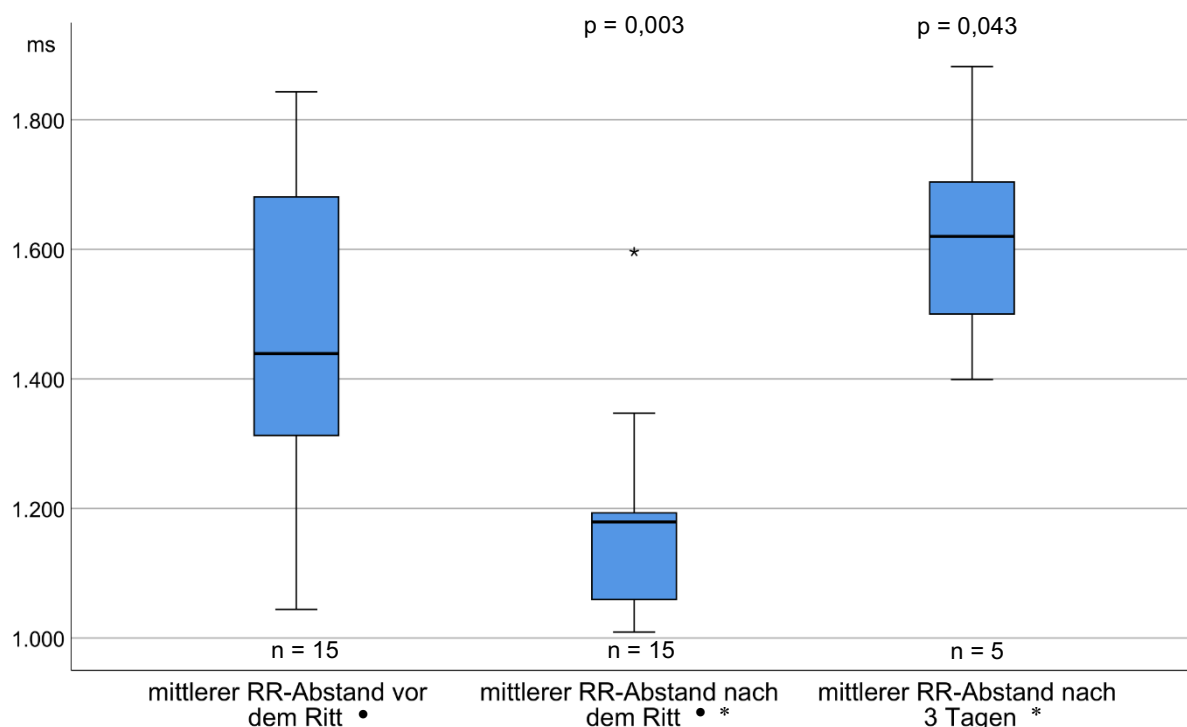


Abbildung 24: Boxplots des mittleren RR-Abstands vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen. Die Einheit des RR-Abstandes ist in ms angegeben. Der mittlere RR-Abstand war im Vergleich zu vor dem Ritt mit einem p-Wert von 0,003 nach dem Ritt statistisch signifikant kürzer. Der mittlere RR-Abstand drei Tage nach dem Ritt war mit einem p-Wert von 0,043 im Vergleich zu den Werten nach dem Ritt statistisch signifikant höher. Die mit • und \* markierten Kategorien stellen jeweils die verglichenen Werte dar.

## 4.7. Blutdruckmessung

### 4.7.1. Allgemeine Daten

Vor dem Ritt konnte der Blutdruck von 14 Pferden gemessen werden (sechs Pferde in Neustadt (Dosse), acht Pferde in Britz). Insgesamt wurden vor dem Ritt 44 Messungen erhoben, davon fielen zwei Einzelmessungen aufgrund von extremen Abweichungen nach oben aus der Auswertung heraus. Bei den meisten Pferden (86 %) konnten drei Messungen zur Auswertung verwendet werden. Nur bei zwei Pferden (14 %) waren nur zwei Messwerte vorhanden. Die durchschnittliche Pulsfrequenz betrug 49 bpm, der durchschnittliche systolische Blutdruck vor dem Rennen lag bei  $153 \pm 22$  mmHg. Der Durchschnitt des diastolischen Blutdrucks lag bei  $98 \pm 21$  mmHg, der mittlere Blutdruck betrug  $113 \pm 20$  mmHg.

Nach dem Distanzritt konnte der Blutdruck von 15 Pferden gemessen werden. Dabei war bei 13 Pferden eine dreimalige Messung möglich. Die Pulsfrequenz nach dem Wettkampf lag bei durchschnittlich 57 bpm, die durchschnittlichen Blutdruckwerte waren: systolischer Blutdruck

144 ± 29 mmHg, diastolischer Blutdruck 102 ± 20 mmHg und mittlerer Blutdruck 114 ± 25 mmHg.

Ab der dritten Pause konnte der Blutdruck der teilnehmenden Pferde gemessen werden. Dieser betrug im Durchschnitt über sechs gemessenen Pferden für den systolischen Blutdruck 150 ± 28 mmHg, für den diastolischen Blutdruck 100 ± 15 mmHg und für den mittleren arteriellen Blutdruck lag der Durchschnittswert 118 ± 19 mmHg. In der vierten Pause konnte der Blutdruck von drei Pferden gemessen werden. Der systolische Blutdruck lag bei 131 ± 23 mmHg, der diastolische bei 94 ± 18 mmHg und der mittlere arterielle Blutdruck war im Mittel 114 ± 20 mmHg.

In der fünften und letzten Pause konnte der Blutdruck nur von einem Pferd gemessen werden. Die Werte lagen hier für den systolischen Blutdruck bei 126 mmHg, für den diastolischen Blutdruck bei 98 mmHg und für den mittleren arteriellen Blutdruck bei 108 mmHg. Ein Vergleich der systolischen Werte zu den jeweiligen Messzeitpunkten ist in Abbildung 25 zu finden.

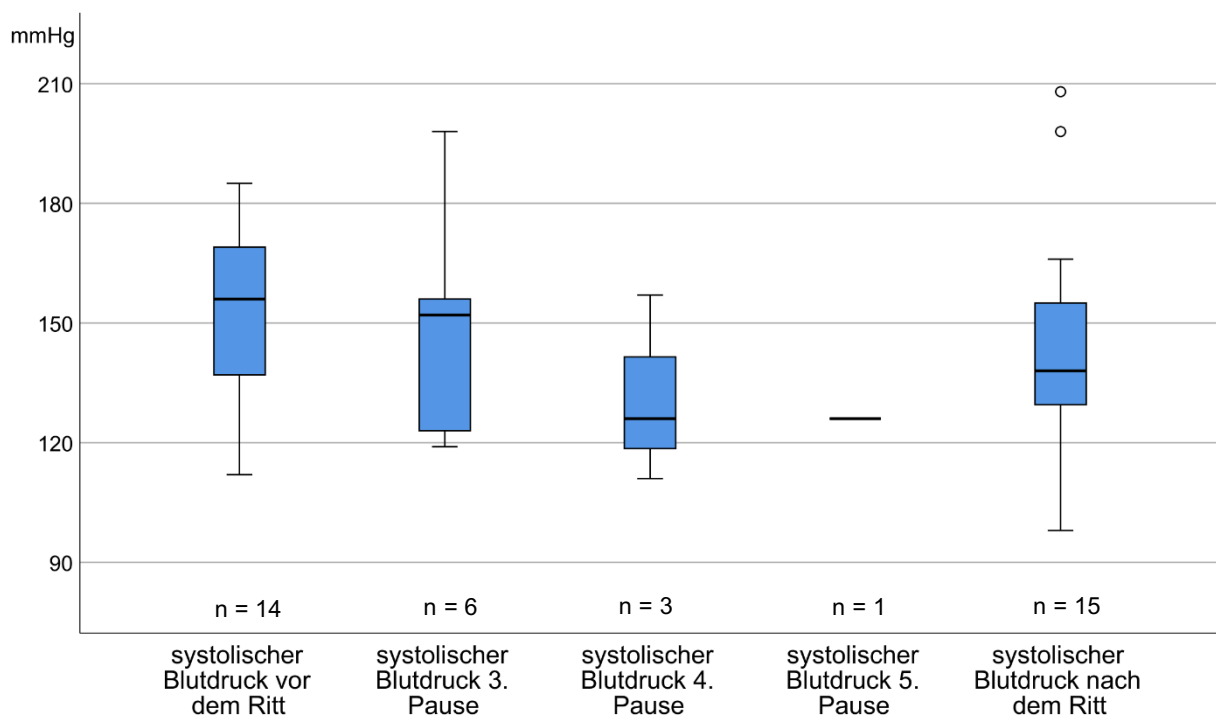


Abbildung 25: Boxplots der gemessenen systolischen Blutdruckwerte im Vergleich vor dem Rennen, ab der dritten Pause und nach dem Rennen. Die Einheit des Blutdrucks ist in mmHg angegeben.

#### 4.7.2. Vergleich des Blutdrucks nach dem Rennen

Es konnte ein statistisch signifikanter Unterschied des Pulses zwischen Ausscheidern und Finishern festgestellt werden ( $p = 0,026$ ). Er lag bei den Finishern ( $60 \pm 9,65$  bpm) deutlich über dem Wert der Ausscheider ( $48 \pm 4,35$  bpm).

Bei allen drei gemessenen Blutdruckwerten (systolisch, diastolisch und mittlerer Blutdruck) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Finishern und Ausscheidern ermittelt werden. Beim Vergleich der Gruppen „metabolische Ausscheider“, „Lahmheit“ und „Finisher“ konnte ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen gefunden werden (siehe Abbildung 26). Der mittlere Blutdruck der Pferde, die aus metabolischen Gründen ausgeschieden sind, war höher als der mittlere Blutdruck der „Finisher“ und der Pferde, die aufgrund von Lahmheit ausgeschieden sind.

Es konnten weder Korrelationen zwischen den erhobenen Blutdruckwerten nach dem Ritt und der zurückgelegten Strecke noch zwischen der mittleren Geschwindigkeit ermittelt werden.

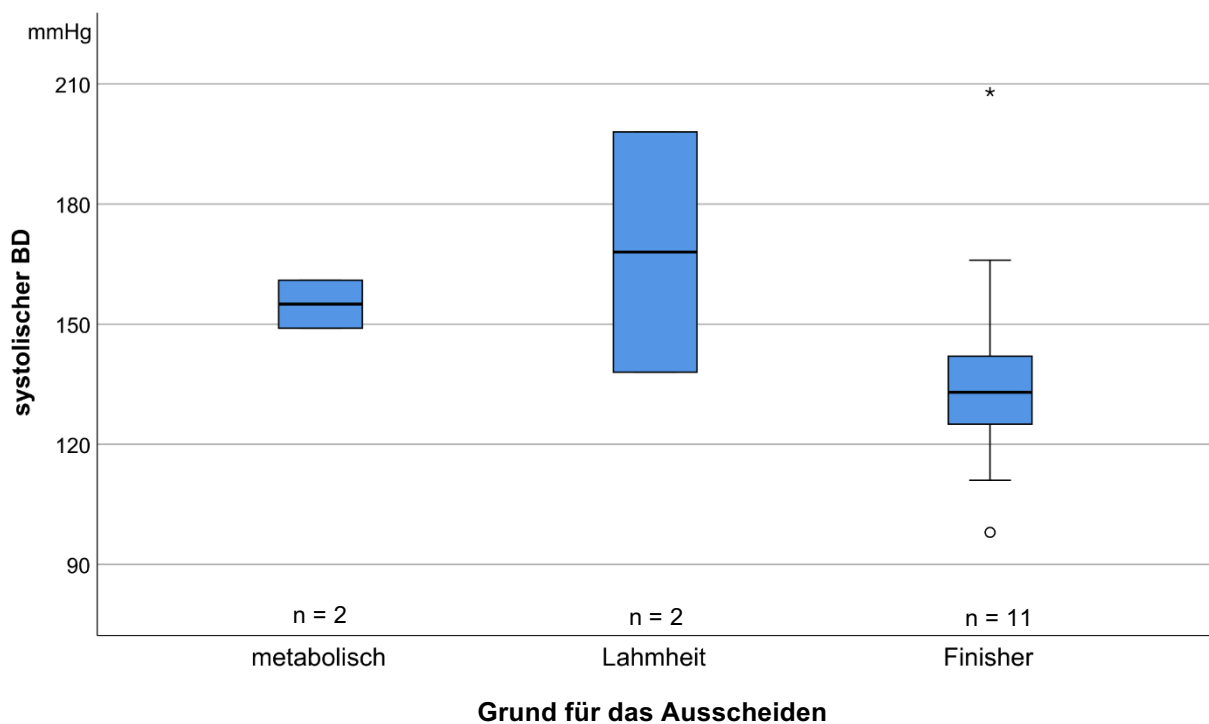


Abbildung 26: Boxplots der Werte des systolischen Blutdrucks im Vergleich nach dem Rennen zwischen den Gruppen Finisher, metabolische Ausscheider sowie aufgrund von Lahmheit ausgeschiedenen Pferden. Der Blutdruck ist in mmHg angegeben.

### **4.7.3. Vergleich des Blutdrucks vor dem Rennen mit nach dem Rennen**

Es konnte weder für die Pulsfrequenz noch für die gemessenen Blutdrücke ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Werten vor und nach dem Ritt ermittelt werden.

## 5. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden echokardiografische Messungen, insbesondere die neue Methode des Speckle Trackings, die Bestimmung der Herzratenvariabilität und die nichtinvasive Blutdruckmessung verwendet, um die Auswirkungen von gleichbleibender, langzeitiger Belastung während eines Wettkampfes auf das Herz-Kreislauf-System bei Distanzpferden zu untersuchen. Besonderer Fokus wurde auf den Vergleich der Messwerte vor dem Distanzritt zur Untersuchung direkt nach dem Ritt sowie zur Nachuntersuchung drei Tage nach dem Ritt gelegt. Weiterhin sollte erörtert werden, ob sich nach dem Distanzritt Unterschiede in den Messwerten zwischen Finishern und Ausscheidern identifizieren ließen.

Durch die Untersuchung von Pferden, die mindestens 86 km bei einem Wettkampf zurücklegen sollten, war die Auswahl an Studienobjekten im Vorherein auf trainierte Sportpferde beschränkt. Aufgrund der reglementarisch fakultativen Voruntersuchung vor dem Distanzritt konnte weiterhin angenommen werden, dass nur physisch gesunde Pferde am Wettkampf teilnehmen durften (VDD, 2019). Trotz der offiziellen Voruntersuchungen konnte bei einem Pferd (Nr. 15, Tabelle 4) eine hämodynamisch relevante Aortenklappeninsuffizienz mittels Dopplerechokardiografie festgestellt werden. Dieses Pferd wurde trotz des pathologischen Echokardiografiebefundes nicht von der Studie ausgeschlossen, da es den Ritt wie geplant zurücklegen konnte.

Obwohl alle Pferde in der Voruntersuchung als gesund eingestuft wurden, beendete ein Großteil der Pferde aus verschiedenen Gründen das Rennen nicht. Die gesamte Ausscheidungsrate der an der Studie teilnehmenden Pferde lag mit 34,7 % unter den in der Literatur angegebenen Werten von 46 % bei NAGY et al. (2010) und 39 % bei YOUNES et al. (2015). Bei der Landesmeisterschaft in Britz lag der Wert der Ausscheider mit 12,5 % deutlich unter dem in der vorliegenden Studie ermittelten Durchschnittswert und den Angaben der Literatur. Ein kleineres Startfeld kann einen Grund für eine niedrigere Eliminationsrate darstellen (NAGY et al., 2012). Das Startfeld bei der Landesmeisterschaft in Britz war mit insgesamt zwölf Startern im Vergleich zum Ritt in Neustadt (Dosse) (51 Starter) und Šamorín (133 Starter) erheblich kleiner. Bei der Auswertung von Ritten aus der FEI Datenbank konnte von NAGY et al. (2012) bei einer Teilnehmerzahl von über 100 Startern eine höhere Wahrscheinlichkeit aus metabolischen Gründen auszuschneiden festgestellt werden. Jedoch konnte in dieser retrospektiven Studie keine Ursache dafür gefunden werden. Eine Theorie der Autoren verschiedener Studien ist, dass bei kleineren Startfeldern die Reiter weniger Leistungsdruck verspüren und somit ihre Pferde weniger schnell an deren körperliches Limit

treiben als bei größeren Startfeldern (NAGY et al., 2010; BENNET und PARKIN, 2018). Die Daten der vorliegenden Studie unterstützen diese Theorie. Es ist anhand der ermittelten Daten wahrscheinlich, dass die Teilnehmerzahl einen Einfluss auf die Anzahl der ausgeschiedenen Pferde hat. Als ein weiterer Einflussfaktor für eine niedrige Anzahl an ausgeschiedenen Pferden bei der Berlin-Brandenburgischen Landesmeisterschaft in Britz könnte hinzukommen, dass dort die zurückzulegenden Kilometer mit 120 km geringer waren als bei den Distanzritten in Neustadt (Dosse) und Šamorín (bis zu 162 km). BENNET und PARKIN (2018) konnten einen Zusammenhang zwischen weiter zurückzulegender Strecke und der Wahrscheinlichkeit frühzeitig aus dem Ritt auszuschneiden feststellen.

Die Gründe für das Ausscheiden teilten sich in der vorliegenden Studie auf in 36,4 % metabolische Ausscheider und 63,6 % der Ausscheider, die aufgrund von einer vorliegenden Lahmheit frühzeitig das Rennen beendeten. Dieses Verhältnis entspricht ungefähr dem Ergebnis einer Studie von NAGY et al. (2010), bei der 69,2 % der ausgeschiedenen Pferde aus Lahmheitsgründen und 31,8 % der ausgeschiedenen Pferde aus metabolischen Gründen das Rennen vorzeitig beenden mussten. Auch in weiteren Studien kommen metabolische Ausscheider weniger häufiger vor als Pferde, die aufgrund von Lahmheit den Ritt vorzeitig beenden müssen (YOUNES et al., 2015; BENNET und PARKIN, 2018). Es ist unklar, warum mehr Pferde aufgrund von Lahmheiten ausscheiden (NAGY et al., 2010). Einen Einfluss scheint das Wetter zu haben. Bei warmem und feuchtem Wetter scheiden mehr Pferde aufgrund von metabolischen Problemen aus. Dieser Zusammenhang besteht wahrscheinlich aufgrund des vermehrten Elektrolytverlustes und vermehrter Dehydratation bei entsprechend warmem und feuchtem Wetter (NAGY et al., 2010).

### **Echokardiografie**

Die echokardiografischen Messungen im B-Mode gelangen zum großen Teil ohne technische Probleme und waren zum Großteil gut auszuwerten. Die Volumenmessungen des linken Ventrikels waren mit 51 von 87 möglichen Fällen im Vergleich zu der Messung der linksatrialen Flächen (72 bzw. 66 von 87 Messungen möglich) jedoch weniger häufig durchführbar. FLETHØJ et al. (2016b) konnten in ihrer Studie teilweise gegenteilige Ergebnisse vorweisen. Es konnten zwar für das linksventrikuläre Volumen 208 von 216 möglichen Messungen durchgeführt werden, bei der Ermittlung der linksatrialen Flächen und Diameter konnten nur 148 von 216 möglichen Messungen durchgeführt werden.

Die Untersuchung der Messwerte des B-Modes nach dem Rennen zwischen den zwei Gruppen „Ausscheider“ und „Finisher“ ergab alleinig für die maximale linksatriale Fläche ( $LAA_{max}$ ) eine statistisch signifikant größere Fläche ( $p = 0,004$ ) bei den „Finishern“. Die Messwerte des M-Modes ergaben im Vergleich zwischen den zwei Gruppen keine statistisch



signifikanten Veränderungen. In einer vergleichbaren Studie wurde die Unterscheidung zwischen den zwei Gruppen nach statistischen Voruntersuchungen aufgrund keiner feststellbaren Unterschiede nicht näher verfolgt (FLETHØJ et al., 2016b). Eine in der vorliegenden Studie größere maximale linksatriale Fläche könnte allerdings für eine geringere Beeinflussung der myokardialen Kontraktion nach dem Ritt bei erfolgreichen Pferden sprechen. Denkbar ist bei erfolgreichen Pferden auch insgesamt ein geringerer Grad an Dehydratation und damit ein geringerer Einfluss auf die Vorlast des Herzens. Aufgrund der geringen Fallanzahl der Ausscheider ( $n = 9$ ) sollten, um eine deutlichere Aussage treffen zu können, in einer zukünftigen Studie eine höhere Anzahl eingeschlossen werden.

Bei der Messung der linksatrialen Flächen konnte im Vergleich zwischen den Werten vor dem Ritt zu nach dem Ritt an allen drei Messzeitpunkten während des Herzzyklus eine statistisch hoch signifikante ( $p\text{-Wert} \leq 0,001$ ) Abnahme der Flächen nach dem Ritt festgestellt werden. Gleiches Ergebnis erlangten FLETHØJ et al. (2016b) in ihrer Studie. AMORY et al. (2010) führten nur die Messung des linksatrialen Diameters durch, konnten aber auch bei diesem Parameter eine statistisch signifikante Abnahme nach dem Ritt feststellen. Inwieweit eine verringerte Vorlast des Herzens durch Dehydratation nach dem Ritt eine Rolle spielten, konnte in keiner der Studien ausreichend geklärt werden (AMORY et al., 2010; FLETHØJ et al., 2016b). In der vorliegenden Studie konnte weiterhin eine negative Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke und der Fläche des linken Vorhofs nach dem Rennen nachgewiesen werden. Auch an diesem Punkt ist fraglich, inwieweit eine stärker ausgeprägte Dehydratation nach einer längeren zurückgelegten Strecke eine Rolle bei der Verringerung der linksatrialen Fläche nach dem Rennen spielt. Neben einer negativen Korrelation zwischen der linksatrialen Fläche und der zurückgelegten Strecke konnte in der vorliegenden Studie auch eine negative Korrelation zwischen der mittleren Geschwindigkeit und der Größe der linksatrialen Fläche nachgewiesen werden. Es ist daher auch möglich, dass entweder eine verminderte Kontraktilität oder eine vermehrte Dehydratation mit zunehmender Renngeschwindigkeit einhergeht.

Nach drei Tagen konnten zu allen drei Messzeitpunkten während des Herzzyklus der Mittelwert der Werte von vor dem Rennen erreicht, respektive übertroffen, werden. Eine statistisch signifikante Zunahme im Vergleich zu den Werten nach dem Rennen konnte trotzdem nicht erreicht werden. Ein Zusammenhang mit der geringen Probandenanzahl nach drei Tagen ( $n = 4$ ) ist in diesem Fall wahrscheinlich, da der  $p$ -Wert ( $p = 0,067$  für  $LAA_a$  bzw.  $p = 0,068$  für  $LAA_{\min/\max}$ ) bei den vier untersuchten Pferden nahe am gesetzten Grenzwert für die Signifikanz von  $p = 0,050$  lag. FLETHØJ et al. (2016b) wiederholten in ihrer Studie die Untersuchungen im Gegensatz zur vorliegenden Studie schon am Morgen nach dem Distanzritt. Die Autoren konnten im Vergleich zu direkt nach dem Ritt einen statistisch signifikanten Anstieg der linksatrialen Fläche und des Diameters feststellen. Allerdings

erreichten die Werte noch nicht die ursprüngliche Höhe (FLETHØJ et al., 2016b). Es ist davon auszugehen, dass der Zeitraum bis zum nächsten Morgen nach einem Distanzritt nicht vollständig ausreicht, damit das Herz die ursprüngliche Funktion wieder erreicht. Folglich scheinen die mittels B-Mode gemessene verringerte systolische und diastolische Funktion des Herzens nachweisbar bis maximal drei Tage nach einem Distanzritt anzuhalten.

Für die Volumenberechnungen des linken Ventrikels inklusive EF, SV und CO konnten im Vergleich zwischen den Werten vor zu nach dem Distanzritt keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zur Studie von FLETHØJ et al. (2016b), bei der eine signifikante Abnahme des systolischen und diastolischen linksventrikulären Volumens sowie beim Stroke Volumen ermittelt wurde. Auch AMORY et al. (2010) konnten signifikante Abnahmen der Parameter nach dem Rennen feststellen. Auch nach drei Tagen konnte in der vorliegenden Studie keine statistisch signifikante Änderung der oben genannten Messwerte ermittelt werden.

Die Messungen im M-Mode gelangen zum großen Teil ohne Probleme (davor 75/87 Messungen, danach 69/87 Messungen und nach drei Tagen 12/15 Messungen).

Es konnte im Vergleich der Messwerte im M-Modus zum Zeitpunkt vor dem Rennen zu nach dem Rennen eine größere Dicke des Interventrikularseptums in der Diastole nach dem Rennen festgestellt werden. Weiterhin waren mittlere und relative Wanddicken in der Diastole nach dem Ritt statistisch signifikant größer als davor (MWTd:  $p = 0,005$ , RWTd:  $p = 0,014$ ). Das gleiche Ergebnis erlangten FLETHØJ et al. (2016b) in ihrer Studie. Auffallend ist in der vorliegenden Studie, dass vorrangig die diastolischen Messwerte im M-Mode nach dem Ritt zunahmen. Die Dickenzunahme kann als eine Folge einer verminderten diastolischen Funktion nach dem Distanzritt gewertet werden, welche in einer vorherigen Studie bei Distanzpferden bereits nachgewiesen wurde (FLETHØJ et al., 2016b). Zum Messzeitpunkt nach drei Tagen verhielten sich die Messwerte des M-Mode ähnlich den B-Mode Messwerten. Sie erreichten wieder die ursprünglichen Werte vor der Belastung. Auch dieses Ergebnis spricht dafür, dass die nach dem Ritt nachweisbaren Veränderungen spätestens nach drei Tagen ihre ursprüngliche Funktion erreichten. Zu betonen ist an dieser Stelle allerdings, dass auch die im M-Mode durchgeführten Messungen ladungsabhängig und somit vom Dehydratationsstatus beeinflusst werden können (FLETHØJ et al., 2016b).

Bei der Auswertung des Speckle Trackings konnte in der vorliegenden Studie die lange Achse deutlich leichter ausgewertet werden als die Aufzeichnungen der kurzen Achse. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zur Veröffentlichung von DECLOEDT et al. (2011). Die Ursache für dieses unterschiedliche Ergebnis kann darin liegen, dass in der vorliegenden Arbeit sehr viele Aufnahmen der kurzen Achse aufgrund von mangelnder Bildqualität nicht auswertbar

waren. In der vorliegenden Studie kamen häufig Rippenartefakte vor, durch die das anteriore Segment durch das Programm nicht erfasst wurde. Sobald ein Segment der STE nicht auswertbar war, wurde der gesamte Zyklus aus der Auswertung entfernt. Solche Artefakte traten in der langen Achse in der vorliegenden Untersuchung wenig häufiger auf. Mit der vorliegenden Studie übereinstimmende Ergebnisse konnten in einer humanmedizinischen Studie zur Entwicklung von Referenzwerten der STE gefunden werden. In der humanmedizinischen Studie war die Auswertung in der langen Achse besser durchzuführen als in der kurzen (BUSSADORI et al., 2009). DECLOEDT et al. (2011) geben in ihrer Studie mit Pferden an, dass nur 2 - 3 % der getrackten Segmente in der kurzen Achse aufgrund von mangelnder Schallqualität nicht auszuwerten waren. FLETHØJ et al. (2016b) geben in ihrer Veröffentlichung für die kurze Achse 8 % fehlende Messungen und für die lange Achse bis zu 25 % fehlende Messungen an. Insgesamt waren die Messungen der STE in der vorliegenden Studie weniger häufig möglich als die Messungen im B- bzw. M-Mode. Zu dieser Erkenntnis kamen auch FLETHØJ et al. (2016b) in ihrer Studie. Die für die STE aufgezeichneten Cineloops sind deutlich störanfälliger als Messungen im Standbild wie bei standardechokardiografischen Messungen oder wie bei Aufzeichnungen des Gewebedopplers. Bei Auswertungen des Gewebedopplers werden die Ergebnisse der Geschwindigkeitsprofile direkt bei der Messung dargestellt. So können mangelhafte Aufzeichnungen noch vor Ort wiederholt werden. Bei der offline Analyse des STE ergeben sich Probleme einer schlechten Auswertbarkeit durch kurze Bewegungsartefakte während der Aufzeichnung erst im Nachhinein, da eine direkte Kontrolle der Qualität während der Untersuchung nicht stattfinden kann. Aufgrund dessen sei an dieser Stelle erwähnt, dass bei Untersuchungen mittels STE auf eine möglichst gute Bildqualität geachtet werden sollte. Dies wurde auch schon von Autoren einer vorherigen Studie zur STE betont (SCHWARZWALD et al., 2009).

Eine Hypothese dieser Arbeit war, dass die aus metabolischen Gründen ausgeschiedenen Pferde nach dem Distanzritt Anzeichen eines „exercise-induced cardiac fatigue“ zeigen könnten. Dies würde man an einer verminderten myokardialen Kontraktilität im Vergleich zu den anderen Gruppen erkennen (FLETHØJ et al., 2016b).

Entgegen der aufgestellten Hypothese sprachen die vorliegenden Ergebnisse nicht für einen Unterschied zwischen den Messergebnissen der Finisher und der Ausscheider nach dem Distanzritt. Bei einigen Messwerten konnte eine erhöhte Kontraktilität bei Ausscheidern im Vergleich zu den Finishern festgestellt werden. Bei der weiteren Unterscheidung der Gruppen „Lahmheit“ und „metabolische Ausscheider“ konnte für die aus Lahmheitsgründen ausgeschiedenen Pferde eine minimal höhere longitudinale Kontraktilität ( $SL_S$ ,  $SL_G$ ), sowie eine schnellere longitudinale Verformungsgeschwindigkeit ( $VL_E$ ,  $VL_S$ ) festgestellt werden.

FLETHØJ et al. (2016b) führten in ihrer Studie nach einer ergebnislosen statistischen Vorauswertung keine weiterführende Auswertung der einzelnen Gruppen durch. Ein möglicher Grund für die Ergebnisse in der vorliegenden Studie kann die kleine Anzahl an Teilnehmern in den einzelnen Gruppen der ausgeschiedenen Pferde sein. Eine kleine Probandenanzahl ist weniger repräsentativ als Studien mit einer höheren Teilnehmerzahl (SORMANI, 2017). Aufgrund der vorliegenden Umstände der begrenzt vorhandenen Zeit zur Untersuchung und der begrenzten Anzahl an Geräten (Ultraschallgerät, EKG-Aufnahmegerät und Blutdruckmessgerät), war jedoch eine größer angelegte Studie nicht möglich. Ein weiterer Grund für die kaum messbaren Unterschiede zwischen den Gruppen könnte sein, dass es bei den ausgeschiedenen Pferden aufgrund der kürzeren zurückgelegten Strecke noch zu keinen messbaren Veränderungen der Kontraktilität kam und somit kein „Cardiac Fatigue“ vorlag. Für diese Probanden waren andere Gründe für das Ausscheiden ursächlich. Die in der vorliegenden Studie durchgeführten Korrelationsanalysen unterstützen weitestgehend diese Theorie. Beim Vergleich zwischen der zurückgelegten Strecke und den erhobenen Messwerten des radialen und des systolischen zirkumferentiellen Strains konnte eine negative Korrelation ermittelt werden.

Der größte Teil der systolischen Messwerte, vor allem in der langen Achse ( $SL_s$ ,  $SrL_s$ ,  $VL_s$ ), zeigte in der vorliegenden Studie eine Verringerung nach dem Rennen. FLETHØJ et al. (2016b) konnten in ihrer Studie nur uneindeutige Ergebnisse bezüglich der systolischen Funktion nach Distanzritten von 160 km vorweisen. Die in der vorliegenden Studie erhobenen Messwerte waren größtenteils ebenfalls nicht statistisch signifikant verringert, es konnte aber eine Tendenz zur Abnahme der Werte ermittelt werden. Ebenfalls lieferten Studien aus der Humanmedizin keine eindeutigen Ergebnisse, ob durch eine langanhaltende Ausdauerleistung eine systolische Dysfunktion entsteht, wie eine Metaanalyse verschiedener Studien von LORD et al. (2018) zeigte. FLETHØJ et al. (2016b) stellten die Vermutung auf, dass es möglicherweise zu einem späteren Zeitpunkt nach der Belastung zu einer systolischen Dysfunktion kommen könnte. Die Veränderungen wären somit bei einer Untersuchung direkt nach dem Ritt nicht nachvollziehbar. Wie bei FLETHØJ et al. (2016b) wurde in der vorliegenden Studie die Untersuchung direkt nach der Belastung durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren die systolischen Messwerte auch in der vorliegenden Studie nur geringfügig vermindert. Im Gegensatz zu den erhobenen Werten des M- und B-Modes in der vorliegenden Studie konnte nach drei Tagen weiterhin eine Erniedrigung der Kontraktilität der systolischen Messwerte der STE im Vergleich zu den erhobenen Werten nach dem Rennen ermittelt werden. Bei der Untersuchung der systolischen longitudinalen Geschwindigkeit konnte bei der Untersuchung nach drei Tagen im Vergleich zu nach dem Rennen eine statistisch signifikante Erniedrigung in einigen Segmenten festgestellt werden. Diese waren nach dem Rennen noch

nicht nachweisbar verändert. Auch die systolische longitudinale Strain und Strain Rate waren drei Tage nach dem Distanzritt deutlich reduziert. Beim Menschen ist eine Dysfunktion in der Systole erst ab einer Belastungsdauer von sechs Stunden nachweisbar (MCGAVOCK et al., 2002). Die Daten in der vorliegenden Studie belegen eine systolische Dysfunktion des Myokards drei Tage nach dem Distanzritt. Direkt nach dem Rennen konnte nur eine geringgradige Abnahme der erhobenen systolischen Parameter ermittelt werden.

In der vorliegenden Studie konnte der Hypothese entsprechend eine Reduktion der frühdiastolischen Geschwindigkeit und der Verformungsrate des Myokards nach dem Rennen festgestellt werden. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Untersuchung von FLETHØJ et al. (2016b) sowie mit Studien mit humanen Ausdauerathleten (DAWSON et al., 2008; SCOTT et al., 2009). Die Verringerung der Messwerte konnte vor allem in der longitudinalen sowie in der radialen Strain Rate beobachtet werden. Die aus der vorliegenden Studie gewonnenen Ergebnisse stehen im Gegensatz zu einer Studie aus der Humanmedizin, in der die zirkumferentielle Strain Rate die höchste Erniedrigung zeigte (DAWSON et al., 2008). In der vorliegenden Arbeit waren die Veränderungen des Umfangs nur geringgradig nachvollziehbar. Dieses Ergebnis hängt möglicherweise mit einer schlechten lateralen Auflösung der SAX in der vorliegenden Studie zusammen. Die radialen Veränderungen waren optisch gut nachvollziehbar. Die Abgrenzung des linken Ventrikels zur Peripherie war hingegen häufig aufgrund von Artefakten weniger gut beurteilbar. Eventuell führte das zu Trackingproblemen der Software.

FLETHØJ et al. (2016b) diskutierten in ihrer Veröffentlichung die Folgen der Dehydratation auf die Messwerte in der frühen Diastole. Es könnte sein, dass durch den verminderten venösen Zustrom zum Herzen durch eine Verringerung des absoluten Blutvolumens als Folge einer Dehydratation eine verminderte passive Füllung des linken Ventrikels erfolgte. Dadurch könnten die verminderten Strain Raten und Verformungsgeschwindigkeiten des Myokards zustande kommen. Dieser Theorie steht eine humane Studien entgegen, die eine Reduktion der diastolischen Funktion bei erhaltenem Blutvolumen feststellte (SHAVE et al., 2004). Auch FLETHØJ et al. (2016b) erkannten in ihrer Studie, dass eine Veränderung der erhobenen Parameter noch am Tag nach dem Rennen bestand, obwohl Hämatokrit und Totalprotein den Ursprungswert erreichten. In welchem Ausmaß die Dehydratation die frühdiastolischen Messwerte beeinflusst ist abschließend nicht geklärt. Auch die in der vorliegenden Studie erhobenen Befunde sprechen für eine Einflussnahme des Dehydratationsstatus auf die Messungen direkt nach dem Distanzritt. Es konnte eine Normalisierung der stark volumenabhängigen standardechokardiografischen Messwerte nach drei Tagen bei einer persistierenden, beziehungsweise fortschreitenden, diastolischen Reduktion der mittels STE erhobenen Werte ermittelt werden.

Erwartungsgemäß wurde in der vorliegenden Studie auch eine Verminderung der spätdiastolischen Strain Raten ermittelt. Diese Ergebnisse decken sich mit der Studie von FLETHØJ et al. (2016b). Diese bekräftigen die Ergebnisse aus der frühen Diastole und das Vorhandensein einer diastolischen Dysfunktion durch langanhaltende Ausdauerleistung. Da die Relaxation mit Füllung der Ventrikel vor allem in der frühen Diastole vonstattengeht, ist der späten Diastole weniger Einfluss zuzusprechen.

Die frühe systolische positive zirkumferentielle Strain ( $SC_P$ ) kommt durch verspätet aktivierte oder dysfunktionale Segmente zustande. Diese folgen der Kontraktion von benachbarten Segmenten (BIJNENS et al., 2009). Bei gesunden Pferden mit einer normalen Kontraktilität des Myokards des linken Ventrikels sollte dieser Peak nicht oder nur geringgradig ausgeprägt sein (DECLOEDT et al., 2013). Bei der Untersuchung der Durchführbarkeit des Speckle Trackings in der kurzen Ebene stellten DECLOEDT et al. (2013) vor allem in den Segmenten der freien Wand des linken Ventrikels einen Peak von  $SC_P$  fest. Dies konnte in der vorliegenden Studie ebenfalls nachvollzogen werden. Der Ausschlag der frühsystolischen positiven zirkumferentiellen Strain war im „Inf“- , „Lat“- und „Post“-Segment deutlich höher als in den anderen. DECLOEDT et al. (2013) lieferten zwei verschiedene Erklärungen für dieses Ergebnis. Zum einen kann es tatsächlich sein, dass die Segmente der freien Wand verzögert kontrahieren, zum anderen kann das Ergebnis mit einer reduzierten lateralen Auflösung des Ultraschallkopfes in der Tiefe zusammenhängen. Die damit einhergehende schlechtere Bildbeschaffenheit kann zu einer verminderten Trackingqualität führen. Dafür würden auch die erniedrigten Werte der zirkumferentiellen Strain (SC) und der systolischen zirkumferentiellen Strain Rate ( $SrC_S$ ) der Segmente der linken freien Wand sprechen, die in der vorliegenden Studie sowie bei der Veröffentlichung von DECLOEDT et al. (2013) und einer Studie von SCHWARZWALD et al. (2009) festgestellt werden konnten.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie hervorzuheben ist die Erkenntnis, dass  $SC_P$  in den septalen Segmenten nach dem Distanzritt einen höheren Ausschlag vor dem Ritt zeigte. Im Gegensatz dazu zeigten jedoch die Segmente der lateralen freien Wand einen deutlich niedrigeren Peak nach dem Ritt als davor. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis ist, dass zwar die septalen Segmente verspätet aktiviert werden, die Segmente der freien Wand allerdings nun schneller folgen als vor dem Rennen (DECLOEDT et al., 2013). Möglicherweise hängt dies mit einem verminderten Blutvolumen infolge von Dehydratation zusammen. Durch weniger Volumen im Ventrikel muss die linke freie Wand gegen weniger Druck arbeiten und wird so womöglich schneller von den septalen Segmenten Richtung Septum gezogen.

Insgesamt sprechen die Veränderungen der Werte der STE in der vorliegenden Studie direkt nach dem Rennen überwiegend in der frühen Diastole für eine verminderte Funktion des linken Ventrikels. Eine systolische Dysfunktion des linken Ventrikels scheint aus den erhobenen Daten der vorliegenden Studie erst zu einem späteren Zeitpunkt nach langanhaltender Belastung aufzutreten. Sowohl die systolischen als auch die diastolischen Veränderungen nehmen drei Tage nach dem Distanzritt zu beziehungsweise persistieren. Die Dauer der Veränderungen konnte in der vorliegenden Studie nicht geklärt werden. Auch die Ursachen dieser Veränderungen sind weder in der Humanmedizin noch in der Veterinärmedizin vollständig geklärt. Hierfür sind in Zukunft weitere Studien notwendig.

### **Elektrokardiogramm**

Die Elektrokardiogramme konnten in der vorliegenden Studie zum größten Teil mit nur wenigen Artefakten ausgewertet werden. Sechs Pferde zeigten bei der Auswertung der EKGs vor dem Ritt physiologische Arrhythmien. Darunter waren vier Pferde mit Sinusarrhythmien und ein Pferd mit einem AV-Block Grad II (Mobitz Typ 2). Bei zwei Pferden traten sowohl eine Sinusarrhythmie als auch ein AV-Block Grad II auf. Direkt nach dem Rennen traten Sinusarrhythmien bei fünf Pferden auf. Es konnten sonst keine weiteren Arrhythmien nach dem Ritt festgestellt werden. Sinusarrhythmien und AV-Blöcke bis Grad II gelten als physiologisch einzustufenden Arrhythmien und können durch einen in Ruhe vorherrschenden Vagotonus erklärt werden. Diese sollten während der Belastungsphase durch einen erhöhten Sympathikotonus verschwinden (ALLEN et al., 2016). In der vorliegenden Studie konnte wie bei ALLEN et al. (2016) ein Auftreten von Sinusarrhythmien direkt nach der Belastung beobachtet werden. Jedoch konnte bei der Aufnahme der EKGs nach dem Rennen kein AV-Block Grad II detektiert werden. Diese traten erst bei der Untersuchung nach drei Tagen bei zwei Pferden wieder auf.

Im Gegensatz zur Veröffentlichung von FLETHØJ et al. (2016a) konnten in der vorliegenden Arbeit keine Extrasystolen während der EKGs aufgezeichnet werden. Dies kann daran liegen, dass in der vorliegenden Studie eine deutlich kürzere Aufnahmezeit von fünf Minuten gewählt wurde. Im Gegensatz dazu betrug die Aufnahmezeit nach dem Ritt bei FLETHØJ et al. (2016a) bis zu 12 Stunden und die ausgewerteten Abschnitte waren jeweils 30 Minuten lang. Es bestand somit in der vorliegenden Arbeit eine geringere Wahrscheinlichkeit auftretende Extrasystolen zu beobachten. Eine längere Aufnahmezeit war jedoch aufgrund technischer Limitationen, wie der Verfügbarkeit von nur einem portablen EKG Gerät, nicht möglich. Weiterhin ist es aus reglementarischen Gründen nicht möglich vor Beendigung der letzten tierärztlichen Untersuchung Hilfsmittel an das Pferd anzubringen (FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020). Somit ist es auch nicht möglich, die Zeit vom Zieleinlauf bis nach

der Verfassungskontrolle mittels EKG aufzuzeichnen. Es ist jedoch anzunehmen, dass in dieser Zeit besonders viele Extrasystolen auftreten, da das Gleichgewicht von Parasympathikus und Sympathikus erst wiederhergestellt werden muss.

In der vorliegenden Arbeit konnte die Hypothese bestätigt werden, dass eine höhere maximale Herzfrequenz nach dem Rennen bei vorzeitig ausgeschiedenen Pferden ( $82 \pm 19$  bpm) im Vergleich zu Finishern ( $70 \pm 16$  bpm) vorliegt. Auch YOUNES et al. (2015) kommen in ihrer retrospektiven Studie ebenfalls zu diesem Ergebnis. Pferde mit einem höheren Grad an Erschöpfung wiesen eine höhere Herzfrequenz auf. Dafür könnte eine erhöhte sympathische Aktivität der ausgeschiedenen Pferde ursächlich sein. Aus diesem Grund ist die Herzfrequenz ein Parameter, der bei den tierärztlichen Verfassungskontrollen während des Rennens zur Einschätzung der weiteren Teilnahmefähigkeit verwendet wird (FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE, 2020).

Bei den übrigen Parametern wie SDNN, RMSSD, SD1 und SD2 wurde entgegen der Hypothese ein höherer Wert bei den ausgeschiedenen Pferden im Vergleich zu den Finishern festgestellt. Allerdings sei zu erwähnen, dass nur vier Pferde zur Gruppe der Ausscheider gehörten und die Standardabweichung eine sehr große Spanne aufwies. Aufgrund der niedrigen Anzahl an Studienobjekten konnte statistisch nicht sinnvoll zwischen Ausscheidern aus Lahmheits- und metabolischen Gründen unterschieden werden. Es konnte bei der Auswertung im Vergleich zwischen den Ausscheidern und dem Finishern nach dem Rennen für keinen HRV-Parameter eine statistische Signifikanz festgestellt werden. Aus diesem Grund sollten bei zukünftigen Studien größere Studienpopulationen verwendet werden.

In der vorliegenden Studie konnte eine Erniedrigung des RR-Abstands nach dem Rennen ( $1468 \pm 240$  ms davor,  $1175 \pm 155$  ms danach) und eine Erhöhung der Herzfrequenz nach dem Rennen im Vergleich zu davor (davor  $42 \pm 7$  bpm, danach  $52 \pm 6$  bpm) festgestellt werden. Die erhobenen Befunde stimmen mit denen von FLETHØJ et al. (2016a) veröffentlichten Daten überein. Die Autoren konnten bis zu zehn Stunden nach dem Distanzritt eine statistisch signifikant höhere Herzfrequenz nachweisen. Auch bei humanen Athleten konnten FAZACKERLEY et al. (2019) eine höhere Herzfrequenz noch am Folgetag nach einem Ultramarathon feststellen. Eine erhöhte Herzfrequenz könnte eine Folge von erhöhtem Sauerstoffbedarf der Zellen zur Reparatur von Schäden nach der langandauernden Belastung sein. Ebenfalls ist es möglich, dass durch ein vermindertes Blutvolumen durch Dehydratation während der Ausdauerleistung eine Stimulation des Sympathikus durch den Barorezeptor-Reflex erfolgt. Dies hätte wiederum eine höhere Herzfrequenz als Ausgleich für das niedrigere Schlagvolumen zur Folge, welches nach der Belastung bis zur Rehydratation bestünde (FLETHØJ et al., 2016a).



Weiterhin konnte in der vorliegenden Studie eine Verringerung des parasympathischen Parameters SDNN nach dem Rennen festgestellt werden. Zu gleichen Ergebnis kamen FLETHØJ et al. (2016a) in einer Studie mit 19 Distanzpferden nach Belastung. Die Verringerung des SDNN-Parameters spricht für eine Reduktion der parasympathischen Aktivität und eine Zunahme des Sympathikotonus während der Belastung. Unterstützt wird diese Hypothese dadurch, dass sich in der vorliegenden Studie der SDNN Wert drei Tagen nach dem Ritt im Verhältnis zum Ausgangswert vor dem Ritt sogar verlängerte. Es ist davon auszugehen, dass sich die Pferde zum einen in den drei Tagen erholen konnten und zum anderen in ihrer gewohnten Umgebung entspannter waren.

Ähnliche Ergebnisse wurden in der vorliegenden Studie bei dem HRV-Parameter RMSSD ermittelt. Hier konnte ebenfalls eine Verringerung des Wertes direkt nach dem Rennen und eine deutliche Erhöhung des Parameters nach drei Tagen ermittelt werden. Dass eine niedrige RMSSD ein Anzeichen für Ermüdung und schlechte Erholung nach Belastung ist, wurde schon von YOUNES et al. (2015) mit Belastungstests von Distanzpferden gezeigt. Die Autoren dieser Studie sehen die RMSSD als eine Möglichkeit, Distanzpferde mit einer schnellen Regeneration gezielt auszuwählen. Auch beim Menschen wurde nach einer länger andauernden Belastung eine Reduktion der RMSSD festgestellt (HAUTALA et al., 2001).

Die Werte des Poincaré-Plots (SD1 und SD2) zeigten in der vorliegenden Studie eine Verringerung nach dem Ritt im Vergleich zu davor. Wie bei den oben genannten Parametern konnte hier nochmals eine deutlichere Erhöhung nach drei Tagen festgestellt werden. Die Ergebnisse dieser nichtlinearen Parameter lassen darauf schließen, dass nach dem Rennen noch eine Verringerung des Tonus des Parasympathikus vorherrscht. Ebenfalls unterstützten diese Werte die Vermutung, dass nach drei Tagen der Vagotonus in gewohnter Umgebung deutlich höher ist als in einer fremden Umgebung vor einem Turnier.

Bei der Analyse der frequenzbezogenen Parameter in der vorliegenden Studie konnte für alle Frequenzen eine Abnahme der Oszillationen nach dem Rennen im Vergleich zu vorher ermittelt werden. Die Oszillationen nahmen nach drei Tagen wieder deutlich zu und übertrafen, wie vorher die Werte des Poincaré-Plots, die Ergebnisse von vor dem Rennen.

### **Blutdruckmessung**

Bei der Blutdruckmessung konnte bei der vorliegenden Studie nur eine sehr geringe Differenz zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten ermittelt werden. Dies war soweit bekannt die erste Arbeit, die sich mit der Blutdruckmessung von equinen Athleten vor und nach einer Belastung beschäftigte. Da eine zu geringe Anzahl an Messwerten während der Pausen erhoben werden konnte, war es nicht möglich eine lineare Regression von Beginn des Rennens bis nach dem Rennen zu beschreiben. Die Bereitschaft der Reiter den Blutdruck

während der Pausen untersuchen zu lassen war nicht immer gegeben, sodass es insgesamt zu wenigen Messergebnissen kam. Bei fast allen Reitern durfte erst ab der dritten Pausen mit dem Messen des Blutdrucks der Pferde begonnen werden. Die Reiter befürchteten, dass sich die Pferde während der Messung gestört fühlen könnten und weniger Futter aufnehmen würden.

Ein weiteres Problem entstand dadurch, dass viele Pferde die Pause zeitgleich begannen. Da nur ein Blutdruckmessgerät zur Verfügung stand, konnten nur bei einem Teil der Pferde die Messungen erfolgen, bis diese wieder in die nächste Runde starteten.

Ob tatsächlich eine Entscheidungshilfe bezüglich des Ausscheidens anhand des Blutdrucks bei tierärztlichen Verfassungskontrollen getroffen werden kann, muss in weiteren Studien untersucht werden. Die Schwierigkeit hierbei wird vor allem technischer und logistischer Natur sein. Es werden mehrere Blutdruckmessgeräte benötigt, um so viele Pferde wie möglich während der vorgeschriebenen Pausenzeit untersuchen zu können.

Es konnte somit bei der vorliegenden Arbeit nur der Blutdruck nach dem Rennen im Vergleich zu vor dem Rennen ermittelt werden. Hierbei konnte kein Unterschied festgestellt werden. In der Pferdemedizin gibt es nach aktuellem Stand keine Untersuchungen zum Blutdruckverlauf während langer, stetiger Belastung. Allein in der humanen Sportmedizin gibt es Veröffentlichungen zum Blutdruckverlauf während Marathonläufen (KIM et al., 2015; PARK et al., 2018).

### **Einschränkungen**

Durch das Studiendesign gab es einige Einschränkungen: Es war nur eine begrenzte Anzahl an Pferden während der gegebenen Zeit untersuchbar, sodass die Datenerhebung an drei verschiedenen Veranstaltungsorten erfolgen musste, um eine genügend große Anzahl an Probanden zu untersuchen. Dadurch waren die Bedingungen für die Probanden nicht exakt die gleichen. Zudem konnten während der jeweiligen Veranstaltung nur wenige Pferde untersucht werden, da nur ein begrenzter Zeitraum zur Datenerhebung und limitiertes Untersuchungsequipment vorhanden war. Aus diesem Grund sind retrospektive Studien vorteilhafter, da für diese aus einer Vielzahl von gesammelten Fällen eine Auswertung stattfinden kann. Für die vorliegende Studie liegen aber keinerlei Daten vor, die ausgewertet werden könnten.

Durch die oben genannten limitierenden Faktoren konnten insgesamt nur 29 Pferde untersucht werden. Die Aussagekraft von Studien mit wenigen Teilnehmern ist geringer als bei Untersuchungen, an denen eine große Anzahl an Probanden teilnehmen. Die Anzahl an Probanden in der vorliegenden Studie war jedoch vergleichbar mit vorhergehenden Untersuchungen mit einem ähnlichen Studiendesign bei Distanzpferden. So untersuchten

AMORY et al. (2010) elf Distanzpferde bei insgesamt drei Ritten und FLETHØJ et al. (2016b) 26 Distanzpferde ebenfalls an drei Veranstaltungsorten. Die durch die vorliegende Studie erhobenen Ergebnisse sind somit vergleichbar mit der bisherigen Literatur zu dieser Thematik. Für eine valide Aussage und Entwicklung von Referenzwerten ist allerdings eine deutlich höhere Anzahl an Probanden nötig.

Eine weitere Einschränkung der vorliegenden Studie war, dass die Zeit bis zur Untersuchung nach dem Distanzritt nicht für alle Pferde gleich lang war. Es ist zu erwarten, dass die größten Veränderungen direkt nach dem Ritt zu messen sind. Aufgrund der eingeschränkten personellen und technischen Gegebenheiten, hatten einige Pferde mehr Zeit bis zur Nachuntersuchung als andere. Inwieweit sich das auf die erhobenen Ergebnisse auswirkt bleibt ungewiss.

### **Schlussfolgerung und Ausblick**

In der vorliegenden Arbeit konnten signifikante Reduktionen der diastolischen Messwerte der Kontraktilität des Herzmuskels und eine Abnahme der parasymphatischen Parameter der HRV nach einem Distanzritt von mindestens 86 km festgestellt werden. Die Veränderungen zeigten sich wie bei einer vorherigen Studie von FLETHØJ et al. (2016b) sowohl bei Finishern als auch bei Ausscheidern. Es bleibt somit ungewiss inwieweit die Veränderungen tatsächlich Auswirkungen auf die Leistungs(un-)fähigkeit des Pferdes und auf das Ergebnis des Rittes haben. Um etwaige Zusammenhänge aufzudecken sind weitere Studien notwendig, die eine höhere Fallzahl von Ausscheidern und Finishern vergleichen.

Eine neue Erkenntnis aus dieser Studie ist, dass eine systolische Dysfunktion erst zu einem späteren Messzeitpunkt sicher mittels STE nachweisbar ist. Während die standardechokardiografische Messungen und die Veränderungen der Herzratenvariabilität drei Tage nach dem Distanzritt wieder zum Ursprungswert zurückkehrten, respektive diesen übertrafen, nahmen die systolische und diastolische mittels STE gemessene myokardiale Kontraktilität weiter ab. Bis zu welchem Zeitpunkt diese Veränderungen anhalten, kann mit der vorliegenden Studie nicht geklärt werden.

Auch für die Blutdruckmessung sind weitere Studien von Nöten. Eine Durchführung mit Messungen in allen Pausen bei möglichst vielen Probanden wie sie im Rahmen dieser Studie zunächst geplant war, wäre sicherlich die erfolversprechendste Methode. Der Verlauf des Blutdrucks im Verlauf der Belastung wäre auf die Weise am besten nachvollziehbar.

## 6. Zusammenfassung

Selina Kuban

### „Speckletracking, Herzratenvariabilität und Blutdruckmessung beim Distanzpfred“

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob und welche Veränderungen durch die ausdauernde, langanhaltende Belastung während eines Distanzrittes bei der mittels Speckle Tracking gemessenen Myokardfunktion, der Herzratenvariabilität sowie beim Blutdruck der Probanden auftreten können. Dabei wurden die Messwerte vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen ermittelt und verglichen. Weiterhin wurde zum Messzeitpunkt nach dem Distanzritt die Werte von Finishern und ausgeschiedenen Pferden verglichen, um etwaige Unterschiede zu ermitteln. Die Untersuchungen wurden bei 29 Pferden durchgeführt, die an einem Distanzritt zwischen 86 - 162 km an drei verschiedenen Veranstaltungsorten teilnahmen. Dabei wurde jeweils eine Echokardiografie, ein Ruheelektrokardiogramm zur Berechnung der Herzratenvariabilität und nicht invasive Blutdruckmessung mittels High-definition Oszillometrie durchgeführt. Bei der Echokardiografie wurden B-Mode Messungen, M-Mode Messungen und offline Speckle Tracking Analysen in der kurzen und langen Achse durchgeführt. Die nicht invasive Blutdruckmessung fand auch in der Pause zwischen den einzelnen Runden bei einigen Probanden statt.

Zum Messzeitpunkt nach dem Distanzritt konnten in den standardechokardiografischen Untersuchungen des B-Modes eine statistisch signifikant größere Fläche des linken Vorhofes zu allen drei Messzeitpunkten während des Herzzyklus im Vergleich zu den Werten vor dem Distanzritt festgestellt werden. Bei der Untersuchung der myokardialen Verformung mittels Speckle Tracking konnten bei den frühdiastolischen Messwerten nach dem Distanzritt statistisch signifikant niedrigere Werte erhoben werden, was für das Vorliegen einer diastolischen Dysfunktion im Sinne einer „exercise-induced cardiac fatigue“ spricht. Die systolischen Werte hingegen waren zunächst weniger eindeutig. Auch der Vergleich der Werte nach dem Distanzritt zwischen den Gruppen „Lahmheiten“ und „metabolische“ Ausscheider zeigten keine eindeutige Tendenz. Bei der Untersuchung nach drei Tagen konnte jedoch eine deutliche Verringerung der systolischen Messwerte des Speckle Trackings und eine Persistenz, beziehungsweise eine weitere Abnahme, der diastolischen Messwerte nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu erreichten die standardechokardiografischen Messwerte nach drei Tagen wieder ihren Ausgangswert beziehungsweise übertrafen diesen sogar. Es konnte somit nachgewiesen werden, dass mittels Speckle Tracking

Echokardiografie eine genauere Messung der myokardialen Kontraktilität nach einer Ausdauerbelastung erfolgen kann.

Die Herzfrequenzvariabilität zeigte insgesamt eine deutliche Abnahme der parasympathischen Messwerte nach dem Ritt. Hier konnte ein deutlicher Einfluss der Belastung auf die Herzratenvariabilität mit einer Dominanz des Sympathikus zu Lasten des parasympathischen Nervensystems ermittelt werden. Auch bei der Herzratenvariabilität konnten nach drei Tagen die ursprünglichen Messwerte von vor dem Distanzritt erreicht, respektive übertroffen, werden. Die Blutdruckmessung hingegen ergab nur geringe Veränderungen, wobei der systolische Blutdruck vor dem Rennen höher war als danach. Der diastolische Blutdruck zeigte genau gegenteiliges Verhalten.

Insgesamt weisen die erhobenen Ergebnisse der vorliegenden Studie auf eine diastolische Dysfunktion direkt nach langandauernder Belastung beim Distanzpfers hin, die mittels standardechokardiografischen Messungen und der Speckle Tracking Echokardiografie ermittelt werden konnten. Eine systolische Dysfunktion konnte erst nach drei Tagen mittels Speckle Tracking Echokardiografie, jedoch nicht mittels standardechokardiografischen Messwerten ermittelt werden. Die Herzratenvariabilität erwies sich als brauchbare Technik, um Veränderungen des autonomen Nervensystems durch Ausdauerleistungen zu ermitteln. Die Blutdruckmessung hingegen brachte kaum weiterführende Erkenntnisse. Alle drei verwendeten Methoden erwiesen sich als nicht brauchbar um vorauszusagen, ob ein Pferd das Rennen erfolgreich beenden oder vorzeitig ausscheiden wird.

## 7. Summary

Selina Kuban

### **„Speckle tracking, heart rate variability and blood pressure measurements in endurance horses”**

The previous study investigated, whether and which changes of the heart rate variability, of the myocardial function via measurement with speckle tracking and in blood pressure exist due to strenuous endurance exercise during an endurance ride. The participating horses were investigated before and after the race as well as after three days after finishing the race. We compared also the measurements of the horses, who completed the race successfully and the horses, who failed to complete the race. The data were collected from 29 participating horses at three different long-distance endurance events lasting from 68 - 162 km. An echocardiography, a resting ecg and noninvasive blood pressure measurement with high-definition oscillometry advice were performed. B-mode, M-mode and offline speckle tracking analyses in the short and long axis view were carried out. In addition, the blood pressure was measured at mandated stops between the loops.

The standard echocardiographic examinations of the B-mode at the measurements after the endurance ride showed a statistically significant larger area of the left atrium at all three measurement points during the cardiac cycle compared to the values before the endurance ride. In the examination of myocardial contractility using speckle tracking echocardiography statistically significant lower values were found in the early diastolic measurements after the endurance ride, which suggest the presence of diastolic dysfunction in the sense of an “exercise-induced cardiac fatigue”. However, the systolic values after the ride were initially less clear. The comparison of the values after the endurance ride between the groups “lameness” and “metabolic” did not show a clear tendency either. After three days, a marked reduction in the systolic values of speckle tracking and a persistence or even an exceed of the diastolic values could be demonstrated. In contrast, the standard echocardiographic measurements returned to or even exceeded the baseline three days after the endurance race. Thus, it could be demonstrated that Speckle Tracking echocardiography allows a more accurate measurement of myocardial contractility after strenuous endurance exercise.

Overall, the heart rate variability showed a significant decrease in the parasympathetic parameters after the endurance ride. This showed a marked influence of strenuous exercise on heart rate variability with a predominance of the sympathetic nervous system at a

disadvantage of the parasympathetic nervous system. After three days, the heart rate variability also reached or exceeded the previous values measured before the endurance ride. In contrast, the blood pressure measurements showed only minor changes, with systolic blood pressure being higher before the race than afterwards. The diastolic blood pressure showed exactly the opposite effect.

Overall, the results of the present study indicate the presence of a diastolic dysfunction after long-term strenuous exercise, which could be determined by standard echocardiographic measurements and Speckle Tracking echocardiography. Systolic dysfunction could only be detected after three days by using Speckle Tracking echocardiography, but not by standard echocardiographic measurements. Heart rate variability also proved to be a useful technique to detect changes due to endurance exercise. Blood pressure measurement provided only little further insight. All three methods proved to be useless to predict whether a horse would finish the endurance race successfully or retire early.

## 8. Literaturverzeichnis

Acierno, M. J., Brown S., A. E. Coleman A. E., R. E. Jepson, M. Papich, R. L. Stepien und H. M. Syme (2018):

ACVIM consensus statement: Guidelines for the identification, evaluation, and management of systemic hypertension in dogs and cats.

J Vet Intern Med., **32**, 1803-1822

doi: 10.1111/jvim.153

Al-Qudah, K. M. und A. M. Al-Majali (2008):

Higher Lipid Peroxidation Indices in Horses Eliminated from Endurance Race Because of Synchronous Diaphragmatic Flutter (Thumps).

J Equine Vet Sci., **28**, 573-578

doi: 10.1016/j.jevs.2008.08.007

Alberti, E., G. Stucchi, Stancari, E. Ferro, F. Ferrucci und E. Zucca (2019):

Indirect Blood Pressure Measurement in Horses: Is There an Influence of Age, Sex, Breed, Bodyweight, and Cardiac Diseases on Pressure Values?

J Equine Vet Sci., **79**, 139-144

doi: 10.1016/j.jevs.2019.06.006

Allen, K. J., L. E. Young und S. H. Franklin (2016):

Evaluation of heart rate and rhythm during exercise.

Equine Vet Educ., **28**, 99-112

doi: 10.1111/eve.12405

Amory, H., D. M. Votion, A. Fraipont, A. G. Goachet, C. Robert, F. Farnir und E. Van Erck (2010):

Altered systolic left ventricular function in horses completing a long distance endurance race.

Equine Vet J Suppl., **42**, 216-219

doi: 10.1111/j.2042-3306.2010.00253.x

Bansal, M. und R. R. Kasliwal (2013):

How do I do it? Speckle-tracking echocardiography.

Indian Heart J., **65**, 117-123

doi: 10.1016/j.ihj.2012.12.004



Bennet, E. D. und T. D. H. Parkin (2018):

Federation Equestre Internationale endurance events: Risk factors for failure to qualify outcomes at the level of the horse, ride and rider (2010-2015).

Vet J., **236**, 44-48

doi: 10.1016/j.tvjl.2018.04.011

Bennet, E. D. und T. D. H. Parkin (2019):

The impact of the mandatory rest period in Federation Equestre Internationale endurance events.

Equine Vet J., **52**, 268-272

doi: 10.1111/evj.13148

Bijnens, B. H., M. Cikes, P. Claus und G. R. Sutherland (2009):

Velocity and deformation imaging for the assessment of myocardial dysfunction.

Eur J Echocardiogr., **10**, 216-226

doi: 10.1093/ejechocard/jen323

Binns, S. H., D. D. Sisson, D. A. Buoscio und D. J. Schaeffer (1995):

Doppler ultrasonographic, oscillometric sphygmomanometric, and photoplethysmographic techniques for noninvasive blood pressure measurement in anesthetized cats.

J Vet Intern Med., **9**, 405-414

doi: 10.1111/j.1939-1676.1995.tb03301.x

Blessberger, H. und T. Binder (2010):

NON-invasive imaging: Two dimensional speckle tracking echocardiography: basic principles.

Heart, **96**, 716-722

doi: 10.1136/hrt.2007.141002

Bogucki, S. und A. Noszczyk-Nowak (2017):

Short-term heart rate variability in dogs with sick sinus syndrome or chronic mitral valve disease as compared to healthy controls.

Pol J Vet Sci., **20**, 167-172

doi: 10.1515/pjvs-2017-0021

Borresen, J. und M. I. Lambert (2008):

Autonomic control of heart rate during and after exercise : measurements and implications for monitoring training status.

Sports Med., **38**, 633-646

doi: 10.2165/00007256-200838080-00002

Bowen, I. M. und C. M. Marr (1998):

Assesment of glycopyrrolate and propranolol on frequency domain analysis of heart rate variability in the horse.

J Vet Intern Med., **12**, 255

URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1939-1676.1998.tb02118.x>

Bowen, I. M. und C. M. Marr (2010):

Cardiology of the Horse.

2. Ausgabe, Edinburgh; Elsevier Limited - ISBN 978-0702028175

Bussadori, C., A. Moreo, M. Di Donato, B. De Chiara, D. Negura, E. Dall'Aglio, E. Lobiati, M. Chessa, C. Arcidiacono, J. S. Dua, F. Mauri und M. Carminati (2009):

A new 2D-based method for myocardial velocity strain and strain rate quantification in a normal adult and paediatric population: assessment of reference values.

Cardiovasc Ultrasound., **7**

doi: 10.1186/1476-7120-7-8

Cameli, M., G. E. Mandoli, C. Sciaccaluga und S. Mondillo (2019):

More than 10 years of speckle tracking echocardiography: Still a novel technique or a definite tool for clinical practice?

Echocardiography, **36**, 958-970

doi: 10.1111/echo.14339

Crispe, E. J., G. D. Lester, C. J. Secombe und D. I. Perera (2017):

The association between exercise-induced pulmonary haemorrhage and race-day performance in Thoroughbred racehorses.

Equine Vet J., **49**, 584-589

doi: 10.1111/evj.12671

Dawson, E. A., G. P. Whyte, M. A. Black, H. Jones, N. Hopkins, D. Oxborough, D. Gaze, R. E. Shave, M. Wilson, K. P. George und D. J. Green (2008):

Changes in vascular and cardiac function after prolonged strenuous exercise in humans.

J Appl Physiol., **105**, 1562-1568

doi: 10.1152/jappphysiol.90837.2008

Decloedt, A., S. Ven, D. De Clercq, F. Rademakers und G. van Loon (2020):  
Assessment of left ventricular function in horses with aortic regurgitation by 2D speckle tracking.

BMC Vet Res., **16**, 93

doi: 10.1186/s12917-020-02307-5

Decloedt, A., T. Verheyen, S. Sys, D. De Clercq und G. van Loon (2011):  
Quantification of left ventricular longitudinal strain, strain rate, velocity, and displacement in healthy horses by 2-dimensional speckle tracking.

J Vet Intern Med., **25**, 330-338

doi: 10.1111/j.1939-1676.2010.0663.x

Decloedt, A., T. Verheyen, S. Sys, D. De Clercq und G. van Loon (2013):  
Two-dimensional speckle tracking for quantification of left ventricular circumferential and radial wall motion in horses.

Equine Vet J., **45**, 47-55

doi: 10.1111/j.2042-3306.2012.00549.x

Donaldson, J. A., J. D. Wiles und D. A. Coleman (2019):  
Left Ventricular Function and Cardiac Biomarker Release—The Influence of Exercise Intensity, Duration and Mode: A Systematic Review and Meta-Analysis.

Sports Med., **49**, 1275–1289

doi: 10.1007/s40279-019-01142-5

Douglas, P. S., M. L. O'Toole, W. D. Hiller, K. Hackney und N. Reichel (1987):  
Cardiac fatigue after prolonged exercise.

Circulation, **76**, 1206-1213

doi: 10.1161/01.cir.76.6.1206

Duren, S. (1998):

Feeding the endurance horse.

World Equine Veterinary Review, **3**, 28-35

URL: <https://ker.com/wp-content/uploads/Feeding-the-Endurance-Horse.pdf>

Dwyer, R. M. und L. S. Thompson (1985):

The Practical Diagnosis and Treatment of Metabolic Conditions in Endurance Horses.

Iowa State Univ Vet., **47**, 15-21

URL:

[https://lib.dr.iastate.edu/iowastate\\_veterinarian/vol47/iss1/3/?utm\\_source=lib.dr.iastate.edu%](https://lib.dr.iastate.edu/iowastate_veterinarian/vol47/iss1/3/?utm_source=lib.dr.iastate.edu%)

2Fiowastate\_veterinarian%2Fvol47%2Fiss1%2F3&utm\_medium=PDF&utm\_campaign=PDF  
CoverPages

Egner, B. (2015):

High Definition Oscillometry: Non-invasive Blood Pressure Measurement and Pulse Wave  
Analysis.

Handb Exp Pharmacol., **229**, 243-264

doi: 10.1007/978-3-662-46943-9\_10

The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and  
Electrophysiology (1996).

Guidelines: Heart rate variability Standards of measurement, physiological interpretation, and  
clinical use.

Eur Heart J., **17**, 354-381

doi: 10.1161/01.CIR.93.5.1043

von Engelhardt, W. (2015):

Physiologie der Haustiere

5. Auflage, Stuttgart: Enke Verlag - ISBN 9783830412687

Fazackerley, L. A., J. W. Fell und C. M. Kitic (2019):

The effect of an ultra-endurance running race on heart rate variability.

Eur J App Physiol., **119**, 2001-2009

doi: 10.1007/s00421-019-04187-6

Fédération Equestre Internationale (FEI) (2020):

Endurance Rules

Abgerufen am: 17.06.2020 um 13:07 Uhr, von: <https://inside.fei.org/fei/disc/endurance/rules>

Feldman, J. (1994):

Principles of sport medicine for the endurance and eventing horse.

J Equine Vet Sci., **14**, 331-332

doi: 10.1016/S0737-0806(06)82072-1

Fielding, C. L. und J. E. Dechant (2012).

Colic in competing endurance horses presenting to referral centres: 36 cases.

Equine Vet J., **44**, 472-475

doi: 10.1111/j.2042-3306.2011.00462.x

Fielding, C. L., K. G. Magdesian, D. M. Rhodes, C. A. Meier und J. C. Higgins (2009):  
Clinical and biochemical abnormalities in endurance horses eliminated from competition for  
medical complications and requiring emergency medical treatment: 30 cases (2005-2006).

J Vet Emerg Crit Care (San Antonio), **19**, 473-478

doi: 10.1111/j.1476-4431.2009.00441.x

Flaminio, M. J., E. M. Gaughan und J. R. Gillespie (1996):

Exercise intolerance in endurance horses.

Vet Clin North Am Equine Pract., **12**, 565-580

doi: 10.1016/s0749-0739(17)30273-0

Flethøj, M., J. K. Kanters, M. M. Haugaard, P. J. Pedersen, H. Carstensen, J. D. Balling, L.  
H. Olsen und R. Buhl (2016a):

Changes in heart rate, arrhythmia frequency, and cardiac biomarker values in horses during  
recovery after a long-distance endurance ride.

J Am Vet Med Assoc., **248**, 1034-1042

doi: 10.2460/javma.248.9.1034

Flethøj, M., C. C. Schwarzwald, M. M. Haugaard, H. Carstensen, J. K. Kanters, L. H. Olsen  
und R. Buhl (2016b):

Left Ventricular Function After Prolonged Exercise in Equine Endurance Athletes.

J Vet Intern Med., **30**, 1260-1269

doi: 10.1111/jvim.13982

Foreman, J. H. (1998):

The exhausted horse syndrome.

Vet Clin Am Equine Pract., **14**, 205-219

doi: 10.1016/s0749-0739(17)30220-1

Franco, V., C. Callaway, D. Salcido, S. McEntire, R. Roth und D. Hostler (2014):

Characterization of electrocardiogram changes throughout a marathon.

Eur J App Physiol., **114**, 1725-1735

doi: 10.1007/s00421-014-2898-6

Frick, L., C. C. Schwarzwald und K. J. Mitchell (2018):

The use of heart rate variability analysis to detect arrhythmias in horses undergoing a  
standard treadmill exercise test.

J Vet Intern Med., **33**, 212-224

doi: 10.1111/jvim.15358

Gehlen, H. (2009a):

Pferdekardiologie

1. Auflage, Hannover: Schluetersche GmbH & Co. KG Verlag und Druckerei - ISBN 978-3899930627

Gehlen, H. und L. M. Bildheim (2018):

Speckle-tracking analysis of myocardial deformation in correlation to age in healthy horses.

J Vet Sci., **19**, 676-682

doi: 10.4142/jvs.2018.19.5.676

Gehlen, H., C. Iversen und P. Stadler (2009b):

Grundlagen der Gewebedopplerechokardiographie beim Pferd.

Pferdeheilkunde, **25**, 4-10

doi: 10.21836/PEM20090101

Gehlen, H. und A. Schlaga (2019):

Echocardiographic Evaluation of Myocardial Function in Standardbreds During the First Year of Race Training.

J Equine Vet Sci., **80**, 40-48

doi: 10.1016/j.jevs.2019.07.001

George, K., R. Shave, D. Oxborough, T. Cable, E. Dawson, N. Artis, D. Gaze, T. Hew-Butler, K. Sharwood und T. Noakes (2009):

Left ventricular wall segment motion after ultra-endurance exercise in humans assessed by myocardial speckle tracking.

Eur J Echocardiogr., **10**, 238-243

doi: 10.1093/ejechocard/jen207

Gunther-Harrington, C. T., R. Arthur, K. Estell, B. Martinez Lopez, A. Sinnott, E. Ontiveros, A. Varga und J. A. Stern (2018):

Prospective pre- and post-race evaluation of biochemical, electrophysiologic, and echocardiographic indices in 30 racing thoroughbred horses that received furosemide.

BMC Vet Res., **14**, 18

doi: 10.1186/s12917-018-1336-0

Hagberg, J. M., R. C. Hickson, A. A. Ehsani und J. O. Holloszy (1980):

Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state.

J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol., **48**, 218-224

doi: 10.1152/jappl.1980.48.2.218

Hamlin, R. L., W. L. Klepinger, K. W. Gilpin und C. R. Smith (1972):

Autonomic control of heart rate in the horse.

Am J Physiol., **222**, 976-978

doi: 10.1152/ajplegacy.1972.222.4.976

Harvey, R. D. (2012):

Muscarinic receptor agonists and antagonists: effects on cardiovascular function.

Handb Exp Pharmacol. (208), 299-316.

doi: 10.1007/978-3-642-23274-9\_13

Hauk, K., U. Schatzmann, H. D. Lauk und K. A. von Plocki (1987):

Die indirekte Blutdruckmessung: Untersuchungen beim Kolikpferd.

Pferdeheilkunde, **3**, 323-331

URL:

[hippiatrika.com%2Fdownload.htm%3Fid%3D19870607&usg=AOvVaw271r9wNN32LEJ8s2465pBh](http://hippiatrika.com%2Fdownload.htm%3Fid%3D19870607&usg=AOvVaw271r9wNN32LEJ8s2465pBh)

Hautala, A., M. P. Tulppo, T. H. Makikallio, R. Laukkanen, S. Nissila und H. V. Huikuri

(2001):

Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise.

Clin Physiol., **21**, 238-245

doi: 10.1046/j.1365-2281.2001.00309.x

Holbrook, T. C. (2020):

The heart as a pump - why is this important?

Abgerufen am 18.10.2020, 19:11 Uhr, von <https://aerc.org/static/ENSept05Vet.aspx>

Hornicke, H., W. von Engelhardt und H. J. Ehrlein (1977):

Effect of exercise on systemic blood pressure and heart rate in horses.

Pflugers Arch., **372**, 95-99

doi: 10.1007/bf00582212

Jepson, R. E. (2011):

Feline systemic hypertension: Classification and pathogenesis.

J Feline Med Surg., **13**, 25-34

doi: 10.1016/j.jfms.2010.11.007

Jones, J. H. und S. L. Lindstedt (1993):

Limits to maximal performance.

Annu Rev Physiol., **55**, 547-569

doi: 10.1146/annurev.ph.55.030193.002555

Kim, Y. J., J. K. Ahn, K. A. Shin, C. H. Kim, Y. H. Lee und K. M. Park (2015):  
Correlation of Cardiac Markers and Biomarkers With Blood Pressure of Middle-Aged  
Marathon Runners.

J Clin Hypertens., **17**, 868-873

doi: 10.1111/jch.12591

Kinnunen, S., R. Laukkanen, J. Haldi, O. Hanninen und M. Atalay (2006):

Heart rate variability in trotters during different training periods.

Equine Vet J Suppl., 214-217

doi: 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05542.x

Kjeldsen, S., R. Mundal, L. Sandvik, G. Erikssen, E. Thaulow und J. Erikssen (1997):

Exercise Blood Pressure Predicts Cardiovascular Death and Myocardial Infarction.

Blood Press Monit., **2**, 147-153

doi: 10.1161/01.HYP.27.3.324

Kleiger, R. E., P. K. Stein und J. T. Bigger, Jr. (2005).

Heart rate variability: measurement and clinical utility.

Ann Noninvasive Electrocardiol., **10**, 88-101

doi: 10.1111/j.1542-474X.2005.10101.x

Köhling, R. d., J. r. Hescheler und E.-J. Speckmann (2013):

Physiologie.

6. Auflage, München: Urban & Fischer - ISBN 978-3437413193

Kuusela, T. (2013):

Methodical aspects of heart rate variability analysis

In: Heart Rate Variability (HRV) Signal Analysis/Hrgs.: M. Kamath, M. Watanabe und A.

Upton

1. Auflage, S. 9-42.

Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Inc. - ISBN 978-1439849804

La Gerche, A., A. T. Burns, D. J. Mooney, W. J. Inder, A. J. Taylor, J. Bogaert, A. I.

Macisaac, H. Heidbuchel und D. L. Prior (2012):

Exercise-induced right ventricular dysfunction and structural remodelling in endurance  
athletes.



Eur Heart J., **33**, 998-1006

doi: 10.1093/eurheartj/ehr397

La Gerche, A., H. Heidbuchel, A. T. Burns, D. J. Mooney, A. J. Taylor, H. B. Pfluger, W. J. Inder, A. I. Macisaac und D. L. Prior (2011):

Disproportionate exercise load and remodeling of the athlete's right ventricle.

Med Sci Sports Exerc., **43**, 974-981

doi: 10.1249/MSS.0b013e31820607a3

La Rosée, K. und H. J. Deutsch (2000):

Echokardiographie

In: Klinische Kardiologie. Krankheiten des Herzens, des Kreislaufs und der herznahen Gefäße/Hrsg. E. Erdmann.

5. Auflage, S. 81-121

Berlin, Heidelberg: Springer - ISBN 978-3540237426

Lafortuna, C. L., F. Saibene, M. Albertini und M. G. Clement (2003):

The regulation of respiratory resistance in exercising horses.

Eur J App Physiol., **90**, 396-404

doi: 10.1007/s00421-003-0925-0

Langlois, C. und C. Robert (2008):

Épidémiologie des troubles métaboliques chez les chevaux d'endurance.

Pratique Vétérinaire Équine, **40**, 51-60

Le Moyec, L., C. Robert, M. N. Triba, N. Bouchemal, N. Mach, J. Riviere, E. Zalachas-Rebours und E. Barrey (2019):

A First Step Toward Unraveling the Energy Metabolism in Endurance Horses: Comparison of Plasma Nuclear Magnetic Resonance Metabolomic Profiles Before and After Different Endurance Race Distances.

Front Mol Biosci., **6**

doi: 10.3389/fmolb.2019.00045

Lenoir, A., D. S. Trachsel, M. Younes, E. Barrey und C. Robert (2017):

Agreement between Electrocardiogram and Heart Rate Meter Is Low for the Measurement of Heart Rate Variability during Exercise in Young Endurance Horses.

Front Vet Sci., **4**

doi: 10.3389/fvets.2017.00170

López-Rivero, J. L., E. Agüera, J. G. Monterde, M. V. Rodríguez-Barbudo und F. Miro (1989):  
Comparative study of muscle fiber type composition in the middle gluteal muscle of  
Andalusian, Thoroughbred and Arabian horses.

J Equine Vet Sci., **9**, 337-340

doi: 10.1111/j.2042-3306.1991.tb02727.x

Lord, R. N., V. Utomi, D. L. Oxborough, B. A. Curry, M. Brown und K. P. George (2018):  
Left ventricular function and mechanics following prolonged endurance exercise: an update  
and meta-analysis with insights from novel techniques.

Eur J App Physiol., **118**, 1291-1299

doi: 10.1007/s00421-018-3906-z

Madsen, M., J. Kanters und R. Buhl (2014):

Heart Rate Recovery Time in Exercise Testing of Endurance Horses.

In: Scientific Abstracts, International Conference on Equine Exercise Physiology.

doi: 10.1111/evj.12267\_19

Maron, B. J., W. C. Roberts, H. A. McAllister, D. R. Rosing und S. E. Epstein (1980):

Sudden death in young athletes.

Circulation, **62**, 218-229

doi: 10.1161/01.cir.62.2.218

McCraty, R. und F. Shaffer (2015):

Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-  
regulatory Capacity, and Health risk.

Glob Adv Health Med., **4**, 46-61

doi: 10.7453/gahmj.2014.073

McCutcheon, L. J. und R. J. Geor (1996):

Sweat fluid and ion losses in horses during training and competition in cool vs. hot ambient  
conditions: implications for ion supplementation.

Equine Vet J Suppl., 54-62

doi: 10.1111/j.2042-3306.1996.tb05032.x

McGavock, J. M., D. E. Warburton, D. Taylor, R. C. Welsh, H. A. Quinney und M. J.

Haykowsky (2002):

The effects of prolonged strenuous exercise on left ventricular function: a brief review.

Heart Lung, **3**, 279-292

doi: 10.1067/mhl.2002.126106

Meteostat.net (2020):

Wetterwerte Britz

Abgerufen am 18.10.2020, 14:55 Uhr, von :<https://meteostat.net/de/place/DE-TC00?t=2017-09-02/2017-09-02>

Meteostat.net (2020):

Wetterwerte Neuruppin.

Abgerufen am 18.10.2020, 14:56 Uhr, von: <https://meteostat.net/de/place/DE-CV08?t=2017-06-24/2017-06-24>

Meteostat.net (2020):

Wetterwerte Šamorín.

Abgerufen am 18.10.2020, 14:51 Uhr, von: <https://meteostat.net/de/place/SK-QHXW?t=2016-09-17/2016-09-17>

Middleton, N., R. Shave, K. George, G. Whyte, E. Hart und G. Atkinson (2006):

Left ventricular function immediately following prolonged exercise: A meta-analysis.

Med Sci Sports Exerc., **38**, 681-687

doi: 10.1249/01.mss.0000210203.10200.12

Misheff, M. M. (2011):

Lameness in Endurance Horses.

In: *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*/Hrsg. M. W. Ross and S. J. Dyson  
2. Auflage, S. 1137-149

St. Louis: Elsevier Saunders - ISBN 978-1416060697

Misheff, M. M., G. R. Alexander und G. R. Hirst (2010):

Management of fractures in endurance horses.

Equine Vet Educ., **22**, 623-630

doi: 10.1111/j.2042-3292.2010.00150.x

Nagy, A., S. J. Dyson und J. K. Murray (2012):

A veterinary review of endurance riding as an international competitive sport.

Vet J., **194**, 288-293

doi: 10.1016/j.tvjl.2012.06.022

Nagy, A., J. K. Murray und S. Dyson (2010):

Elimination from elite endurance rides in nine countries: a preliminary study.

Equine Vet J Suppl., 637-643

doi: 10.1111/j.2042-3306.2010.00220.x

Nagy, A., J. K. Murray und S. Dyson (2014):

Horse-, rider-, venue- and environment-related risk factors for elimination from Federation Equestre Internationale endurance rides due to lameness and metabolic reasons.

Equine Vet J., **46**, 294-299

doi: 10.1111/evj.12170

Neilan, T. G., J. L. Januzzi, E. Lee-Lewandrowski, T. T. Ton-Nu, D. M. Yoerger, D. S. Jassal, K. B. Lewandrowski, A. J. Siegel, J. E. Marshall, P. S. Douglas, D. Lawlor, M. H. Picard und M. J. Wood (2006):

Myocardial injury and ventricular dysfunction related to training levels among nonelite participants in the Boston marathon.

Circulation, **114**, 2325-2333

doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.647461

Nieto, J. E., J. R. Snyder, P. Beldomenico, M. Aleman, J. W. Kerr und S. J. Spier (2004):

Prevalence of gastric ulcers in endurance horses--a preliminary report.

Vet J., **167**, 33-37

doi: 10.1016/j.tvjl.2003.09.005

Nunan, D., G. R. Sandercock und D. A. Brodie (2010):

A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults.

Pacing Clin Electrophysiol., **33**, 1407-1417

doi: 10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x

Oxborough, D., R. Shave, D. Warburton, K. Williams, A. Oxborough, S. Charlesworth, H. Foulds, M. D. Hoffman, K. Birch und K. George (2011):

Dilatation and dysfunction of the right ventricle immediately after ultraendurance exercise: exploratory insights from conventional two-dimensional and speckle tracking echocardiography.

Circ Cardiovasc Imaging., **4**, 253-263

doi: 10.1161/CIRCIMAGING.110.961938

Oxborough, D., G. Whyte, M. Wilson, R. O'Hanlon, K. Birch, R. Shave, G. Smith, R. Godfrey, S. Prasad und K. George (2010):

A Depression in Left Ventricular Diastolic Filling following Prolonged Strenuous Exercise is Associated with Changes in Left Atrial Mechanics.

J Am Soc Echocardiogr., **23**, 968-976

doi: 10.1016/j.echo.2010.06.002

Palatini, P. (1988):

Blood pressure behaviour during physical activity.

Sports Med., **5**, 353-374

doi: 10.2165/00007256-198805060-00002

Park, M. H., K. A. Shin, C. H. Kim, Y. H. Lee, Y. Park, J. Ahn und Y. J. Kim (2018):

Effects of Long-Distance Running on Cardiac Markers and Biomarkers in Exercise-Induced Hypertension Runners: An Observational Study.

Ann Rehabil Med., **42**, 575-583

doi: 10.5535/arm.2018.42.4.575

Pascoe, J. R., G. L. Ferraro, J. H. Cannon, R. M. Arthur und J. D. Wheat (1981):

Exercise-induced pulmonary hemorrhage in racing thoroughbreds: a preliminary study.

Am J Vet Res., **42**, 703-707

Pichot, V., F. Roche, J. M. Gaspoz, F. Enjolras, A. Antoniadis, P. Minini, F. Costes, T. Busso, J. R. Lacour und J. C. Barthelemy (2000):

Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners.

Med Sci Sports Exerc., **32**, 1729-1736

doi: 10.1097/00005768-200010000-00011

Poole, D. C. (2003):

Current concepts of oxygen transport during exercise.

Equine Comp Exerc Physiol., **1**, 5-22

doi: 10.1079/ECEP20036

Rajao, M. D., C. S. Leite, K. Nogueira, R. F. Godoy und E. M. M. Lima (2019):

The bone response in endurance long distance horse.

Open Vet J., **9**, 58-64

doi: 10.4314/ovj.v9i1.11

Reith, W. (2011):

Ultraschall.

In: Diagnostische und Interventionelle Radiologie/Hrsg.: Vogl T.J., Reith W., Rummeny E.J.

1. Auflage, S. 49-54

Berlin, Heidelberg: Springer - ISBN 978-3540876670

Robert, C. (2013):

Veterinary aspects of training and racing endurance horses.

In: Equine Sports Medicine and Surgery/Hrsg.: Hinchcliff, K. W., A. Kaneps, R. Geor

2. Auflage, S. 1083-1109

Philadelphia: Saunders Ltd - ISBN - 978-0702047718

Sammito, S., B. Thielmann, R. Seibt, A. Klussmann, M. Weippert und I. Böckelmann (2014):

Leitlinie Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft.

Abgerufen am 18.10.2020, 19:01 Uhr, von [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/002-042l\\_S2k\\_Herzschlagfrequenz\\_Herzfrequenzvariabilität\\_2014-07.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-042l_S2k_Herzschlagfrequenz_Herzfrequenzvariabilität_2014-07.pdf)

Schefer, K. D., C. Bitschnau, M. A. Weishaupt und C. C. Schwarzwald (2010):

Quantitative analysis of stress echocardiograms in healthy horses with 2-dimensional (2D) echocardiography, anatomical M-mode, tissue Doppler imaging, and 2D speckle tracking.

J Vet Intern Med., **24**, 918-931

doi: 10.1111/j.1939-1676.2010.0542.x

Schott, H. C., D. J. Marlin, R. J. Geor, T. C. Holbrook, C. M. Deaton, T. Vincent, K. Dacre, R. C. Schroter, E. Jose-Cunilleras und C. J. Cornelisse (2006):

Changes in selected physiological and laboratory measurements in elite horses competing in a 160 km endurance ride.

Equine Vet J Suppl., 37-42

doi: 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05510.x

Schwarzwald, C. C., K. E. Schober, A. S. Berli und J. D. Bonagura (2009):

Left ventricular radial and circumferential wall motion analysis in horses using strain, strain rate, and displacement by 2D speckle tracking.

J Vet Intern Med., **23**, 890-900

doi: 10.1111/j.1939-1676.2009.0321.x

Schwarzwald, C. C., K. E. Schober und J. D. Bonagura (2007):

Methods and reliability of echocardiographic assessment of left atrial size and mechanical function in horses.

Am J Vet Res., **68**, 735-747

doi: 10.2460/ajvr.68.7.735

Scott, J. M., B. T. Esch, R. Shave, D. E. Warburton, D. Gaze und K. George (2009):

Cardiovascular consequences of completing a 160-km ultramarathon.

Med Sci Sports Exerc., **41**, 26-34

doi: 10.1249/MSS.0b013e31818313ff

Shaffer, F. und J. P. Ginsberg (2017):

An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms.

Front Public Health., **5**

doi: 10.3389/fpubh.2017.00258

Shaffer, F., R. McCraty und C. L. Zerr (2014):

A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability.

Front Psychol., **5**

doi: 10.3389/fpsyg.2014.01040

Sharman, J. E. und A. La Gerche (2015):

Exercise blood pressure: clinical relevance and correct measurement.

J Hum Hypertens., **29**, 351-358

doi: 10.1038/jhh.2014.84

Shave, R., A. Baggish, K. George, M. Wood, J. Scharhag, G. Whyte, D. Gaze und P. D. Thompson (2010):

Exercise-induced cardiac troponin elevation: evidence, mechanisms, and implications.

J Am Coll Cardiol., **56**, 169-176

doi: 10.1016/j.jacc.2010.03.037

Shave, R., E. Dawson, G. Whyte, K. George, D. Gaze und P. Collinson (2004):

Altered cardiac function and minimal cardiac damage during prolonged exercise.

Med Sci Sports Exerc., **36**, 1098-1103

doi: 10.1249/01.mss.0000131958.18154.1e

Shetye, A., S. A. Nazir, I. B. Squire und G. P. McCann (2015):

Global myocardial strain assessment by different imaging modalities to predict outcomes after ST-elevation myocardial infarction: A systematic review.

World J Cardiol. **7**, 948-960

doi: 10.4330/wjc.v7.i12.948

Singh, J. P., M. G. Larson, T. A. Manolio, C. J. O'Donnell, M. Lauer, J. C. Evans und D. Levy (1999):

Blood pressure response during treadmill testing as a risk factor for new-onset hypertension. The Framingham heart study.

Circulation, **99**, 1831-1836

doi: 10.1161/01.cir.99.14.1831

Sleeper, M. M., M. M. Durando, T. C. Holbrook, M. E. Payton und E. K. Birks (2014):

Comparison of echocardiographic measurements in elite and nonelite Arabian endurance horses.

Am J Vet Res., **75**, 893-898

doi: 10.2460/ajvr.75.10.893

Snow, D.H. und C.J. Vogel (1987):

Equine Fitness: The Care and Training of the Athletic Horse.

1. Ausgabe, David & Charles: ISBN 978-0715387337

Sormani, M. P. (2017):

The most frequently asked question to a statistician: The sample size.

Mult Scler., **23**, 644-646

doi: 10.1177/1352458517695471

Sugawara, J., H. Murakami, S. Maeda, S. Kuno und M. Matsuda (2001):

Change in post-exercise vagal reactivation with exercise training and detraining in young men

Eur J App Physiol., **85**, 259-263

doi: 10.1007/s004210100443

Sullivan, S. L., G. A. Anderson, P. S. Morley und K. W. Hinchcliff (2015):

Prospective study of the association between exercise-induced pulmonary haemorrhage and long-term performance in Thoroughbred racehorses

Equine Vet J., **47**, 350-357

doi: 10.1111/evj.12263



Tahir, E., J. Starekova, K. Muellerleile, A. von Stritzky, J. Munch, M. Avanesov, J. M. Weinrich, C. Stehning, S. Bohnen, U. K. Radunski, E. Freiwald, S. Blankenberg, G. Adam, A. Pressler, M. Patten und G. K. Lund (2018):

Myocardial Fibrosis in Competitive Triathletes Detected by Contrast-Enhanced CMR Correlates With Exercise-Induced Hypertension and Competition History.

JACC Cardiovasc Imaging., **11**, 1260-1270

doi: 10.1016/j.jcmg.2017.09.016

Tarancon, I., L. Armengou, A. Melendez-Lazo, J. Pastor, J. Rios und E. Jose-Cunilleras (2019):

Prevalence of exercise-induced pulmonary hemorrhage in competing endurance horses.

J Am Vet Med Assoc., **255**, 710-715

doi: 10.2460/javma.255.6.710

Taylor, P. M. (1981):

Techniques and clinical application of arterial blood pressure measurement in the horse.

Equine Vet J., **13**, 271-275

doi: 10.1111/j.2042-3306.1981.tb03519.x

Taylor, S. S., A. H. Sparkes, K. Briscoe, J. Carter, S. C. Sala, R. E. Jepson, B. S. Reynolds und B. A. Scansen (2017):

ISFM Consensus Guidelines on the Diagnosis and Management of Hypertension in Cats.

J Feline Med Surg., **19**, 288-303

doi: 10.1177/1098612X17693500

Thomas, D. P. und G. F. Fregin (1981):

Cardiorespiratory and metabolic responses to treadmill exercise in the horse.

J Appl Physiol Respir Environ Exercise Physiol., **50**, 864-868

doi: 10.1152/jappl.1981.50.4.864

Toribio, R. E. (2011):

Disorders of calcium and phosphate metabolism in horses.

Vet Clin North Am Equine Pract., **27**, 129-147

doi: 10.1016/j.cveq.2010.12.010

Valberg, S. J. (2006):

Exercional rhabdomyolysis.

American Association of Equine Practitioners: Proceedings, **52**, 365-372

URL: <https://aaep.org/sites/default/files/issues/proceedings-06proceedings-z9100106000365.PDF>

Valberg, S. J., E. C. McKenzie, L. V. Eyrich, J. Shivers, N. E. Barnes und C. J. Finno (2016): Suspected myofibrillar myopathy in Arabian horses with a history of exertional rhabdomyolysis.

Equine Vet J., **48**, 548-556

doi: 10.1111/evj.12493

VDD (2019):

VDD-Reglement für Distanzreiten und –fahren (2019/2020; Stand 17.11.2019).

Abgerufen am 18.10.2020 um 19:08 Uhr, von: [https://vdd-aktuell.de/wp-content/uploads/VDD\\_Reglement\\_2019-neu-.pdf](https://vdd-aktuell.de/wp-content/uploads/VDD_Reglement_2019-neu-.pdf)

Vendrig, C. C. C. (2013):

Heart Rate Variability in Endurance Horses. How is the HRV affected by rest and different training settings?

Faculty of Veterinary Medicine, Utrecht University

Vincent, T. L., J. R. Newton, C. M. Deaton, S. H. Franklin, T. Biddick, K. H. McKeever, P. McDonough, L. E. Young, D. R. Hodgson und D. J. Marlin (2006):

Retrospective study of predictive variables for maximal heart rate (HRmax) in horses undergoing strenuous treadmill exercise.

Equine Vet J Suppl., 146-152

doi: 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05531.x

Votion, D. M., E. Gnaiger, H. Lemieux, A. Mouithys-Mickalad und D. Serteyn (2012):

Physical fitness and mitochondrial respiratory capacity in horse skeletal muscle.

PLoS One, **7**

doi: 10.1371/journal.pone.0034890

Walders, W. (2019):

Nichtinvasive Blutdruckmessung mit High- definition-oscillometry-Technik bei Pferden mit Herzerkrankungen

Freie Universität Berlin.

doi: 10.17169/refubium-2214

West, J. B., O. Mathieu-Costello, J. H. Jones, E. K. Birks, R. B. Logemann, J. R. Pascoe und W. S. Tyler (1993):

Stress failure of pulmonary capillaries in racehorses with exercise-induced pulmonary hemorrhage.

J Appl Physiol., **75**, 1097-1109

doi: 10.1152/jappl.1993.75.3.1097

Wilberger, M. S., E. C. McKenzie, M. E. Payton, J. D. Rigas und S. J. Valberg (2015):  
Prevalence of exertional rhabdomyolysis in endurance horses in the Pacific Northwestern United States.

Equine Vet J., **47**, 165-170

doi: 10.1111/evj.12255

Wilson, M. F., B. H. Sung, G. A. Pincomb und W. R. Lovallo (1990):

Exaggerated pressure response to exercise in men at risk for systemic hypertension.

Am J Cardiol., **66**, 731-736

doi: 10.1016/0002-9149(90)91139-w

Worldweatheronline.com (2020):

Britz Historical Weather.

Abgerufen am 18.10.2020, 14:53 Uhr, von <https://www.worldweatheronline.com/britz-weather-history/brandenburg/de.aspx>.

Worldweatheronline.com (2020):

Neuruppin Historical Weather.

Abgerufen am 18.10.2020, 14:57 Uhr, von <https://www.worldweatheronline.com/neuruppin-weather-history/brandenburg/de.aspx>.

Worldweatheronline.com (2020):

Šamorín Historical Weather. Abgerufen am 18.10.2020, 14:59 Uhr, von

<https://www.worldweatheronline.com/samorin-weather-history/bratislava/sk.aspx>

Yamamoto, K., M. Miyachi, T. Saitoh, A. Yoshioka und S. Onodera (2001):

Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. Med

Med Sci Sports Exerc., **33**, 1496-1502

doi: 10.1097/00005768-200109000-00012

Younes, M., C. Robert, E. Barrey und F. Cottin (2016):

Effects of Age, Exercise Duration, and Test Conditions on Heart Rate Variability in Young Endurance Horses.

Front Physiol., **7**

doi: 10.3389/fphys.2016.00155

Younes, M., C. Robert, F. Cottin und E. Barrey (2015):

Speed and Cardiac Recovery Variables Predict the Probability of Elimination in Equine Endurance Events.

PLoS One, **10**, e0137013

doi: 10.1371/journal.pone.0137013

Young, L. E. (1999):

Cardiac responses to training in 2-year-old thoroughbreds: an echocardiographic study.

Equine Vet J Suppl., 195-198

doi: 10.1111/j.2042-3306.1999.tb05217.x

Young, L. E., D. J. Marlin, C. Deaton, H. Brown-Feltner, C. A. Roberts and J. L. Wood (2002):

Heart size estimated by echocardiography correlates with maximal oxygen uptake.

Equine Vet J Suppl., 467-471

doi: 10.1111/j.2042-3306.2002.tb05467.x

# Anhang

Tabelle 8: Messwerte des linken Atriums und des linken Ventrikels im B- und M-Mode im Vergleich zwischen vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen.

	Einheit	vor dem Ritt	nach dem Ritt	p-Wert	nach 3 Tagen	p-Wert
<b>B-Mode</b>						
<i>linkes Atrium</i>		n = 24	n = 22		n = 4	
HF	bpm	42 ± 11	46 ± 8	0,133	39 ± 3	0,713
LAAMax	cm <sup>2</sup>	90,3 ± 10,6	72,8 ± 18,0	<b>0,001</b>	92,8 ± 7,1	0,067
LAAa	cm <sup>2</sup>	69,0 ± 9,4	57,7 ± 8,8	< <b>0,001</b>	69,7 ± 5,7	0,068
LAAmin	cm <sup>2</sup>	54,0 ± 7,1	46,0 ± 5,9	<b>0,001</b>	58,7 ± 5,5	0,068
LADmax	cm	11,4 ± 0,9	10,8 ± 1,4	0,376	12,1 ± 0,6	0,225
LA_FACtotal	%	39,8 ± 6,7	38,7 ± 6,4	0,455	36,7 ± 3,6	0,692
LA-FACpassiv	%	23,4 ± 6,4	23,8 ± 5,3	0,654	24,7 ± 4,6	0,465
LA-FACaktiv	%	21,3 ± 7,2	19,5 ± 7,0	0,478	15,7 ± 1,6	> 0,999
<i>linker Ventrikel</i>		n = 17	n = 17		n = 5	
LVIVd	mL	1014,4 ± 206,9	967,3 ± 212,6	0,256	1216,3 ± 136,7	0,138
LVIVs	mL	326,6 ± 123,5	315,7 ± 112,6	0,865	429,0 ± 232,0	0,345
EF	%	68,1 ± 8,4	67,4 ± 8,4	0,256	64,4 ± 14,1	0,686
SV	mL	687,8 ± 152,8	651,7 ± 171,5	0,281	732,2 ± 127,7	0,686
CO	L	29,1 ± 7,3	30,9 ± 8,1	0,460	29,0 ± 6,8	0,500
<b>M-Mode</b>		n = 25	n = 23		n = 4	
IVSd	cm	2,7 ± 0,4	3,1 ± 0,4	< <b>0,001</b>	2,8 ± 0,6	0,465
IVSs	cm	4,5 ± 0,6	4,6 ± 0,4	0,673	4,3 ± 0,3	0,068
LVIDd	cm	10,8 ± 1,2	10,3 ± 1,3	0,263	11,5 ± 1,4	0,250
LVIDs	cm	6,2 ± 1,1	6,1 ± 1,4	0,737	6,3 ± 1,0	0,123
LVFWd	cm	2,7 ± 0,5	3,1 ± 1,3	0,765	2,9 ± 0,2	0,057
LVFWs	cm	4,3 ± 0,8	4,2 ± 1,1	0,470	4,7 ± 0,4	0,068
MWTd	cm	2,7 ± 0,3	3,0 ± 0,4	<b>0,005</b>	2,8 ± 0,2	0,068
RWTd	cm	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1	<b>0,014</b>	0,5 ± 0,1	0,068
FS	%	42,4 ± 9,0	40,0 ± 11,0	0,351	45,5 ± 2,7	> 0,999

Mittelwert ± Standardabweichung; bpm = Schläge pro Minute; cm = Zentimeter; CO = Auswurfvolumen pro Minute; EF = Ejektionsvolumen; FS = fraktionierte Verkürzung; HF = Herzfrequenz; LAAMax,a,min = linksatriale maximale, zum Zeitpunkt der P-Welle, minimale

linksatriale Fläche; LADmax = maximaler linksatrialer Durchmesser; LA-FACtotal, passiv, aktiv = linksatriale totale, passive, aktive Funktion; LVFWd,s = Dicke der linksventrikulären Außenwand diastolisch, systolisch; LVIDd,s = linksventrikulärer diastolischer, systolischer Durchmesser; LVIVd,s = linksventrikuläres diastolisches, systolisches Volumen; MWTd = mittlere diastolische Wanddicke; n = Anzahl an auswertbaren Pferden; RWTd = relative diastolische Wanddicke; SV = Auswurfvolumen; **hervorgehoben** = statistisch signifikant

Tabelle 9: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der langen Achse des linken Ventrikels; Vergleich der Werte nach dem Distanzritt zu vor dem Ritt und nach dem Ritt und zur Messung nach drei Tagen.

		Einheit	vor dem Ritt	nach dem Ritt	p-Wert	nach 3 Tagen	p-Wert
<b>STE LAX</b>			n = 17	n = 23		n = 5	
SL <sub>G</sub>	basLat	%	-22,05 ± 3,99	-19,83 ± 4,12	<b>0,019</b>	-18,49 ± 5,96	0,893
	midLat	%	-21,44 ± 5,22	-18,36 ± 6,42	0,074	-16,57 ± 3,87	0,138
	midSept	%	-24,60 ± 3,20	-21,99 ± 3,01	<b>0,008</b>	-20,78 ± 5,50	0,893
	basSept	%	-21,82 ± 2,91	-19,98 ± 3,28	<b>0,006</b>	-17,31 ± 7,45	0,893
	Avg	%	-22,48 ± 3,16	-20,04 ± 2,68	<b>0,003</b>	-18,28 ± 4,21	0,500
SL <sub>S</sub>	basLat	%	-21,23 ± 3,73	-19,72 ± 4,33	0,074	-17,72 ± 6,41	0,686
	midLat	%	-20,88 ± 4,44	-19,22 ± 6,08	0,204	-16,30 ± 3,99	0,138
	midSept	%	-23,86 ± 3,32	-21,55 ± 3,15	<b>0,041</b>	-20,73 ± 5,51	0,893
	basSept	%	-18,21 ± 4,02	-16,16 ± 4,22	0,210	-16,59 ± 7,30	0,225
	Avg	%	-21,05 ± 2,62	-19,16 ± 3,08	<b>0,030</b>	-17,84 ± 4,28	0,345
SL <sub>P</sub>	basLat	%	1,03 ± 1,18	1,17 ± 1,24	0,999	1,38 ± 1,91	0,225
	midLat	%	0,47 ± 0,83	0,49 ± 0,78	0,473	0,20 ± 0,20	0,138
	midSept	%	0,74 ± 1,04	1,14 ± 1,10	0,191	0,74 ± 0,73	0,144
	basSept	%	2,21 ± 1,60	3,90 ± 2,17	<b>0,030</b>	2,21 ± 1,42	0,225
	Avg	%	1,11 ± 0,72	1,68 ± 0,79	0,129	1,13 ± 0,65	0,500
VL <sub>S</sub>	basLat	cm/s	12,017 ± 1,281	11,54 ± 1,101	0,288	10,559 ± 0,744	0,500
	midLat	cm/s	7,875 ± 1,144	8,21 ± 0,921	0,157	7,797 ± 0,460	<b>0,043</b>
	midSept	cm/s	6,651 ± 0,849	6,56 ± 0,698	0,736	5,634 ± 1,009	<b>0,043</b>
	basSept	cm/s	10,193 ± 1,100	9,98 ± 1,407	0,570	8,398 ± 1,470	0,138
	Avg	cm/s	9,184 ± 0,929	9,07 ± 0,765	> 0,999	8,097 ± 0,738	<b>0,043</b>
VL <sub>E</sub>	basLat	cm/s	-11,166 ± 1,504	-11,27 ± 1,528	0,679	-10,045 ± 2,342	0,500
	midLat	cm/s	-7,005 ± 1,076	-7,99 ± 1,039	< <b>0,001</b>	-6,590 ± 2,087	0,225
	midSept	cm/s	-6,014 ± 0,821	-5,8 ± 0,928	0,554	-5,800 ± 1,596	0,686
	basSept	cm/s	-9,454 ± 1,905	-8,13 ± 1,728	<b>0,030</b>	-8,587 ± 2,716	0,686
	Avg	cm/s	-8,410 ± 0,832	-8,3 ± 0,926	0,823	-7,756 ± 1,687	0,686
VL <sub>A</sub>	basLat	cm/s	-9,905 ± 2,554	-9,458 ± 1,248	0,533	-8,906 ± 2,905	0,686
	midLat	cm/s	-6,942 ± 1,154	-7,267 ± 1,093	0,378	-7,101 ± 0,757	0,893
	midSept	cm/s	-6,087 ± 0,874	-6,229 ± 0,833	0,714	-4,891 ± 0,850	<b>0,043</b>

## Anhang

	basSept	cm/s	-9,948 ± 1,196	-10,02 ± 1,755	0,558	-7,669 ± 2,452	0,225
	Avg	cm/s	-8,221 ± 1,044	-8,242 ± 0,794	0,779	-7,142 ± 1,242	0,138
SrL <sub>S</sub>	basLat	s <sup>-1</sup>	-1,388 ± 0,373	-1,22 ± 0,273	0,112	-1,122 ± 0,255	0,500
	midLat	s <sup>-1</sup>	-0,988 ± 0,196	-0,914 ± 0,200	0,142	-0,713 ± 0,108	0,893
	midSept	s <sup>-1</sup>	-1,058 ± 0,195	-1,003 ± 0,128	<b>0,019</b>	-0,756 ± 0,207	0,225
	basSept	s <sup>-1</sup>	-0,874 ± 0,194	-0,872 ± 0,272	0,513	-0,759 ± 0,249	0,225
	Avg	s <sup>-1</sup>	-1,077 ± 0,176	-1,002 ± 0,140	<b>0,012</b>	-0,838 ± 0,181	0,500
SrL <sub>E</sub>	basLat	s <sup>-1</sup>	1,765 ± 0,571	1,604 ± 0,501	0,187	1,631 ± 0,376	0,345
	midLat	s <sup>-1</sup>	1,022 ± 0,262	0,911 ± 0,210	0,107	0,783 ± 0,168	0,500
	midSept	s <sup>-1</sup>	1,119 ± 0,217	0,986 ± 0,243	<b>0,002</b>	0,937 ± 0,285	0,686
	basSept	s <sup>-1</sup>	1,292 ± 0,404	1,067 ± 0,308	0,093	1,122 ± 0,560	0,893
	Avg	s <sup>-1</sup>	1,299 ± 0,182	1,1419 ± 0,229	<b>0,001</b>	1,118 ± 0,304	0,686
SrL <sub>A</sub>	basLat	s <sup>-1</sup>	0,781 ± 0,268	0,751 ± 0,231	0,425	0,767 ± 0,278	0,893
	midLat	s <sup>-1</sup>	0,807 ± 0,273	0,614 ± 0,197	<b>0,012</b>	0,467 ± 0,266	0,893
	midSept	s <sup>-1</sup>	0,886 ± 0,276	0,882 ± 0,228	0,281	0,664 ± 0,169	0,345
	basSept	s <sup>-1</sup>	0,880 ± 0,404	0,944 ± 0,404	0,351	0,643 ± 0,412	0,500
	Avg	s <sup>-1</sup>	0,838 ± 0,200	0,798 ± 0,172	0,733	0,635 ± 0,227	0,686
DL <sub>S</sub>	basLat	mm	44,19 ± 7,07	40,23 ± 6,92	<b>0,042</b>	40,73 ± 7,41	0,225
	midLat	mm	29,75 ± 5,73	27,13 ± 5,20	0,090	28,28 ± 5,54	0,345
	midSept	mm	24,93 ± 5,18	22,20 ± 4,64	0,081	23,62 ± 4,50	0,893
	basSept	mm	37,10 ± 6,94	32,67 ± 6,16	0,058	33,92 ± 8,48	0,500
	Avg	mm	33,99 ± 5,91	30,56 ± 5,29	<b>0,044</b>	31,64 ± 6,01	0,686

Mittelwert ± Standardabweichung; Avg = arithmetischer Mittelwert; DL<sub>S</sub> = systolische longitudinale Verschiebung; LAX = lange Achse; n = Anzahl an auswertbaren Pferden; SL<sub>G</sub> = maximale longitudinale Strain; SL<sub>S</sub> = systolische longitudinale Strain; SL<sub>P</sub> = positive longitudinale Strain; SrL<sub>S</sub>, SrL<sub>E</sub>, SrL<sub>A</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische longitudinale Verformungsrate Strain Rate; STE = Speckle Tracking Echokardiografie; VL<sub>S</sub>, VL<sub>E</sub>, VL<sub>A</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische longitudinale Verformungsgeschwindigkeit; **hervorgehoben** = statistisch signifikant

## Anhang

Tabelle 10: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der kurzen Achse des linken Ventrikels auf Höhe der Papillarmuskeln; Vergleich der Werte vor und nach dem Distanzritt und nach drei Tagen.

		Einheit	vor dem Ritt n = 13	nach dem Ritt n = 13	p-Wert	nach 3 Tagen n = 4
<b>STE SAX</b>						
SC	Ant	%	-23,40 ± 8,23	-22,57 ± 5,43	0,678	-16,51 ± 2,57
	AntSept	%	-24,35 ± 4,84	-24,85 ± 5,75	0,859	-18,07 ± 3,09
	Inf	%	-13,32 ± 5,29	-16,78 ± 5,25	0,084	-13,42 ± 1,89
	Lat	%	-14,72 ± 5,35	-13,29 ± 4,64	0,314	-12,36 ± 4,28
	Post	%	-6,49 ± 6,49	-8,61 ± 5,25	0,344	-7,37 ± 4,49
	Sept	%	-24,26 ± 4,31	-24,71 ± 5,43	0,594	-17,86 ± 8,27
	Avg	%	-17,76 ± 3,08	-18,47 ± 2,81	0,493	-14,26 ± 2,11
SC <sub>P</sub>	Ant	%	0,28 ± 0,60	0,42 ± 0,67	0,672	0,08 ± 0,18
	AntSept	%	0,04 ± 0,13	0,17 ± 0,33	0,618	-0,01 ± 0,01
	Inf	%	1,37 ± 1,90	0,73 ± 0,89	0,316	0,18 ± 0,23
	Lat	%	1,12 ± 1,58	0,98 ± 1,09	0,767	0,55 ± 0,71
	Post	%	5,90 ± 5,34	2,58 ± 2,04	0,110	4,82 ± 3,21
	Sept	%	0,04 ± 0,10	0,41 ± 1,07	<b>0,046</b>	0,04 ± 0,08
	Avg	%	1,46 ± 1,12	1,02 ± 0,75	<b>0,008</b>	0,56 ± 0,21
SrC <sub>s</sub>	Ant	s <sup>-1</sup>	-1,236 ± 0,377	-1,293 ± 0,334	0,968	-0,908 ± 0,133
	AntSept	s <sup>-1</sup>	-1,107 ± 0,322	-1,197 ± 0,285	0,776	-0,893 ± 0,110
	Inf	s <sup>-1</sup>	-0,856 ± 0,228	-0,906 ± 0,249	0,248	-0,811 ± 0,227
	Lat	s <sup>-1</sup>	-0,971 ± 0,250	-0,880 ± 0,252	0,086	-0,787 ± 0,241
	Post	s <sup>-1</sup>	-0,871 ± 0,152	-0,847 ± 0,240	0,555	-0,670 ± 0,142
	Sept	s <sup>-1</sup>	-1,084 ± 0,177	-1,085 ± 0,360	0,641	-0,950 ± 0,347
	Avg	s <sup>-1</sup>	-1,021 ± 0,168	-1,035 ± 0,188	0,994	-0,826 ± 0,138
SrC <sub>E</sub>	Ant	s <sup>-1</sup>	1,592 ± 0,836	1,431 ± 0,487	0,823	0,933 ± 0,375
	AntSept	s <sup>-1</sup>	1,541 ± 0,568	1,475 ± 0,468	0,773	0,925 ± 0,326
	Inf	s <sup>-1</sup>	1,611 ± 0,572	1,510 ± 0,564	0,386	1,063 ± 0,113
	Lat	s <sup>-1</sup>	1,142 ± 0,373	1,241 ± 0,394	0,638	0,845 ± 0,169
	Post	s <sup>-1</sup>	1,439 ± 0,470	1,536 ± 0,548	0,280	1,043 ± 0,119
	Sept	s <sup>-1</sup>	1,888 ± 0,382	1,635 ± 0,596	0,503	1,171 ± 0,253
	Avg	s <sup>-1</sup>	1,535 ± 0,287	1,471 ± 0,357	0,168	0,997 ± 0,132
SrC <sub>A</sub>	Ant	s <sup>-1</sup>	0,977 ± 0,582	0,898 ± 0,392	0,424	0,756 ± 0,320
	AntSept	s <sup>-1</sup>	0,921 ± 0,439	0,984 ± 0,366	0,680	0,890 ± 0,339
	Inf	s <sup>-1</sup>	0,646 ± 0,397	0,565 ± 0,260	0,368	0,482 ± 0,250
	Lat	s <sup>-1</sup>	0,693 ± 0,437	0,532 ± 0,165	0,260	0,333 ± 0,152
	Post	s <sup>-1</sup>	0,685 ± 0,433	0,618 ± 0,207	0,524	0,357 ± 0,095



## Anhang

SR	Sept	s <sup>-1</sup>	0,789 ± 0,385	0,722 ± 0,275	0,304	0,611 ± 0,246
	Avg	s <sup>-1</sup>	0,785 ± 0,380	0,720 ± 0,190	0,291	0,571 ± 0,200
	Ant	%	69,95 ± 21,72	57,49 ± 22,79	0,229	45,81 ± 10,78
	AntSept	%	71,41 ± 20,09	62,90 ± 20,68	0,125	58,11 ± 17,84
	Inf	%	59,96 ± 29,16	53,03 ± 20,63	0,645	37,17 ± 19,38
	Lat	%	65,83 ± 27,82	52,59 ± 25,35	0,476	38,75 ± 12,35
	Post	%	63,12 ± 30,45	52,46 ± 24,53	0,641	35,31 ± 16,15
SrR <sub>S</sub>	Sept	%	61,77 ± 25,05	56,38 ± 18,76	0,416	44,11 ± 10,27
	Avg	%	65,34 ± 22,15	55,81 ± 20,30	0,380	43,21 ± 7,23
	Ant	s <sup>-1</sup>	1,912 ± 0,404	1,771 ± 0,325	0,297	1,377 ± 0,100
	AntSept	s <sup>-1</sup>	1,772 ± 0,391	1,653 ± 0,271	0,187	1,516 ± 0,231
	Inf	s <sup>-1</sup>	1,784 ± 0,462	1,760 ± 0,437	0,584	1,311 ± 0,403
	Lat	s <sup>-1</sup>	1,932 ± 0,468	1,824 ± 0,443	0,508	1,332 ± 0,356
	Post	s <sup>-1</sup>	1,834 ± 0,490	1,791 ± 0,481	0,640	1,218 ± 0,461
SrR <sub>E</sub>	Sept	s <sup>-1</sup>	1,784 ± 0,382	1,692 ± 0,308	0,239	1,430 ± 0,253
	Avg	s <sup>-1</sup>	1,836 ± 0,343	1,748 ± 0,314	0,336	1,364 ± 0,203
	Ant	s <sup>-1</sup>	-2,189 ± 0,756	-1,629 ± 0,566	<b>0,049</b>	-1,688 ± 0,891
	AntSept	s <sup>-1</sup>	-2,105 ± 0,593	-1,683 ± 0,611	<b>0,002</b>	-1,673 ± 0,314
	Inf	s <sup>-1</sup>	-1,846 ± 0,881	-1,338 ± 0,441	0,339	-1,552 ± 0,652
	Lat	s <sup>-1</sup>	-2,154 ± 0,854	-1,503 ± 0,509	0,155	-2,002 ± 1,162
	Post	s <sup>-1</sup>	-1,996 ± 0,845	-1,379 ± 0,463	0,228	-1,801 ± 0,991
SrR <sub>A</sub>	Sept	s <sup>-1</sup>	-1,900 ± 0,829	-1,424 ± 0,410	0,124	-1,365 ± 0,305
	Avg	s <sup>-1</sup>	-2,031 ± 0,746	-1,493 ± 0,349	0,086	-1,680 ± 0,654
	Ant	s <sup>-1</sup>	-1,688 ± 0,586	-1,505 ± 0,504	0,184	-0,868 ± 0,557
	AntSept	s <sup>-1</sup>	-1,349 ± 0,512	-1,171 ± 0,388	0,267	-0,768 ± 0,461
	Inf	s <sup>-1</sup>	-1,714 ± 0,679	-1,535 ± 0,537	0,767	-0,731 ± 0,416
	Lat	s <sup>-1</sup>	-1,944 ± 0,741	-1,607 ± 0,517	0,374	-0,888 ± 0,603
	Post	s <sup>-1</sup>	-1,825 ± 0,951	-1,558 ± 0,588	0,728	-0,789 ± 0,438
DR <sub>S</sub>	Sept	s <sup>-1</sup>	-1,454 ± 0,535	-1,392 ± 0,443	0,953	-0,729 ± 0,395
	Avg	s <sup>-1</sup>	-1,662 ± 0,594	-1,461 ± 0,417	0,594	-0,879 ± 0,401
	Ant	mm	13,07 ± 4,41	13,41 ± 3,31	0,868	8,61 ± 2,78
	AntSept	mm	14,90 ± 3,88	14,48 ± 2,71	0,598	13,98 ± 2,20
	Inf	mm	17,26 ± 5,70	17,19 ± 3,27	0,787	18,06 ± 7,14
	Lat	mm	13,07 ± 4,82	13,94 ± 4,20	0,968	7,03 ± 2,59
	Post	mm	15,52 ± 4,68	16,03 ± 3,03	0,859	12,59 ± 2,61
	Sept	mm	16,44 ± 5,03	16,08 ± 3,26	0,802	17,28 ± 4,77
	Avg	mm	15,04 ± 3,17	15,19 ± 1,99	0,730	12,92 ± 1,50

## Anhang

Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; Avg = arithmetischer Mittelwert; DR<sub>S</sub> = systolisches radiale Verformung; n= Anzahl an auswertbaren Pferden; SAX = kurze Achse; SC = zirkumferentieller Strain; SC<sub>P</sub> = frühsystolischer positiver Strain; SR = radialer Strain SrC<sub>S</sub>, SrC<sub>E</sub>, SrC<sub>A</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische zirkumferentielle Strain Rate; SrR<sub>S</sub>, SrR<sub>E</sub>, SrR<sub>A</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische radiale Strain Rate; STE = Speckle Tracking Echokardiografie; **hervorgehoben** = statistisch signifikant

Tabelle 11: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der langen Achse des linken Ventrikels; Vergleich der Werte zwischen Finishern und Ausscheidern nach dem Ritt.

		Einheit	Finisher	Ausscheider	p-Wert
<b>STE LAX</b>			n = 17	n = 6	
SL <sub>G</sub>	basLat	%	-19,319 $\pm$ 4,614	-21,263 $\pm$ 1,746	0,319
	midLat	%	-18,427 $\pm$ 6,875	-18,178 $\pm$ 5,5006	0,865
	midSept	%	-21,210 $\pm$ 2,786	-24,206 $\pm$ 2,6766	<b>0,036</b>
	basSept	%	-20,452 $\pm$ 3,210	-18,632 $\pm$ 3,3914	0,473
	Avg	%	-19,852 $\pm$ 2,943	-20,570 $\pm$ 1,8827	0,431
SL <sub>S</sub>	basLat	%	-19,225 $\pm$ 4,879	-21,123 $\pm$ 1,7829	0,354
	midLat	%	-19,630 $\pm$ 6,343	-18,057 $\pm$ 5,6319	0,609
	midSept	%	-20,798 $\pm$ 2,998	-23,678 $\pm$ 2,7455	0,052
	basSept	%	-16,026 $\pm$ 4,351	-16,558 $\pm$ 4,1946	0,797
	Avg	%	-18,920 $\pm$ 3,222	-19,854 $\pm$ 2,7642	0,392
SL <sub>P</sub>	basLat	%	1,377 $\pm$ 1,284	0,568 $\pm$ 0,9703	0,201
	midLat	%	0,595 $\pm$ 0,867	0,197 $\pm$ 0,3108	0,319
	midSept	%	1,299 $\pm$ 1,171	0,692 $\pm$ 0,7716	0,354
	basSept	%	4,271 $\pm$ 2,315	2,859 $\pm$ 1,3343	0,177
	Avg	%	1,885 $\pm$ 0,772	1,079 $\pm$ 0,5087	<b>0,028</b>
VL <sub>S</sub>	basLat	cm/s	11,516 $\pm$ 1,183	11,607 $\pm$ 0,9189	> 0,999
	midLat	cm/s	8,056 $\pm$ 0,843	8,653 $\pm$ 1,0667	0,201
	midSept	cm/s	6,549 $\pm$ 0,680	6,588 $\pm$ 0,8151	0,658
	basSept	cm/s	10,152 $\pm$ 1,483	9,496 $\pm$ 1,1321	0,227
	Avg	cm/s	9,068 $\pm$ 0,767	9,086 $\pm$ 0,8329	0,963
VL <sub>E</sub>	basLat	cm/s	-11,073 $\pm$ 1,627	-11,847 $\pm$ 1,1249	0,562
	midLat	cm/s	-7,862 $\pm$ 0,772	-8,340 $\pm$ 1,626	0,516
	midSept	cm/s	-5,664 $\pm$ 1,025	-6,179 $\pm$ 0,4393	0,251
	basSept	cm/s	-7,713 $\pm$ 1,830	-9,292 $\pm$ 0,469	<b>0,020</b>
	Avg	cm/s	-8,078 $\pm$ 0,936	-8,914 $\pm$ 0,5897	0,052
VL <sub>A</sub>	basLat	cm/s	-9,421 $\pm$ 1,419	-9,564 $\pm$ 0,6248	> 0,999
	midLat	cm/s	-7,096 $\pm$ 1,168	-7,751 $\pm$ 0,7183	0,215
	midSept	cm/s	-6,286 $\pm$ 0,917	-6,064 $\pm$ 0,5638	0,562
	basSept	cm/s	-10,049 $\pm$ 1,822	-9,919 $\pm$ 1,7105	0,881

## Anhang

	Avg	cm/s	-8,213 ± 0,886	-8,325 ± 0,5061	0,865
SrL <sub>S</sub>	basLat	s <sup>-1</sup>	-1,223 ± 0,262	-1,214 ± 0,3274	> 0,999
	midLat	s <sup>-1</sup>	-0,961 ± 0,200	-0,781 ± 0,1378	<b>0,044</b>
	midSept	s <sup>-1</sup>	-1,029 ± 0,132	-0,929 ± 0,0869	0,074
	basSept	s <sup>-1</sup>	-0,887 ± 0,265	-0,831 ± 0,3157	0,589
SrL <sub>E</sub>	Avg	s <sup>-1</sup>	-1,025 ± 0,129	-0,939 ± 0,1609	0,177
	basLat	s <sup>-1</sup>	1,557 ± 0,543	1,738 ± 0,3609	0,459
	midLat	s <sup>-1</sup>	0,924 ± 0,228	0,875 ± 0,1581	0,633
	midSept	s <sup>-1</sup>	0,931 ± 0,215	1,142 ± 0,2693	0,155
SrL <sub>A</sub>	basSept	s <sup>-1</sup>	1,050 ± 0,342	1,113 ± 0,194	0,708
	Avg	s <sup>-1</sup>	1,116 ± 0,242	1,217 ± 0,1856	0,516
	basLat	s <sup>-1</sup>	0,831 ± 0,205	0,524 ± 0,1281	<b>0,010</b>
	midLat	s <sup>-1</sup>	0,629 ± 0,191	0,570 ± 0,2261	0,562
DL <sub>S</sub>	midSept	s <sup>-1</sup>	0,906 ± 0,239	0,814 ± 0,1988	0,658
	basSept	s <sup>-1</sup>	0,965 ± 0,446	0,883 ± 0,2726	0,676
	Avg	s <sup>-1</sup>	0,833 ± 0,170	0,698 ± 0,1441	0,098
	basLat	mm	39,198 ± 6,952	43,173 ± 6,4943	0,235
DL <sub>S</sub>	midLat	mm	26,339 ± 5,089	29,370 ± 5,2864	0,256
	midSept	mm	21,653 ± 4,687	23,732 ± 4,5376	0,319
	basSept	mm	31,750 ± 5,652	35,284 ± 7,3138	0,392
	Avg	mm	29,735 ± 5,035	32,890 ± 5,7761	0,256

Mittelwert ± Standardabweichung; Avg = arithmetischer Mittelwert; DL<sub>S</sub> = systolische longitudinale Verschiebung; LAX = lange Achse; n = Anzahl an auswertbaren Pferden; SL<sub>G</sub> = maximale longitudinaler Strain; SL<sub>S</sub> = systolische longitudinale Strain; SL<sub>P</sub> = positive longitudinale Strain; SrL<sub>S</sub>, SrL<sub>E</sub>, SrL<sub>A</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische longitudinale Verformungsrate Strain Rate; STE = Speckle Tracking Echokardiografie; VL<sub>S</sub>, VL<sub>E</sub>, VL<sub>A</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische longitudinale Verformungsgeschwindigkeit; **hervorgehoben** = statistisch signifikant

## Anhang

Tabelle 12: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der langen Achse des linken Ventrikels. Vergleich der Werte nach dem Distanztritt der Gruppen „Finisher“, „Lahmheit“ und „metabolische Ausscheider“.

		Einheit	Finisher	Lahmheit	metabolisch	p-Wert
<b>STE LAX</b>			n = 17	n = 3	n = 3	
SL <sub>G</sub>	basLat	%	-19,32 ± 4,61	-21,38 ± 1,64	-21,14 ± 2,22	0,630
	midLat	%	-18,43 ± 6,87	-19,65 ± 7,42	-16,71 ± 3,75	0,864
	midSept	%	-21,21 ± 2,79	-24,78 ± 2,71	-23,63 ± 3,10	0,096
	basSept	%	-20,45 ± 3,21	-18,66 ± 3,13	-18,61 ± 4,35	0,742
	Avg	%	-19,85 ± 2,94	-21,12 ± 1,35	-20,02 ± 2,48	0,586
SL <sub>S</sub>	basLat	%	-19,22 ± 4,88	-21,10 ± 1,74	-21,14 ± 2,22	0,619
	midLat	%	-19,63 ± 6,34	-19,40 ± 7,73	-16,71 ± 3,75	0,830
	midSept	%	-20,80 ± 3,00	-23,93 ± 3,07	-23,43 ± 3,04	0,142
	basSept	%	-16,03 ± 4,35	-16,78 ± 4,14	-16,34 ± 5,16	0,961
	Avg	%	-18,92 ± 3,22	-20,30 ± 3,35	-19,40 ± 2,70	0,571
SL <sub>P</sub>	basLat	%	1,38 ± 1,28	0,10 ± 0,16	1,03 ± 1,30	0,244
	midLat	%	0,59 ± 0,87	0,00 ± 0,00	0,39 ± 0,36	0,125
	midSept	%	1,30 ± 1,17	0,77 ± 1,15	0,61 ± 0,40	0,618
	basSept	%	4,27 ± 2,31	2,84 ± 1,94	2,88 ± 0,83	0,409
	Avg	%	1,89 ± 0,77	0,93 ± 0,75	1,23 ± 0,14	0,083
VL <sub>S</sub>	basLat	cm/s	11,516 ± 1,183	12,311 ± 0,619	10,902 ± 0,489	0,196
	midLat	cm/s	8,056 ± 0,843	9,112 ± 1,219	8,193 ± 0,852	0,332
	midSept	cm/s	6,549 ± 0,680	6,784 ± 0,535	6,392 ± 1,122	0,812
	basSept	cm/s	10,152 ± 1,483	9,594 ± 0,653	9,397 ± 1,658	0,449
	Avg	cm/s	9,068 ± 0,767	9,451 ± 0,564	8,721 ± 1,009	0,466
VL <sub>E</sub>	basLat	cm/s	-11,073 ± 1,627	-12,441 ± 1,183	-11,252 ± 0,839	0,314
	midLat	cm/s	-7,862 ± 0,772	-8,773 ± 2,414	-7,907 ± 0,467	0,653
	midSept	cm/s	-5,664 ± 1,025	-6,251 ± 0,661	-6,107 ± 0,172	0,517
	basSept	cm/s	-7,713 ± 1,830	-9,403 ± 0,249	-9,181 ± 0,672	0,680
	Avg	cm/s	-8,078 ± 0,936	-9,217 ± 0,727	-8,612 ± 0,256	0,122
VL <sub>A</sub>	basLat	cm/s	-9,421 ± 1,419	-9,947 ± 0,710	-9,182 ± 0,183	0,751
	midLat	cm/s	-7,096 ± 1,168	-8,059 ± 0,951	-7,442 ± 0,317	0,434
	midSept	cm/s	-6,286 ± 0,917	-5,598 ± 0,364	-6,531 ± 0,094	0,213
	basSept	cm/s	-10,049 ± 1,822	-8,614 ± 1,165	-11,224 ± 0,920	0,106
	Avg	cm/s	-8,213 ± 0,886	-8,054 ± 0,580	-8,595 ± 0,291	0,509
SrL <sub>S</sub>	basLat	s <sup>-1</sup>	-1,223 ± 0,262	-1,199 ± 0,396	-1,229 ± 0,333	0,996
	midLat	s <sup>-1</sup>	-0,961 ± 0,200	-0,837 ± 0,185	-0,724 ± 0,062	0,112
	midSept	s <sup>-1</sup>	-1,029 ± 0,132	-0,954 ± 0,088	-0,904 ± 0,096	0,174
	basSept	s <sup>-1</sup>	-0,887 ± 0,265	-0,949 ± 0,438	-0,712 ± 0,123	0,424
	Avg	s <sup>-1</sup>	-1,025 ± 0,129	-0,985 ± 0,200	-0,893 ± 0,136	0,313

## Anhang

Sr <sub>LE</sub>	basLat	s <sup>-1</sup>	1,557 ± 0,543	1,687 ± 0,300	1,789 ± 0,477	0,743
	midLat	s <sup>-1</sup>	0,924 ± 0,228	0,900 ± 0,217	0,850 ± 0,116	0,908
	midSept	s <sup>-1</sup>	0,931 ± 0,215	1,251 ± 0,280	1,032 ± 0,259	0,226
	basSept	s <sup>-1</sup>	1,050 ± 0,342	1,131 ± 0,065	1,096 ± 0,298	0,928
	Avg	s <sup>-1</sup>	1,116 ± 0,242	1,242 ± 0,122	1,192 ± 0,263	0,697
Sr <sub>LA</sub>	basLat	s <sup>-1</sup>	0,831 ± 0,205	0,423 ± 0,070	0,624 ± 0,076	<b>0,005</b>
	midLat	s <sup>-1</sup>	0,629 ± 0,191	0,679 ± 0,273	0,461 ± 0,134	0,515
	midSept	s <sup>-1</sup>	0,906 ± 0,239	0,697 ± 0,217	0,931 ± 0,102	0,399
	basSept	s <sup>-1</sup>	0,965 ± 0,446	0,784 ± 0,192	0,981 ± 0,346	0,826
	Avg	s <sup>-1</sup>	0,833 ± 0,170	0,646 ± 0,152	0,749 ± 0,144	0,236
DL <sub>S</sub>	basLat	mm	39,20 ± 6,95	41,38 ± 9,50	44,97 ± 2,36	0,348
	midLat	mm	26,34 ± 5,09	27,70 ± 7,82	31,04 ± 0,60	0,363
	midSept	mm	21,65 ± 4,69	21,76 ± 5,96	25,70 ± 2,08	0,300
	basSept	mm	31,75 ± 5,65	32,97 ± 9,24	37,59 ± 5,69	0,297
	Avg	mm	29,74 ± 5,04	30,96 ± 8,10	34,82 ± 2,57	0,292

Mittelwert ± Standardabweichung; Avg = arithmetischer Mittelwert; DL<sub>S</sub> = systolische longitudinale Verschiebung; LAX = lange Achse; n = Anzahl an auswertbaren Pferden; SL<sub>G</sub> = maximale longitudinaler Strain; SL<sub>S</sub> = systolische longitudinale Strain; SL<sub>P</sub> = positive longitudinale Strain; Sr<sub>LS</sub>, Sr<sub>LE</sub>, Sr<sub>LA</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische longitudinale Verformungsrate Strain Rate; STE = Speckle Tracking Echokardiografie; VL<sub>S</sub>, VL<sub>E</sub>, VL<sub>A</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische longitudinale Verformungsgeschwindigkeit; **hervorgehoben** = statistisch signifikant

Tabelle 13: Segmentale und gemittelte Ergebnisse des STE in der kurzen Achse des linken Ventrikels; Vergleich der Werte nach dem Distanzritt der Gruppen „Finisher“ und „Ausscheider“.

		Einheit	Finisher	Ausscheider	p-Wert
<b>STE SAX</b>			n = 9	n = 4	
SC	Ant	%	-21,13 ± 5,87	-25,82 ± 2,45	0,148
	AntSept	%	-24,45 ± 6,06	-25,76 ± 5,72	0,825
	Inf	%	-16,94 ± 4,47	-16,43 ± 7,51	0,880
	Lat	%	-14,19 ± 4,37	-11,29 ± 5,23	0,330
	Post	%	-10,57 ± 4,69	-4,20 ± 3,79	<b>0,037</b>
	Sept	%	-24,04 ± 4,49	-26,24 ± 7,74	0,330
	Avg	%	-18,55 ± 2,99	-18,29 ± 2,78	0,885
SC <sub>P</sub>	Ant	%	0,55 ± 0,76	0,13 ± 0,26	0,148
	AntSept	%	0,20 ± 0,39	0,09 ± 0,17	0,825
	Inf	%	0,74 ± 0,99	0,71 ± 0,73	0,825
	Lat	%	1,11 ± 1,28	0,70 ± 0,47	> 0,999

## Anhang

	Post	%	2,30 ± 1,47	3,21 ± 3,16	> 0,999
	Sept	%	0,55 ± 1,28	0,11 ± 0,07	0,503
	Avg	%	0,84 ± 0,51	1,43 ± 1,11	0,414
SrC <sub>S</sub>	Ant	s <sup>-1</sup>	-1,321 ± 0,358	-1,231 ± 0,312	0,330
	AntSept	s <sup>-1</sup>	-1,189 ± 0,209	-1,217 ± 0,457	> 0,999
	Inf	s <sup>-1</sup>	-0,899 ± 0,178	-0,923 ± 0,403	> 0,999
	Lat	s <sup>-1</sup>	-0,929 ± 0,272	-0,770 ± 0,181	0,260
	Post	s <sup>-1</sup>	-0,886 ± 0,269	-0,759 ± 0,151	0,604
	Sept	s <sup>-1</sup>	-1,024 ± 0,251	-1,222 ± 0,562	0,384
	Avg	s <sup>-1</sup>	-1,041 ± 0,163	-1,020 ± 0,263	0,861
SrC <sub>E</sub>	Ant	s <sup>-1</sup>	1,319 ± 0,444	1,683 ± 0,551	0,330
	AntSept	s <sup>-1</sup>	1,381 ± 0,391	1,688 ± 0,617	0,503
	Inf	s <sup>-1</sup>	1,382 ± 0,542	1,797 ± 0,576	0,148
	Lat	s <sup>-1</sup>	1,260 ± 0,433	1,199 ± 0,346	0,940
	Post	s <sup>-1</sup>	1,577 ± 0,608	1,443 ± 0,446	0,825
	Sept	s <sup>-1</sup>	1,470 ± 0,566	2,007 ± 0,545	0,148
	Avg	s <sup>-1</sup>	1,398 ± 0,357	1,636 ± 0,343	0,330
SrC <sub>A</sub>	Ant	s <sup>-1</sup>	0,895 ± 0,447	0,904 ± 0,285	0,825
	AntSept	s <sup>-1</sup>	1,023 ± 0,418	0,896 ± 0,232	0,710
	Inf	s <sup>-1</sup>	0,573 ± 0,268	0,548 ± 0,281	0,604
	Lat	s <sup>-1</sup>	0,577 ± 0,165	0,433 ± 0,131	0,154
	Post	s <sup>-1</sup>	0,665 ± 0,227	0,512 ± 0,111	0,232
	Sept	s <sup>-1</sup>	0,771 ± 0,241	0,611 ± 0,352	0,503
	Avg	s <sup>-1</sup>	0,751 ± 0,197	0,650 ± 0,176	0,414
SR	Ant	%	51,49 ± 23,58	70,98 ± 15,64	0,199
	AntSept	%	59,95 ± 21,83	69,55 ± 18,85	0,260
	Inf	%	46,93 ± 18,85	66,76 ± 19,78	0,199
	Lat	%	44,59 ± 23,18	70,59 ± 22,68	0,076
	Post	%	44,74 ± 21,29	69,83 ± 24,85	0,076
	Sept	%	52,23 ± 18,51	65,70 ± 18,07	0,232
	Avg	%	49,99 ± 20,06	68,90 ± 15,66	0,148
SrR <sub>S</sub>	Ant	s <sup>-1</sup>	1,654 ± 0,268	2,032 ± 0,315	0,076
	AntSept	s <sup>-1</sup>	1,577 ± 0,203	1,824 ± 0,357	0,199
	Inf	s <sup>-1</sup>	1,622 ± 0,293	2,070 ± 0,591	0,260
	Lat	s <sup>-1</sup>	1,655 ± 0,394	2,205 ± 0,299	<b>0,034</b>
	Post	s <sup>-1</sup>	1,607 ± 0,381	2,203 ± 0,460	0,106
	Sept	s <sup>-1</sup>	1,603 ± 0,168	1,893 ± 0,478	0,148

## Anhang

	Avg	s <sup>-1</sup>	1,620 ± 0,199	2,038 ± 0,358	<b>0,019</b>
SrR <sub>E</sub>	Ant	s <sup>-1</sup>	-1,645 ± 0,588	-1,593 ± 0,595	0,825
	AntSept	s <sup>-1</sup>	-1,663 ± 0,642	-1,729 ± 0,623	0,825
	Inf	s <sup>-1</sup>	-1,249 ± 0,445	-1,540 ± 0,414	0,291
	Lat	s <sup>-1</sup>	-1,497 ± 0,563	-1,517 ± 0,438	0,951
	Post	s <sup>-1</sup>	-1,343 ± 0,535	-1,462 ± 0,282	0,710
	Sept	s <sup>-1</sup>	-1,329 ± 0,353	-1,637 ± 0,505	0,260
	Avg	s <sup>-1</sup>	-1,454 ± 0,398	-1,579 ± 0,223	0,604
SrR <sub>A</sub>	Ant	s <sup>-1</sup>	-1,444 ± 0,578	-1,642 ± 0,296	0,260
	AntSept	s <sup>-1</sup>	-1,201 ± 0,337	-1,105 ± 0,540	> 0,999
	Inf	s <sup>-1</sup>	-1,431 ± 0,407	-1,768 ± 0,779	0,503
	Lat	s <sup>-1</sup>	-1,515 ± 0,519	-1,815 ± 0,516	0,260
	Post	s <sup>-1</sup>	-1,447 ± 0,513	-1,806 ± 0,750	0,503
	Sept	s <sup>-1</sup>	-1,298 ± 0,363	-1,603 ± 0,590	0,503
	Avg	s <sup>-1</sup>	-1,389 ± 0,411	-1,623 ± 0,439	0,330
DR <sub>S</sub>	Ant	mm	13,52 ± 3,63	13,14 ± 2,90	> 0,999
	AntSept	mm	13,96 ± 2,81	15,65 ± 2,37	0,604
	Inf	mm	15,90 ± 2,97	20,10 ± 1,70	<b>0,024</b>
	Lat	mm	14,48 ± 4,53	12,74 ± 3,62	0,710
	Post	mm	15,75 ± 3,59	16,66 ± 1,33	0,636
	Sept	mm	15,09 ± 3,34	18,33 ± 1,75	0,099
	Avg	mm	14,78 ± 2,08	16,10 ± 1,62	0,287

Mittelwert ± Standardabweichung; Avg = arithmetischer Mittelwert; DR<sub>S</sub> = systolisches radiale Verformung; n= Anzahl an auswertbaren Pferden; SAX = kurze Achse; SC = zirkumferentieller Strain; SC<sub>P</sub> = frühsystolischer positiver Strain; SR = radialer Strain SrC<sub>S</sub>, SrC<sub>E</sub>, SrC<sub>A</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische zirkumferentielle Strain Rate; SrR<sub>S</sub>, SrR<sub>E</sub>, SrR<sub>A</sub> = systolische, frühdiastolische, spätdiastolische radiale Strain Rate; STE = Speckle Tracking Echokardiografie; **hervorgehoben** = statistisch signifikant

Tabelle 14: HRV Parameter; Vergleich der Werte vor dem Ritt, nach dem Ritt und nach drei Tagen.

	Einheit	vor dem Ritt	nach dem Ritt	p-Wert	nach 3 Tagen
<b>HRV</b>		n = 15	n = 15		n = 5
mittlere RR	ms	1468,47 ± 240,25	1175,33 ± 154,81	<b>0,003</b>	1621,00 ± 186,37
mittlere HR	bpm	42 ± 7	52 ± 6	<b>0,001</b>	37 ± 4
min HR	bpm	35 ± 6	45 ± 4	<b>&lt; 0,001</b>	33 ± 6
max HR	bpm	63 ± 16	74 ± 17	0,152	45 ± 6
SDNN	ms	102,10 ± 120,18	52,74 ± 25,01	0,140	225,00 ± 261,07
RMSSD	ms	127,16 ± 199,70	47,05 ± 21,99	0,551	339,08 ± 408,73
NN50	-	40,73 ± 23,97	44,73 ± 31,24	0,706	71,20 ± 49,14
pNN50	%	20,32 ± 12,70	18,12 ± 12,60	0,638	41,57 ± 30,59
SD1	ms	90,15 ± 141,61	32,69 ± 15,56	0,551	240,50 ± 289,93
SD2	ms	107,89 ± 101,10	65,01 ± 30,35	0,074	207,12 ± 231,85
VLF Power	Hz	0,93 ± 1,03	0,20 ± 0,41	<b>0,027</b>	0,60 ± 0,55
LF Power	Hz	3419,93 ± 4390,08	1452,87 ± 2276,36	<b>0,030</b>	11463,80 ± 15171,47
HF Power	Hz	22164,47 ± 61685,52	1414,80 ± 1953,52	0,975	73322,40 ± 109294,35
Total Power	Hz	25585,40 ± 65817,91	2868,27 ± 4203,95	0,096	84787,00 ± 124319,38
LF/HF	-	2,85 ± 2,74	1,06 ± 0,64	<b>0,030</b>	0,46 ± 0,30

Mittelwert ± Standardabweichung; bpm = Schläge pro Minute; HF = hoher Frequenzbereich; HR = Herzfrequenz; HRV = Herzratenvariabilität; Hz = Hertz; LF = niedriger Frequenzbereich; ms = Millisekunden; n = Anzahl; NN50 = Anzahl, der benachbarten NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen; pNN50% = prozentuale Anzahl der NN50 Intervalle zur Gesamtheit der NN Intervalle; RMSSD = Quadratwurzel des quadrierten Mittelwerts aller Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen; RR = Abstand der R-Zacken im EKG in ms; SD = Standardabweichung; SDNN = Standardabweichung aller NN-Intervalle;; VLF = sehr niedriger Frequenzbereich; **hervorgehoben** = statistisch signifikant

Tabelle 15: Blutdruckwerte; Vergleich der Werte vor und nach dem Ritt.

	Einheit	vor dem Ritt	nach dem Ritt	p-Wert
<b>Blutdruck</b>		n = 14	n = 15	
Puls	bpm	45 ± 17,32	57 ± 9,90	0,057
systolischer Blutdruck	mmHg	153 ± 22,34	144 ± 29,49	0,152
diastolischer Blutdruck	mmHg	98 ± 21,17	102 ± 20,11	0,726
mittlerer Blutdruck	mmHg	113 ± 19,55	114 ± 25,29	0,973

bpm = Schläge pro Minute; mmHg = Millimeter Quecksilbersäure; n = Anzahl



# Danksagung

Für die Unterstützung meiner Promotion möchte ich mich bei folgenden Personen herzlich bedanken:

Meiner Doktormutter Frau Prof. Dr. Heidrun Gehlen für die Überlassung des spannenden Themas und ihre Unterstützung.

Frau Dr. Antonia Ertelt für die Motivation diese Arbeit anzufertigen und ihre Hilfe bei Probennahme.

Ich danke Frau PD Dr. Roswitha Merle für die Beratung und ihr jederzeit offenes Ohr bei Fragen zur statistischen Auswertung.

Vielen Dank an Sarah Liertz, die ihre Erfahrungen der technischen Umsetzung mit mir geteilt hat. Ich danke weiterhin Katrin Purschke und Kalina für die Unterstützung bei der Untersuchung der Pferde.

Vielen Dank an Anja Lührmann, Janina Müller, Pia Kersten, Dr. Carolin Heide und Marco Lisicki für eure Unterstützung als Freunde und für das Korrekturlesen.

Ich danke Joy, die als vierbeiniges Model zur Verfügung stand.

Zuletzt möchte ich mich herzlich bei den Besitzern und Reitern der untersuchten Pferde bedanken.

# **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Hamburg, 17.03.2021









9 783967 291025  
**mbv**berlin mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-102-5