

**Aus der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin**

**Auswertung kardiologischer Untersuchungen bei  
Warmblutpferden mit Fokus auf Häufigkeit, Schweregrad  
sowie Zusammenhang von Befunden, Aussagekraft der  
Herzauskultation und Einflüssen von Herzbefunden  
auf die Leistungsfähigkeit**

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

**vorgelegt von  
Jakob Matthias Bernd Hövener  
Tierarzt aus Aachen**

**Berlin 2022  
Journal-Nr.: 4358**







Aus der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

**Auswertung kardiologischer Untersuchungen bei Warmblutpferden  
mit Fokus auf Häufigkeit, Schweregrad sowie Zusammenhang  
von Befunden, Aussagekraft der Herzauskultation und Einflüssen  
von Herzbefunden auf die Leistungsfähigkeit**

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

vorgelegt von  
Jakob Matthias Bernd Hövener  
Tierarzt aus Aachen

Berlin 2022  
Journal-Nr.: 4358

Gedruckt mit Genehmigung  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Uwe Rösler  
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Heidrun Gehlen  
Zweiter Gutachter: PD Dr. Roswitha Merle  
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Rudolf Staufenberg

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus): equidae; horses; heart; auscultation; diagnostic techniques; clinical examination; heart auscultation (MeSH); cardiology (MeSH); echocardiography; exercise test; heart murmurs (MeSH); arrhythmia, cardiac (MeSH); arrhythmia

Tag der Promotion: 13.09.2022

Teile dieser kumulativen Dissertation wurden wie folgt veröffentlicht:

Publikationen in Fachzeitschriften:

- I. Hövener J., Barton A.K., Merle R., Gehlen, H. Review: Poor performance in the Warmblood sport horse – causes and diagnostic approach.  
*Pferdeheilkunde* **2020**, 36, 511–530, *Accepted 18.08.2020*  
DOI: 10.21836/PEM20200604
- II. Hövener J., Pokar J., Merle R., Gehlen H. Association between Cardiac Auscultation and Echocardiographic Findings in Warmblood Horses.  
*Animals* **2021**, 11, 3463, *Accepted 03.12.2021*  
DOI: 10.3390/ani11123463
- III. Hövener J., Pokar J., Merle R., Gehlen H., Findings in 261 cardiac examinations of warmblood sport horses and their association with performance  
*Pferdeheilkunde* **2022**, 38, 252-263, *Accepted 07.02.2022*  
DOI: 10.21836/PEM20220306





# INHALTSVERZEICHNIS

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>I.</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>PUBLIKATIONEN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.</b>	<b>PUBLIKATION I</b> .....	<b>5</b>
I.	Review: Poor performance in the Warmblood sport horse – causes and diagnostic approach .....	5
II.	Zusammenfassung und Originalpublikation.....	6
<b>2.</b>	<b>PUBLIKATION II</b> .....	<b>26</b>
I.	Association between Cardiac Auscultation and Echo-cardiographic Findings in Warmblood Horses.....	26
II.	Zusammenfassung und Originalpublikation.....	27
<b>3.</b>	<b>PUBLIKATION III</b> .....	<b>43</b>
I.	Cardiac findings in 822 warmblood horses and their association with poor performance... ..	43
II.	Zusammenfassung und Originalpublikation.....	44
<b>III.</b>	<b>ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION</b> .....	<b>57</b>
<b>IV.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>65</b>
<b>V.</b>	<b>SUMMARY</b> .....	<b>67</b>
<b>VI.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>69</b>
<b>VII.</b>	<b>LISTE DER PUBLIKATIONEN</b> .....	<b>75</b>
<b>VIII.</b>	<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>77</b>
<b>IX.</b>	<b>FINANZIERUNG</b> .....	<b>78</b>
<b>X.</b>	<b>INTERESSENSKONFLIKT</b> .....	<b>79</b>
<b>XI.</b>	<b>SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG</b> .....	<b>80</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

EKG = Elektrokardiogram

MVI = Mitralklappen Regurgitation

AVI = Aortenklappen Regurgitation

TVI = Trikuspidalklappen Regurgitation

PVI = Pulmonalklappenregurgitation

VSD = Ventrikelseptumdefekt

LA = Linker Vorhof

RA = Rechtes Atrium

LV = Linker Ventrikel

RV = Rechter Ventrikel

AF = Vorhofflimmern

SVPC = Atriale Extrasystolen

VPC = Ventrikuläre Extrasystolen

mm = Millimeter

CI = Konfidenz Intervall

OR = Odd's Ratio

Et al. = und weitere

K = Kappa

## I. EINLEITUNG

Wie bei kaum einer anderen domestizierten Tierart ist das Herz des Pferdes an sportliche Leistungen angepasst. Daraus ergibt sich eine enorme Reservekapazität und die Möglichkeit die Herzfrequenz, um ein Vielfaches der Ruheherzfrequenz zu steigern. Dadurch existiert jedoch auch in Ruhe ein deutlicher Vagotonus und Arrhythmien können die Folge sein. Einige werden bei Pferden, gerade wenn diese sportlich genutzt werden, als physiologisch betrachtet, sofern sie unter Belastung verschwinden (van Loon 2019). Neben Arrhythmien werden bei Untersuchungen von Pferden regelmäßig Herzgeräusche festgestellt. Diese entstehen oft durch von Klappeninsuffizienzen bedingten turbulenten Blutfluss im Bereich der Herzklappen. Es können jedoch auch, bedingt durch die enorme Größe des Pferdeherzens, turbulente Blutströmungen ohne Vorliegen von Herzklappenrückflüssen auftreten. Diese werden dann als funktionale Herzgeräusche bezeichnet (Jago und Keen 2019).

Die gründliche Untersuchung des Herzens mittels Herzultraschall und Elektrokardiografie hat es in den letzten Jahrzehnten möglich gemacht physiologische und pathologische Befunde am Herzen voneinander abzugrenzen und verlässliche Aussagen über die betroffenen Strukturen und den Schweregrad der Erkrankung zu treffen (Schwarzwald 2019, van Loon 2019). Diese Untersuchungsmöglichkeiten sind jedoch wenigen, gut ausgestatteten, spezialisierten Praxen und Kliniken vorbehalten, sodass den meisten Pferdepraktikern neben der allgemeinen klinischen Untersuchung nur die gründliche Auskultation zur Untersuchung von Pferden mit Verdacht auf kardiologische Probleme zur Verfügung steht. Während Faustregeln existieren, welche Art von Geräusch von welcher Art Klappeninsuffizienz verursacht wird, ist die Genauigkeit umstritten (Jago und Keen 2019). Einige Autoren berichten von sehr guten Übereinstimmungen zwischen Auskultations- und Echokardiographie (Young und Wood 2010), während andere eher mäßige Übereinstimmungen erzielten und feststellen konnten, dass die Genauigkeit der Auskultation auch stark von den Qualifikationen des Untersuchenden abhängt (Naylor et al. 2001). Zudem ist bisher sehr wenig bekannt über einen möglichen Zusammenhang zwischen Lautstärke des Herzgeräusches und Schweregrad der entsprechenden Klappeninsuffizienz sowie dem Vorhandensein von Dimensionsveränderungen beim Pferd, während Studien in der Human- (Desjardins et al. 1996) und Kleintiermedizin (Wagner et al. 2010, Caivano et al. 2018, Rishniw et al. 2019) darlegen, dass die Lautstärke eines Herzgeräusches durchaus vom Schweregrad der zugrundeliegenden Herzerkrankung beeinflusst wird. Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag geleistet werden, um weitere Klarheit über den Zusammenhang zwischen Auskultationsbefunden und Befunden der Herzultraschalluntersuchung zu gewinnen und so eine sicherere Prognose über den Ursprung von auskultatorischen Herzgeräuschen zu ermöglichen.

Neben der Frage, welche Herzgeräusche mit welcher Art von Klappenrückflüssen vergesellschaftet sind, stellt sich die Frage, welche Befunde beim Warmblutsporthpferd häufig vorkommen und wie diese sich auf die Leistungsfähigkeit des Pferdes auswirken. Dies ist von besonderem Interesse, da über diese Frage zwar viele Studien beim Galopp- und beim Trabrennpferd durchgeführt wurden, die Anzahl von Studien, die sich mit der Häufigkeit von verschiedenen Herzbefunden und ihre Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Warmblutsporthpferdes beschäftigen aber eher gering ist. In keinem Fall können von Ergebnissen aus Studien mit Rennpferden Rückschlüsse auf Warmblutpferde gezogen werden, da es sich um Pferdepopulationen mit gänzlich verschiedener Altersstruktur und komplett verschiedenen sportlichen Anforderungen handelt (Gehlen et al. 2007, Maré et al. 2017).

Dementsprechend ist es möglich und auch in anderen Studien beschrieben, dass bestimmte Herzbefunde, wie etwa Rückflüsse an der Aortenklappe beim Warmblutpferd häufiger zu finden sind, da die Tiere in der Regel in einem deutlich fortgeschrittenerem Alter ihren sportlichen Höhepunkt erreichen als Rennpferde und dadurch bestimmte degenerative Erkrankungen häufiger auftreten (Gehlen et al. 2007, Leroux et al. 2013). Andere Erkrankungen, wie beispielsweise Insuffizienzen der Trikuspidalklappe können hingegen seltener vorkommen (Gehlen et al. 2007, Leroux et al. 2013).

Während Vorkommen und Schweregrad der kardiologischen Befunde vor allem aus epidemiologischer Sicht interessant sind, ist der praktische Tierarzt, der Pferdebesitzer, sowie auch der potentielle Pferdekäufer vor allem an den klinischen Konsequenzen, die eine Herzerkrankung für die Leistungsfähigkeit des Sportpartners Pferd bedeuten kann, interessiert. In der Literatur werden zahlreiche Ursachen für Leistungsinsuffizienz beim Sportpferd beschrieben und es wird deutlich, dass vor allem orthopädischer Erkrankungen und Erkrankungen der Atemwege als Ursache für Leistungsschwäche beschrieben, werden (Knight und Evans 2000, Martin et al. 2000, van Erck et al. 2006, Richard et al. 2010, Melkova et al. 2016, Niederhofer und Müller 2017). Die Bedeutung von kardiologischen Befunden ist weitaus weniger eindeutig. Auch hier können Ergebnisse aus Studien mit Rennpferden nicht ohne weiteres auf Warmblutpferde übertragen werden, da die olympischen Disziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit weitaus geringere Anforderungen an das Herz-Kreislaufsystem der Pferde stellt und diese dadurch wahrscheinlich Herzerkrankungen sehr viel länger kompensieren können, da sie im Wettkampf, anders als Rennpferde, selten ihre maximale aerobe Kapazität ausreizen müssen (Maré et al. 2017). Hier soll mit der retrospektiven Auswertung einer großen Zahl kardiologischer Untersuchungen an Warmblutpferden ein Beitrag geleistet werden, um in Zukunft bestimmte Herzerkrankungen bei Warmblutpferden besser hinsichtlich ihrer potenziell leistungslimitierenden Natur, sowie

auch hinsichtlich ihrer Prognose besser einschätzen zu können. Dies ist auch im Rahmen von Ankaufsuntersuchungen von entscheidender Bedeutung, da Herzbefunde, welche im Rahmen einer Kaufuntersuchung entdeckt werden, das Potential haben einen Pferdekauf zu verhindern oder den Wert eines Pferdes zu mindern, auch wenn die Leistungsfähigkeit der Pferde in den meisten Fällen uneingeschränkt war (Verdegaal et al. 2002, ter Woort et al. 2021).

Mit dieser Studie wollen wir einen Beitrag leisten, die Einschätzung von Befunden am Pferdeherz zu verbessern. Zum einen erhoffen wir uns, Pferdepraktikern, welche nicht über die materielle Ausstattung sowie das Fachwissen verfügen, um echo- oder elektrokardiografische Untersuchungen durchzuführen die Interpretation von Auskultationsbefunden zu erleichtern und eine Entscheidungshilfe zu bieten, welche Auskultationsbefunde einen Anlass zur Überweisung oder intensiveren Herzuntersuchung bieten. Zum anderen hoffen wir, dass die Einschätzung und klinische Beurteilung von Herzbefunden bei sportlich genutzten Warmblutpferden mit Hilfe der Daten aus dieser Studie weiter erleichtert wird und so eine Entscheidungshilfe im Rahmen von kardiologischen oder Ankaufsuntersuchungen zu bieten.



## II. PUBLIKATIONEN

### 1. Publikation I

#### I. Review: Poor performance in the Warmblood sport horse – causes and diagnostic approach

*Pferdeheilkunde – Equine Medicine* 2020, Vol. 36, Issue 6, 511-530  
DOI: 10.21836/PEM20200604

Jakob Hövener<sup>1,2,3</sup>, Ann Kristin Barton<sup>3</sup>, Roswitha Merle<sup>2</sup>, Heidrun Gehlen<sup>3</sup>

Tierärztliche Klinik für Pferde Bargteheide<sup>1</sup>

Institut für Veterinär-Epidemiologie und Biometrie, Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin<sup>2</sup>

Klinik für Pferde, allgemeine Chirurgie und Radiologie, Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin<sup>3</sup>

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Heidrun Gehlen

Klinik für Pferde, allgemeine Chirurgie und Radiologie des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

Oertzenweg 19b

14163 Berlin

heidrun.gehlen@fu-berlin.de

## **II. Zusammenfassung**

Pferde mit einem Vorbericht von ungenügender Leistung werden in der tierärztlichen Praxis oft vorgestellt und können eine diagnostische Herausforderung darstellen, da eine Vielzahl und oft auch mehrere Organsysteme für die Leistungsschwäche verantwortlich sein können. Die meisten Studien, die bisher über dieses Thema durchgeführt wurden, befassen sich mit Trab- oder Galopprennpferden und reduzierter Rennleistung.

Aufgrund der völlig anderen Anforderungen, die die olympischen Pferdesportdisziplinen im Vergleich zum Rennsport an den Athleten Pferd stellen, manifestieren leistungslimitierende Faktoren sich hier auch anders, etwa durch Probleme bei Anlehnung oder Versammlung, Schwierigkeiten bei der Durchführung bestimmter Lektionen oder komplexer Bewegungsabläufe, die etwa in der Dressur abgefragt werden oder durch Schwierigkeiten bei engen Wendungen oder Distanzen im Springparcours. Die häufigsten in der Literatur beschriebenen Erkrankungen, die sich für den Reiter in Leistungsinsuffizienz äußern, sind Erkrankungen der oberen und tiefen Atemwege, sowie orthopädische Probleme, wie etwa geringgradige oder bilaterale Lahmheiten oder Rückenprobleme. Aber auch andere Ursachen, wie Herz- oder Muskelerkrankungen, sowie metabolische oder hormonelle Imbalancen, können performancelimitierende Auswirkungen auf den Sportpartner Pferd haben. Zur Diagnostik ist neben ausführlicher Anamnese und klinischer Allgemeinuntersuchung eine Vielzahl von weiteren diagnostischen Untersuchungen, abhängig von den Ergebnissen der Anamnese und der klinischen Untersuchung, nützlich. Neben einer Ruheuntersuchung sollte immer auch eine Untersuchung in Belastung durchgeführt werden, um in Ruhe nicht apparente Befunde zu demaskieren und die klinische Relevanz der Befunde bewerten zu können. Diese Literaturübersicht soll einen Einblick in den Wissenstand über Ursachen, Manifestationsformen und Diagnostik unter Feldbedingungen von Leistungsinsuffizienz beim Pferd, mit besonderem Fokus auf Warmblutsportpferde, welche in den Disziplinen Springen, Dressur und Vielseitigkeit eingesetzt werden, geben.

Schlüsselwörter: Leistungsabfall, Pferd, Belastungstest, Erkrankungen



# Leistungsinsuffizienz beim Warmblutsporthorse – Ursachen und diagnostische Möglichkeiten: Eine Literaturübersicht

Jakob Hövener<sup>1,3</sup>, Ann Kristin Barton<sup>3</sup>, Roswitha Merle<sup>2</sup> und Heidrun Gehlen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tierärztliche Klinik für Pferde, Bargteheide

<sup>2</sup> Institut für Veterinär-Epidemiologie und Biometrie, Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin

<sup>3</sup> Klinik für Pferde, allgemeine Chirurgie und Radiologie, Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin

**Zusammenfassung:** Pferde mit einem Vorbericht von ungenügender Leistung werden in der tierärztlichen Praxis oft vorgestellt und können eine diagnostische Herausforderung darstellen, da eine Vielzahl und oft auch mehrere Organsysteme für die Leistungsschwäche verantwortlich sein können. Die meisten Studien, die bisher über dieses Thema durchgeführt wurden, befassen sich mit Trab- oder Galopprennpferden und reduzierter Rennleistung. Aufgrund der völlig anderen Anforderungen, die die olympischen Pferdesportdisziplinen im Vergleich zum Rennsport an den Athleten stellen, manifestieren leistungslimitierende Faktoren sich hier auch anders, etwa durch Probleme bei Anlehnung oder Versammlung, Schwierigkeiten bei der Durchführung bestimmter Lektionen oder komplexer Bewegungsabläufe, die etwa in der Dressur abgefragt werden oder durch Schwierigkeiten bei engen Wendungen oder Distanzen im Springparcours. Die häufigsten in der Literatur beschriebenen Erkrankungen, die sich für den Reiter in Leistungsinsuffizienz äußern, sind Erkrankungen der oberen und tiefen Atemwege, sowie orthopädische Probleme, wie etwa geringgradige oder bilaterale Lahmheiten oder Rückenprobleme. Aber auch andere Ursachen, wie Herz- oder Muskelerkrankungen, sowie metabolische oder hormonelle Imbalancen, können performancelimitierende Auswirkungen auf den Sportpartner Pferd haben. Zur Diagnostik ist neben ausführlicher Anamnese und klinischer Allgemeinuntersuchung eine Vielzahl von weiteren diagnostischen Untersuchungen, abhängig von den Ergebnissen der Anamnese und der klinischen Untersuchung, nützlich. Neben einer Ruheuntersuchung sollte immer auch eine Untersuchung in Belastung durchgeführt werden, um in Ruhe nicht apparente Befunde zu demaskieren und die klinische Relevanz der Befunde bewerten zu können. Diese Literaturübersicht soll einen Einblick in den Wissenstand über Ursachen, Manifestationsformen und Diagnostik unter Feldbedingungen von Leistungsinsuffizienz beim Pferd, mit besonderem Fokus auf Warmblutsporthorse, welche in den Disziplinen Springen, Dressur und Vielseitigkeit eingesetzt werden, geben.

**Schlüsselwörter:** Leistungsabfall, Sporthorse, Belastungstest, Erkrankungen, Diagnostik

## Review: Poor performance in the Warmblood sport horse – causes and diagnostic approach

Poor performance is a common complaint in equine veterinary practice and can pose a diagnostic challenge to the equine practitioner as the triggering pathology can be located in almost every organ system and very often more than one problem causes the performance deficit. Most studies regarding this topic have been conducted on racehorses with poor racing performance. Due to the very different demands the Olympic disciplines present to the equine athlete compared to racing, performance limiting medical conditions manifest in different ways. For example, sport horses rather present with problems under the rider as difficulties to collect or to keep contact with the bit or difficulties performing specific manoeuvres in dressage or making distances or sharp turns in the show-jumping ring. The most common medical conditions affecting horses with a complaint of performance problems are respiratory diseases and orthopedic problems like subtle lameness or back pain. However, also cardiac, neurologic and muscular problems, as well as metabolic and hormonal imbalances can limit the performance potential of the equine athlete. For diagnosing the cause of poor performance, a detailed anamnesis and thorough clinical examination are of utmost importance. Further diagnosis is then based on the results of the anamnesis and the clinical exam. Besides an examination at rest an examination during and after exercise is important to detect any abnormalities that may not be present at rest and to evaluate the clinical significance of any findings. This review shall give an overview about the causes and manifestations of poor performance in the horse with special focus on warmblood sport horses competing in dressage, show jumping and eventing. Moreover, diagnostic possibilities in the field are discussed.

**Keywords:** poor performance, sporthorse, exercise testing, diagnostics

**Zitation:** Hövener J., Barton A. K., Merle R., Gehlen H. (2020) Leistungsinsuffizienz beim Warmblutsporthorse – Ursachen und diagnostische Möglichkeiten: Eine Literaturübersicht. *Pferdeheilkunde* 36, 511–530; DOI 10.21836/PEM20200604

**Korrespondenz:** Prof. Dr. Heidrun Gehlen, Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie des Fachbereiches Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin; heidrun.gehlen@fu-berlin.de

Eingereicht: 2. Juli 2020 | Akzeptiert: 18. August 2020

## Einleitung

Leistungsinsuffizienz ist ein häufiger Vorbericht in der pferdetierärztlichen Praxis und immer eine Herausforderung für den untersuchenden Tierarzt, da sehr viele Erkrankungen als Ursache in Frage kommen. Der Wert einer ausführlichen

Anamnese kann nicht genug betont werden. Anschließend ist eine gründliche tierärztliche Untersuchung notwendig, um die Ursachen individuell zu ermitteln.

Eine verminderte Leistungsfähigkeit begünstigt die Entstehung von Verletzungen (Munsters et al. 2014) und ist ein häufiger

Grund, weshalb Pferde aus dem Sport ausscheiden. Neben eventuellen wirtschaftlichen Konsequenzen können auch tier-schutzrechtliche Aspekte relevant sein (Thomson et al. 2014). Der FEI Code of Conduct for the Welfare of the Horse Absatz 2b besagt, „dass kein Pferd, welches körperlich nicht voll leistungsfähig ist, an einem Wettbewerb teilnehmen darf und dass tierärztlicher Rat gesucht werden muss, sobald irgendein Zweifel an der Fitness des Tieres besteht“. Demzufolge ist es absolut unverzichtbar, der Ursache für eine mangelhafte Leistung auf den Grund zu gehen. Dabei ist es für den untersuchenden Tierarzt wichtig, die Leistungsschwäche zu charakterisieren und das diagnostische Vorgehen angemessen zu planen. Kenntnisse über mögliche weiterführende diagnostische Schritte und vor allem über die (z.T. rasse- und nutzungsabhängigen) relevanten, leistungs minderten Erkrankungen und ihre klinische Ausprägung sind dabei dringend erforderlich.

### Charakterisierung der Leistungsschwäche

Leistungsinsuffizienz bezeichnet eine Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit des Pferdes (Niederhofer und Müller 2017), wobei zu beachten ist, dass dies zunächst in der Regel durch die individuelle Beobachtung des Reiters erkannt wird und Pferde in der Regel mit unspezifischen Symptomen, die vom Besitzer nicht einem Organ zugeordnet werden können (z.B. Bewegungsunlust, vorzeitige Ermüdung oder Unrittigkeit), vorstellig werden (Niederhofer und Müller 2017). Einige Reiter definieren dabei Leistungsschwäche darüber, dass das Pferd nicht mehr das tut, wozu der Reiter es auffordert und sich widersetzlich zeigt (Buckley et al. 2004). Dabei muss nicht immer ein medizinisches Problem die Ursache für die vom Reiter wahrgenommene Leistungsschwäche sein. Diese kann auch in einem unzureichenden Trainingszustand, Überforderung, Verhaltensproblemen oder falscher Fütterung begründet sein (Pilsworth et al. 1998, Niederhofer und Müller 2017). Nicht zuletzt kann auch der Reiter (mit) verantwortlich für eine ungenügende Leistung sein (Pilsworth et al. 1998, Dyson 2016, Hines 2018). Dies muss also erst einmal ausgeschlossen und klar von medizinisch begründeter, durch den Tierarzt diagnostizierbarer Leistungsschwäche abgegrenzt werden (Lilich und Gaughan 1996), um die der Leistungsschwäche zugrunde liegende medizinische Ursache zu erkennen. Die Leistungsfähigkeit eines Pferdes kann durch Schmerzen, mangelhafte Sauerstoffversorgung oder allgemeine Schwäche beeinträchtigt werden (Niederhofer und Müller 2017), so dass fast jedes Organsystem als Auslöser für eine vorberichtliche Leistungsinsuffizienz in Frage kommt. Sowohl orthopädische Probleme als auch Magenzulera können chronische Schmerzen verursachen und Störungen der sauerstofftransportierenden Organsysteme, wie Herz und Lungen, können die Leistungsfähigkeit des Organismus deutlich negativ beeinflussen (Niederhofer und Müller 2017, Hines 2018). Als häufigste Auslöser für Leistungsminderungen oder Leistungsschwäche sind beim Pferd Erkrankungen des Respirationsstraktes und des Bewegungsapparates beschrieben. Jedoch führen auch in einer Vielzahl von Fällen mehrere klinische Befunde bzw. mehrere Organbeteiligungen zur Leistungsschwäche (Moore 1996, Parente 1996, Richard et al. 2010, Fraipont et al. 2011, Dyson 2016, Niederhofer und Müller 2017, Hines 2018). Die Ursachenforschung in diesem Bereich ist daher auch für den erfahrenen Tierarzt nicht ein-

fach und erfordert eine klar strukturierte Vorgehensweise sowie profundes Wissen über die verschiedenen Organsysteme (Parente 1996). Auch ist es wichtig, die Anforderungen der einzelnen Pferdesportdisziplinen zu kennen (Dyson 2016), um eine tatsächliche medizinische bedingte Leistungsschwäche von anderen, eher verhaltens- oder reiterlich bedingten Problemen, abzugrenzen (Pilsworth et al. 1998, Dyson 2016) und die zu Grunde liegende Pathologie korrekt zu diagnostizieren (Niederhofer und Müller 2017, Hines 2018).

### Diagnostische Vorgehensweise

#### Anamnese

Eine detaillierte Anamnese ist die Grundlage, um eine zielgerichtete Untersuchung durchzuführen und medizinisch bedingte Leistungsschwäche von anderen Ursachen abzugrenzen (Lilich und Gaughan 1996, Parente 1996, Birks et al. 2004, Evans 2007, Niederhofer und Müller 2017). Dazu zählen grundlegende Informationen wie Rasse, Alter, Geschlecht, Nutzung/ Disziplin und Leistungsklasse. Die Rasse und das Alter des Patienten können wertvolle Informationen liefern, da bestimmte Erkrankungen vor allem bei bestimmten Pferdetypen und Altersgruppen auftreten (Hines 2018). So ist beispielsweise bei jungen Pferden eher mit kongenitalen Erkrankungen oder grundlegendem Mangel an Potential zu rechnen, während man bei älteren Pferden, welche vorher bessere Leistung gezeigt haben, eher Neoplasien oder Verschleißerscheinungen erwartet (Pilsworth et al. 1998, Hines 2018). Disziplin und Leistungsklasse werden ebenfalls erfragt, um die gewünschte Leistung bzw. den beklagten Leistungsmangel besser zu beurteilen und mit Befunden der eigenen Untersuchungen in Relation zu setzen. So können bei einem Renn- oder Vielseitigkeitspferd schon geringfügige Pathologien zu Leistungseinschränkungen führen, die bei Dressur- oder Springpferden noch problemlos toleriert werden können (Niederhofer und Müller 2017).

Fütterungsmanagement und Ernährungsstatus werden ebenfalls evaluiert, da Mangel- oder Überernährung die Leistungsfähigkeit des Organismus negativ beeinflussen können. Auch die Haltungsbedingungen sollten erfragt werden, da beispielsweise Stallhaltung das Auftreten von Atemwegsproblemen fördern kann (Birks et al. 2004, Evans 2007, Hines 2018, Couetil et al. 2020). Trainingspensum, -umgebung, und -ablauf, sowie Wettkampfergebnisse können ebenfalls wichtige Informationen liefern. So sollte beispielsweise erfragt werden, ob das Problem immer auftritt oder erst bei Abfrage von höherer Leistung oder bei einer bestimmten Lektion. Falls vorzeitige Ermüdung auftritt, ist es wichtig zu wissen, ob diese plötzlich oder schleichend auftritt, ob das Pferd dann Kurzatmigkeit, Steifheit oder ähnliches zeigt und ob es zu einer verzögerten Beruhigung nach Belastung kommt.

Wichtig zu wissen ist außerdem, wie lange das Problem schon besteht. Falls das Pferd schon immer Symptome von Leistungsschwäche zeigte, muss auch in Erwägung gezogen werden, ob die Erwartungen des Besitzers, in Bezug auf die körperlichen und konditionellen Möglichkeiten sowie die mentale Einstellung des Pferdes unrealistisch sind (Lilich und Gaughan 1996, Parente 1996, Pilsworth et al. 1998, Birks et al. 2004, Evans 2007, Hines 2018).

Es ist ebenfalls wichtig herauszufinden, ob das Pferd bekannte chronische oder akute Vorerkrankungen hat und medikamentös vorbehandelt wurde (z.B. mit Schmerzmitteln) und ob dies eine Verbesserung der Probleme bewirkte (Birks et al. 2004, Hines 2018). Auch sämtliche weiteren Voruntersuchungen sollten eruiert werden (Lilich und Gaughan 1996).

Des Weiteren sollten Impf- und Entwurmungsstatus und Auslandsaufenthalte hinsichtlich diverser Infektionskrankheiten ermittelt werden (Lilich und Gaughan 1996, Couetil et al. 2020). Zu guter Letzt sollte der Reiter ausführlich befragt werden, ob ihm in letzter Zeit Auffälligkeiten wie Lahmheit, Hinterhandschwäche, Muskelatrophie, Gang-Inkoordination oder Probleme bei bestimmten Bewegungsmustern aufgefallen sind oder kürzlich Beschlagsänderungen, intraartikuläre Injektionen oder Operationen stattgefunden haben. Außerdem sollte erfasst werden, ob etwa Husten, Atemnot, Atemnebengeräusche, Ermüdung zu ungewöhnlichen Zeiten, Synkopen oder ähnliches aufgefallen sind, was auf Erkrankungen des Atmungs- oder Herz-Kreislaufapparates hindeuten könnte (Lilich und Gaughan 1996, Evans 2007, Hines 2018, Jago und Keen 2019, Couetil et al. 2020).

#### Klinische Untersuchung

Da eine Leistungsinsuffizienz in jedem Organsystem und durch mehr als eine Erkrankung entstehen kann, ist eine gründliche klinische Untersuchung des Patienten wichtig, auch wenn das Pferd bereits von einem überweisenden Tierarzt untersucht wurde (Lilich und Gaughan 1996, Parente 1996, Birks et al. 2004, Martin et al. 2004, Fraipont et al. 2011, Niederhofer und Müller 2017, Hines 2018). Dafür sollte auf jeden Fall die körperliche Verfassung inklusive Pflege- und Ernährungszustand sowie die allgemeine Konstitution und der Habitus untersucht werden (Lilich und Gaughan 1996). Des Weiteren werden die Vitalparameter erhoben und eine gründliche Auskultation des Herzens und der Lunge durchgeführt (Lilich und Gaughan 1996, Birks et al. 2004). Das Maul wird untersucht und auffälliger Geruch, pathologische Abnutzungen der Zähne oder Ulzerationen der Schleimhaut werden notiert (Lilich und Gaughan 1996). Bei Leistungsschwäche erfolgt immer eine gründliche Lahmheitsuntersuchung. Diese sollte eine Adspektion und Palpation des gesamten Körpers, insbesondere des Rückens, im Ruhezustand umfassen und eine Untersuchung in Bewegung auf der Geraden und auf dem Zirkel sowie unter Belastung auf weichem Boden beinhalten (Parente 1996, Martin et al. 2004). Tritt die Leistungsschwäche bei bestimmten Lektionen auf, ist eine Untersuchung unter dem Reiter hilfreich. Bei gehobenen Sportpferden spielen andere möglicherweise leistungsbeeinträchtigende Ursachen, wie reiterliche Mängel oder unpassendes Equipment (z.B. Sattel) meistens keine Rolle. Sie sollten aber gegebenenfalls mitberücksichtigt werden, falls der Reiter/Besitzer mit mangelnder Fachkenntnis auffällt.

Welche weiteren Untersuchungen im Anschluss noch durchgeführt werden, ist stark abhängig von der Anamnese und den bereits erhobenen klinischen Befunden, wobei beachtet werden muss, dass das Vorhandensein eines klinischen Befundes andere Pathologien, die zur Leistungsschwäche beitragen können nicht ausschließt. Oft tragen mehrere Ursachen zur

Leistungsinsuffizienz bei (Morris und Seeherman 1991, Parente 1996, Knight und Evans 2000, Birks et al. 2004, Martin et al. 2004, Melkova et al. 2016, Wysocka und Kluciński 2018).

#### Belastungstests

Standardisierte Belastungstests ermöglichen eine Evaluierung verschiedener Organsysteme unter vergleichbaren Bedingungen und werden vielseitig eingesetzt, um Trainingsfortschritte zu beurteilen. Sie können aber auch bei der Diagnostik von Pferden mit Leistungsinsuffizienz eine sinnvolle zusätzliche Untersuchung darstellen, sofern die Ergebnisse des Leistungstests mit Anamnese und Befunden der klinischen Untersuchung in Verbindung gebracht werden (Evans 2004, Evans 2007, Bitschnau et al. 2010, Fraipont et al. 2011). Eine wichtige Rolle spielen Belastungstests in der Bewertung der klinischen Signifikanz von Befunden, die bei vorherigen Untersuchungen festgestellt wurden und um Befunde festzustellen, die während der Ruheuntersuchung nicht auffällig waren (Parente 1996, Evans 2004, Evans 2007, Hines 2018). So können vor allem kardio-respiratorische und metabolische Messwerte, die während der Belastung genommen werden, wichtige Rückschlüsse auf eine Reihe von Organsystemen liefern, die bei der Bereitstellung von Energie eine wichtige Rolle spielen. Subklinische Lahmheiten können ebenfalls durch einen Belastungstest provoziert werden (Fraipont et al. 2011, Hines 2018). Ein gut durchgeführter Belastungstest sollte die vom Pferd im Regelfall erbrachte Arbeit so gut wie möglich replizieren, also eine hohe Validität besitzen (Allen et al. 2016). Neben Belastungstests auf dem Hochgeschwindigkeitslaufband sind auch solche unter Feldbedingungen gut geeignet, da hier die Bedingungen, unter denen das Pferd im Alltag trainiert, wie Boden, Reitergewicht und Geschwindigkeit besser wiedergegeben werden können (Evans 2004, Evans 2007). Möglich machen dies tragbare Geräte, welche Herzfrequenz und Geschwindigkeit des Pferdes anzeigen können (Evans 2004). Für die verschiedenen Disziplinen werden unterschiedliche Tests empfohlen, da man nicht ohne weiteres Protokolle, die etwa für Rennpferde aussagekräftig sind, auf Sportpferde übertragen kann (Maré et al. 2017) und es wichtig ist, dass die Bedingungen unter denen das Pferd im Alltag Leistung erbringen muss, so gut wie möglich repliziert werden (Munsters et al. 2014, Maré et al. 2017).

Verschiedene Parameter können dann vor, während und nach der Belastung erhoben werden, wobei die wichtigsten, im Feld anwendbaren Tests, die Herzfrequenzmessung und die Messung der Blutlaktatkonzentration im Verhältnis zur Arbeitsbelastung sind (Evans 2004, Leleu et al. 2005, Bitschnau et al. 2010, Twele 2019).

Die Messung der Herzfrequenz erlaubt Rückschlüsse auf die Funktion und Kapazität des kardiovaskulären Systems und den Grad der akuten Belastung (Twele 2019), denn das Herz auswurfvolumen vergrößert sich nicht wesentlich, so dass die Herzfrequenz Rückschlüsse auf das tatsächliche Herzminutenvolumen erlaubt. Generell steigt die Herzfrequenz mit steigender Beanspruchung an, bis ihr Maximum erreicht ist und es trotz steigender Belastung zu einem Plateau kommt (Allen et al. 2016, Hines 2018, Twele 2019). Die maximale Herzfrequenz ist ein individuell festgelegter Wert und nur die

Geschwindigkeit, mit der die maximale Herzfrequenz erreicht wird, und die Größe des Herzens und somit sein Auswurfvolumen sind durch Training zu modifizieren (Allen et al. 2016, Hines 2018, Twele 2019). Die Messung der Herzfrequenz kann entweder mittels Auskultation erfolgen, was jedoch leicht zu Messungenauigkeiten führt, oder es können Elektrokardiogramme oder Sportuhren mit integriertem GPS-Modul und Herzfrequenzmessung benutzt werden (Reef et al. 2014, Allen et al. 2016, Maré et al. 2017, Twele 2019). Als klinisch nutzbarer Messwert, um die Fitness eines Pferdes zu beurteilen, werden, je nach Disziplin der V200, der V170 und der V140 beschrieben, also die Geschwindigkeit, bei der die Herzfrequenz bei 200, 170 oder 140 Schlägen pro Minute liegt, wobei ein fitteres Pferd diese Werte erst bei höherer Belastung erreicht (Evans 2004, Leleu et al. 2005, Fraipont et al. 2011, Munsters et al. 2014, Allen et al. 2016, Maré et al. 2017, Hines 2018, Twele 2019). Außerdem wird die Beruhigung der Herzfrequenz nach Belastung häufig zur Ersteinschätzung bei Pferden mit Leistungsintoleranz in praxi verwendet (Bitschnau et al. 2010, Reef et al. 2014), wobei ein fittes Pferd etwa 30 bis 45 Minuten nach Ende der intensiven Belastung wieder seine Ruheherzfrequenz aufweisen sollte (Reef 2018). Als pathologisch zu betrachten ist eine relativ erhöhte Herzfrequenz, ungewöhnlich hohe maximale Herzfrequenzen von über 250 Schlägen pro Minute, ungewöhnlich niedrige Herzfrequenzen und eine stark verlängerte Beruhigungsphase (Allen et al. 2016). Gerade eine erhöhte Herzfrequenz muss keine kardiologische Ursache haben, sondern kann auch auf andere Probleme hindeuten, wie etwa ungenügende Fitness, Dehydratation, hohe Temperaturen, respiratorische oder vasculäre Erkrankungen, Aufregung oder auch Schmerzen, wie etwa subklinische Lahmheit (Evans 2004, Evans 2007, Allen et al. 2016). Dies sollte vor allem in Betracht gezogen werden, wenn die Herzfrequenz stark ansteigt, der Blutlaktatwert, welcher als Indikator für anaerobe Glykolyse ebenfalls Rückschlüsse auf die kardiovaskuläre Fitness des Pferdes zulässt, sich hingegen wenig verändert (Maré et al. 2017, Hines 2018). Verglichen mit anderen Indikatoren für Trainingsintensität ist die Herzfrequenz insgesamt einfach, schnell und günstig zu erfassen und kann in vielen Szenarien verwendet werden und Abweichungen können auf viele mögliche Pathologien hindeuten. Andererseits ist die Frequenz, wie kaum ein anderer Wert, auch von psychologischen Faktoren wie Stress oder Aufregung (evtl. auch situativ oder umgebungsbedingt) beeinflussbar, und Messwerte können so verfälscht werden (Allen et al. 2016).

Laktat als ein Produkt des anaeroben Glukosestoffwechsels, wird mit steigender Belastung vermehrt ausgeschüttet, so dass mit Erhöhung der körperlichen Belastung auch die Blutlaktatkonzentration exponentiell ansteigt. Die Zunahme der Laktatkonzentration im Blut kann als ein Indikator für die kardiovaskuläre und metabolische Fitness des Pferdes betrachtet werden (Piccione et al. 2010, Hines 2018). Von besonderem Interesse zur Evaluation der Leistungsfähigkeit des Organismus ist die sogenannte aerob-anaerobe Laktatschwelle, also jener Grad an Belastung, bei der sich Laktatauf- und -abbau im Gleichgewicht befinden. Bei weiterer Erhöhung der Belastung übersteigt dann die Laktatproduktion den Laktatabbau, so dass es zu einem exponentiellen Anstieg der Laktatkonzentration kommt (Twele 2019). In der Humanmedizin und auch beim Pferd wird der Wert von 4 mmol/l häufig als aerob-an-

aerobe Schwelle definiert (Twele 2019). Dementsprechend ist die aerobe Kapazität eines Athleten größer, je höher die Belastung ist, bei der eine Blut- oder Plasmalaktatkonzentration von 4 mmol/l gemessen wird. Untrainierte Pferde oder solche mit respiratorischen Problemen erreichen diese Werte schon bei deutlich niedrigeren Belastungen als fitte Pferde (Parente 1996, Evans 2004, Leleu et al. 2005, Piccione et al. 2010, Fraipont et al. 2011, Hines 2018). Zur Messung der Laktatkonzentration sind Blutgasanalysegeräte und portable Blutlaktat-Messgeräte geeignet (Twele 2019).

Auch die arterielle Blutgasanalyse kann Aufschlüsse über die Fitness/Kondition eines Pferdes geben. Vor allem bei Pferden mit Verdacht auf kardiorespiratorische Erkrankungen erlaubt diese Untersuchung in Ruhe oder unter Belastung eine Aussage über die Lungenfunktion, aber auch über sonstige obstruktive Atemwegsverlegungen oder kardiologische Probleme und sollte immer in Zusammenhang mit anderen Untersuchungsergebnissen betrachtet werden (Parente 1996, Martin et al. 2004, Meyer et al. 2004, Hines 2018). Die Durchführung der arteriellen Blutgasanalyse kurz nach Belastung ist hingegen wenig aussagekräftig, da sich die Werte innerhalb von Sekunden verändern (Gehlen 2010). Es erfordert daher eine entsprechende technische Ausstattung, um unter maximaler Belastung, z.B. auf dem Hochgeschwindigkeitslaufband, intraarterielle Blutproben über einen liegenden Arterienzugang zu gewinnen. Daher ist in der Praxis die Nutzung des Laktatwertes nach Belastung gebräuchlicher.

Insgesamt sollte die Diagnose nicht aufgrund eines einzelnen Messwertes getroffen werden, sondern es sollten sowohl der Vorbericht als auch alle Ergebnisse der klinischen Untersuchung und des Belastungstestes gemeinsam zur Beurteilung und Diagnosefindung herangezogen werden (Evans 2007).

## Weiterführende Diagnostik und leistungsmindernde Erkrankungen

In den Tabellen 1 und 2 sind die leistungsmindernden Erkrankungen und Vorberichte aufgelistet.

### Erkrankungen der Atemwege

Erkrankungen der Atemwege werden als „die häufigste internistische Ursache für Leistungsschwäche beim Pferd“ beschrieben (Niederhofer und Müller 2017).

Dementsprechend wichtig ist eine ausführliche Untersuchung der Atemwege bei allen Patienten, die mit Leistungsinsuffizienz vorstellig werden (Lilich und Gaughan 1996, Hines 2018). Die Anamnese ist auch hier die Grundlage für das weitere klinische Vorgehen. Symptome, wie Husten, Atemgeräusche oder Kurzatmigkeit können vorliegen und wertvolle Hinweise liefern, ob die Erkrankung zum Beispiel eher im Bereich der oberen oder der tiefen Atemwege lokalisiert ist. Häufig werden diese Symptome aber vom Besitzer nicht als leistungsinsuffizienzverursachendes Problem erkannt (Niederhofer und Müller 2017).

Eine ausführliche Auskultation des gesamten Lungenfeldes sollte bei Ruheatmung und auch unter forcierter Atmung er-

Tab. 1 Leistungsschwäche als Vorbericht | *Complaint of poor Performance*

Autor und Jahr	Pferde	Anzahl der Pferde	Nutzung	Erkrankungen	Untersuchungen
Martin et al. 2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 198 Vollblüter</li> <li>• 140 Traber</li> <li>• 10 andere</li> </ul>	348	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150 Galopprennen</li> <li>• 140 Trabrennen</li> <li>• 28 Hindernisrennen</li> <li>• 7 Dressur</li> <li>• 10 Vielseitigkeit</li> <li>• 10 Springen</li> <li>• 3 Distanz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 26,5% keine Diagnose</li> <li>• 42,8% Erkrankungen der oberen Atemwege (DDSP, dyn. Pharynxkollaps, RLN)</li> <li>• 9,5% Herzarrhythmien</li> <li>• 6,3% obere Atemwege + Herzarrhythmien</li> <li>• 5,5% verminderte Herzkontraktion (fractional shortening)</li> <li>• 2,9% exertionale Rhabdomyolyse</li> <li>• 4,3% Lahmheit</li> <li>• 2,6% anderes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeinuntersuchung inkl. Auskultation von Herz und Lunge</li> <li>• Hochgeschwindigkeitslaufband</li> <li>• Endoskopie der oberen und unteren Atemwege</li> <li>• Echokardiographie vor, während und nach Belastung</li> </ul>
Melkova et al 2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 18 Vollblüter</li> </ul>	18	Galopprennen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 16,7% keine Diagnose</li> <li>• 66,6% obere Atemwege (44,4% DDSP, 11,1% Deviation der Plica aryepiglottica, 11,1% Hemiplegia laryngis sinistra)</li> <li>• 1,1% IAD</li> <li>• 5,5% EIPH</li> <li>• 11,1% subkl. Myopathie</li> <li>• 55,6% mehr als ein Problem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeinuntersuchung</li> <li>• Laboruntersuchung: Hämatologie, Serum Biochemie, Creatinkinase nach Belastung</li> <li>• Endoskopie der oberen Atemwege in Ruhe und Belastung</li> <li>• Kardiolog. Untersuchung: Auskultation, Echokardiographie, EKG in Ruhe und Belastung</li> <li>• Hochgeschwindigkeitslaufband</li> </ul>
Fraipont et al. 2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 13 Araber</li> <li>• 8 Araber Kreuzungen</li> <li>• 2 franz. Traber</li> <li>• 2 Apaloosa Kreuzungen</li> <li>• 1 Selle francais</li> <li>• 1 Palomino</li> </ul>	27	Distanzrennen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 85,2% Erkrankungen der unteren Atemwege (IAD, EIPH, bakterielle Infektion, milde RAO)</li> <li>• 25,9% Rhabdomyolyse</li> <li>• 14,8% Lahmheiten</li> <li>• 7,4% Kardiologische Erkrankungen</li> <li>• 100% mehr als ein Problem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeinuntersuchung</li> <li>• Lahmheitsuntersuchung</li> <li>• Belastungstest inkl. V160, V200 und VLa4</li> <li>• Blutuntersuchung: Hämatologie und Biochemie</li> <li>• BelastungsEKG</li> <li>• Echokardiographie</li> <li>• SerumLaktatkonzentration</li> <li>• Oszillometrie</li> <li>• Endoskopie der oberen und tiefen Atemwege inkl. Trachealspülprobe und BALFZytologie</li> </ul>
Richards et al, 2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 38 Traber</li> </ul>	38	Trabrennen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 11% keine Diagnose</li> <li>• 78% mehr als ein Problem</li> <li>• 42% obere Atemwege (24% Deviation der Plica aryepiglottica, 11% Pharynxkollaps, 5% DDSP, 3% Stimmfaltenkollaps)</li> <li>• 84% untere Atemwege (65% IAD, 52% EIPH, 52% tracheale Inflammation)</li> <li>• 21% Lahmheit</li> <li>• 24% muskuläre Probleme</li> <li>• 10% mangelnder Trainingszustand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeinuntersuchung</li> <li>• Blutuntersuchung: Hämatologie und Biochemie</li> <li>• Enzyme (CK, AST, LDH)</li> <li>• Fibrinogen, Eisen und SAA</li> <li>• Echokardiographie</li> <li>• Standardisierter Belastungstest mit EKG (V200) und Blutlaktatbestimmung (VLa4)</li> <li>• Ruheendoskopie der oberen und tiefen Atemwege und BALFZytologie und Trachealspülprobe</li> <li>• Belastungsendoskopie der OAW</li> <li>• Lahmheitsuntersuchung</li> </ul>

Autoren und Jahr	Pferde	Anzahl der Pferde	Nutzung	Erkrankungen	Untersuchungen
Knight and Evans 2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>542 Traber unmittelbar nach dem Rennen untersucht</li> </ul>	541	Trabrennen	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei 49,5 % Diagnosen gestellt, davon</li> <li>26,6 % akute Verletzungen</li> <li>11,1 % Lahmheit</li> <li>5,4 % Iliosakralgelenk</li> <li>4,8 % schlechte Erholungswerte</li> <li>4,6 % EIPH</li> <li>2,6 % Atemwegsentzündung</li> <li>2,3 % gluteale Schmerzen</li> <li>1,5 % Maulverletzungen</li> <li>1,6 % einseitiges Nasenbluten</li> <li>ca. 6 % sonstiges</li> <li>bei 50,5 % keine Diagnose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Allgemeine und klinische Untersuchung inkl. Auskultation von Herz und Lunge und Lunge unmittelbar nach Beendigung des Rennens</li> <li>dann abhängig vom klinischen Erscheinungsbild: Lahmheitsuntersuchung, Palpation der Muskulatur und/ oder Blut und Urinuntersuchung</li> </ul>
Van Erck et al. 2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>40 Traber</li> </ul>	40	Trabrennen	<ul style="list-style-type: none"> <li>60 % obere und untere Atemwege</li> <li>50 % Lahmheit</li> <li>10 % kardiologische Probleme</li> <li>10 % Belastungsmyopathie</li> <li>11,5 % ungenügender Trainingszustand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>klinische Untersuchung inkl. Auskultation von Herz und Lunge und orthopädische Untersuchung</li> <li>Belastungstest mit Herzfrequenzmessung (V200) und Messung der Blutlaktatkonzentration (VLA4)</li> <li>Endoskopie der oberen &amp; unteren Atemwege vor &amp; nach Belastung</li> <li>Blutuntersuchung vor und nach Belastung</li> </ul>

folgen, da viele Befunde bei Ruheatmung subklinisch bleiben (Lilich und Gaughan 1996, Niederhofer und Müller 2017, Hines 2018). Diese Forcierung der Atmung sollte nicht durch Belastung erfolgen, da dies durch den Sympathikotonus zu einer Bronchodilatation führt und die Sekretmobilisation fördert. Daher sind Maßnahmen in Ruhe, etwa die CO<sub>2</sub>-Rückatmung in einen Atembeutel besser geeignet, um Auskultationsbefunde zu verdeutlichen (Fey und Venner 2017). Zusätzlich können die Lungengrenzen und eventuelle hyper- oder hyporesonante Areale oder pleurale Schmerzen mittels Perkussion ermittelt werden (Hines 2018).

### Erkrankungen der oberen Atemwege

Erkrankungen des oberen Respirationstraktes sind vielfältig und ein häufiger Befund bei leistungsinsuffizienten Rennpferden (Sánchez et al. 2005, Van Erck et al. 2006, Richard et al. 2010, Davidson et al. 2011, Van Erck 2011, Melkova et al. 2016), da Abnormalitäten der oberen Atemwege hinsichtlich Anatomie und Funktion die Ventilation der Lunge während der Belastung behindern und so zu einer Hypoxämie führen können, was die Leistungsfähigkeit der Muskulatur beeinträchtigt (Birks et al. 2004, Evans 2007, Davidson et al. 2011). Dabei ist zu beachten, dass die klinische Bedeutsamkeit stark von der Disziplin abhängt (Parente 2018). So können Befunde, die bei einem Renn- oder Vielseitigkeitspferd schon zu deutlichen Leistungsminderungen führen würden, bei einem Dressur- oder Springpferd eventuell noch problemlos toleriert werden (Van Erck-Westergren et al. 2013, Niederhofer und Müller 2017). Dennoch sind Erkrankungen der oberen Atemwege beim Sportpferd als häufige Ursache von Leistungsinsuffizienz beschrieben (Davidson und Martin 2003, Davidson et al. 2011, Van Erck 2011, Van Erck-Westergren et al. 2013).

Die wichtigsten Erkrankungen mit meist deutlicher Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit des Pferdes sind (neben anderen selten beobachteten Erkrankungen) die Dorsalverlagerung des Gaumensegels (DDSP) beim Rennpferd (Davidson und Martin 2003) und die Neuropathie des Nervus laryngeus recurrens (RLN; Recurrent laryngeal neuropathy) mit assoziierter Kehlkopflähmung beim Warmblutpferd (Davidson und Martin 2003, Fey et al. 2017). Sehr viel seltener sind der dynamische Pharynxkollaps und die Deviation der Plica aryepiglottica (Beard 1996, Davenport-Goodall und Parente 2003, Hackett und Parente 2003, Sullivan und Parente 2003, Holcombe und Ducharme 2004, Martin et al. 2004, Brown et al. 2005, Fey et al. 2017, Hines 2018). Andere Studien fanden dagegen pharyngeale Instabilität als häufigsten Befund (Van Erck 2011), wobei die Bedeutung dieses belastungsendoskopischen Befundes fraglich bleibt. Es wurde vermutet, dass Dressurpferde häufiger DDSP und Larynxkollaps entwickeln als Springpferde, vermutlich aufgrund des höheren Versammlungsgrades und der damit verbundenen engeren Kopf-Hals-Haltung der Dressurpferde, was wiederum zu einem höheren Luftwiderstand in den oberen Atemwegen führen soll. Letzteres wurde jedoch in einer Studie, in der der Grad der Kehlkopflähmung in verschiedenen Kopfformen belastungsendoskopisch verglichen wurde, widerlegt (Go et al. 2014). Insgesamt weisen viele Pferde mehr als eine Pathologie in diesem Bereich auf (Van Erck 2011).

Tab. 2 Leistungsschwäche kombiniert mit anderem Vorbericht   <i>Complaint of Poor Performance associated to respiratory or musculoskeletal problems</i>					
Autor und Jahr	Pferde	Anzahl Pferde	Nutzung	Erkrankungen	Untersuchungen
Davidson et al. 2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 Vollblüter</li> <li>• 15 Vollblut Kreuzungen</li> <li>• 26 Warmblüter</li> <li>• 9 Kaltblüter</li> <li>• 13 Ponies</li> <li>• 5 Quarter Horses</li> <li>• 5 Morgan/ American Saddlebred</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 35 mit Atemnebengeräusch und Leistungsschwäche</li> <li>• 17 nur mit Leistungsschwäche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 33 Springen</li> <li>• 19 Vielseitigkeit</li> <li>• 25 Dressur</li> <li>• 8 Fuchsjagd</li> <li>• 13 Fahren</li> <li>• 5 Freizeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• insgesamt 72% Erkrankungen der oberen Atemwege (dynamischer Pharynxkollaps, DDSP, Hemiplegia laryngis sinistra)</li> <li>• 81% bei Pferden mit Atemnebengeräuschen</li> <li>• 24% bei Pferden ohne Atemnebengeräusche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochgeschwindigkeitslaufband</li> <li>• Endoskopie in Ruhe und Belastung</li> </ul>
Dabareiner et al. 2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 110 Quarter Horses,</li> <li>• 8 QH Vollblut Kreuzungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 46 Pferde wegen Leistungsschwäche (Probleme bei engen Wendungen und weniger schnell), 72 Pferde wegen Lahmheit untersucht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barrel Racing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100% orthopädische Probleme (v.a. Probleme im distalen Zehenbereich, Sprunggelenk und Fesselträger)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeinuntersuchung</li> <li>• Lahmheitsuntersuchung</li> <li>• diagnostische Anästhesien</li> <li>• Röntgen</li> <li>• orthopädischer Ultraschall</li> </ul>
Dabareiner et al. 2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 118 Quarter Horses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 75% mit Vorbericht Lahmheit</li> <li>• 25% mit Vorbericht Leistungsschwäche (Probleme bei Stopps und engen Wendungen und Unwilligkeit)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Team Roping</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 86% orthopädische Probleme (v.a. Hufrolle und Tarsalgelenk betroffen)</li> <li>• 14% unbekannt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeinuntersuchung</li> <li>• Lahmheitsuntersuchung</li> <li>• diagnostische Anästhesien</li> <li>• Röntgen</li> <li>• orthopädischer Ultraschall</li> </ul>
Mirazo et al. 2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 52 Vollblüter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 52 Vollblüter mit Vorbericht Leistungsschwäche (17%), Atemgeräusch (66%) oder beidem (17%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galopprennen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 77% mit Abnormalitäten der OAW (29% ein Befund und 48% mehrere Befunde)</li> <li>• 40% Deviation der Plica aryepiglottica), 35% Stimmfaltenkollaps</li> <li>• 33% Hemiplegia laryngis 33%)</li> <li>• 25% Gaumensegelverlagerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belastungsendoskopie der oberen Atemwege auf der Rennbahn</li> </ul>
Van Erck 2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 49 Warmblutsporthpferde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 149 Warmblutpferde, davon:</li> <li>• 41 wegen Leistungsschwäche</li> <li>• 70 wegen Atemgeräusch 38 wegen Routineuntersuchung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei den leitungsschwachen Pferden:</li> <li>• 16 Dressur</li> <li>• 20 Springen</li> <li>• 2 Fahren</li> <li>• 2 Vielseitigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbericht Leistungsschwäche:</li> <li>• 71% mit Abnormalitäten der oberen Atemwege bei Belastung</li> <li>• Vorbericht Atemnebengeräusch:</li> <li>• 91% mit Abnormalitäten der oberen Atemwege bei Belastung</li> <li>• 32 mit einer und 74 mit zwei oder mehr Abnormalitäten</li> <li>• häufigste Befunde: pharyngeale Instabilität, Hemiplegia laryngis, Gaumensegelverlagerung, Stimmfaltenkollaps, Deviation der Plica aryepiglottica, Pharyngeale lymphoide Hyperplasie und Inflammatory Airway Disease</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruheendoskopie</li> <li>• Belastungsendoskopie unter dem Reiter</li> </ul>

Die Ruheendoskopie kann zur Diagnostik belastungsassoziierter Atemgeräusche eingesetzt werden (Davison et al. 2017), jedoch haben viele Pferde, welche weder ein Atemgeräusch unter Belastung noch Ruhebefunde aufweisen, trotzdem eine Erkrankung der oberen Atemwege und das Vorhandensein eines Geräusches oder eines Ruhebefundes erlaubt keine exakte Diagnose (Witte et al. 2011, Davison et al. 2017). Eine wirkliche Beurteilung der klinischen Relevanz ist nicht hundertprozentig möglich (Kannegieter und Dore 1995, Martin et al. 2000, Franklin et al. 2006, Davidson et al. 2010, Davidson und Parente 2011, Van Erck-Westergren et al. 2013), da die Korrelation zwischen Ruhe- und Belastungsbefunden an Larynx und Pharynx recht schwach ist (Sullivan und Parente 2003, Martin et al. 2004, Lane et al. 2006, Pollock et al. 2009, Van Erck 2011, Barakzai und Cheetham 2012, Davison et al. 2017). Ein einzelner Befund in Ruhe schließt zudem ein Vorhandensein von anderen dynamischen Stenosen der oberen Atemwege unter Belastung nicht aus, da, wie gesagt, nicht selten mehrere Pathologien gleichzeitig bestehen (Allen et al. 2006, Lane et al. 2006, Davidson und Parente 2011, Van Erck 2011, Mirazo et al. 2014).

Daher sollte für die Bewertung der klinischen Relevanz eine endoskopische Untersuchung unter Belastung durchgeführt werden (Parente 1996, Martin et al. 2004, Franklin et al. 2006, Lane et al. 2006, Pollock et al. 2009, Davidson et al. 2010, Davidson und Parente 2011, Van Erck 2011, Barakzai und Cheetham 2012, Van Erck-Westergren et al. 2013, Melkova et al. 2016, Parente 2018, Wysocka und Kluciński 2018).

Dafür besteht die Möglichkeit der endoskopischen Untersuchung mithilfe eines Hochgeschwindigkeitslaufbandes oder mit der „Overground“ Endoskopie (Abb. 1 und 2), welche den Vorteil hat, dass sie unter Feldbedingungen leichter durchzuführen ist und die individuellen Anforderungen der jeweiligen Disziplin leichter widerspiegelt (Desmaizieres et al. 2009, Allen und Franklin 2010, Gehlen et al. 2010, Van Erck-Westergren et al. 2013, Davison et al. 2017, Niederhofer und Müller 2017). Dies ist vor allem beim Warmblut-Sportpferd von hoher Relevanz, da hier die Belastung in der Regel submaximal ist und komplexere Abläufe beinhaltet. So hat die



Abb. 1 Mobiles System für die Endoskopie unter Belastung, „Overground“ Endoskop, Firma Optomed, Frankreich | *Mobile system for dynamic endoscopy during exercise, „overground“ scope, Optomed, France*

Kopf-Hals-Haltung und die Einwirkungen des Reiters über die Zügel einen signifikanten Einfluss auf die Morphologie der oberen Atemwege und auf die Stömungsverhältnisse der Luft (Franklin et al. 2006, Strand et al. 2009, Cehak et al. 2010, Van Erck 2011, Go et al. 2014) und kann somit auch bestimmte Pathologien der oberen Atemwege beeinflussen (Van Erck 2011, Van Erck-Westergren et al. 2013). Auch das Reiten von Übergängen und engen Wendungen kann Instabilitäten der Atemwege provozieren (Van Erck 2011). Dies nachzuvollziehen ist natürlich auf dem Laufband nicht möglich. Zudem ist die Overground Endoskopie deutlich preisgünstiger, leichter verfügbar und schneller durchzuführen (Pollock et al. 2009, Pollock und Reardon 2009, Gehlen et al. 2010, Barakzai und Cheetham 2012).

#### Erkrankungen der tiefen Atemwege

Erkrankungen der Lunge sind einer der häufigsten Gründe für Leistungsschwäche (Moore 1996). Dies zeigt sich in Studien, bei denen über 80 % der wegen Leistunginsuffizienz untersuchten Pferde Befunde im Bereich der tiefen Atemwege aufwiesen (Richard et al. 2010, Fraipont et al. 2011), beziehungsweise 68 % der wegen Leistungsschwäche untersuchten Pferde Mukusansammlungen in der Trachea hatten und bei 70 % Anzeichen einer neutrophilen Entzündung nachgewiesen wurde (Allen et al. 2006).

Sowohl die Präsenz von Schleim (MacNamara et al. 1990, Holcombe et al. 2006, Couetil et al. 2007, Couetil et al. 2020), als auch entzündliche Prozesse in den Atemwegen (Fogarty und Buckley 1991, Couetil et al. 2007, Evans et al. 2011, Lavoie et al. 2011) wurden schon mit Leistungsschwäche bei Pferden in Verbindung gebracht. Es gibt Hinweise, dass entzündliche Lungenerkrankungen zu Veränderungen der Compliance der Lunge, zu Erhöhung der viskosen Lungenresistenz und zu Veränderungen in der dynamischen Belastung der Atmung führen. Dadurch ist der Energieaufwand der Atmung erhöht, die Luftstromgeschwindigkeit verlangsamt, der Gasaustausch beeinträchtigt und somit die Leistungsfähigkeit limitiert (Holcombe et al. 2006, Couetil et al. 2007, Pirrone et al. 2007, Evans et al. 2011, Van Erck-Westergren et al. 2013). Dies kann aufgrund der mangelhaften Sauerstoffver-



Abb. 2 „Overground“ Endoskop im Einsatz an zwei Galopprennpferden auf dem Weg zur Trainingsbahn | *„Overground“ scope in use on two Thoroughbreds on their way to the training track*



sorgung der peripheren Muskulatur zur schnelleren Muskelermüdung beitragen (Art et al. 1999), während auch eine Mukusansammlung in den tiefen Atemwegen die Leistungswilligkeit von Sportpferden negativ beeinflussen kann (Widmer et al. 2009).

Die häufigsten leistungslimitierenden Lungenerkrankungen sind das Equine Asthma in seiner milden-moderaten Form (ehemals Inflammatory Airway Disease, IAD) und der schweren Form (ehemals Recurrent Airway Obstruction, RAO), sowie das belastungsinduzierte Lungenbluten (EIPH) (Moore 1996, Mazan 2018), wobei equines Asthma vor allem bei Rennpferden auch in Kombination mit EIPH auftreten kann.

Während die schwere Form des equinen Asthmas in der Regel mit deutlichen klinischen Symptomen, wie Husten oder Atemnot einhergeht, zeigen Pferde mit der milden-moderaten Form häufig keinerlei klinische Symptomatik in Ruhe und das einzige Symptom ist oft Leistungsschwäche (Van Erck-Westergren et al. 2013, Mazan 2018), kombiniert mit vermehrter Schleimansammlung in der Trachea und Entzündungszellen in den Atemwegen sowie Husten (Martin et al. 2004, Sánchez et al. 2005, Allen et al. 2006, Couetil et al. 2007, Van Erck-Westergren et al. 2013, Burnheim et al. 2016, Laus et al. 2018), wobei nur 38 % der Pferde mit mildem Asthma auch Husten als Symptom zeigen (Christley et al. 2001, Couetil et al. 2020). Auf dem letzten Havemeyer Workshop wurde eine weitere Differenzierung des Equinen Asthmas in drei verschiedene Schweregrade vorgeschlagen, wobei die milde oder asymptomatische Form sich lediglich in einer Leistungsschwäche ohne jegliche respiratorische Symptome äußert, während bei der moderaten Form Leistungsinsuffizienz mit milder Atemwegssymptomatik, wie gelegentlichem Husten oder Nasenausfluss, einhergeht, jedoch ohne Perioden von Dyspnoe, wie es bei der schweren Form des Equinen Asthmas der Fall ist (Couetil et al. 2020).

Auch EIPH kann bei Spring- und Vielseitigkeitspferden gelegentlich Leistungsschwäche bedingen (Moore 1996, Van Erck-Westergren et al. 2013).

Während lange angenommen wurde, dass subklinische Infektionen des Respirationstraktes nicht in direktem Zusammenhang mit Leistungsschwäche stehen (Back et al. 2015), wird mittlerweile davon ausgegangen, dass ein Zusammenhang zwischen viralen oder bakteriellen Lungenerkrankungen und der Entwicklung von Equinem Asthma mit einhergehender Leistungsminderung besteht (Couetil et al. 2020). Auch ein Lungenwurmbefall kann sich wohl klinisch durchaus in Leistungsschwäche äußern (Couetil et al. 2007).

Bei einem Vorbericht von Leistungsinsuffizienz können weitere klinische Zeichen wie etwa Husten, erschwerte Atmung während der Belastung und verlängerte Beruhigungszeit der Atmung nach Belastung Hinweise auf die Lunge als Auslöser der Leistungsinsuffizienz liefern und Anlass zur weiteren Diagnostik in diesem Bereich liefern (Couetil et al. 2007, Evans 2007), wobei, wie gesagt, Lungenerkrankungen auch als leistungsmindernd in Betracht gezogen werden müssen, wenn keine offensichtlichen respiratorischen Symptome vorliegen (Couetil et al. 2020). Zur weiteren Diagnostik gehört neben der klinischen eine bronchoskopische Untersuchung (Parente 1996, Birks et al. 2004, Sánchez et al. 2005, Coue-

til et al. 2007). Dabei können etwa Mukusakkumulationen in den Atemwegen hinweisend sein, dass die Lunge Auslöser für die Leistungsschwäche sein könnte (Couetil et al. 2007, Fraipont et al. 2011, Secombe et al. 2019). Trachealschleim ist ein verlässlicher Indikator für das Vorhandensein von infektiösen und nichtinfektiösen entzündlichen Prozessen in der Luftröhre und vor allem auch den Bronchien (Martin et al. 2004, Allen et al. 2006, Laus et al. 2018), wobei beim Sportpferd eine Schleimansammlung von mehr als Grad 3 von 5 als ausreichend zur Diagnose von mildem bis moderatem equinen Asthma betrachtet wird (Couetil et al. 2020). Jedoch gibt es auch Pferde ohne Trachealsekret, die trotzdem vermehrte Entzündungszellen aufweisen, weshalb eine zytologische Untersuchung mittels BALF, Tracheaspülprobe oder Absaugen des Tracheobronchialesekretes immer erfolgen sollte, um Lungenerkrankungen zu diagnostizieren (Malikides et al. 2003, Sánchez et al. 2005, Allen et al. 2006, Couetil et al. 2020). Pferde mit IAD weisen in der Regel einen milden Anstieg an neutrophilen und eosinophilen Granulozyten, sowie Lymphozyten oder Mastzellen auf (Parente 1996, Sánchez et al. 2005, Couetil et al. 2007, Fraipont et al. 2011, Lavoie et al. 2011, Secombe et al. 2019).

EIPH wird durch das Auffinden von Blut, Erythro- oder Hämosiderophagen nachgewiesen (Abb. 3) (Couetil et al. 2007, Crispe et al. 2017).

Leistungsschwache Pferde mit entzündlichen Veränderungen der Atemwege zeigen in der Regel außerdem eine Verschlechterung in Belastungstests in Bezug auf Messwerte, wie etwa den VL<sub>a4</sub>, also die aerob-anaerobe Laktatschwelle, und einen schnelleren Anstieg der Herzfrequenz bei Belastung bzw. eine höhere Pulsfrequenz bei Belastung im Vergleich zu gesunden Pferden (Couetil et al. 2007). Oft zeigen betroffene Pferde auch eine milde Hyperkapnie und Hypoxämie in der arteriellen Blutgasanalyse, was insgesamt auf ein Missverhältnis zwischen Ventilation und Perfusion hindeutet (Ferro et al. 2002, Holcombe et al. 2006, Van Erck-Westergren et al. 2013). Obwohl in Einzelfällen also durchaus sinnvoll, hat die Bestimmung der arteriellen Blutgaswerte nach Belastung

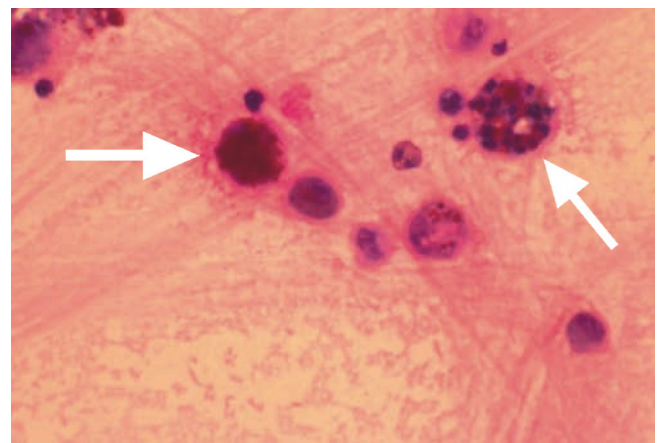


Abb. 3 Makrophagen mit phagozytierten Erythrozyten (Erythrophagen) nach frischem Lungenbluten (EIPH), May-Grünwald-Färbung, 1000-fache Vergrößerung | *Macrophages containing phagocytosed erythrocytes (erythrophages) visible shortly after exercised induced pulmonary hemorrhage (EIPH), May-Gruenwald-staining, 1000x.*

insgesamt jedoch einen relativ geringen Wert zur Diagnostik subklinischer Lungenerkrankungen (Gehlen 2010).

Insgesamt ist eine gründliche klinische und bronchoskopische Untersuchung und Zytologie der Atemwege nach aktuellem Stand die beste Methode, um Erkrankungen der unteren Atemwege, die sich in Leistungsschwäche äußern, unter Praxisbedingungen zu diagnostizieren (Evans 2004, Couetil et al. 2007, Couetil et al. 2020). Eine röntgenologische Untersuchung der Lunge, sowie Lungenfunktionstests können als Ergänzung dienen (Evans 2007, Burnheim et al. 2016, Niederhofer und Müller 2017, Hines 2018, Couetil et al. 2020).

### Erkrankungen des Herzens

Insgesamt kommen Herzbefunde beim Pferd eher selten vor (Martin et al. 2004, Allen et al. 2016), spielen jedoch als Ursache für Leistungsschwäche durchaus eine wichtige Rolle (Martin et al. 2004, Gehlen et al. 2007). Aufgrund struktureller und funktionaler Veränderungen im kardiovaskulären System durch intensives Training und der Größe des Pferdeherzens, können Abweichungen des Herzrhythmus und Herzgeräuschen, in Folge von Klappenrückflüssen entstehen (Zucca et al. 2010, Reef et al. 2014). Dabei kann es schwierig sein, diese physiologischen Vorgänge von Herzerkrankungen abzugrenzen (Zucca et al. 2010, Allen et al. 2016, Jago und Keen 2019). Daher ist es nicht immer möglich, auch mit weiterführende Untersuchungen, zwischen klinisch relevanten und irrelevanten Befunden zu unterscheiden (Birks et al. 2004, de Solis 2016, Jago und Keen 2019) und die klinische Relevanz von einzelnen Arrhythmien und Herzgeräuschen ist umstritten (Reef et al. 2014, Schwarzwald 2016).

Abhängig vom Schweregrad (Reef 2018) werden Erkrankungen des Herzens jedoch als mögliche Auslöser für Leistungsinsuffizienz beschrieben (Birks et al. 2004, Meyer et al. 2004, van Erck et al. 2006). So wurden signifikante Arrhythmien als alleiniger Befund bei 9 % der wegen Leistungsschwäche untersuchten Pferden und bei 6 % in Kombination mit anderen Befunden diagnostiziert (Martin et al. 2000). In anderen Studien wiesen 36 von 182 Pferden, welche mit Herzbefunden diagnostiziert wurden, eine vorberichtliche Leistungsinsuffizienz auf (Gehlen et al. 2007) oder es wurden klinisch signifikante Arrhythmien und Klappenrückflüsse bei leistungs-

insuffizienten Pferden festgestellt (Meyer et al. 2004, Fraipont et al. 2011).

Leistungsmindernde Herzerkrankungen sind beispielsweise Klappenrückflüsse, kongenitale Herzdefekte, myokardiale Dysfunktionen, Erkrankungen des Perikards, Arrhythmien, wie Vorhofflimmern oder ventrikuläre Tachykardien und auch Gefäßthrombosen (Mitten 1996, Hines 2018). Eine Myokarditis äußert sich in der Regel mit deutlicheren Symptomen, es gibt jedoch Fälle in denen auch Myokarditiden sich in Leistungsschwäche äußern können (Martin et al. 2004).

Bei den Herzklappenrückflüssen haben solche an der Aortenklappe die größte klinische Relevanz beim Sportpferd. Bei 72 % der Pferde mit Aortenklappenrückflüssen wurden klinische Symptome, wie Leistungseinbußen oder verlängerte Erholungszeiten festgestellt. Dies war bei 60 % der Pferde mit Rückflüssen an der Trikuspidalklappe und nur bei 39 % der Pferde mit Mitralklappenrückflüssen der Fall (Gehlen et al. 2007). Auch Ventrikelseptumdefekte können, abhängig von ihrer Größe, einen negativen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben (Zucca et al. 2010, Reef et al. 2014).

Rhythmusstörungen können die Leistungsfähigkeit ebenfalls beeinträchtigen, indem sie die Herzauswurfleistung verringern oder hämodynamische Veränderungen bedingen (Martin et al. 2004, Gehlen et al. 2006, Allen et al. 2016).

Als wichtigste leistungsmindernde Arrhythmie wird beim Pferd das Vorhofflimmern beschrieben (Gehlen und Stadler 2002, Martin et al. 2004, Reef et al. 2014, Allen et al. 2016, de Solis 2016). Allerdings können sich gerade Warmblutportpferde mit Vorhofflimmern klinisch auch ohne Leistungseinschränkungen präsentieren (Gehlen und Stadler 2002, Gehlen et al. 2007), so dass eine Korrelation zwischen Vorhofflimmern und Leistungsabfall in der Regel nur dann vorliegt, wenn es mit anderen zu Grunde liegenden Herzerkrankungen verbunden ist (Gehlen und Stadler 2002). (Abb. 4)

Bei anderen Arrhythmien wie Atrioventrikular- oder Sinusblöcken, Vorhof- oder Ventrikelextrasystolen ist der Effekt auf die Leistungsfähigkeit weniger gut untersucht und es ist schwierig von den Ergebnissen aus Studien mit Rennpferden Rückschlüsse auf Warmblutportpferde zu ziehen, da es sich um andere Pferderassen mit anderer Belastung handelt (Buhl et

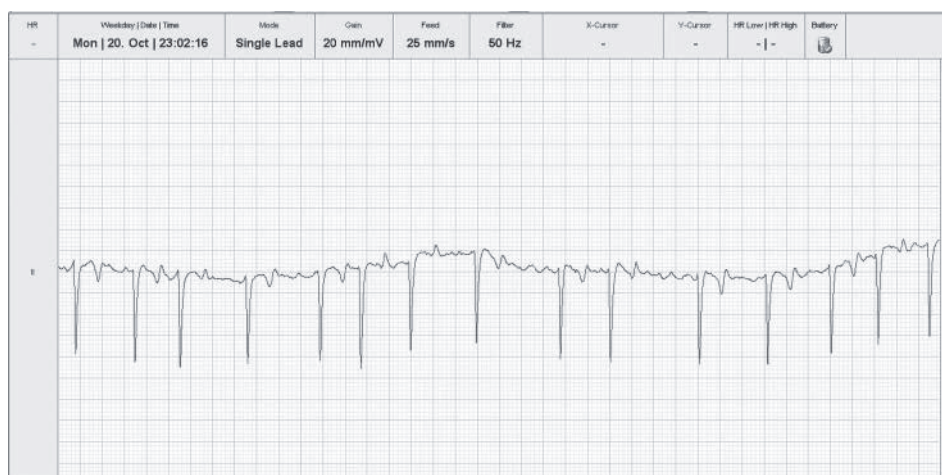


Abb. 4 Vorhofflimmern, zu erkennen an der undulierenden Nulllinie und den unregelmäßigen QRS-Abständen, ist die wichtigste, leistungslimitierende Arrhythmie beim Sportpferd. | Atrial fibrillation, characterized by missing p-waves and irregular QRS intervals is the most common arrhythmia limiting performance in sports horses

al. 2010). Grundsätzlich wird angenommen, dass vereinzelte Extrasystolen während der Belastung keinen negativen Effekt auf die Leistung des Pferdes haben (Martin et al. 2000, Jose-Cunilleras et al. 2006, Ryan et al. 2010, Reef et al. 2014, Allen et al. 2016). Warmblutpferde mit Vorhofextrasystolen, Atrioventrikulärblöcken zweiten Grades, Extrasystolen und Sinuspausen können normale Leistung erbringen (Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010). (Abb. 5)

Auch wenn klinisch relevante Bradyarrhythmien selten sind, können sie zur Leistungsschwäche führen, wenn sie unter Belastung nicht verschwinden, und können hinweisend auf myokardiale Erkrankungen oder Elektrolytstörungen sein (Martin et al. 2004). Viele Pferde können auch Herzbefunde aufweisen, die ohne große klinische Signifikanz zu sein scheinen (Martin et al. 2000, Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010, Reef 2018). In zahlreichen Studien wurde keine Assoziation zwischen dem Vorhandensein von Herzbefunden und der Leistungsfähigkeit des Pferdes festgestellt (Gehlen et al. 2007, Zucca et al. 2010, Fraipont et al. 2011, Melkova et al. 2016). Obwohl die meisten Arrhythmien und Klappenrückflüsse also von niedriger klinischer Bedeutung zu sein scheinen, können sie in Einzelfällen, abhängig von Ausprägung und Schweregrad, eine Leistungsinsuffizienz verursachen (Zucca et al. 2010, Hines 2018).

Zur diagnostischen Abklärung des Herzens sollte zunächst eine gründliche klinische Untersuchung (Birks et al. 2004, Hines 2018, Jago und Keen 2019), gefolgt von einer ausführlichen Auskultation der linken und rechten Thoraxseite erfolgen, um Arrhythmien und Herzgeräusche festzustellen (Birks et al. 2004, Martin et al. 2004). Dies ist immer noch eine sehr wichtige klinische Diagnostikmöglichkeit und kann in 94 % der Fälle zur Aufdeckung eines pathologischen Herzbefundes führen (Gehlen et al. 2007). Auch eine Auskultation nach Belastung ist sinnvoll, um eventuelle Arrhythmien oder Herzgeräusche, die in Ruhe nicht apparent sind zu diagnostizieren oder zu beurteilen, ob eine Ruhearrhythmie oder ein Herzgeräusch unter Belastung verschwindet, sich verstärkt oder von gleichbleibender Intensität ist (Gehlen 2010).

Idealerweise sollte dann noch ein Elektrokardiogramm (EKG) durchgeführt werden (Birks et al. 2004, Jago und Keen 2019). Prinzipiell ist es angeraten, bei Pferden, welche unter einer nicht erklärbaren Leistungsinsuffizienz leiden, immer auch ein Belastungs-EKG und ein Langzeit-EKG durchzuführen (Reef 2018). Dies dient zur Klärung, ob etwa in Ruhe festgestellte Arrhythmien bei Belastung verschwinden, um atriale und ventrikuläre Extrasystolen, ventrikuläre Tachykardien und paroxysmales Vorhofflimmern zu diagnostizieren und um festzustellen, ob die generelle Reaktion des Herzens auf Belastung angemessen ist (Parente 1996, Scheffer und Van Oldruitenborgh-Oosterbaan 1996, Buhl et al. 2010, Reef et al. 2014,

Allen et al. 2016, Niederhofer und Müller 2017, Jago und Keen 2019).

Eine Echokardiographie des Herzens in Ruhe (und evtl. auch unmittelbar nach Belastung) sollte ebenfalls erfolgen und ist am besten geeignet, um Ursachen von Herzgeräuschen, Arrhythmien und Tachykardien sowie angeborene Herzdefekte festzustellen, sowie die Herzfunktion zu beurteilen. Die Ultraschalluntersuchung des Herzens dient der Einschätzung des Schweregrades einer Herzerkrankung und ermöglicht Hinweise auf bereits vorhandene hämodynamische Folgen am Herz (z.B. Herzhypertrophie oder -dilatationen) (Parente 1996, Birks et al. 2004, Gehlen 2010, Reef et al. 2014, Reef 2018, Jago und Keen 2019).

Um myokardiale Erkrankungen, wie etwa eine akute Myokarditis oder eine Endokarditis zu diagnostizieren, kann zusätzlich eine hämatologische Untersuchung und die Bestimmung von kardialen Enzymen, wie herzspezifischer Creatinkinase (CK), herzspezifischer Lactatdehydrogenase (LDH) mit ihrem Isoenzym  $\alpha$ -Hydroxybutyratdehydrogenase ( $\alpha$ -HBDH) und Troponin (T und/oder I) durchgeführt werden (Birks et al. 2004, Hines 2018), wobei allein die Troponinbestimmung wirklich herzspezifisch ist (Gehlen 2010).

Insgesamt lässt sich abschließend sagen, dass nicht jeder Herzbefund klinisch relevant sein muss oder als Auslöser für Leistungsinsuffizienz in Frage kommt (Birks et al. 2004, Gehlen et al. 2007, Buhl et al. 2010). Befunde am Herz sollten immer in Relation zu dem klinischen Erscheinungsbild des Pferdes und unter Berücksichtigung der Umstände, unter denen die Befunde auftreten (Allen et al. 2016, Jago und Keen 2019), bewertet werden und eine Untersuchung unter Belastung sollte die vom Pferd im Normalfall erbrachte Leistung so gut wie möglich replizieren (Reef 2018).

#### Erkrankungen des Bewegungsapparates

Eine hohe Anzahl von Pferden, wenn nicht sogar die meisten, die mit Leistungsinsuffizienz vorstellig werden, sind lahm, obwohl vorberichtlich nicht von Lahmheit die Rede war (Lilich und Gaughan 1996, Knight und Evans 2000, Navas De Solis et al. 2018). Bei 4,3 % (Martin et al. 2000), 11 % (Knight und Evans 2000), 86 % (Dabareiner et al. 2005) oder sogar 100 % (Swor et al. 2019) der Pferde, welche wegen Leistungsschwäche untersucht wurden, konnte eine Lahmheit diagnostiziert werden. So schließt die mangelnde Erkennung der Lahmheit durch den Reiter diese nicht als Grund für die Leistungsschwäche aus, da viele lahme Pferde mit dem Vorbericht Leistungsschwäche beim Tierarzt vorstellig werden oder Leistungsschwäche oder Unrittigkeit ein erstes Symptom für Schmerzen darstellen kann, bevor eine sichtbare Lahmheit deutlich wird (Pilsworth et al. 1998, Dyson 2016, Swor et al. 2019).

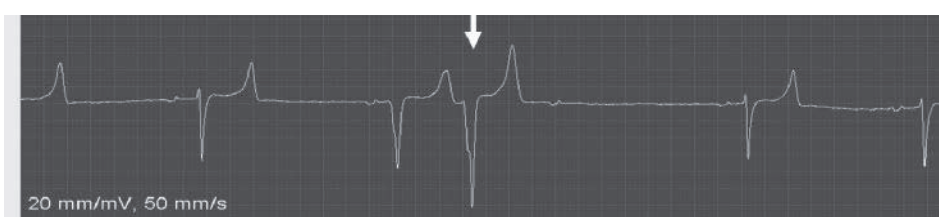


Abb. 5 Ventrikuläre Extrasystolen werden nicht durch eine P-Welle eingeleitet und führen zu einer kompensatorischen Pause durch die Refraktärzeit des Ventrikels. | *Ventricular premature complexes have no relationship to P waves and are often followed by a compensatory pause due to the refractory time of the ventricle.*

Bewegung ist eine der Schlüsselkomponenten für athletische Leistungsfähigkeit, so dass muskuloskeletale, neurologische oder neuromuskuläre Probleme zur Leistungsschwäche führen können, entweder durch Schmerz, mechanische Restriktionen, Unkoordination oder Schwäche (Hines 2018) und schon geringgradige Lahmheiten können quantifizierbare Veränderungen im Energieverbrauch verursachen (Parente et al. 2002). Dabei treten neben einfacher oder multipler Lahmheit auch Probleme im Hals, Rücken oder Beckenbereich auf, welche zu Leistungsschwäche führen können (Dyson 2016, Hines 2018).

Muskuloskeletale Erkrankungen beeinflussen die Leistung oft durch die Auslösung von Schmerzen (Pilsworth et al. 1998, Dyson 2016), worauf Pferde sehr unterschiedlich reagieren, so dass einige Pferde eher fehlende Kraft oder Leistungsfähigkeit als Symptom zeigen, während andere eher hektisch werden, buckeln, unangemessen schwitzen oder sich der Anlehnung entziehen (Dyson 2016). Die klinische Manifestation und die Art der Verletzungen können dabei sehr disziplinspezifisch sein (Dyson 2002). Bei Dressurpferden äußern sich leistungslimitierende Schmerzen in der Regel etwa in der Unwilligkeit, in Anlehnung zu gehen, Steifheit, Problemen bei lateralen Manövern, Piaffe, Passage oder der Trabverstärkung, Unfähigkeit zur Versammlung oder Probleme bei fliegenden Wech-seln, sowie Taktprobleme (Dyson 2002). Bei Springpferden werden eher ein nicht gleichmäßiges Abdrücken am Sprung, Unwilligkeit, in enge Wendungen zu gehen, Schwierigkeiten mit Distanzen zwischen Kombinationen oder Tempowechseln, Verweigern oder auch Kreuzgalopp gesehen (Dyson 2002). Bei Vielseitigkeitspferden können sich geringgradige orthopädische Probleme natürlich einerseits, wie bereits für Dressur- und Springpferde beschrieben, äußern. Andererseits können aber auch im Gelände Probleme, wie etwa Unwilligkeit berg-ab zu galoppieren, auftreten (Dyson 2002).

Weitere, subtile Hinweise auf zugrundeliegende Schmerzen können Muskelverspannungen, unregelmäßig abgenutzte Hufeisen sowie ein rutschender Sattel sein (Dyson 2016).

Auch schmerzhafte Zustände im Rückenbereich werden oft als Auslöser für Leistungsinsuffizienz beschrieben (Findley und Singer 2015, Burns et al. 2018, Mayaki et al. 2019, van Zadelhoff et al. 2019). Verminderte Leistungsfähigkeit oder Unwilligkeit zu arbeiten ist einer der häufigsten Vorberichte bei Rückenschmerzen (Girodroux et al. 2009). Dabei müssen primäre, schmerzhafte Rückenerkrankungen von Folgeerscheinungen anderer Erkrankungen unterschieden werden (Findley und Singer 2015, Dyson 2016, Burns et al. 2018). Schon eine geringgradige Lahmheit kann zu Veränderungen im Bewegungsablauf und damit zu Rückenschmerzen führen (Girodroux et al. 2009, Burns et al. 2018). Das bedeutet, dass Rückenschmerzen auch in anderen Körperregionen ihren Ursprung haben können und oft mit Lahmheit vergesellschaftet sind (Girodroux et al. 2009, Dyson 2016). Deshalb sollte immer eine gründliche Lahmheitsuntersuchung erfolgen (Burns et al. 2018).

Häufige primäre Ursachen für Schmerzen im Rückenbereich sind Verengungen im interspinalen Raum, aber auch Spondylo- sen, Osteoarthritis der Facettengelenke, Osteoarthritis des Iliosakralgelenkes, kongenitale Defekte der Wirbelkörper oder Frakturen der Dornfortsätze. Aber auch Weichteilschäden, wie etwa Läsionen des Ligamentum supra- oder interspinale, des

Musculus multifidus oder auch eine Rhabdomyolyse können ursächlich sein (Girodroux et al. 2009, Quiroz-Rothe et al. 2010, Findley und Singer 2015, Burns et al. 2018, Mayaki et al. 2019, van Zadelhoff et al. 2019).

Schmerzhafte Zustände im Iliosakralgelenk betreffen vor allem große, schwere Warmblüter, die im Spring- oder Dressur-sport genutzt werden und sich dann oft mit einem Vorbericht von subtilen Symptomen wie Leistungsinsuffizienz neben Anlehnungsproblemen, Hinterhandschwäche, Verhaltensänderungen oder Schwierigkeiten bei bestimmten Lektionen präsentieren (Knight und Evans 2000, Dyson und Murray 2010, Barstow und Dyson 2015). Wahrscheinlich sind schmerzhafte Zustände im Iliosakralgelenk aufgrund der fehlenden Spezifität der Symptome tendenziell unterdiagnostiziert und häufiger als bisher angenommen Auslöser von Leistungsinsuffizienzen (Dyson und Murray 2010).

Auch Läsionen im Halsbereich können die Ursache für Leistungsschwäche sein (Dyson 2011). Ursachen umfassen etwa Osteoarthrosen bzw. -arthritiden der Facettengelenke, Frakturen und Fissuren, Subluxation eines Halswirbels, Diskospondylitis, Muskelfaserrisse, Läsionen oder Insertionsdesmopathien des Ligamentum nuchae, Bursitis der Bursa nuchalis, aber auch Thrombophlebitis der Vena jugularis (Dyson 2011). Die Pferde zeigen häufig unspezifische Symptome wie Anlehnungs-, Stellungsprobleme oder Hinterhandschwäche und Stolpern, wobei viele dieser Symptome auch in Lahmheiten oder Rückenschmerzen begründet sein können (Dyson 2011).

Zur Ergründung der Ursachen einer Leistungsschwäche sollte in jedem Fall eine eingehende Lahmheitsuntersuchung (Parente 1996), inklusive einer gründlichen Adspektion und Palpation in Ruhe (Lilich und Gaughan 1996, Findley und Singer 2015, Dyson 2016) erfolgen. Um weiterhin orthopädische und neurologische Probleme auszuschließen, sollte das Pferd in verschiedenen Gangarten auf geraden und gebogenen Linien auf hartem und weichem Boden und nach Möglichkeit an der Longe und unter dem Reiter vorgeführt werden, da viele orthopädische Probleme, die Leistungsschwäche als primäres Symptom zeigen, sehr undeutlich und vielleicht nur unter Belastung zu erkennen sein können (Lilich und Gaughan 1996, Dyson 2016, Hines 2018). Dabei sollte immer berücksichtigt werden, welches Bewegungspotential man von dem untersuchten Pferd erwartet, da viele Lahmheitsbilder, gerade bilaterale, sich in Verkürzung der Bewegungen oder mildem Wendeschmerz und nicht unbedingt in deutlich sichtbarer Lahmheit äußern (Dyson 2016). Auch die Bewertung unter dem Reiter ist von entscheidender Bedeutung, da Lahmheit oft nur beim Reiten in bestimmten Situationen oder in bestimmten Haltungen deutlich wird. Darüber hinaus sollte das gesamte Equipment gründlich auf Passform überprüft und die Reaktion des Pferdes beim Satteln beobachtet werden (Findley und Singer 2015, Dyson 2016, Burns et al. 2018). Um Lahmheit und andere muskuloskeletale leistungsmindernde Ursachen wie Rückenschmerzen weiter zu differenzieren, können anschließend zusätzliche diagnostische Möglichkeiten genutzt werden, wobei die anschließende Vorgehensweise von den Ergebnissen der Lahmheitsuntersuchung abhängig ist (Lilich und Gaughan 1996, Dyson 2016).

Zum Auffinden der schmerzauslösenden Pathologie sind Leitungsanästhesien ein wertvolles Diagnostikum. Diese können

jedoch viel Zeit in Anspruch nehmen, da Lahmheit, welche sich nur in Leistunginsuffizienz äußert oft in mehreren Gliedmaßen lokalisiert ist, und möglicherweise schmerzhafte Zustände im thorakolumbalen oder iliosakralen Bereich eine zusätzliche Rolle spielen können (Dyson 2016). Wie diagnostische Anästhesien eingesetzt werden ist, wie immer, abhängig von den Ergebnissen der klinischen Untersuchung und ein allgemeingültiges Vorgehen ist nicht beschrieben. Wichtig ist, den gesamten Bewegungsablauf des Pferdes vor und nach der Anästhesie zu beurteilen. Dies erfolgt bei geringgradiger Lahmheit, wie sie beim Vorbericht Leistunginsuffizienz zu erwarten wäre, am besten unter dem Reiter. Dabei sollte auf subtile Hinweise für eine Minderung der Schmerzen, wie verbesserte Wendigkeit, Veränderungen in der Anlehnung und Beweglichkeit der Rückenlinie geachtet werden und auch das Reitgefühl vor und nach der Analgesie erfragt werden. Bei bilateraler Lahmheit ist es auch möglich, dass nach lokaler Anästhesie die Lahmheit auf der kontralateralen Seite deutlicher wird (Dyson 2016). Solche Diagnostik erfordert viel Zeit und Erfahrung, wobei die Veränderungen im Bewegungsablauf, nach Ausschaltung aller Schmerzquellen, oft deutlich sind (Dyson 2016). Sobald die Lokalisation des leistungsmindernden Schmerzes gefunden ist, kann die entsprechende Region mittels einer Vielzahl von bildgebenden Verfahren wie Röntgen, Ultraschall, Magnetresonanztomographie oder Computertomographie weitergehend untersucht werden, um möglicherweise den Grund für die Schmerzen aufzufindig zu machen (Parente 1996, Dyson 2016).

Auch die szintigraphische Untersuchung kann sinnvoll sein, um die Lokalisation der Lahmheitsursachen, welche durch klinische Untersuchung und Lokalanästhesien nur schwer festzustellen sind, zu finden. Dieses Diagnostikum ist jedoch keinesfalls als Ersatz für eine sorgfältige klinische Untersuchung zu betrachten, da es auch häufig falsch positive oder negative Resultate gibt (Gorgas et al. 2009, Dyson 2016, Quiney et al. 2018).

Wenn Dolenz bei Palpation und Manipulation, abnormale Muskelspannung oder -atrophie auftreten, oder die Beweglichkeit limitiert ist, sollte der Rücken genauer untersucht werden (Findley und Singer 2015, Dyson 2016, Burns et al. 2018). Dabei haben sich die Anwendung von Röntgen- und Ultraschalluntersuchung, sowie Szintigraphie und diagnostische Analgesie als Untersuchungsmethoden bewährt, wobei Auffälligkeiten in der Bildgebung nicht unbedingt mit klinischer Symptomatik einhergehen müssen und mit lokaler Anästhesie bestätigt werden sollten (Zimmerman et al. 2012, Findley und Singer 2015, Dyson 2016, Burns et al. 2018, van Zadelhoff et al. 2019). Bei Pferden mit Verdacht auf Iliosakralgelenksprobleme zeigen bis zu 99 % der Pferde eine vermehrte Aufnahme radioaktiven Materials im Bereich des Iliosakralgelenkes und es besteht direkte Korrelation zwischen szintigraphischen Befunden und positiver Lokalanästhesie. Die Szintigraphie scheint also ein geeignetes Diagnostikum für Iliosakralproblematik zu sein, vor allem in Kombination mit der Anwendung von Lokalanästhesien, welche zur deutlichen Verbesserung von Gangabnormalitäten führt (Dyson et al. 2010). Läsionen im Halsbereich sollten bedacht werden, wenn die Lahmheitsuntersuchung keine Ergebnisse brachte oder die klinische Symptomatik direkt hinweisend auf Nackenschmerzen ist (Dyson 2011). Dabei sind neben der klinischen Untersuchung in Bewegung und in verschiedenen

Stellungen Röntgen, Computertomographie und Ultraschall geeignet und auch die Szintigraphie kann verwendet werden, um Halsläsionen zu diagnostizieren (Dyson 2011).

### Erkrankungen der Muskeln

Verschiedenste Muskelerkrankungen werden mit verminderter Leistung assoziiert. Jedoch können die wenigsten schon in der klinischen Untersuchung in Ruhe festgestellt werden, weshalb auch hier wieder eine detaillierte Anamnese von essentieller Bedeutung ist, wenn vorberichtliche Bewegungsanomalien, Steifheit, vermehrtes Liegen, Muskelzittern und -abbau Hinweise auf muskuläre Erkrankungen liefern (Martin et al. 2004, Niederhofer und Müller 2017). Als häufiger Vorbericht wird auch von Bewegungsunwilligkeit und Versammlungsproblemen berichtet (Hunt et al. 2008, Valberg 2018).

So kann zum Beispiel die milde oder moderate Form der belastungsinduzierten Myopathie, auch subklinische Myopathie genannt, zu unspezifischen klinischen Symptomen führen und ist ein häufiger Grund für Leistungsschwäche (Martin et al. 2000, Martin et al. 2004, Hunt et al. 2008, Richard et al. 2010, Fraipont et al. 2011, Dyson 2016, Melkova et al. 2016, Hines 2018).

Auch die Polysaccharid-Speicher-Myopathie (PSSM) kann sich, neben vielen anderen möglichen Symptomen, in Leistunginsuffizienz äußern und ist beim Warmblutpferd die häufigste Myopathie (Hunt et al. 2008, Quiroz-Rothe et al. 2010, Dyson 2016, Schusser 2017, Hines 2018, Valberg 2018).

Weitere mögliche muskuläre Ursachen für Leistunginsuffizienz sind neurogene oder myogene Muskelatrophie (Hunt et al. 2008) oder auch ein Muskelfaserriss, Muskelkater oder -krämpfe (Valberg 2018). Traumatische Muskelläsionen können prinzipiell in jeder Muskelgruppe auftreten, betreffen jedoch meistens die Muskeln der Kruppe und die kaudale Oberschenkelmuskulatur (Schusser 2017, Hines 2018).

In seltenen Fällen kann die durch Hypoglycin-A verursachte atypische Myopathie oder ein nutritiver Vitamin E Mangel, welche in der Regel durch einen schweren Verlauf gekennzeichnet sind, zu solch milden Symptomen wie Leistunginsuffizienz führen, wobei bei diesen Erkrankungen in der Regel mehrere Pferde einer Herde betroffen sind (Jones 1987, Hines 2018, McGuire 2018).

Auch eine mitochondriale Myopathie, welche sich durch deutliche Leistungsschwäche und starke Laktatakkumulation äußert (Valberg et al. 1994, Nollet und Deprez 2005) oder eine myofibrillare Myopathie (Valberg et al. 2017, Valberg 2018) können in seltenen Fällen der Auslöser sein.

Falls der Verdacht besteht, dass die Leistungsschwäche in einer muskulären Erkrankung begründet liegt, sollten zielgerichtete weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden. Dazu gehört eine klinische Untersuchung mit Palpation und Adspektion der verschiedenen Muskelgruppen in Ruhe und Bewegung und auch die Messung der Enzyme Creatinkinase (CK), Aspartat-Aminotransferase (AST) und Laktatdehydrogenase (LDH), sowie die Bestimmung von Vitamin E und

Selen im Serum (Parente 1996, Martin et al. 2004, Nollet und Deprez 2005, Valberg 2018). Dabei ist einzig die CK muskelspezifisch, jedoch kann auch eine permanente Erhöhung der AST auf zurückliegende Episoden von Rhabdomyolyse oder aber auch übertriebenes Training hindeuten (Jones 1987, Mack et al. 2014, Dyson 2016, Schusser 2017). Zudem besteht die Möglichkeit, einen submaximalen Belastungstest durchzuführen, wobei 30 Minuten vor und eine halbe bis 4 Stunden nach der Belastung die Konzentration von CK im Serum gemessen wird (Parente 1996, Martin et al. 2000, Birks et al. 2004, Martin et al. 2004, Evans 2007, Valberg 2018). Sollte diese sich deutlich über die Referenzwerte hinaus erhöht haben, kann man von einer Belastungsmiopathie ausgehen, wobei mit PSSM betroffene Warmblüter trotz Leistungsschwäche manchmal keine Erhöhung der CK aufweisen (Valberg 2018). Zu guter Letzt stellt noch die histopathologische Untersuchung einer Muskelbiopsie ein geeignetes Diagnostikum dar, um etwa PSSM, myofibrilläre Myopathie oder Kreuzverschlag zu diagnostizieren (Nollet und Deprez 2005, Hunt et al. 2008, Dyson 2016, Niederhofer und Müller 2017, Schusser 2017, Valberg et al. 2017, Valberg 2018).

### Neurologische Erkrankungen

Neurologische Erkrankungen des Pferdes können zu Ataxie und Schwäche führen und damit natürlich auch die Leistungsfähigkeit des athletischen Pferdes beeinflussen und können immer, entweder allein oder gemeinsam mit Lahmheit, zu Leistunginsuffizienz führen (Dyson 2016, Bedenice und Johnson 2018, Hines 2018). Die häufigste neurologische Erkrankung bei Sportpferden ist die Cervikale Vertebrale Stenotische Myelopathie (CVSM), welche sich häufig durch sehr subtile Zeichen wie leicht hypermetrische Bewegungsmuster, propriozeptive Defizite, geringgradige Ataxie und Schwäche äußert. Die Erkrankung bleibt vom Reiter oft lange unerkannt und äußert sich erst ab einem gewissen sportlichen Niveau als Leistunginsuffizienz (Bedenice und Johnson 2018). Differentialdiagnostisch können auch sehr milde Formen der Equinen Degenerativen Myeloencephalopathie sowie Shivering in Frage kommen, welche sich ebenfalls in Leistungsschwäche äußern können, aber nur sehr schwer intra vitam zu diagnostizieren sind (Bedenice und Johnson 2018). Oft fallen neurologische Befunde wie Koordinationsdefizite, mangelnde Propriozeption oder übertriebene oder steife Bewegungen schon in Ruhe oder bei der Lahmheitsuntersuchung auf. Sollte dies der Fall sein, ist eine weitere Abklärung inklusive kompletter neurologischer Untersuchung, Röntgen und ggf. Computertomographie der Halswirbelsäule in verschiedenen Projektionsrichtungen, Halspositionen, mit/ohne Kontrastmittel und in seltenen Fällen die Analyse der Cerebrospinalflüssigkeit zum Ausschluss infektiöser Erkrankungen zu empfehlen (Lilich und Gaughan 1996). Bei sehr subtilen Symptomen kann auch eine klinische Untersuchung unter dem Reiter nötig sein, um geringgradige neurologische Auffälligkeiten festzustellen (Bedenice und Johnson 2018)

### Erkrankungen des Gastrointestinaltraktes

In einigen Fällen können auch Erkrankungen des Gastrointestinaltraktes, wie das „Equine Gastric Ulcer Syndrome“ (EGUS)

mit seinen beiden Ausprägungsformen „Equine Squamous Gastric Disease (ESGD)“ und Equine Glandular Gastric Disease (EGGD) sich unter anderem oder ausschließlich in Leistungsschwäche äußern (Vatistas et al. 1999, Niederhofer und Müller 2017, Banse und Andrews 2019). Insbesondere beim EGGD sind das endoskopische Bild und ein Zusammenhang zu einer Leistunginsuffizienz aber wenig verlässlich (Sykes et al. 2015) (Abb.6).

Jedoch wurden bei 4 bzw. 12 Rennpferden, welche mit Leistunginsuffizienz vorstellig wurden, nach gründlicher klinischer Untersuchung Magengeschwüre als einziger Befund festgestellt. Eine Behandlung mit Omeprazol führte bei allen Pferden zu einer Verbesserung der Leistung und der festgestellten Läsionen (Franklin et al. 2008, Çetinkaya et al. 2013).

Auch Warmblutpferde, welche intensiv trainiert wurden oder an nationalen Turnieren teilnehmen, sind sehr häufig von Magengeschwüren betroffen (Pedersen et al. 2018). Pferde, welche international starteten, sind hingegen seltener betroffen, woraus die Autoren schließen, dass betroffene Pferde weniger leistungsfähig sind (Pedersen et al. 2018).

Falls das klinische Erscheinungsbild und der Vorbericht auf Erkrankungen im Bereich des Gastrointestinaltraktes hindeuten, wird eine gründliche Untersuchung des Magen-Darm Traktes empfohlen (Niederhofer und Müller 2017). Die Diagnostik von Magengeschwüren erfolgt standardmäßig mittels Gastroskopie und einer Klassifizierung der Läsionen nach Grad und Verteilungsmuster (Becker et al. 2017).

### Metabolische Erkrankungen

Metabolische Erkrankungen können entweder durch Entgleisungen des endokrinen Systems, des Säure-Basen-Gleichgewichts oder der Elektrolyte oder durch thermische Effekte zu Leistunginsuffizienz führen (Foreman 1996). Metabolische und respiratorische Alkalosen oder Azidosen, die bei intensi-



Abb. 6 Läsionen der kutanen (Equine squamous gastric disease, ESGD) und der glandulären Magenschleimhaut (Equine glandular gastric disease, EGGD) als mögliche Ursache von Leistunginsuffizienz. | Lesions of the squamous (Equine squamous gastric disease, ESGD) and glandular gastric mucosa (Equine glandular gastric disease, EGGD) as a possible etiology of exercise insufficiency.

ver sportlicher Belastung zustande kommen können, können zu Leistungsschwäche führen, genauso wie Hyperkaliämie und Hypocalzämie oder die Effekte von Überhitzung (Foreman 1996).

Bei einem entsprechenden Habitus des Patienten sollte bei schleichendem Leistungsverlust immer auch an endokrinologische Erkrankungen, wie Pituitary Pars Intermedia Dysfunction (PPID) oder Equines Metabolisches Syndrom (EMS) gedacht werden, da bei diesen Erkrankungen ein langsamer Verlust der Leistungsfähigkeit ein erstes Anzeichen sein kann (Niederhofer und Müller 2017). Warmblutsporthorse und vor allem Ponies sind deutlich anfälliger für Insulindysregulationen und damit EMS und endokriner Hufrehe als Vollblüter, da sie im Durchschnitt deutlich älter und öfter übergewichtig sind. Hufrehe als schmerzhafte Erkrankung kann wiederum die Leistungsfähigkeit limitieren (Frank 2018).

PPID ist bei mittelalten Pferden ein relativ häufiger Grund für Leistungsschwäche (Frank 2018), da die Erkrankung sich aufgrund des ausgelösten Muskelkatabolismus und durch Verhaltensänderungen wie etwa ruhigeres Verhalten negativ auf die Leistungsfähigkeit auswirken kann, sowie die Pferde für Verletzungen der Fesselträger prädisponiert (Foreman 1996, Frank 2018, Winter 2018). Auch Hypothyreoidismus kann zu Leistungsschwäche führen, indem der Mangel an Schilddrüsenhormonen etwa die Leistungsfähigkeit von Herz und Muskulatur verringert (Foreman 1996).

#### Erkrankungen des Urogenitaltraktes

Rosseerscheinungen können in einigen Fällen Leistungsschwäche bedingen, und zwar weniger aus körperlichen Gründen als eher durch Verhaltensprobleme (Foreman 1996, Pryor und Tibary 2005). Jedoch gibt es Hinweise, dass die Hormonschwankungen während des Zyklus tatsächlich auch schmerzhafte Zustände auslösen oder verstärken können, sowie zu Konzentrationsschwierigkeiten, Launigkeit und Muskelschwäche und somit zu Leistungsinsuffizienz betroffener Stuten führen können (Pryor und Tibary 2005). Auch die sogenannte Nymphomanie bei der Stute, welche durch Granulosazelltumoren oder rossebedingte Verhaltensänderungen ausgelöst werden kann, äußert sich in Hypersensitivität der Haut der Hinterhand, häufigem Harnabsatz, hengstartigem Verhalten und Schweifschlagen, was wiederum die Leistungsfähigkeit stark einschränken kann (Pryor und Tibary 2005, Christoffersen et al. 2007, Ennen et al. 2017).

Andere Erkrankungen des weiblichen Genitaltraktes, wie etwa Vaginitis, Cervicitis oder Endometritis können durch Schmerzhaftigkeit ebenfalls zu Leistungsschwäche führen (Pryor und Tibary 2005, Christoffersen et al. 2007).

Zur Diagnostik von möglicherweise leistungslimitierenden Erkrankungen der Geschlechtsorgane sollte eine ausführliche Anamnese über das Auftreten der Symptome während des Östrus und eine gründliche klinische Untersuchung erfolgen, auch um andere Ursachen für Leistungsschwäche auszuschließen. Die Diagnostik von Erkrankungen der Geschlechtsorgane sollte eine Adspektion der Vulva und des

Vestibulums, sowie eine Vaginoskopie und eventuell auch Hysteroskopie beinhalten. Des Weiteren sollte eine rektale palpatorische und ultrasonographische Untersuchung des Geschlechtstraktes erfolgen, um etwa Ovarialtumoren zu diagnostizieren. Eventuell sollte zusätzlich eine Hormonbestimmung durchgeführt werden, um zu bestimmen, ob die beobachteten Symptome tatsächlich zusammen mit dem Östrus auftreten (Pryor und Tibary 2005, Christoffersen et al. 2007, Ennen et al. 2017).

Auch Erkrankungen des Harnapparates, wie etwa chronische Niereninsuffizienz oder Urolithiasis können, etwa infolge chronischer Schmerzzustände, zu einer Leistungsinsuffizienz führen. Meist stehen bei diesen Erkrankungen andere, spezifischere Symptome, wie Harnabsatzbeschwerden, Polyurie oder Ödeme im Vordergrund, jedoch kann gerade im Anfangsstadium der Leistungsabfall das einzige Symptom sein (Niederhofer und Müller 2017, Schusser und Scheidemann 2017). Zur klinischen Abklärung kann eine rektale Untersuchung inklusive Sonographie, eine hämatologische und eine blutchemische Untersuchung im Bezug auf die Nierenparameter Kreatinin und Harnstoff, sowie eine Urinanalyse zielführend sein, um leistungsmindernde Erkrankungen des Harnapparates zu diagnostizieren (Niederhofer und Müller 2017).

#### Sonstige Erkrankungen

Tumoröse Umfangsvermehrungen können durch Kompartmentsyndrom oder paraneoplastische Effekte ebenfalls zu Leistungsschwäche führen (Held et al. 1985, May und Howard 2010).

#### Fazit für die Praxis

Insgesamt sind Erkrankungen des Bewegungsapparates zusammen mit Pathologien der oberen und vor allem auch der tiefen Atemwege und seltener auch neurologische Erkrankungen, sowie Herz- und Muskelprobleme häufig beschriebene Ursachen für verminderte Leistung beim Warmblutsporthorse. Die Untersuchung dieser Organsysteme sollte deshalb im Fokus stehen. Sollten diese Untersuchungen ergebnislos bleiben, können andere seltenere Erkrankungen Auslöser für die Leistungsschwäche sein.

Alle Befunde sollten immer kritisch hinsichtlich ihrer klinischen Relevanz für die Leistungsfähigkeit des Pferdes überprüft werden. Dafür eignet sich die Untersuchung unter Belastung bevorzugt unter den normalen Trainingsbedingungen des Pferdes. Denn anders als beim Rennpferd, äußert sich Leistungsschwäche beim Warmblutsporthorse vermehrt in Verhaltensänderungen oder Problemen bei bestimmten Lektionen und kann auf dem Laufband nur schwer nachvollzogen werden. Alles in allem kann die Ursachenforschung bei Leistungsinsuffizienz kompliziert und langwierig sein und erfordert eine strukturierte gründliche Herangehensweise, um diesem in der Pferdepopulation häufigen und wirtschaftlich wichtigen Problem auf den Grund zu gehen. Eine im Vorfeld durchgeführte, ausführliche Besitzerkommunikation bezüglich des diagnostischen Umfangs und der damit verbundenen Kosten ist ratsam.

## Literatur

- Allen K. J., Franklin S. H. (2010) Comparisons of overground endoscopy and treadmill endoscopy in UK Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J.* 42, 186–191; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00033.x
- Allen K. J., Tremaine W. H., Franklin S. H. (2006) Prevalence of inflammatory airway disease in national hunt horses referred for investigation of poor athletic performance. *Equine Vet. J. Suppl.* 529–534; DOI 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05599.x
- Allen K. J., van Erck-Westergren E., Franklin S. H. (2016) Exercise testing in the equine athlete. *Equine Vet. Educ.* 28, 89–98; DOI 10.1111/eve.12410
- Allen K. J., Young L. E., Franklin S. H. (2016) Evaluation of heart rate and rhythm during exercise. *Equine Vet. Educ.* 28, 99–112; DOI 10.1111/eve.12405
- Art T., Kirschvink N., Smith N., Votion D., Lekeux P. (1999) Cardiorespiratory measurements and indices of oxidative stress in exercising COPD horses. *Equine Vet. J. Suppl.* 83–87; DOI 10.1111/j.2042-3306.1999.tb05194.x
- Back H., Penell J., Pringle J., Isaksson M., Roneus N., Treiberg Berndtsson L., Stahl K. (2015) A longitudinal study of poor performance and subclinical respiratory viral activity in Standardbred trotters. *Vet. Rec. O. 2*, e000107-e000107; DOI 10.1136/vetreco-2014-000107
- Banse H. E., Andrews F. M. (2019) Equine glandular gastric disease: prevalence, impact and management strategies. *Vet. Med. Res. Rep.* 10, 69–76; DOI 10.2147/vmrr.s174427
- Barakzai S. Z., Cheetham J. (2012) Endoscopic examination of exercising horses: Effects on diagnosis and treatment of upper respiratory tract disorders. *Equine Vet. J.* 44, 501–503; DOI 10.1111/j.2042-3306.2012.00625.x
- Barbesgaard L., Buhl R., Meldgaard C. (2010) Prevalence of exercise-associated arrhythmias in normal performing dressage horses. *Equine Vet. J.* 42, 202–207; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00223.x
- Barstow A., Dyson S. (2015) Clinical features and diagnosis of sacroiliac joint region pain in 296 horses: 2004–2014. *Equine Vet. Educ.* 27, 637–647; DOI 10.1111/eve.12377
- Beard W. (1996) Upper respiratory causes of exercise intolerance. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 12, 435–455; DOI 10.1016/S0749-0739(17)30266-3
- Becker M., Hiepe T., von Samson-Himmelsternja G., Scheidemann W., Schusser G.-F., Stadtbäumer G., Huskamp B., Kopf N. (2017). 14 Krankheiten des Verdauungstrakts (IV). *Handbuch Pferdepraxis*. W. Brehm, H. Gehlen, B. Ohnesorge and A. Wehrend. Stuttgart, Georg Thieme Verlag
- Bedenice D., Johnson A. L. (2018) Neurologic Conditions Affecting the Equine Athlete. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 34, 277–297; DOI 10.1016/j.cveq.2018.04.006
- Birks E. K., Durando M. M., Martin B. B. (2004) Chapter 2 - Clinical exercise testing: evaluation of the poor performing athlete, *Equine Sports Medicine and Surgery*, K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, R. J. Geor and W. Bayly. W.B. Saunders. Oxford 9–18
- Bitschnau C., Wiestner T., Trachsel D. S., Auer J. A., Weishaupt M. A. (2010) Performance parameters and post exercise heart rate recovery in Warmblood sports horses of different performance levels. *Equine Vet. J. Suppl.* 17–22; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00260.x
- Brown J. A., Hinchcliff K. W., Jackson M. A., Dredge A. F., O'Callaghan R. A., McCaffrey J. R., Slocombe R. F., Clarke A. F. (2005) Prevalence of pharyngeal and laryngeal abnormalities in Thoroughbred racing in Australia, and their association with performance. *Equine Vet. J.* 37, 397–401; DOI 10.2746/042516405774480021
- Buckley P., Dunn T., More S. J. (2004) Owners' perceptions of the health and performance of Pony Club horses in Australia. *Prev. Vet. Med.* 63, 121–133; DOI 10.1016/j.prevetmed.2004.01.013
- Buhl R., Meldgaard C., Barbesgaard L. (2010) Cardiac arrhythmias in clinically healthy showjumping horses. *Equine Vet. J.* 42, 196–201; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00185.x
- Burnheim K., Hughes K. J., Evans D. L., Raidal S. L. (2016) Reliability of breath by breath spirometry and relative flow-time indices for pulmonary function testing in horses. *BMC Vet. Res.* 12, 268; DOI 10.1186/s12917-016-0893-3
- Burns G., Dart A., Jeffcott L. (2018) Clinical progress in the diagnosis of thoracolumbar problems in horses. *Equine Vet. Educ.* 30, 477–485; DOI 10.1111/eve.12623
- Cehak A., Rohn K., Barton A. K., Stadler P., Ohnesorge B. (2010) Effect of head and neck position on pharyngeal diameter in horses. *Vet. Radiol. Ultrasound* 51, 491–497; DOI 10.1111/j.1740-8261.2010.01701.x
- Çetinkaya M. A., Demirutku A., Kaya M. (2013) Gastroscopic evaluation of gastric ulcer syndrome in sport horses with poor performance. *Turk. J. V. Anim. Sci.* 37, 541–545; DOI 10.3906/vet-1209-38
- Chope K. B. (2018) Cardiac/Cardiovascular Conditions Affecting Sport Horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 34, 409–425; DOI 10.1016/j.cveq.2018.04.001
- Christley R. M., Hodgson D. R., Rose R. J., Hodgson J. L., Wood J. L., Reid S. W. (2001) Coughing in thoroughbred racehorses: risk factors and tracheal endoscopic and cytological findings. *Vet. Rec.* 148, 99–104; DOI 10.1136/vr.148.4.99
- Christoffersen M., Lehn-Jensen H., Bøgh I. B. (2007) Referred Vaginal Pain: Cause of Hypersensitivity and Performance Problems in Mares? A Clinical Case Study. *J. Equine Vet. Sci.* 27, 32–36; DOI 10.1016/j.jevs.2006.11.009
- Couetil L., Cardwell J. M., Leguillette R., Mazan M., Richard E., Binzle D., Bullone M., Gerber V., Ivester K., Lavoie J.-P., Martin J., Moran G., Niedźwiedz A., Pusterla N., Swiderski C. (2020) Equine Asthma: Current Understanding and Future Directions. *Front. Vet. Sci.* 7; DOI 10.3389/fvets.2020.00450
- Couetil L. L., Hoffman A. M., Hodgson J., Buechner-Maxwell V., Viel L., Wood J. L. N., Lavoie J. P. (2007) Inflammatory airway disease of horses. *J. Vet. Int. Med.* 21, 356–361; DOI 10.1892/0891-6640(2007)21[356:ladoh]2.0.Co;2
- Crispe E. J., Lester G. D., Secombe C. J., Perera D. I. (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
- Dabareiner R. M., Cohen N. D., Carter G. K., Nunn S., Moyer W. (2005) Lameness and poor performance in horses used for team roping: 118 cases (2000–2003). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 226, 1694–1699; DOI 10.2460/javma.2005.226.1694
- Davenport-Goodall C. L., Parente E. J. (2003) Disorders of the larynx. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 19, 169–187; DOI 10.1016/S0749-0739(02)00072-x
- Davidson E. J., Harris M., Martin B. B., Nolen-Walston R., Boston R. C., Reef V. (2011) Exercising Blood Gas Analysis, Dynamic Upper Respiratory Tract Obstruction, and Postexercising Bronchoalveolar Lavage Cytology – A Comparative Study in Poor Performing Horses. *J. Equine Vet. Sci.* 31, 475–480; DOI 10.1016/j.jevs.2011.03.003
- Davidson E. J., Martin B. B. (2003) Diagnosis of upper respiratory tract diseases in the performance horse. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 19, 51–62; DOI 10.1016/S0749-0739(02)00066-4
- Davidson E. J., Martin B. B., Rieger R. H., Parente E. J. (2010) Exercising Videoendoscopic Evaluation of 45 Horses with Respiratory Noise and/or Poor Performance After Laryngoplasty. *Vet. Surg.* 39, 942–948; DOI 10.1111/j.1532-950x.2010.00746.x
- Davidson E. J., Parente E. J. (2011) Exercising videoendoscopic evaluation of 7 horses with abnormal respiratory noise and poor performance following partial arytenoidectomy. *Equine Vet. Educ.* 23, 626–629; DOI 10.1111/j.2042-3292.2011.00229.x
- Davison J. A., Lumsden J. M., Boston R. C., Ahern B. J. (2017) Overground endoscopy in 311 Thoroughbred racehorses: findings and correlation to resting laryngeal function. *Aust. Vet. J.* 95, 338–342; DOI 10.1111/avj.12620
- de Solís C. N. (2016) Exercising arrhythmias and sudden cardiac death in horses: Review of the literature and comparative aspects. *Equine Vet. J.* 48, 406–413; DOI 10.1111/evj.12580



- Desmaizieres L. M., Serraud N., Plainfosse B., Michel A., Tamzali Y. (2009) Dynamic respiratory endoscopy without treadmill in 68 performance Standardbred, Thoroughbred and saddle horses under natural training conditions. *Equine Vet. J.* 41, 347–352; DOI 10.2746/042516409x427169
- Dyson S. (2002) Lameness and poor performance in the sport horse: Dressage, show jumping and horse trials. *J. Equine Vet. Sci.* 22, 145–150; DOI 10.1016/S0737-0806(02)70139-1
- Dyson S. (2016) Evaluation of poor performance in competition horses: A musculoskeletal perspective. Part 1: Clinical assessment. *Equine Vet. Educ.* 28, 284–293; DOI 10.1111/eve.12426
- Dyson S. (2016) Evaluation of poor performance in competition horses: A musculoskeletal perspective. Part 2: Further investigation. *Equine Vet. Educ.* 28, 379–387; DOI 10.1111/eve.12498
- Dyson S., Murray R. (2010) Pain associated with the sacroiliac joint region: a clinical study of 74 horses. *Equine Vet. J.* 35, 240–245; DOI 10.2746/042516403776148255
- Dyson S., Murray R., Branch M., Harding E. (2010) The sacroiliac joints: evaluation using nuclear scintigraphy. Part 2: Lameness horses. *Equine Vet. J.* 35, 233–239; DOI 10.2746/042516403776148282
- Dyson S. J. (2011) Lesions of the equine neck resulting in lameness or poor performance. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 27, 417–437; DOI 10.1016/j.cveq.2011.08.005
- Ennen S., Handler J., Hospes R., Sieme H., Wehrend A. (2017). 16 Reproduktionsstörungen (I). *Handbuch Pferdepraxis. W. Brehm, H. Gehlen, B. Ohnesorge and A. Wehrend.* Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Evans D. (2004) Chapter 3 – Exercise testing in the field, *Equine Sports Medicine and Surgery, K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, R. J. Geor and W. Bayly.* W.B. Saunders. Oxford 19–31
- Evans D. L. (2007) Physiology of equine performance and associated tests of function. *Equine Vet. J.* 39, 373–383; DOI 10.2746/042516407x206418
- Evans D. L., Kiddell L., Smith C. L. (2011) Pulmonary function measurements immediately after exercise are correlated with neutrophil percentage in tracheal aspirates in horses with poor racing performance. *Res. Vet. Sci.* 90, 510–515; DOI 10.1016/j.rvsc.2010.07.003
- Ferro E., Ferrucci F., Zucca E., Di Fabio V., Castoldi S. (2002) Arterial blood gas analysis in 53 racehorses with a diagnosis of Small Airway Inflammatory Disease (SAID). *J. Equine Vet. Sci.* 22, 165–168; DOI 10.1016/S0737-0806(02)70142-1
- Fey K., Ohnesorge B., Venner M. (2017). 13 Krankheiten der Atmungsorgane (I). *Handbuch Pferdepraxis. W. Brehm, H. Gehlen, B. Ohnesorge and A. Wehrend.* Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Fey K., Venner M. (2017). 13 Krankheiten der Atmungsorgane (II). *Handbuch Pferdepraxis. W. Brehm, H. Gehlen, B. Ohnesorge and A. Wehrend.* Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Findley J., Singer E. (2015) Equine back disorders 1. Clinical presentation, investigation and diagnosis. *In Pract.* 37, 456–467; DOI 10.1136/inp.h4854
- Fogarty U., Buckley T. (1991) Bronchoalveolar lavage findings in horses with exercise intolerance. *Equine Vet. J.* 23, 434–437; DOI 10.1111/j.2042-3306.1991.tb03756.x
- Foreman J. H. (1996) Metabolic causes of equine exercise intolerance. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 12, 537–554; DOI 10.1016/S07490739(17)30271-7
- Fraipont A., Van Erck E., Ramery E., Richard E., Denoix J. M., Lekeux P., Art T. (2011) Subclinical diseases underlying poor performance in endurance horses: diagnostic methods and predictive tests. *Vet. Rec.* 169, 154; DOI 10.1136/vr.d4142
- Frank N. (2018) Endocrine Disorders of the Equine Athlete. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 34, 299–312; DOI 10.1016/j.cveq.2018.04.003
- Franklin S. H., Brazil T. J., Allen K. J. (2008) Poor performance associated with equine gastric ulceration syndrome in four Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. Educ.* 20, 119–124; DOI 10.2746/095777308x282363
- Franklin S. H., Naylor J. R. J., Lane J. G. (2006) Videoendoscopic evaluation of the upper respiratory tract in 93 sport horses during exercise testing on a high-speed treadmill. *Equine Vet. J.* 38, 540–545; DOI 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05601.x
- Gehlen H. (2010). *Pferdekardiologie.* Hannover, Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.
- Gehlen H., Bubeck K., Rohn K., Stadler P. (2006) Pulmonary artery wedge pressure during treadmill exercise in warmblood horses with atrial fibrillation. *Res. Vet. Sci.* 81, 134–139; DOI 10.1016/j.rvsc.2005.09.008
- Gehlen H., Goltz A., Rohn K., Stadler P. (2007) A survey of the frequency and development of heart disease in riding-horses - Part 1: Retrospective evaluation (1992–2003) and questionnaires. *Pferdeheilkunde* 23, 369–377; DOI 10.21836/PEM20070408
- Gehlen H., Goltz A., Rohn K., Stadler P. (2007) A survey of the frequency and development of heart disease in riding-horses - Part 2: Clinical and echocardiographic followup examination. *Pferdeheilkunde Equine Med.* 23, 378–387; DOI 10.21836/PEM20070409
- Gehlen H., Stadler P. (2002) Atrial fibrillation in warmblood horses – Echocardiography, therapy, prognosis and outcome in 72 cases. *Pferdeheilkunde* 18, 530–536; DOI 10.21836/PEM20020603
- Gehlen H., Zebisch A., Schuette A., Oel C., May A. (2010) Over-ground exercise endoscopy of upper airways in standardbreds, thoroughbreds and warmblood riding horses under normal training conditions. *Pferdeheilkunde* 26, 344–352; DOI 10.21836/PEM20100303
- Girodroux M., Dyson S., Murray R. (2009) Osteoarthritis of the thoracolumbar synovial intervertebral articulations: Clinical and radiographic features in 77 horses with poor performance and back pain. *Equine Vet. J.* 41, 130–138; DOI 10.2746/042516408x345099
- Go L. M., Barton A. K., Ohnesorge B. (2014) Pharyngeal diameter in various head and neck positions during exercise in sport horses. *BMC Vet. Res.* 10, 117; DOI 10.1186/1746-6148-10-117
- Gorgas D., Luder P., Lang J., Doherr M. G., Ueltschi G., Kircher P. (2009) Scintigraphic and radiographic appearance of the sacroiliac region in horses with gait abnormalities or poor performance. *Vet. Radiol. Ultrasound* 50, 208–214; DOI 10.1111/j.1740-8261.2009.01519.x
- Hackett E., Parente E. (2003) Disorders of the pharynx. *The Veterinary clinics of North America. Equine Pract.* 19, 159–167, vii; DOI 10.1016/S0749-0739(02)00071-8
- Held J. P., Patton C. S., Toal R. L., Geiser D. R. (1985) Work intolerance in a horse with thyroid carcinoma. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 187, 1044–1045
- Hines M. T. (2018) Chapter 7 – Clinical Approach to Commonly Encountered Problems, *Equine Internal Medicine (Fourth Edition), S. M. Reed, W. M. Bayly and D. C. Sellon.* W.B. Saunders 232–310
- Holcombe S. J., Ducharme N. G. (2004) Chapter 27 – Abnormalities of the upper airway, *Equine Sports Medicine and Surgery, K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, R. J. Geor and W. Bayly.* W. B. Saunders. Oxford 559–598
- Holcombe S. J., Robinson N. E., Derksen F. J., Bertold B., Genovese R., Miller R., de Feiter Rupp H., Carr E. A., Eberhart S. W., Boruta D., Kaneene J. B. (2006) Effect of tracheal mucus and tracheal cytology on racing performance in Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J.* 38, 300–304; DOI 10.2746/04251640677749191
- Hunt L. M., Valberg S. J., Steffenhagen K., McCue M. E. (2008) An epidemiological study of myopathies in Warmblood horses. *Equine Vet. J.* 40, 171–177; DOI 10.2746/042516408x244262
- Jago R., Keen J. (2019) Identification of common equine cardiac murmurs. *In Practice* 41, 222–232; DOI 10.1136/inp.j1769
- Jones W. E. (1987) Muscular causes of exercise intolerance. *J. Equine Vet. Sci.* 7, 312–316; DOI 10.1016/S0737-0806(87)80054-0
- Jose-Cunilleras E., Young L. E., Newton J. R., Marlin D. J. (2006) Cardiac arrhythmias during and after treadmill exercise in poorly performing Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J.* 38, 163–170; DOI 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05534.x

- Kannegieter N. J., Dore M. L. (1995) Endoscopy of the upper respiratory tract during treadmill exercise: a clinical study of 100 horses. *Aust. Vet. J.* 72, 101–107; DOI 10.1111/j.1751-0813.1995.tb15020.x
- Knight P., Evans D. (2000) Clinical abnormalities detected in post-race examinations of poorly performing Standardbreds. *Aust. Vet. J.* 78, 344–346; DOI 10.1111/j.1751-0813.2000.tb11790.x
- Lane J. G., Bladon B., Little D. R., Naylor J. R., Franklin S. H. (2006) Dynamic obstructions of the equine upper respiratory tract. Part 1: observations during high-speed treadmill endoscopy of 600 Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J.* 38, 393–399; DOI 10.2746/042516406778400583
- Lane J. G., Bladon B., Little D. R. M., Naylor J. R. J., Franklin S. H. (2006) Dynamic obstructions of the equine upper respiratory tract. Part 2: Comparison of endoscopic findings at rest and during high-speed treadmill exercise of 600 Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J.* 38, 401–407; DOI 10.2746/042516406778400619
- Laus F., Attili A. R., Cerquetella M., Spaterna A., Tesei B., Cuteri V. (2018) Endoscopic findings, microbiological and cytological evaluation of tracheal aspirates in a population of Standardbred horses with poor performances. *Veterinární Med.* 54, 444–450; DOI 10.17221/3/2009-vetmed
- Lavoie J. P., Cesarini C., Lavoie-Lamoureux A., Moran K., Lutz S., Picandet V., Jean D., Marcoux M. (2011) Bronchoalveolar lavage fluid cytology and cytokine messenger ribonucleic Acid expression of racehorses with exercise intolerance and lower airway inflammation. *J. Vet. Intern. Med.* 25, 322–329; DOI 10.1111/j.1939-1676.2010.0664.x
- Leleu C., Cotrel C., Courouze-Malblanc A. (2005) Relationships between physiological variables and race performance in French standardbred trotters. *Vet. Rec.* 156, 339–342; DOI 10.1136/vr.156.11.339
- Lilich J. D., Gaughan E. M. (1996) Diagnostic approach to exercise intolerance in racehorses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 12, 555–564; DOI 10.1016/s0749-0739(17)30272-9
- Mack S. J., Kirkby K., Malalana F., McGowan C. M. (2014) Elevations in serum muscle enzyme activities in racehorses due to unaccustomed exercise and training. *Vet. Rec.* 174, 145–145; DOI 10.1136/vr.101669
- MacNamara B., Bauer S., lafe J. (1990) Endoscopic evaluation of exercise-induced pulmonary hemorrhage and chronic obstructive pulmonary disease in association with poor performance in racing Standardbreds. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 196, 443–445;
- Malikides N., Hughes K., Hodgson D., Hodgson J. (2003) Comparison of tracheal aspirates and bronchoalveolar lavage in racehorses 2. Evaluation of the diagnostic significance of neutrophil percentage. *Aust. Vet. J.* 81, 685–687; DOI 10.1111/j.1751-0813.2003.tb12540.x
- Maré L., Boshuizen B., Plancke L., De Bruijn M., Delesalle C. (2017) Standardized exercise tests in horses: Current situation and future perspectives. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift* 86, 63–72; DOI 10.21825/vdt.v86i2.16290
- Martin B., Reef V., Parente E., Sage A. (2000) Causes of poor performance of horses during training, racing, or showing: 348 cases (1992–1996). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 216, 554–558; DOI 10.2460/javma.2000.216.554
- Martin B. B., Davidson E. J., Durando M. M., Birks E. K. (2004) Chapter 4 – Clinical exercise testing: overview of causes of poor performance. *Equine Sports Medicine and Surgery*, K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, R. J. Geor and W. Bayly. W.B. Saunders. Oxford 32–41
- May K. A., Howard R. D. (2010) Exercise intolerance secondary to parotid melanomas in a mare. *Equine Vet. Educ.* 13, 195–197; DOI 10.1111/j.2042-3292.2001.tb00089.x
- Mayaki A. M., Intan-Shameha A. R., Noraniza M. A., Mazlina M., Adamu L., Abdullah R. (2019) Clinical investigation of back disorders in horses: A retrospective study (2002–2017). *Vet. World* 12, 377–381; DOI 10.14202/vetworld.2019.377-381
- Mazan M. R. (2018) Lower Airway Disease in the Athletic Horse. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 34, 443–460 DOI 10.1016/j.cveq.2018.04.010
- McGuire C. J., Piery R. J., Gonzalez-Medina S., Massey C., Robinson K., McGovern K. F. (2018) Exercise-associated atypical myopathy in five adult horses. *Equine Vet. J.* 50, 29–29; DOI 10.1111/evj.53\_13008
- Melkova P., Jahn P., Bodecek S., Dobesova O., Hanak J. (2016) Evaluation of poor performance in racehorses using a high-speed treadmill. *Veterinární Med.* 61, 243–248; DOI 10.17221/8878-vetmed
- Meyer C., Gerber R., Guthrie A. J. (2004) The use of the standard exercise test to establish the clinical significance of mild echocardiographic changes in a Thoroughbred poor performer: clinical communication. *J. South. Afr. Vet. Assoc.* 75, 100–102; DOI 10.4102/jsava.v75i2.461
- Mirazo J. E., Page P., Rubio-Martinez L., Marais H. J., Lyle C. (2014) Dynamic upper respiratory abnormalities in Thoroughbred racehorses in South Africa. *J. South African Vet. Assoc.* 85, 1140; DOI 10.4102/jsava.v85i1.1140
- Mitten L. A. (1996) Cardiovascular causes of exercise intolerance. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 12, 473–494; DOI 10.1016/s0749-0739(17)30268-7
- Moore B. R. (1996) Lower respiratory tract disease. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 12, 457–472; DOI 10.1016/s0749-0739(17)30267-5
- Morris E. A., Seeherman H. J. (1991) Clinical evaluation of poor performance in the racehorse: the results of 275 evaluations. *Equine Vet. J.* 23, 169–174; DOI 10.1111/j.2042-3306.1991.tb02749.x
- Munsters C. C. B. M., van Iwaarden A., van Weeren R., Sloet van Oolhuizenborgh-Oosterbaan M. M. (2014) Exercise testing in Warmblood sport horses under field conditions. *Vet. J.* 202, 11–19; DOI 10.1016/j.tvjl.2014.07.019
- Navas De Solis C., Sampson S. N., McKay T., Whitfield-Cargile C. (2018) Standardised exercise testing in 17 reining horses: Musculoskeletal, respiratory, cardiac and clinicopathological findings. *Equine Vet. Educ.* 30, 262–267; DOI 10.1111/evj.12775
- Niederhofer M., Müller A. (2017). 33 Leistungsschwäche. Differenzialdiagnosen Innere Medizin beim Pferd. H. Gehlen. Stuttgart, Enke Verlag.
- Nollet H., Deprez P. (2005) Hereditary skeletal muscle diseases in the horse. A review. *Vet. Quart.* 27, 65–75; DOI 10.1080/01652176.2005.9695187
- Parente E. J. (1996) Testing methods for exercise intolerance in horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 12, 421–433; DOI 10.1016/s0749-0739(17)30265-1
- Parente E. J. (2018) Upper Airway Conditions Affecting the Equine Athlete. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 34, 427–441; DOI 10.1016/j.cveq.2018.04.008
- Parente E. J., Russau A. L., Birks E. K. (2002) Effects of mild forelimb lameness on exercise performance. *Equine Vet. J. Suppl.* 34, 252–256; DOI 10.1111/j.2042-3306.2002.tb05428.x
- Pedersen S. K., Cribb A. E., Windeyer M. C., Read E. K., French D., Banse H. E. (2018) Risk factors for equine glandular and squamous gastric disease in show jumping Warmbloods. *Equine Vet. J.* 50, 747–751; DOI 10.1111/evj.12949
- Piccione G., Messina V., Casella S., Giannetto C., Caola G. (2010) Blood lactate levels during exercise in athletic horses. *Comp. Clin. Path.* 19, 535–539; DOI 10.1007/s00580-010-0965-x
- Pilsworth R., Rosedale P. D., Wood J. L. N. (1998) Is it poor or loss of performance?: The science of explanation. *Equine Vet. J.* 30, 364–365; DOI 10.1111/j.2042-3306.1998.tb04502.x
- Pirrone F., Albertini M., Clement M. G., Lafortuna C. L. (2007) Respiratory mechanics in Standardbred horses with sub-clinical inflammatory airway disease and poor athletic performance. *Vet. J.* 173, 144–150; DOI https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2005.07.020
- Pollock P. J., Reardon R. J., Parkin T. D., Johnston M. S., Tate J., Love S. (2009) Dynamic respiratory endoscopy in 67 Thoroughbred racehorses training under normal ridden exercise conditions. *Equine Vet. J.* 41, 354–360; DOI 10.2746/042516409x407107
- Pollock P. J., Reardon R. J. M. (2009) Dynamic respiratory endoscopy without a treadmill: Initial experiences. *Equine Vet. Educ.* 21, 367–370; DOI 10.2746/095773309x459933

- Pryor P., Tibary A. (2005) Management of Estrus in the Performance Mare. *Clin. Tech. Equine Pract.* 4, 197–209; DOI 10.1053/j.ctep.2005.07.001
- Quiney L. E., Ireland J. L., Dyson S. J. (2018) Evaluation of the diagnostic accuracy of skeletal scintigraphy in lame and poorly performing sports horses. *Vet. Radiol. Ultrasound* 59, 477–489; DOI 10.1111/vru.12626
- Quiroz-Rothe E., Novales M., Aguilera-Tejero E., Rivero J. L. L. (2010) Polysaccharide storage myopathy in the M. longissimus lumborum of showjumpers and dressage horses with back pain. *Equine Vet. J.* 34, 171–176; DOI 10.2746/042516402776767259
- Reef V. B., Bonagura J., Buhl R., McGurrin M. K. J., Schwarzwald C. C., Van Loon G., Young L. E. (2014) Recommendations for Management of Equine Athletes with Cardiovascular Abnormalities. *J. Vet. Int. Med.* 28, 749–761; DOI 10.1111/jvim.12340
- Richard E. A., Fortier G. D., Pitel P. H., Dupuis M. C., Valette J. P., Art T., Denoix J. M., Lekeux P. M., Van Erck E. (2010) Sub-clinical diseases affecting performance in Standardbred trotters: Diagnostic methods and predictive parameters. *Vet. J.* 184, 282–289; DOI 10.1016/j.tvjl.2009.04.016
- Ryan N., Marr C. M., McGladdery A. J. (2010) Survey of cardiac arrhythmias during submaximal and maximal exercise in Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J.* 37, 265–268; DOI 10.2746/0425164054530713
- Sánchez A., Couëtil L. L., Ward M. P., Clark S. P. (2005) Effect of Airway Disease on Blood Gas Exchange in Racehorses. *J. Vet. Int. Med.* 19, 87–92; DOI 10.1111/j.1939-1676.2005.tb02663.x
- Scheffer C. J. W., Van Oldruitenborgh-Oosterbaan M. M. S. (1996) Computerized ECG recording in horses during a standardized exercise test. *Vet. Quart.* 18, 2–7; DOI 10.1080/01652176.1996.9694601
- Schusser G. F. (2017). 21 Krankheiten des Bewegungsapparats (II). *Handbuch Pferdepraxis. W. Brehm, H. Gehlen, B. Ohnesorge and A. Wehrend.* Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Schusser G. F., Scheidemann W. (2017). 15 Krankheiten der Harnorgane. *Handbuch Pferdepraxis. W. Brehm, H. Gehlen, B. Ohnesorge and A. Wehrend.* Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Schwarzwald C. (2016) Herzerkrankungen beim Sporthferd: Aktuelle Empfehlungen des 2014 ACVIM/ECEIM Consensus Statement. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 677–689; DOI 10.17236/sat00086
- Secombe C. J., van Eps A. W., Bruce M., Lester G. D. (2019) The relationship between bronchoalveolar lavage fluid cytology and airway hyper-reactivity in a population of Australian horses presented for poor performance. *Aust. Vet. J.* 97, 343–350; DOI 10.1111/avj.12861
- Strand E., Fjordbakk C. T., Holcombe S. J., Risberg A., Chalmers H. J. (2009) Effect of poll flexion and dynamic laryngeal collapse on tracheal pressure in Norwegian Coldblooded Trotter racehorses. *Equine Vet. J.* 41, 59–64; DOI 10.2746/042516408x330392
- Sullivan E. K., Parente E. J. (2003) Disorders of the pharynx. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 19, 159–167; DOI 10.1016/s0749-0739(02)00071-8
- Swor T. M., Dabareiner R. M., Honnas C. M., Cohen N. D., Black J. B. (2019) Musculoskeletal problems associated with lameness and poor performance in cutting horses: 200 cases (2007–2015). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 254, 619–625; DOI 10.2460/javma.254.5.619
- Thomson P., Hayek A., Jones B., Evans D., McGreevy P. (2014) Number, causes and destinations of horses leaving the Australian Thoroughbred and Standardbred racing industries. *Aust. Vet. J.* 92, 303–311; DOI 10.1111/avj.12204
- Twele L. (2019) Leistungsdiagnostik unter Feldbedingungen – Parameter, praktische Anwendung und Ergebnisinterpretation. *Pferdespiegel* 22, 155–163; DOI 10.1055/a-1013-2027
- Valberg S. (2018) Muscle Conditions Affecting Sport Horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 34; DOI 10.1016/j.cveq.2018.04.004
- Valberg S. J., Carlson G. P., Cardinet G. H., Birks E. K., Jones J. H., Chomyn A., Dimauro S. (1994) Skeletal muscle mitochondrial myopathy as a cause of exercise intolerance in a horse. *Muscle Nerve* 17, 305–312; DOI 10.1002/mus.880170308
- Valberg S. J., Nicholson A. M., Lewis S. S., Reardon R. A., Finno C. J. (2017) Clinical and histopathological features of myofibrillar myopathy in Warmblood horses. *Equine Vet. J.* 49, 739–745; DOI 10.1111/evj.12702
- Van Erck-Westergren E., Franklin S. H., Bayly W. M. (2013) Respiratory diseases and their effects on respiratory function and exercise capacity. *Equine Vet. J.* 45, 376–387; DOI 10.1111/evj.12028
- Van Erck E. (2011) Dynamic respiratory videoendoscopy in ridden sport horses: effect of head flexion, riding and airway inflammation in 129 cases. *Equine Vet. J. Suppl.* 18–24; DOI 10.1111/j.2042-3306.2011.00492.x
- van Erck E., Jakesova V., Lekeux P., Art T. (2006) Field evaluation of poor performance in Standardbred trotters. *Pferdeheilkunde* 22, 625–631; DOI 10.21836/PEM20060516
- van Zadelhoff C., Ehrle A., Merle R., Jahn W., Lischer C. (2019) Thoracic processi spinosi findings agree among subjective, semiquantitative, and modified semiquantitative scintigraphic image evaluation methods and partially agree with clinical findings in horses with and without thoracolumbar pain. *Vet. Radiol. Ultrasound* 60, 210–218; DOI 10.1111/vru.12695
- Vatistas N. J., Snyder J. R., Carlson G., Johnson B., Arthur R. M., Thurmond M., Zhou H., Lloyd K. L. (1999) Cross-sectional study of gastric ulcers of the squamous mucosa in thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J. Suppl.* 34–39; DOI 10.1111/j.2042-3306.1999.tb05166.x
- Widmer A., Doherr M. G., Tessier C., Koch C., Ramseyer A., Straub R., Gerber V. (2009) Association of increased tracheal mucus accumulation with poor willingness to perform in show-jumpers and dressage horses. *Vet. J.* 182, 430–435; DOI 10.1016/j.tvjl.2008.08.015
- Winter J. C. (2018) Ein Update zu PPID beim Pferd. *Pferdespiegel* 21, 115–123; DOI 10.1055/a-0579-8807
- Witte S. H., Witte T. H., Harriss F., Kelly G., Pollock P. (2011) Association of owner-reported noise with findings during dynamic respiratory endoscopy in Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J.* 43, 9–17; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00152.x
- Wysocka B., Kluciński W. (2018) The occurrence of dynamic structural disorders in the pharynx and larynx, at rest and during exercise, in horses diagnosed with mild and moderate Equine Asthma (Inflammatory Airway Disease). *Polish J. Vet. Sci.* 21, 203–211; DOI 10.24425/119042
- Zimmerman M., Dyson S., Murray R. (2012) Close, impinging and overriding spinous processes in the thoracolumbar spine: the relationship between radiological and scintigraphic findings and clinical signs. *Equine Vet. J.* 44, 178–184; DOI 10.1111/j.2042-3306.2011.00373.x
- Zucca E., Ferrucci F., Stancari G., Saporiti T., Ferro E. (2010) The prevalence of cardiac murmurs among standardbred racehorses presented with poor performance. *J. Vet. Med. Sci.* 72, 781–785; DOI 10.1292/jvms.09-0217

## 2. Publikation II

### I. Association between Cardiac Auscultation and Echocardiographic Findings in Warmblood Horses

*Animals* 2021, 11(12), 3463, DOI: 10.3390/ani11123463

Hövenner, J.<sup>1,2,3</sup>; Pokar, J.<sup>1</sup>; Merle, R.<sup>3</sup>; Gehlen, H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Equine Clinic Bargteheide, 22941 Bargteheide, Germany

<sup>2</sup>Institute for Veterinary Epidemiology and Biostatistics, Freie Universität Berlin, 14163 Berlin, Germany

<sup>3</sup>Equine Clinic, Veterinary Department, Freie Universität Berlin, 14163 Berlin, Germany

Corresponding author: Jakob Hövenner

Equine Clinic Bargteheide

Alte Landstraße 104

22941 Bargteheide Germany

E-mail: jakobhoevener@gmail.com

## II. Abstract

Heart murmurs are detected frequently when auscultating horses and certain murmurs can usually be linked to specific valvular regurgitations. However, limited information exists about accuracy of these broad rules in warmblood horses and about the influence of grade of the regurgitation and dimensional changes on murmur intensity. This study aims to clarify the accuracy of cardiac auscultation in warmblood horses and the influence of grade of regurgitation and dimensional changes on loudness of the murmur. In the retrospective study 822 warmblood horses that were presented for cardiac examination in a large equine referral center in northern Germany underwent a thorough cardiac auscultation. 653 of these revealed one or more heart murmurs. Most common auscultatory findings were left-sided systolic murmurs (68%) or left-sided diastolic murmurs (15%). On 635 of these horses an echocardiographic examination was performed, revealing mitral valve insufficiency as the most common valvular insufficiency (77%) followed by aortic valve insufficiency (23%). 31% of horses that underwent echocardiographic examination displayed dimensional changes of one or more departments of the heart, with the left atrium being most commonly affected (21%), followed by the left ventricle (13%). Main goal of this study was to link certain auscultatory findings with results of the echocardiographic examinations, trying to determine whether auscultation and echocardiography concurred on the valve affected, as well as to find out if loudness of the murmur coincided with grade of regurgitation and presence of dimensional changes. Agreement between auscultation and cardiac ultrasound was substantial ( $K = 0.74$ ) if one or more than one murmur and insufficiency was present and almost perfect ( $K = 0.94$ ), if only one murmur and one insufficiency were found. Auscultation was particularly well suited for detection of left-sided systolic and diastolic murmurs, with 87% of left-sided systolic murmurs being caused by a mitral valve insufficiency and 81% of left-sided diastolic murmurs originating from an aortic valve insufficiency. We found a fair agreement between grade of regurgitation and grade of the respective murmur. Association was particularly good between mild regurgitations and low-grad murmurs, while differentiation between moderate to severe regurgitation based upon loudness of the murmur was less reliable. Dimensional changes usually were linked to more severe regurgitations, as well as higher grade murmurs. However, a direct correlation between murmur intensity and presence or severity of dimensional changes, independent from grade of valvular regurgitation could not be established in this cohort of horses.

Keywords: cardiology, equine auscultation, echocardiography, heart murmur, valvular regurgitation

## Article

# Association between Cardiac Auscultation and Echocardiographic Findings in Warmblood Horses

Jakob Hövener<sup>1,2,3,\*</sup>, Julie Pokar<sup>1</sup>, Roswitha Merle<sup>2</sup> and Heidrun Gehlen<sup>3,\*</sup> <sup>1</sup> Equine Clinic Bargteheide, 22941 Bargteheide, Germany; J.Pokar@pferdeklarik-bargteheide.de<sup>2</sup> Institute for Veterinary Epidemiology and Biostatistics, Freie Universitaet Berlin, 14163 Berlin, Germany; Roswitha.Merle@fu-berlin.de<sup>3</sup> Equine Clinic, Veterinary Department, Freie Universitaet Berlin, 14163 Berlin, Germany

\* Correspondence: jakobhoevener@gmail.com (J.H.); Heidrun.Gehlen@fu-berlin.de (H.G.)

**Simple Summary:** In our study, we retrospectively analyzed cardiac examinations in a large number of warmblood horses conducted over a period of almost 20 years. We compared the results of the cardiac auscultation as the character and grade of a heart murmur with the results of the echocardiographic examination. We found that auscultation works very well to identify the valve affected, if following the general clinical guidelines on which kind of murmur is usually caused by specific valvular regurgitations. Auscultation is less specific in determining the grade of the regurgitation based on the loudness of the murmur. Only low-grade murmurs are usually caused by mild regurgitations, while differentiation between moderate and severe regurgitations based on the loudness of the murmur is not reliable. Moreover, we could not find that enlargement of one or more compartments of the heart generally leads to a higher-grade murmur.



**Citation:** Hövener, J.; Pokar, J.; Merle, R.; Gehlen, H. Association between Cardiac Auscultation and Echocardiographic Findings in Warmblood Horses. *Animals* **2021**, *11*, 3463. <https://doi.org/10.3390/ani11123463>

Academic Editor: Rikke Buhl

Received: 20 October 2021

Accepted: 3 December 2021

Published: 5 December 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Heart murmurs are detected frequently when auscultating horses and certain murmurs can usually be linked to specific valvular regurgitations. Limited information exists about the accuracy of these broad rules in warmblood horses and the influence of grade of the regurgitation and dimensional changes on murmur intensity. This study aims to clarify the accuracy of cardiac auscultation in warmblood horses and the influence of the grade of regurgitation and dimensional changes on the loudness of the murmur. In this retrospective study, 822 warmblood horses presented for cardiac examination in a large equine referral center in northern Germany underwent a thorough cardiac auscultation. In total, 653 of these revealed one or more heart murmurs. Most common auscultatory findings were left-sided systolic murmurs (68%) or left-sided diastolic murmurs (15%). On 635 of these horses, an echocardiographic examination was performed, revealing regurgitations of the mitral valve as the most common valvular regurgitation (77%) followed by regurgitations of the aortic valve (23%). Thirty-one percent of horses that underwent echocardiographic examination displayed dimensional changes of one or more compartments of the heart, with the left atrium being most affected (21%), followed by the left ventricle (13%). The main goal of this study was to link certain auscultatory findings with results of the echocardiographic examinations, trying to determine whether auscultation and echocardiography agreed on the valve affected, as well as to find out if loudness of the murmur coincided with grade of regurgitation and presence of dimensional changes. Agreement between auscultation and cardiac ultrasound was substantial (Kappa 0.74) if one or more murmurs and regurgitations were present and almost perfect (Kappa 0.94) if only one murmur and one regurgitation were found. Auscultation was particularly well suited for detection of left-sided systolic and diastolic murmurs, with 87% of left-sided systolic murmurs being caused by a mitral valve regurgitation and 81% of left-sided diastolic murmurs originating from an aortic valve regurgitation. We found a fair agreement between the grade of regurgitation and the respective murmur. Association was particularly good between mild regurgitations and low-grade murmurs, while differentiation between moderate to severe regurgitation based upon the loudness of the murmur was less reliable. Dimensional changes were usually linked to more severe regurgitations and higher-grade murmurs. However, a direct correlation between murmur intensity and the presence or severity of dimensional changes, independent of the grade of valvular regurgitation, could not be established in this cohort of horses.

**Keywords:** cardiology; equine; auscultation; echocardiography; heart murmur; valvular regurgitation

## 1. Introduction

Heart murmurs are a common auscultatory finding in horses of all breeds, ages and disciplines and can be of a physiological or pathological nature [1,2]. While physiological murmurs result from the large amount of blood and the high velocity of the blood flow in the equine cardiovascular system, whose enormous size presents ideal conditions for the formation of turbulent blood flow, pathological murmurs result from either stenosis or regurgitation of one of the valves of the heart [2]. Stenosis is rarely seen in horses and most pathological systolic or diastolic murmurs are caused by valvular regurgitations or congenital defects [1,2]. This may make linking auscultatory and echocardiographic findings easier than, for example, in dogs, cats or humans, who are commonly affected by valvular stenosis, as the list of common differential diagnoses is shorter [3–5]. However, evaluating the significance of cardiac auscultatory findings still poses a major challenge, as it can be difficult to assess what cardiac disease is underlying these murmurs, how severe it is and what effect it may have on the performance, safety and life expectancy of the horse [1,6]. Further diagnostics are usually needed to assess the kind and severity of the underlying cardiac condition and decide whether a potential regurgitation could affect a horse's short- and long-term performance [7]. However, despite the multitude of modern diagnostic tools available in equine referral centers today, thorough auscultation of the heart is still one of the most important and sometimes the only available diagnostic tool to evaluate potential heart disease in equine veterinary practice [8–10]. Linking certain auscultatory findings with specific valvular regurgitations has been established – for example, a left-sided systolic murmur with a regurgitation of the mitral valve [2] – thus, detailed auscultation is supposed to enable the experienced veterinarian to make a list of differential diagnoses or even pinpoint a specific diagnosis based on the findings [7]. However, it is widely discussed whether auscultation of a higher-grade murmur indicates a more severe valvular regurgitation or may even be due to dimensional changes of the heart [7,8]. This paper aims to describe the auscultatory and echocardiographic findings in a large group of warmblood horses and evaluate to what extent auscultatory findings concur with the results of echocardiography and whether there is an association between the grade of a murmur and that of a valvular regurgitation or even the presence or grade of dimensional changes.

## 2. Material and Methods

**Horses** – Warmblood horses that were presented for initial cardiac work-up in a large equine referral center in northern Germany between January 2000 and May 2020 were included in the study. Results from follow-up examinations were not included; therefore, each horse appears only once in the study. The horses were presented because of either a clinical complaint such as poor performance or collapse or because of a heart murmur or arrhythmia detected as an accidental finding. A detailed report of the examination was saved in the patient file for all horses, including information about the clinical examination, the auscultatory findings and, if conducted, the results of the echocardiography.

**Auscultation** – After a general clinical examination with a special focus on the cardiovascular system, the horses presented were auscultated by one of five experienced veterinary practitioners upon arrival in the clinic. Auscultation was performed in a quiet environment on the left and right hemithorax with a conventional stethoscope placed in the third, fourth and fifth intercostal space. Frequency, intensity and rhythm of the heartbeats, and audible murmurs were noted. All auscultated heart murmurs were described as audible loudest on the left, right or on both sides of the thorax. Moreover, they were characterized depending on their timing as systolic, diastolic or continuous murmurs and were graded from Grade 1 to Grade 6 (Table 1) [2].

**Table 1.** Heart murmur grading scheme.

Grade 1	A very quiet murmur audible with careful auscultation over a localized area
Grade 2	A quiet, but over a localized area, immediately audible murmur with a lower intensity than the first and second heart sound
Grade 3	An immediately audible murmur over a larger area, with the same intensity as the first and second heart sound
Grade 4	A loud murmur, which is audible over a large area and louder than the first and second heart sound
Grade 5	A loud murmur with a precordial thrill, only audible if the stethoscope is touching the skin surface
Grade 6	A very loud murmur which is audible without the stethoscope touching the skin surface, where the first and second heart sound are no longer audible

Echocardiography – An echocardiographic examination was performed if a murmur was present upon auscultation. This included an examination in B-Mode, M-Mode and a color Doppler-echocardiography of all four valves [8,11]. If regurgitations could be detected, they were graded as mild, medium or severe, depending on the size of the jet [8,12]. If any dimensional changes were present, the maximal size of the atrium or chamber was measured in millimeters and recorded [11]. The LA and LV of adult warmblood horses were considered enlarged if the compartment measured more than 135 mm. Measurements larger than 80 mm for the RA and RV were considered enlarged [8,13]. Dimensions were judged relative to their size for foals and subadult horses. Any other abnormal findings were recorded in the patient file as well. If documentation of the echocardiographic exam was insufficient, the images and videos taken during the examination were reviewed from the video archive and were reevaluated by an experienced clinician.

Data Analysis – The auscultatory and echocardiographic findings were collected retrospectively from the reports saved in the electronic patient files and the video archive. Horses were classified in different groups for the statistical analysis. Criteria were the presence of a murmur at the time of the examination, grade, phase and point of maximal intensity of that murmur, and the findings of the echocardiographic examination, such as the presence and grade of valvular regurgitation and dimensional changes.

Data were stored in an Excel sheet (IBM Excel® Version 2016, Microsoft Corporation, Redmont, WA, USA) and analyzed using IBM SPSS statistical software version 25 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Descriptive statistics are presented in terms of frequency tables as well as means, median, standard deviations, 95% confidence intervals and boxplots.

The main aim of the statistical analysis was to determine the accuracy of auscultation in identifying the valve affected, and grading of valvular regurgitations. Moreover, we investigated whether the presence of dimensional changes of the heart altered murmur intensity. Whether associations exist between the presence and severity of valvular regurgitations and the presence of dimensional changes to be better able to proportion the association between auscultation and echocardiography was also evaluated.

In order to determine the accuracy of auscultation to diagnose valvular regurgitations, we used points of maximum intensity and the phase in which the murmur was audible and then linked this with the most probable valvular regurgitation. As described by Bonagura and Reef [14], a left-sided systolic murmur was linked to MVI; left-sided diastolic murmur to AVI; and right-sided systolic murmur was allocated to TVI or a VSD.

The six grades of murmurs were categorized into 3 degrees of severity to allow comparisons with the severity of valvular regurgitation. Murmurs of Grades 1 and 2 were classified as low-grade, murmurs of Grades 3 and 4 as moderate, and murmurs of Grade 5 and 6 as high-grade murmurs.

A Cohen's Kappa test was used to determine agreement between auscultatory and echocardiographic findings. According to McHugh [15], the Kappa coefficient was assessed as follows: 0 = poor; >0–0.2 = slight; >0.2–0.4 = fair; >0.4–0.6 = moderate; >0.6–0.8 = substantial; >0.8–1.0 = almost perfect.

A Kolmogorov–Smirnov and a Shapiro–Wilk test were used to determine whether the severity of the valvular regurgitation and the grade and presence of dimensional



changes were normally distributed for different murmur intensities. Since data were not normally distributed, a Mann–Whitney U test was used to determine whether murmur intensity differed between horses with and without dimensional changes of one or more compartments of the heart.

Furthermore, odds ratios (OR) were calculated to determine whether specific cardiac findings lead to an increased risk of the development of other cardiological pathologies. Risk is enhanced if the OR is above 1.00.

An analysis of variances (ANOVA) was carried out to test how the different grades of regurgitation and the different grades of dimensional changes influenced the murmur intensity. The target variable was the loudness of the murmur. Input variables were the different grades (no, mild, moderate, severe) of MVI, AVI and TVI, the different grades (no/<135 mm, mild/135–140 mm, moderate/141–150 mm, severe/>151 mm) of left atrial and left ventricular dimensions, and the different grades (no/<80 mm, mild/ 81–90 mm, severe/>91 mm) of right atrial and right ventricular dimensions. All two-way interactions were also included in the model. The homogeneity of the different variances was determined using Levene's test. Equal variances could be assumed, as  $p$  was above 0.05 ( $p = 0.543$ ). Hochberg's post hoc test was then used for multiple comparisons. Model diagnostics included a visual inspection of normality and homoscedasticity of residuals. The level of significance was set at 0.05.

### 3. Results

**Horses**—822 warmblood horses were included in the study. They were between 3.5 months and 29.6 years of age. The mean age was 9.17 years, while the median age was 7.67 years. Most horses were Hanoverians ( $n = 264$ ), followed by Holsteins ( $n = 229$ ), Trakehners ( $n = 98$ ), Oldenburgs ( $n = 85$ ) and German Riding Horses ( $n = 78$ ). A total of 242 (29%) of the horses were mares, 72 (9%) were stallions and 509 (62%) were geldings.

**Auscultation**—Auscultation was performed in all 822 horses with findings in 721 of the horses. One or more murmurs could be auscultated in 553 horses and a murmur combined with an arrhythmia in 100 horses. Only an arrhythmia could be auscultated in 68 horses. A total of 81% of all murmurs were systolic ( $n = 528$ ) with a left-sided systolic murmur being the most common with a total of 445 cases (68%). A right-sided systolic murmur was present in 46 cases (7%) and the systolic murmur was of a bilateral nature in 37 cases (5.5%). Diastolic murmurs were less frequent findings with a total of 109 cases (17%). A total of 95 (15% of all murmurs) of the diastolic murmurs were left-sided, 1 (0.2%) was right-sided and 13 (2%) both-sided (Table 2).

**Echocardiography**—An echocardiographic examination was performed in 735 cases and revealed pathologies in 632 cases. One or more regurgitations were present in 601 of the 735 horses (82%) examined. The most common finding was an isolated MVI, which was found in 372 horses (45%), followed by an isolated AVI, which was present in 87 horses (11%). Further common findings were a combined MVI and TVI ( $n = 47/6%$ ), a combined MVI and AVI ( $n = 29/4%$ ) and an isolated TVI ( $n = 25/3.5%$ ) (Table 2). An MVI was present in a total of 467 horses, either isolated or combined with other findings. An AVI was present in 138 horses, TVI in 88 horses and PVI in 5 horses. Most regurgitations were graded as mild; however, AVI were more often graded as moderate or severe than MVI, TVI or PVI (Table 3). A VSD was found in 20 horses.

No underlying regurgitation could be detected in 46 cases (7%) of all cases, even though a murmur was present upon auscultation. These murmurs were left-sided systolic in 23 cases, left-sided diastolic in 12 cases and right-sided systolic in 6 cases.

Dimensional changes of one or more departments of the heart were present in 228 (31%) of the 735 horses examined echocardiographically. Left atrial enlargement was the most common finding, being present in 154 horses (21%), followed by left ventricular enlargement found in 95 (13%) of the horses examined. RA enlargement was present in 21 (3%) of the horses and 19 horses (2%) were diagnosed with dimensional changes of the RV.

**Table 2.** Auscultatory and echocardiographic findings. Data from horses that underwent cardiac auscultation and echocardiography.

	MVI	AVI	TVI	VSD	MVI + AVI	MVI + TVI	MVI + VSD	AVI + TVI	Other *	Total
<b>Systolic left-sided M.</b>	345 (78%)	3 (0.7%)	4 (0.9%)	0 (0%)	17 (4%)	18 (4%)	0 (0%)	2 (0.4%)	56 (13%)	445 (100%)
<b>Systolic right-sided M.</b>	1 (2%)	0 (0%)	17 (37%)	6 (13%)	0 (0%)	5 (11%)	3 (7%)	0 (0%)	14 (30%)	46 (100%)
<b>Diastolic left-sided M.</b>	1 (1%)	68 (72%)	1 (1%)	0 (0%)	4 (4%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (3%)	18 (19%)	95 (100%)
<b>Diastolic right-sided M.</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	1 (100%)
<b>Systolic both-sided M.</b>	7 (19%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3%)	0 (0%)	24 (65%)	3 (8%)	0 (0%)	2 (5%)	37 (100%)
<b>Diastolic both-sided M.</b>	0 (0%)	12 (92%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (8%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	13 (100%)
<b>Continuous left-sided M.</b>	0 (0%)	1 (13%)	1 (13%)	0 (0%)	4 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (25%)	8 (100%)
<b>Continuous right-sided M.</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	1 (100%)
<b>Continuous both-sided M.</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (14%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (86%)	7 (100%)
<b>No M.</b>	18 (72%)	3 (12%)	2 (8%)	0 (0%)	2 (8%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	25 (100%)
<b>Total</b>	372 (55%)	87 (13%)	25 (4%)	7 (1%)	29 (4%)	47 (7%)	6 (1%)	5 (1%)	100 (15%)	678 (100%)

Abbreviations: M. = Murmur, MVI = Mitral valve regurgitation, AVI = Aortic valve regurgitation, TVI = Tricuspid valve regurgitation, VSD = Ventricular septal defect. \*, e.g., PVI, physiological regurgitations, myocardial and pericardial disease, complex congenital disease, neoplasia, modified motion patterns.

**Table 3.** Grade of valvular regurgitations. Data from 735 horses that underwent echocardiography.

	Mild	Moderate	Severe	Total
MVI	337 (72%)	108 (23%)	22 (5%)	467 (100%)
AVI	73 (53%)	44 (32%)	21 (15%)	138 (100%)
TVI	67 (76%)	11 (13%)	10 (12%)	88 (100%)
PVI	5 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (100%)
Total	482 (69%)	163 (23%)	53 (8%)	698 (100%)

Abbreviations: MVI = Mitral valve regurgitation, AVI = Aortic valve regurgitation, TVI = Tricuspid valve regurgitation, PVI = Pulmonary valve regurgitation.

Association between different echocardiographic findings—Dimensional changes and valvular insufficiencies were a combined finding in 200 cases. This means that 88% of all horses with dimensional changes also had one or more valvular regurgitations and 34% of all horses with valvular regurgitation could also be diagnosed with dimensional changes of one or more compartments of the heart.

The risk for horses with valvular regurgitations to also have dimensional changes was more than twice as high as for horses without regurgitations (OR = 2.12). Moreover, a higher-grade regurgitation leads to a higher risk of dimensional changes, with the risk being six times higher in moderate to severe MVI (OR = 5.92) and seven times higher in moderate to severe AVI (OR = 6.72) than in mild regurgitation of these valves.

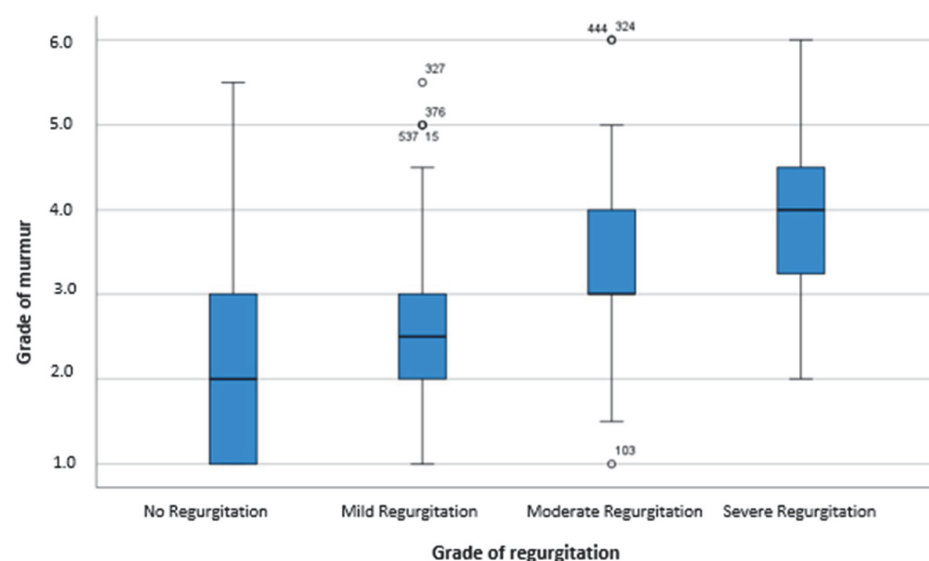
Association between auscultatory and echocardiographic findings—Only one murmur and one regurgitation were present in each of the 458 horses. Kappa revealed an almost perfect agreement (Kappa 0.94,  $n = 458$ ) between auscultation and echocardiography in these horses. If horses with more than one murmur and more than one regurgitation were taken into consideration ( $n = 547$ ), agreement was slightly less but still substantial (Kappa 0.74,  $n = 547$ ). A total of 430 of 447 (87%) left-sided systolic murmurs were due to an MVI. This means, in return, that 96% of all MVIs were accompanied by a left-sided systolic murmur. Therefore, agreement between auscultation and echocardiography was substantial (Kappa 0.68,  $n = 653$ ) in this case. A total of 99 of 123 (81%) left-sided diastolic

murmurs were linked to an AVI, ergo 74% of all AVIs presented as left-sided diastolic murmurs on auscultation. There is substantial agreement (Kappa 0.72,  $n = 653$ ) between these two diagnostic tests. Right-sided systolic murmurs were due to a TVI in 22 (48%) and/or due to VSD in 13 (29%) out of 46 cases. This means a murmur of that kind was due to one of these two conditions in 76% of cases. Agreement (Kappa 0.51,  $n = 653$ ) was moderate in this case. However, while 65% ( $n = 13$ ) of all VSDs were right-sided systolic murmurs on auscultation, only 26% ( $n = 22$ ) of TVIs presented themselves as right-sided systolic murmurs (Table 2).

We detected a fair agreement (Kappa 0.32,  $n = 562$ ) between the grade of the murmur and the severity of the valvular regurgitation. Agreement was particularly good for low-grade murmurs, meaning that 236 of 276 (86%) low-grade murmurs also presented as mild regurgitations in echocardiography. Only 13% ( $n = 37$ ) of these low-grade murmurs were linked to moderate regurgitations and only 1% ( $n = 3$ ) to a severe regurgitation. Agreement was less for moderate murmurs. Of the 257 moderate murmurs detected on auscultation, only 40% ( $n = 102$ ) could be linked to a moderate regurgitation in the ultrasonographic examination of the heart, while 48% ( $n = 122$ ) of moderate murmurs were related to a mild and 22% ( $n = 33$ ) to a severe regurgitation. Concerning high-grade murmurs, 13 of 29 (45%) could be linked to a moderate and only 11 (40%) to a severe regurgitation. However, only 5 (17%) high-grade murmurs were associated with a mild insufficiency (Table 4, Figure 1).

**Table 4.** Association between the grade of murmur and the severity of valvular regurgitation. The loudest audible murmur and the most severe regurgitation were compared if multiple murmurs or regurgitations were present. The severity of regurgitation was based on Color Doppler Echocardiography.

Murmur Intensity:	No Regurgitation	Mild Regurgitation	Moderate Regurgitation	Severe Regurgitation
No Murmur	90 (78%)	22 (19%)	3 (3%)	0 (0%)
Grade 1–2/6	37 (12%)	236 (75%)	37 (12%)	3 (1%)
Grade 3–4/6	18 (7%)	122 (44%)	102 (37%)	33 (12%)
Grade 5–6/6	3 (9%)	5 (16%)	13 (41%)	11 (34%)
Total	148	363	152	47
95% Confidence Interval				
Lower Bound	1.984	2.428	3.131	3.710
Upper Bound	2.637	2.578	3.412	4.269

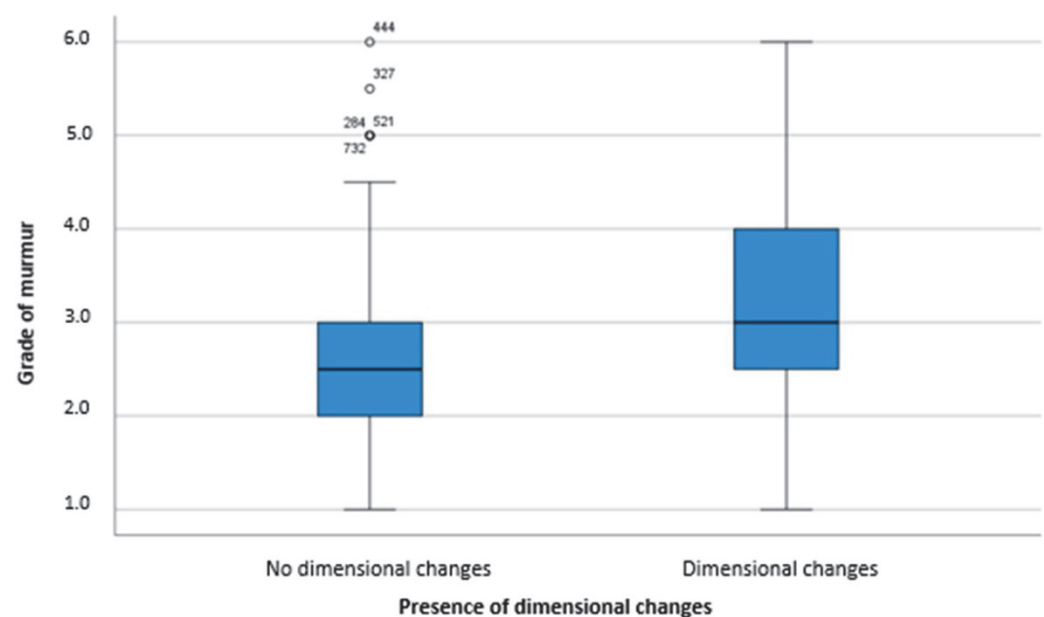


**Figure 1.** Association between grade of murmur and severity of regurgitation.

Horses with an enlargement of one of the compartments of the heart most frequently had a murmur of a moderate grade ( $n = 117/51\%$ ) upon auscultation. On the other hand, the most frequent finding in horses without dimensional changes was a low-grade murmur ( $n = 278/47\%$ ) (Table 5). The mean murmur intensity in horses with dimensional changes of one or more compartments of the heart was significantly louder ( $3.3 \pm 1.15$ ) than in horses without any dimensional changes ( $2.5 \pm 0.1$ ) (Figure 2). This finding was supported by a Mann–Whitney U test, which revealed that significant differences exist regarding the murmur intensity between horses with and without dimensional changes of one or more compartments of the heart ( $U = 64911.5$ ,  $p < 0.001$ ). ANOVA showed that grades of MVI, TVI, AVI, and VSD as well as dimensional changes of the LA and of the RA and RV were significantly associated with murmur intensity (Table 6). While TVI ( $p < 0.001$ ), VSD ( $p < 0.001$ ), and dimensional changes of the RA ( $p = 0.010$ ) influenced the murmur intensity directly, the other factors had significant interactions: AVI interacted significantly with MVI ( $p = 0.009$ ) and with TVI ( $p = 0.010$ ). Changes in the dimension of the LA showed significant interactions with dimensional changes of the RA ( $p = 0.016$ ), with MVI ( $p = 0.001$ ) and with VSD ( $p = 0.015$ ). The MVI also interacted with the dimensional changes of the left ventricle ( $p = 0.008$ ).

**Table 5.** Association between murmur intensity and the presence of dimensional changes.

Murmur Intensity	No Dimensional Changes	Dimensional Changes
Total	594 (100%)	228 (100%)
No murmur	147 (25%)	23 (10%)
Murmur Grade 1–2/6	278 (47%)	63 (28%)
Murmur Grade 3–4/6	162 (27%)	117 (51%)
Murmur Grade 5–6/6	7 (1%)	25 (11%)
Median	2.500	3.000
95% Confidence Interval		
Lower Bound	2.474	3.113
Upper Bound	2.635	3.404



**Figure 2.** Difference in murmur intensity between horses with and without dimensional changes of the heart.

**Table 6.** ANOVA for influence factors on murmur intensity; adjusted R-squared = 0.456; data from a study with 735 horses that underwent echocardiography.

Parameter	Regression Coefficient	Standard Error	t	p-Value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
constant	11.060	1.827	6.053	<0.001	7.471	14.650
No MVI	3.619	1.292	2.801	0.005	1.081	6.157
Mild MVI	5.715	1.784	3.203	0.001	2.210	9.220
Moderate MVI	0.462	1.293	0.357	0.721	-2.078	3.001
Severe MVI	0					
No TVI	-8.084	2.165	-3.734	<0.001	-12.337	-3.831
Mild TVI	-9.540	2.337	-4.082	<0.001	-14.132	-4.949
Moderate TVI	-1.767	0.434	-4.072	<0.001	-2.620	-0.915
Severe TVI	0					
No AVI	-1.645	1.382	-1.190	0.235	-4.359	1.070
Mild AVI	-6.915	2.818	-2.454	0.014	-12.449	-1.380
Moderate AVI	0.227	2.054	0.111	0.912	-3.806	4.261
Severe AVI	0					
No VSD	-5.047	1.076	-4.691	<0.001	-7.160	-2.934
VSD	0					
No LA enlargement	-2.638	1.404	-1.878	0.061	-5.397	0.121
Mild LA enlargement	-3.736	1.368	-2.730	0.007	-6.424	-1.048
Moderate LA enlargement	-3.470	1.316	-2.636	0.009	-6.055	-0.884
Severe LA enlargement	0					
No LV enlargement	4.218	1.232	3.423	0.001	1.798	6.639
Mild LV enlargement	4.507	1.244	3.623	<0.001	2.063	6.950
Moderate LV enlargement	2.668	1.196	2.231	0.026	0.319	5.017
Severe LV enlargement	0					
No RA enlargement	0.907	0.446	2.036	0.042	0.032	1.782
Mild RA enlargement	-0.509	0.482	-1.055	0.292	-1.456	0.439
Severe RA enlargement	0					
No RV enlargement	0.495	0.549	0.901	0.368	-0.584	1.574
Mild RV enlargement	-1.505	1.152	-1.306	0.192	-3.768	0.758
Severe RV enlargement	0					
No AVI × No LV enlargement	-4.518	1.121	-4.029	<0.001	-6.721	-2.316
No AVI × Mild LV enlargement	-4.944	1.098	-4.501	<0.001	-7.102	-2.787
No AVI* Moderate LV enlargement	-2.501	1.048	-2.387	0.017	-4.559	-0.443
Mild AVI × No LV enlargement	-0.925	1.492	-0.620	0.535	-3.855	2.005
Mild AVI × Mild LV enlargement	-1.273	1.331	-0.957	0.339	-3.888	1.341
Mild AVI × Moderate LV enlargement	1.163	1.462	0.796	0.427	-1.709	4.035
Moderate AVI × No LV enlargement	-0.185	0.755	-0.245	0.807	-1.669	1.299
Moderate AVI × Moderate LV enlargement	1.432	0.718	1.993	0.047	0.021	2.842
No MVI × No AVI	-2.367	1.081	-2.189	0.029	-4.490	-0.244

Table 6. Cont.

Parameter	Regression Coefficient	Standard Error	t	p-Value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
No MVI × Mild AVI	−1.080	1.482	−0.728	0.467	−3.991	1.832
No MVI × Moderate AVI	0.354	1.612	0.220	0.826	−2.812	3.520
Mild MVI × No AVI	−1.582	1.216	−1.301	0.194	−3.970	0.806
Mild MVI × Mild AVI	−0.523	0.840	−0.623	0.533	−2.174	1.127
Moderate MVI × No AVI	−0.995	0.972	−1.024	0.306	−2.903	0.914
No TVI × No AVI	6.061	2.213	2.739	0.006	1.714	10.407
No TVI × Mild AVI	6.928	2.479	2.795	0.005	2.059	11.798
No TVI × Moderate AVI	−1.456	1.174	−1.240	0.215	−3.763	0.850
Mild TVI × No AVI	7.759	2.386	3.252	0.001	3.072	12.446
Mild TVI × Mild AVI	8.176	2.651	3.084	0.002	2.968	13.384
No LA enlargement × No RV enlargement	−0.683	0.617	−1.107	0.269	−1.895	0.529
No LA enlargement × Mild RV enlargement	2.573	1.267	2.031	0.043	0.085	5.062
No MVI × No LA enlargement	1.627	0.904	1.799	0.073	−0.149	3.403
No MVI × Mild LA enlargement	3.057	0.737	4.146	<0.001	1.609	4.505
No MVI × Moderate LA enlargement	1.044	0.783	1.334	0.183	−0.494	2.582
Mild MVI × No LA enlargement	−0.718	0.855	−0.839	0.402	−2.398	0.962
Mild MVI × Mild LA enlargement	−0.230	0.666	−0.345	0.730	−1.539	1.079
Mild MVI × Moderate LA enlargement	−1.114	0.732	−1.522	0.128	−2.552	0.323
Moderate MVI × No LA enlargement	−0.217	0.663	−0.328	0.743	−1.520	1.085
Moderate MVI × Moderate LA enlargement	−0.961	0.518	−1.854	0.064	−1.979	0.057
No VSD × No LA enlargement	3.221	1.079	2.984	0.003	1.101	5.341
No VSD × Mild LA enlargement	3.327	1.343	2.477	0.014	0.688	5.966
No VSD × Moderate LA enlargement	4.039	1.252	3.226	0.001	1.579	6.498
No MVI × No LV enlargement	−4.239	1.098	−3.860	<0.001	−6.396	−2.082
No MVI × Mild LV enlargement	−4.109	1.217	−3.375	0.001	−6.500	−1.717
No MVI × Moderate LV enlargement	−3.841	1.105	−3.476	0.001	−6.011	−1.670
Mild MVI × No LV enlargement	−4.382	1.387	−3.159	0.002	−7.106	−1.657
Mild MVI × Mild LV enlargement	−4.629	1.429	−3.239	0.001	−7.437	−1.822
Mild MVI × Moderate LV enlargement	−4.129	1.428	−2.892	0.004	−6.933	−1.324
Moderate MVI × No LV enlargement	0.522	0.705	0.740	0.460	−0.863	1.906
Moderate MVI × Mild LV enlargement	0.704	0.787	0.894	0.372	−0.843	2.250

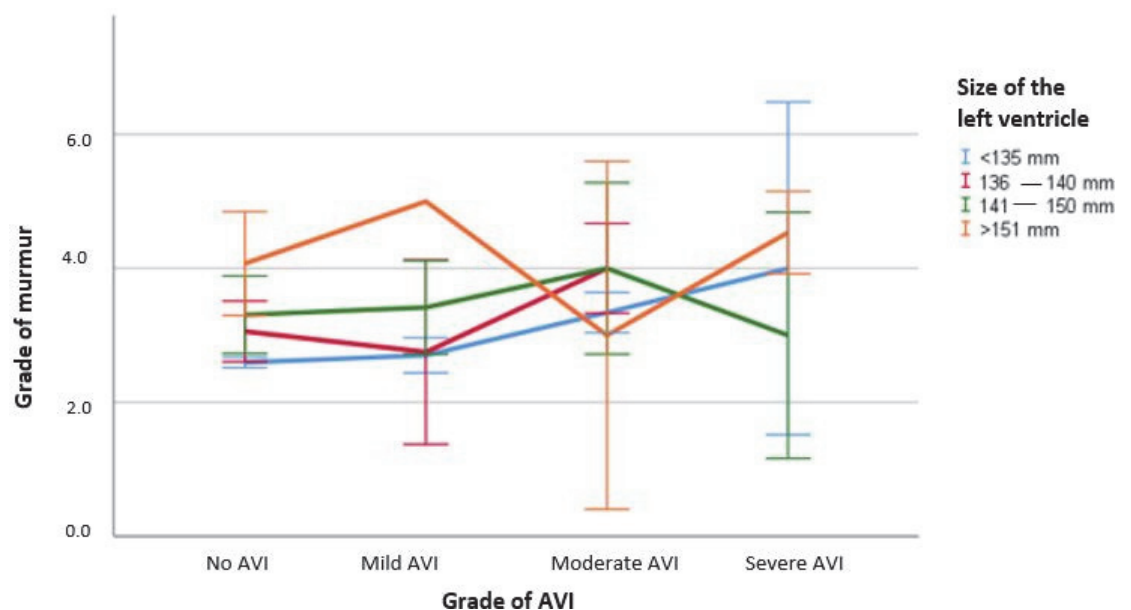
Abbreviations: MVI = Mitral valve regurgitation, AVI = Aortic valve regurgitation, TVI = Tricuspid valve regurgitation, PVI = Pulmonary valve regurgitation, LA = Left Atrium, LV = Left Ventricle, RA = Right Atrium, RV = Right Ventricle.

Following Hochberg's post hoc test, all categories of MVI differed significantly from each other ( $p < 0.05$ ), with no and mild MVI causing systolic murmurs of lower intensities than moderate and severe MVI. This test revealed for TVI that only severe regurgitation differed significantly in loudness from the other grades of regurgitation ( $p < 0.001$ ). No significant difference could be detected between mild and moderate regurgitation ( $p = 0.963$ ). No and mild insufficiencies differed significantly from moderate and high-grade regurgitations in loudness in regurgitations of the aortic valve according to Hochberg's post hoc test

( $p < 0.001$ ). Moderate insufficiencies were considerably louder than mild regurgitations ( $p < 0.001$ ) and quieter than severe regurgitations ( $p = 0.006$ ), which were markedly louder than mild and moderate regurgitations ( $p < 0.001$  and  $0.006$ , respectively). Concerning the LA, hearts without dimensional changes ( $<135$  mm) differed significantly from all other groups ( $p \leq 0.001$ ). The larger the LA, the higher the murmur intensity. Dimensional changes of the LV always led to significant changes of the murmur ( $p < 0.001$ ). However, there was no significant difference between mild (136–140 mm) and moderate (141–150 mm) changes ( $p = 0.951$ ), with the murmur intensity being lower the larger the ventricle. The categories of the dimensional changes of the RA did not differ significantly, except that the group of no changes ( $<80$  mm) had a significantly higher murmur intensity than the group of severe ( $>91$  mm) changes ( $p = 0.013$ ). The same situation applied to the RV: only no ( $<80$  mm) changes were associated with a lower murmur intensity than severe ( $>91$  mm) changes ( $p = 0.031$ ).

Finally, in Figure 3, the relationship between the intensity of left-sided diastolic murmurs, grade of AVI and dimensional changes of the LV is displayed in Figure 3. It becomes clear that the murmur intensity increased with the grade of the AVI when no dimensional changes of the LV were present and when LV enlargement was mild (136–140 mm). However, when the enlargement was moderate (141–150 mm), mean murmur intensity was 3.5/6 in mild regurgitations,

4 in moderate regurgitations and only 3 when severe regurgitation was present. If a severe left ventricular enlargement was present ( $>141$  mm), mild AVI was combined with a mean murmur intensity of grade 5, moderate AVI with a mean murmur intensity of grade 3 and severe AVI with a mean murmur intensity of grades 4 and 5.



**Figure 3.** Association between intensity of left-sided diastolic murmurs, grades of AVI and grades of left ventricular enlargement. Abbreviations: AVI = Aortic Valve Regurgitation

#### 4. Discussion

Equine veterinarians are frequently asked to evaluate heart murmurs upon special request, due to clinical concerns such as poor performance or an accidental finding on a prepurchase or a routine examination. As severe cardiac disease can be a safety risk for the horse and rider, it is crucial to find out the etiology of auscultatory findings and, consequently, judge the horse's prognosis [16]. Moreover, valvular regurgitations are described as a cause of poor performance in horses [17] and detection of a murmur during a prepurchase examination can prevent the sale of an otherwise healthy horse [18].

Verdegaal et al. [19], for example, found that 36% of 77 warmblood horses diagnosed with a murmur during a prepurchase examination were not sold and 21% were sold for a price

lower than originally assessed. This was despite the fact that the horses did not show any clinical signs of heart disease. A correct classification of a murmur and the underlying heart disease is of utmost importance due to these important economic concerns for the equine industry and the potential safety hazard. Consequently, thorough cardiac auscultation is a cheap and normally available diagnostic tool in equine practice and can, if performed correctly, provide an insight into what pathology is causing the murmur and the significance it may have. Therefore, it is usually regarded as a fairly specific tool [7,14,20].

However, the accuracy of auscultation is widely discussed in the literature and different studies have come to very different conclusions regarding the significance and exactness of auscultatory findings [21]. Naylor et al. [22], for example, described the accuracy in detecting the cardiac pathology underlying the murmur as highly dependable on the training of the examiner. They found that internal medicine specialists came to the right diagnosis based on auscultation alone in 53% of all cases. General equine practitioners, on the other hand, came to the correct conclusion in 33% and veterinary students in 29% of all cases [22]. In other studies, the specificity of auscultation to diagnose atrioventricular regurgitations correctly was described as being up to 100% [23]. In the same study, the positive predictive value of detecting MVI and TVI in thoroughbred racehorses was described as being 100% as well [23]. Other studies also found a very significant association between murmurs over the mitral, aortic or tricuspid area and regurgitations detectable in Color-Doppler Echocardiography of the respecting valve [24,25]. In one study on standardbred racehorses, 55% of tricuspid valve insufficiencies were accompanied by a respective audible murmur, while this was only the case in 15% of MVI and 9% of AVI [26]. Auscultation and echocardiography also agreed on the valve affected in most cases in a study on a population of mainly warmblood horses [19]. In our study of warmblood horses examined auscultatorily and echocardiographically, we found that agreement between murmur and regurgitation was 94% if only one murmur and one regurgitation were present. Agreement between auscultation and echocardiography was 87% for MVI and 81% for AVI, while only 26% for TVI and 37% for VSD. This is probably due to the fact that right-sided systolic murmurs always have two differential diagnoses, being TVI and VSD [14]. Considering this, the presence of a right-sided systolic murmur concurred with either a TVI or a VSD in 76% of cases. Agreement was slightly worse when cases with more than one murmur and/or more than one regurgitation were considered. However, agreement between auscultation and echocardiography was still 76% in these cases. This makes the auscultatory accuracy of the certified equine practitioners conducting the examination in this case significantly better than described in other studies, in which accuracy is labeled with only 33% [22] or even less [26]. A 100% accuracy, as described by Young and Wood [23], could not be achieved. However, this very high accordance was achieved examining young thoroughbred racehorses and, as Kriz et al. [25] stated, the average thoroughbred is of a much lighter build and usually has a thinner coat than a warmblood horse. Therefore, auscultation may be easier and, thus, more reliable in these smaller, delicate horses than in a larger, muscular riding horse [25]. Accordance could be even higher if character were taken into account. This makes the differentiation between functional and pathological murmurs even more reliable than if only timing and location are used as references [2]. Moreover, if right-sided systolic murmurs are present, it is easier to differentiate between TVI and VSD if the murmur is further characterized [2]. Unfortunately, due to the retrospective nature of the study, this information was not available in many cases and, therefore, could not be used for the further characterization of murmurs. This certainly presents a limitation regarding the results of this study. However, auscultation comes to the right conclusion in a lot of cases, even though the murmurs are not further characterized in this study. Therefore, assessing the location and timing of a murmur can give a good indication of the underlying pathology. When examining a horse, one should, nevertheless, fully characterize a murmur as described in the literature [2] to be better able to differentiate between different pathologies and distinguish functional from pathological murmurs.



Studies in human medicine have shown that a significant correlation exists between the severity of regurgitations of the aortic valve and the intensity of diastolic murmurs, and between the loudness of systolic murmurs and the intensity of MVI [27]. The same seems to be true in small animal veterinary science. Caivano et al. [28] found that dogs with low-intensity murmurs very rarely suffered from severe pulmonic or subaortic stenosis. Dogs with a higher-grade heart murmur, on the other hand, were frequently diagnosed with severe stenosis and it was found that the severity of stenosis increased with murmur intensity [28]. This finding could be confirmed by other studies, who also found a significant association between murmur intensity and disease severity in over 500 dogs of various breeds [28,29]. It is possible that auscultation in horses may be less accurate due to the large size of the animal. It is described that low-grade murmurs can be caused by severe valvular regurgitation, and high-grade murmurs by mild regurgitations in horses [30]. However, Blissit and Bonagura [24] detected that louder murmurs correlated with significantly larger jets of longer duration, and it is described that louder murmurs are due to more severe valvular dysfunction [21]. It was also stated that mild murmurs less than grade 3/5 in horses without symptoms of cardiovascular disease are usually due to mild regurgitations [31]. We found that a fair agreement existed between the grade of the murmur and the severity of the regurgitation in our population. This was particularly true for low-grade murmurs, which coincided with 86% of mild valvular regurgitations. Therefore, it was very rare (1%) that a murmur of grade 1 or 2 was due to a severe regurgitation, giving the examiner some indication that the underlying heart disease may not be too grave. However, we could not find a significant difference in the mean murmur intensity between moderate and severe regurgitations, making a differentiation between these two based solely on auscultation very difficult. This is supported by the fact that a large proportion (45%) of severe regurgitations were on auscultation murmurs of grade 3 to 4 and only 40% of murmurs were of a higher grade. This may lead to a false sense of safety in these horses and underlines the importance of an echocardiographic examination in any horse with a left-sided systolic murmur louder than grade 3/6, a right-sided systolic murmur either louder than grade 4/6 or when a VSD is suspected and any left-sided diastolic murmurs, with a suspicion of AVI, as described in the latest consensus statement on equine heart disease [32].

Finally, we wondered whether a higher-grade murmur may also be an indicator of dimensional changes of one or more compartments of the heart. It has been found in dogs that animals with murmurs of a low grade did not show structural changes of the heart in 90% of cases and that the probability of congestive heart failure increased with murmur intensity [29]. The same seems to be true for cats [33]. On the other hand, very little is known about the association between these two findings in horses. Gehlen et al. [34] found that the dimensions and grade of murmurs increased from the first to the second examination in a follow-up examination of warmblood horses. However, no direct link between these findings could be detected [34]. In our study, the mean murmur intensity in horses with dimensional changes was 3.3/6 and, therefore, higher than in those without dimensional changes in which mean murmur intensity was 2.5/6. However, we also found that horses with a higher-grade regurgitation were more likely to have dimensional changes of the heart. Moreover, there is a fair agreement between the grade of the murmur and the severity of the regurgitation. Therefore, these results could be altered by the fact that dimensional changes are more common in horses with more severe regurgitations, and more severe regurgitations lead to higher grade murmurs. We performed a Hochberg test, as described above, to determine the influence of cardiac dimensions on murmur intensity. This showed that significant differences in murmur intensity exist between horses without or with mild, moderate or severe dimensional changes of the different departments of the heart. However, we cannot state that louder murmurs are generally indicative of dimensional cardiac changes. We found that changes in cardiac dimensions altered the loudness of the murmur; however, they do not always increase the murmur intensity but sometimes even decrease the volume of the audible murmurs. Enlarged left ventricular

dimensions, for example, which proved to alter the murmur intensity separately from the grade of the regurgitation of the aortic valve, do not always increase the murmur intensity compared to hearts with normal dimensions. Therefore, we cannot state that a louder left-sided diastolic murmur is due to an AVI with underlying changes in cardiac dimensions, as, for example, a moderate AVI in horses without dimensional changes leads to, on average, a murmur of grade 3/6, which is also true for a moderate AVI in a horse with severe left ventricular enlargement.

## 5. Conclusions

Ultimately, we can say that cardiac auscultation is an integral part of any cardiac examination and very well suited to identify the cause of a murmur in case of left-sided isolated murmurs and MVI and AVI, which show an almost perfect agreement between auscultation and ultrasonography. If right-sided murmurs and more than one regurgitation are present, agreement is lower and the technique is less suited to identify the valvular regurgitation as being the cause of the murmur. The limiting factor in this case is that only the grade, timing and location were used to describe the murmur. If character could have been taken into account, a higher agreement may have been achieved.

We could determine a fair agreement between the grade of the murmur and the severity of the regurgitation. This is particularly true for mild regurgitations. Accuracy is lower for moderate- to high-grade regurgitations, with the murmur often being less loud than the severity of the corresponding valvular regurgitation may suggest, possibly introducing the risk of underestimating the risk of a grade 3 or 4 murmur. We also found that horses with cardiac dimensional changes have, on average, louder murmurs; however, this could also be due to the fact that dimensional changes are often accompanied by more severe regurgitations. In the case of AVI and left ventricular enlargement, we can even say that there is no direct correlation between the grade of enlargement and the murmur intensity.

To sum up, we can say that auscultation is very well suited for an approximate assessment of a cardiac disease, especially in rural equine practice or when transportation to an equine referral center is not possible or not wanted. However, if further sporting activities are desired, further diagnostics should be performed, especially in a moderate to loud murmur, a right-sided murmur, or multiple murmurs, as auscultation may be inaccurate in these cases.

**Author Contributions:** Conceptualization, J.H., J.P. and H.G.; methodology, J.H., R.M. and H.G.; software, R.M. and J.H.; validation, J.H., H.G. and R.M.; formal analysis, R.M. and J.H.; investigation, J.H. and J.P.; resources, J.H. and J.P.; data curation, J.H. and R.M.; writing—original draft preparation, J.H.; writing—review and editing, J.H., R.M. and H.G.; visualization, J.H.; supervision, H.G.; project administration, H.G. and J.H.; funding acquisition, H.G. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** The publication of this article was funded by Freie Universität Berlin.

**Institutional Review Board Statement:** Ethical review and approval were waived for this study, due to the fact that data was only collected retrospectively from animals examined due to clinical concerns of their owners. We did not undertake any research on animals in collecting data for this study.

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from owners of all patients involved in the study.

**Data Availability Statement:** The data is stored in the archives of the equine clinic in Bargteheide, as we retrospectively analysed it.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## Abbreviations

MVI	Mitral Valve Regurgitation
AVI	Aortic Valve Regurgitation
TVI	Tricuspid Valve Regurgitation
PVI	Pulmonal Valve Regurgitation
VSD	Ventricular Septal Defect
LA	Left Atrium
LV	Left Ventricle
RA	Right Atrium
RV	Right Ventricle
OR	Odds Ratio
mm	Millimeters

## References

- Schwarzwalder, C. Herzerkrankungen beim sportpferd: Aktuelle empfehlungen des 2014 ACVIM/ECEIM consensus statement. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* **2016**, *10*, 677–689. [\[CrossRef\]](#)
- Jago, R.; Keen, J. Identification of common equine cardiac murmurs. *Practice* **2019**, *41*, 222–232. [\[CrossRef\]](#)
- Côté, E.; Edwards, N.J.; Ettinger, S.J.; Fuentes, V.L.; Macdonald, K.A.; Scansen, B.A.; Sisson, D.D.; Abbott, J.A. Incidentally detected heart murmurs in dogs and cats: Executive summary 2015. *J. Small Anim. Pract.* **2015**, *56*, 593–594. [\[CrossRef\]](#)
- Schmid, S.; Dorsch, R.; Hartmann, K.; Berg, G. *Rule-Outs für die Kleintiermedizin: Problemorientierte Aufarbeitung von Internistischen Befunden*; Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG: Hannover, Germany, 2011; Volume 2.
- Bonow, R.; Carabello, B.; De Leon, A.; Edmunds, L.H.; Fedderly, B.; Freed, M.; Gaasch, W.; McKay, C.; Nishimura, R.; O’Gara, P.; et al. ACC/AHA guidelines for the management of patients with valvular heart disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* **1998**, *32*, 1486–1582. [\[CrossRef\]](#)
- Young, L.E.; Rogers, K.; Wood, J.L.N. Heart murmurs and valvular regurgitation in thoroughbred racehorses: Epidemiology and associations with athletic performance. *J. Vet. Intern. Med.* **2008**, *22*, 418–426. [\[CrossRef\]](#)
- Keen, J.A. Examination of horses with cardiac disease. *Vet. Clin. N. Am. Equine Pract.* **2019**, *35*, 23–42. [\[CrossRef\]](#)
- Gehlen, H. *Pferdekardiologie*; Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG: Hannover, Germany, 2010.
- Chope, K.B. Cardiac/Cardiovascular conditions affecting sport horses. *Vet. Clin. N. Am. Equine Pract.* **2018**, *34*, 409–425. [\[CrossRef\]](#)
- Gehlen, H.; Stadler, P.; Deegen, E. A cardiological scoring scheme for standardisation of cardiac examination in horses. *Pferdeheilkunde* **1998**, *14*, 107–114. [\[CrossRef\]](#)
- Schwarzwalder, C.C. Equine echocardiography. *Vet. Clin. N. Am. Equine Pract.* **2019**, *35*, 43–64. [\[CrossRef\]](#)
- Gehlen, H.; Stadler, P.; Deegen, E. Grading of equine mitral valve insufficiency by colour flow doppler echocardiography. *Pferdeheilkunde* **1998**, *14*, 303–314. [\[CrossRef\]](#)
- Berthoud, D.; Schwarzwalder, C.C. Echocardiographic assessment of left ventricular size and systolic function in Warmblood horses using linear measurements, area-based indices, and volume estimates: A retrospective database analysis. *J. Vet. Intern. Med.* **2021**, *35*, 504–520. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Bonagura, J.D.; Reef, V.B. Chapter 8—Disorders of the Cardiovascular System. In *Equine Internal Medicine*, 2nd ed.; Reed, S.M., Bayly, W.M., Sellon, D.C., Eds.; W.B. Saunders: Saint Louis, MS, USA, 2004; pp. 355–459. [\[CrossRef\]](#)
- McHugh, M.L. Interrater reliability: The kappa statistic. *Biochem. Med.* **2012**, *22*, 276–282. [\[CrossRef\]](#)
- de Solis, C.N. Exercising arrhythmias and sudden cardiac death in horses: Review of the literature and comparative aspects. *Equine Vet. J.* **2016**, *48*, 406–413. [\[CrossRef\]](#)
- Gehlen, H.; Goltz, A.; Rohn, K.; Stadler, P. A survey of the frequency and development of heart disease in riding-horses—Part 1: Retrospective evaluation (1992–2003) and questionnaires. *Pferdeheilkunde* **2007**, *23*, 369–377. [\[CrossRef\]](#)
- Reef, V.B. Assessment of the cardiovascular system in horses during prepurchase and insurance examinations. *Vet. Clin. N. Am. Equine Pract.* **2019**, *35*, 191–204. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Verdegaal, E.J.M.M.; Voorhout, G.; van Loon, G.; Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M.M. Herzgeräusche als Zufallsbefunde bei tierärztlichen Kauf- oder Verfassungsveruntersuchungen. Befunde und Verlauf bei 77 klinisch gesunden Pferden. *Pferdeheilkunde* **2002**, *3*, 263–272. [\[CrossRef\]](#)
- Reef, V.B. Heart murmurs in horses: Determining their significance with echocardiography. *Equine Vet. J. Suppl.* **1995**, *27*, 71–80. [\[CrossRef\]](#)
- Blissitt, K. Chapter 8—Auscultation. In *Cardiology of the Horse*, 2nd ed.; Marr, C.M., Bowen, I.M., Eds.; W.B. Saunders: Edinburgh, UK, 2010; pp. 91–104. [\[CrossRef\]](#)
- Naylor, J.M.; Yadernuk, L.M.; Pharr, J.W.; Ashburner, J.S. An assessment of the ability of diplomates, practitioners, and students to describe and interpret recordings of heart murmurs and arrhythmia. *J. Vet. Intern. Med.* **2001**, *15*, 507. [\[CrossRef\]](#)
- Young, L.E.; Wood, J.L.N. Effect of age and training on murmurs of atrioventricular valvular regurgitation in young Thoroughbreds. *Equine Vet. J.* **2010**, *32*, 195–199. [\[CrossRef\]](#)

24. Blissit, K.J.; Bonagura, J.D. Colour flow doppler echocardiography in horses with cardiac murmurs. *Equine Vet. J.* **1995**, *27*, 82–85. [[CrossRef](#)]
25. Kriz, N.G.; Hodgson, D.R.; Rose, R.J. Prevalence and clinical importance of heart murmurs in racehorses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **2000**, *216*, 1441–1445. [[CrossRef](#)]
26. Buhl, R.; Ersboll, A.K.; Eriksen, L.; Koch, J. Use of color doppler echocardiography to assess the development of valvular regurgitation in standardbred trotters. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **2005**, *227*, 1630–1635. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Desjardins, V.A.; Enriquez-Sarano, M.; Tajik, A.J.; Bailey, K.R.; Seward, J.B. Intensity of murmurs correlates with severity of valvular regurgitation. *Am. J. Med.* **1996**, *100*, 149–156. [[CrossRef](#)]
28. Caivano, D.; Dickson, D.; Martin, M.; Rishniw, M. Murmur intensity in adult dogs with pulmonic and subaortic stenosis reflects disease severity. *J. Small Anim. Pract.* **2018**, *59*, 161–166. [[CrossRef](#)]
29. Ljungvall, I.; Rishniw, M.; Porciello, F.; Ferasin, L.; Ohad, D.G. Murmur intensity in small-breed dogs with myxomatous mitral valve disease reflects disease severity. *J. Small Anim. Pract.* **2014**, *55*, 545–550. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Holmes, J.; Else, R.W. Cardiac pathology in the horse: (3) clinical correlations. *Equine Vet. J.* **1972**, *4*, 195–203. [[CrossRef](#)]
31. Reef, V.B. Evaluation of the equine cardiovascular system. *Vet. Clin. N. Am. Equine Pract.* **1985**, *1*, 275–288. [[CrossRef](#)]
32. Reef, V.B.; Bonagura, J.; Buhl, R.; McGurrin, M.K.J.; Schwarzwald, C.C.; Van Loon, G.; Young, L.E. Recommendations for management of equine athletes with cardiovascular abnormalities. *J. Vet. Intern. Med.* **2014**, *28*, 749–761. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. Wagner, T.; Fuentes, V.L.; Payne, J.R.; McDermott, N.; Brodbelt, D. Comparison of auscultatory and echocardiographic findings in healthy adult cats. *J. Vet. Cardiol.* **2010**, *12*, 171–182. [[CrossRef](#)]
34. Gehlen, H.; Michl, A.; Stadler, P. Clinical and echocardiographic follow-up study in warm-blood horses with heart valve insufficiency. *Pferdeheilkunde* **2003**, *19*, 379–386. [[CrossRef](#)]

### **3. Publikation III**

#### **I. Findings in 261 cardiac examinations of warmblood sport horses and their association with performance**

Accepted for publishing by *Pferdeheilkunde* in Feb. 2022  
*Pferdeheilkunde – Equine Medicine* 38 (2022), 3, 252-263  
DOI: 10.21836/PEM20220306

Jakob Hövener<sup>1,2,3</sup>, Julie Pokar<sup>1</sup>, Roswitha Merle<sup>2</sup>, Heidrun Gehlen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Equine Clinic Bargteheide, 22941 Bargteheide, Germany

<sup>2</sup>Institute for Veterinary Epidemiology and Biostatistics, Freie Universität Berlin, 14163 Berlin, Germany

<sup>3</sup>Equine Clinic, Veterinary Department, Freie Universität Berlin, 14163 Berlin, Germany

Corresponding author:

Prof. Dr. Heidrun Gehlen

Clinic for Horses, Surgery and Radiology

Oertzenweg 19b

14163 Berlin Germany

E-mail: [heidrun.gehlen@fu-berlin.de](mailto:heidrun.gehlen@fu-berlin.de)

## II. Abstract

The prevalence of cardiac findings and their influence on the performance potential of warmblood sport horses is widely debated. This paper evaluates the frequency and correlation of valvular regurgitations, dimensional changes, and arrhythmias in 261 warmblood sport horses retrospectively. These horses were examined because of clinical complaints (e.g., poor performance) or due to murmurs or arrhythmias detected as an incidental finding. Frequency analysis showed that mitral valve regurgitation was the most common valvular regurgitation in our population (n=194), followed by regurgitations of the aortic valve (n=46). Dimensional changes of the left atrium were associated with an increased risk of atrial fibrillation (OR=3.18, p=0.05). Furthermore, their possible influence on performance was assessed. If the heart was detected as the cause of an exercise intolerance by exclusion of other pathologies (n=39), atrial fibrillation was the most frequent finding. Other cardiac findings discovered frequently in horses with poor performance were severe MVI, severe TVI, AVI, and ventricular and supraventricular premature complexes. However, most horses presented for cardiac examination did not show any clinical signs of cardiac disease (n=176), and the pathologies described were in most cases incidental findings. Therefore, we can state that mild and moderate valvular regurgitations are in most cases of little clinical relevance. However, valvular regurgitations are associated with an increased risk for the development of dimensional changes. The latter are associated with the development of atrial fibrillation, which is the cardiac finding most associated with a reduced performance potential of the horse affected.

Keywords: equine, cardiology, valvular regurgitation, arrhythmia, poor performance

# Findings in 261 cardiac examinations of warmblood sport horses and their association with performance

Jakob Hövener<sup>1,3</sup>, Julie Pokar<sup>1</sup>, Roswitha Merle<sup>2</sup> and Heidrun Gehlen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Equine Clinic Bargteheide, 22941 Bargteheide, Germany

<sup>2</sup> Institute for Veterinary Epidemiology and Biostatistics, Freie Universität Berlin, 14163 Berlin, Germany

<sup>3</sup> Clinic for Horses, Surgery and Radiology, Freie Universität Berlin, 14163 Berlin, Germany

**Summary:** The prevalence of cardiac findings and their influence on the performance potential of warmblood sport horses is widely debated. This paper evaluates the frequency and correlation of valvular regurgitations, dimensional changes, and arrhythmias in 261 warmblood sport horses retrospectively. These horses were examined because of clinical complaints (e.g., poor performance) or due to murmurs or arrhythmias detected as an incidental finding. Frequency analysis showed that mitral valve regurgitation was the most common valvular regurgitation in our population ( $n = 194$ ), followed by regurgitations of the aortic valve ( $n = 46$ ). Dimensional changes of the left atrium were associated with an increased risk of atrial fibrillation ( $OR = 3.18$ ,  $p = 0.05$ ). Furthermore, their possible influence on performance was assessed. If the heart was detected as the cause of an exercise intolerance by exclusion of other pathologies ( $n = 39$ ), atrial fibrillation was the most frequent finding. Other cardiac findings discovered frequently in horses with poor performance were severe MVI, severe TVI, AVI, and ventricular and supraventricular premature complexes. However, most horses presented for cardiac examination did not show any clinical signs of cardiac disease ( $n = 176$ ), and the pathologies described were in most cases incidental findings. Therefore, we can state that mild and moderate valvular regurgitations are in most cases of little clinical relevance. However, valvular regurgitations are associated with an increased risk for the development of dimensional changes. The latter are associated with the development of atrial fibrillation, which is the cardiac finding most associated with a reduced performance potential of the horse affected.

**Keywords:** equine, cardiology, valvular regurgitation, arrhythmia, poor performance

**Zitation:** Hövener J., Pokar J., Merle R., Gehlen H. (2022) Findings in 261 cardiac examinations of warmblood sport horses and their association with performance. *Pferdeheilkunde* 38, 1–12; DOI 10.21836/PEMHövener

**Korrespondenz:** Prof. Dr. Heidrun Gehlen, Clinic for Horses, Surgery and Radiology, Oetzenweg 19b, 14163 Berlin, Germany; heidrun.gehlen@fu-berlin.de

Submitted: January 7, 2022 | Accepted: February 7, 2022

## Introduction

While orthopedic and respiratory problems are the most common reasons for poor performance in horses (Martin et al. 2000, Martin et al. 2004) cardiac disease can also have a negative effect on performance (Martin et al. 2004, Gehlen et al. 2007, Reef et al. 2014) by limiting the oxygen supply to the skeletal muscle system through an insufficient cardiac output (Schwarzwald 2013). However, arrhythmias and murmurs due to valvular regurgitations are very likely to occur in performance horses because of structural and functional changes due to intensive training and the size of the equine heart and are not always of clinical importance (Zucca et al. 2010, Reef et al. 2014). The examination of a poorly performing horse poses a major challenge, as it is difficult to determine whether a valvular regurgitation or arrhythmia detected is the reason for the performance problems or just an accidental finding (Birks et al. 2004, de Solis 2016, Jago and Keen 2019). Studies in racehorses have found that many murmurs are of minor importance and no difference in the racing performance of horses with or without valvular regurgitations have been found (Kriz et al. 2000, Martin et al. 2000, Young et al. 2008). Some authors claim this to be true for arrhyth-

mias as well (Physick-Sheard and McGurkin 2010, Navas de Solis et al. 2014), while others describe these as a common performance-limiting condition in the racehorse (Martin et al. 2000, Fraipont et al. 2011, Reef et al. 2014). Studies on warmblood horses regarding the frequency of findings and the effect of cardiac disease on sporting performance are rarer. Results from studies conducted on racehorses should not be transferred onto warmblood sport horses, because the age structure of the population is different (Maré et al. 2017). Therefore, other cardiac findings may be present. Furthermore, the effect these findings may have on performance in the rather low intensity riding disciplines cannot be compared with the cardiovascular demands of the high intensity racing disciplines.

However, some studies exist indicating that sport horses with arrhythmias may perform normally in jumping or dressage (Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010) and that many valvular regurgitations have no clinical implication whatsoever (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2003). On the other hand valvular regurgitations and arrhythmias have also been described as a cause of poor performance in warmblood horses (Gehlen et al. 2007). Due to these inconsistencies in this

specific field, we aim to clarify what kinds of cardiac pathologies exist in a large group of warmblood horses and attempt to evaluate the effect of different kinds of cardiac disease on performance. This contributes to the better assessment of cardiac findings and their potentially performance-limiting effects in the warmblood sport horse.

We hypothesize that cardiac findings in our population of warmblood horses differ from findings found in racehorses regarding the frequency of different valvular insufficiencies and arrhythmias, because of the different age structure of the populations. Moreover, we think that warmblood sport horses are less likely to be negatively affected by different cardiac findings than racehorses. However, eventers and high-level sport horses probably suffer more often from poor performance due to cardiological problems than horses starting at a lower level or in other disciplines due to the higher demands on the cardiovascular system.

## Material and methods

### Horses

Warmblood sport horses presented for initial cardiac examination in an equine referral center in northern Germany between January 2000 and May 2020 are included in the study. The horses are from the same population of horses that has already been described in a previous paper (Hövener et al. 2021). However, this time only the 261 warmblood horses listed as competing by the German riding federation (FN) at the time of the examination have been included, compared to a total of 822 warmblood horses included in the other manuscript. Only horses with at least one finding in Echocardiography or ECG were included in the study. No control group was included. Results from follow-up examinations were not included, therefore each horse appears only once in the study. A detailed report of all examinations was saved in the patient file with the owner's permission. Relevant information includes age, sex, breed and presenting complaint as well as findings of the clinical examination, auscultatory findings and results of echocardiographic and electrocardiographic examinations.

Reasons for examination: The presenting complaint of each horse was reviewed, and horses were divided into three groups. Horses of group 1 were presented because of an auscultatory finding during a prepurchase examination or a

routine examination. Group 2 included all horses with a complaint of poor performance. Group 3 included horses with any other cardinal clinical signs that may indicate an underlying cardiological problem. These were syncope, cyanosis, epistaxis, poor general health or ventral edema.

Clinical examination: All horses underwent a thorough clinical examination upon arrival at the clinic. All horses with a complaint of poor performance also underwent an orthopedic and respiratory examination. Moreover, a special examination of the cardiovascular system was performed as described by Keen (Keen 2019). A cardiac auscultation in a resting position and one immediately after intensive exercise and at fixed intervals during the recovery period were conducted. All findings were recorded in the patient file.

Echocardiography: An echocardiographic examination was performed in all horses including an examination in B-Mode, M-Mode and a Color Doppler-Echocardiography of all four valves from right and left parasternal views (Gehlen 2010, Schwarzwald 2019). Valve morphology was assessed in 2D-Echocardiography. If regurgitations or VSD were present in Doppler Echocardiography, severity was estimated as described in literature (Bonagura and Reef 2004, Reef et al. 2014). The maximal size of the atria and chambers was measured in millimeters and recorded (Reef 1990, Gehlen et al. 1998, Schwarzwald 2019). As only adult warmblood horses were included in the study and body weight was not recorded for many horses Cut-off values were used for grading of dimensional changes of the compartments of the heart. Values were chosen according to recommendations in literature (Gehlen et al. 1998, Al-Haidar et al. 2013, Maarse 2014, Huesler et al. 2016, Decloedt et al. 2017, Vernemmen et al. 2020, Berthoud and Schwarzwald 2021). A grading scheme based on these values is presented in Table 1. Any other abnormal findings were additionally recorded in the patient file. The pictures and videos taken during the examination were reviewed from the video archive and were reevaluated by an experienced clinician.

Electrocardiography (ECG): A resting ECG was performed using a standard base-apex lead (Mitchell 2019) in all horses. Exercising ECG was performed if auscultation after exercise revealed an irregular heartbeat or in the case of unexplained poor performance. A telemetric ECG system was used. Electrodes are placed in a modified base-apex configuration on the left and right hemithorax and sternum (Chope 2018,

Table 1 Grading scheme for the severity of dimensional changes of the heart in warmblood sport horses. Cut-off values are presented in millimetres for adult warmblood horses. Values were adapted according to Berthoud et al (2021), Al-Haidar et al. (2013) and Huesler et al. (2016) for the left atrium and left ventricle and according to Vernemmen (2020), Maarse (2014), Gehlen (2010) and Decloedt (2017) for the right atrium and right ventricle. | *Einstufungsschema für den Schweregrad von Dimensionsveränderungen des Herzens bei Warmblutsporthorsern. Die Cut-off-Werte werden für erwachsene Warmblutpferde in Millimetern angegeben. Die Werte wurden nach Berthoud et al (2021), Al-Haidar et al. (2013) und Huesler et al. (2016) für den linken Vorhof und die linke Herzkammer und nach Vernemmen (2020), Maarse (2014), Gehlen (2010) und Decloedt (2017) für den rechten Vorhof und die rechte Herzkammer angepasst.*

	Left Atrium	Left Ventricle	Right Atrium	Right Ventricle
Normal	110–130 mm	107–127 mm	60–70 mm	55–65 mm
Mild Changes	130–140 mm	125–137 mm	70–80 mm	65–75 mm
Moderate Changes	140–150 mm	135–147 mm	80–90 mm	75–85 mm
Severe Changes	150–160 mm	145–157 mm	90–100 mm	85–95 mm



Mitchell 2019). The electrodes are secured under a girth and connected to a transmitter box on the surcingle. This sent data via Bluetooth to a computer that was equipped with an appropriate software for analysis. Horses were then exercised at the lounge line, according to their usual level of exercise. All abnormal findings were recorded in the patient file and ECG-Protocols were reviewed by an experienced clinician. Findings are defined as described by van Loon (van Loon 2019). Ventricular and supraventricular premature contractions were considered pathological if more than 2 were present at peak exercise or if pairs, paroxysms or more than 5 isolated premature contractions were present during recovery (Martin et al. 2000).

Performance: All horses, without major orthopedic problems or other severe systemic illnesses underwent an exercising examination. Horses were exercised at the lunge line by an experienced handler. After a warm-up period, horses were exercised at gallop. The duration and intensity of exercise depended on the equine's level of training but consisted of at least ten to fifteen minutes of intensive galloping. Horses were driven at least until the onset of intensive breathing. If the horse showed shortness of breath, intense sweating or was unwilling to work this was recorded in the patient file. Horses were then stopped, and the heart rate was recorded immediately upon halting. 120 to 180 beats per minute were regarded as physiological (Bonagura and Reef 2004). If heart rate was below these values right after exercise, exercising was continued, and intensity was increased. Heart Rate was closely monitored during the recovery period. Recovery was considered physiological if heart rate was below 100 beats per minute within five minutes after the end of the exercise and at the resting level after thirty to forty minutes (Allen et al. 2016). Moreover, heart rhythm was closely monitored during the recovery period to detect any post-exercise arrhythmias. Exceptionally high heart rates (>250/min), a relatively increased heart rate or a prolonged recovery period were considered as indicative of performance problems (Allen et al. 2016).

If the clinical impression, exercising heart rate and post-exercise heart rate recovery indicated an exercise intolerance, the most probable cause was considered. If horses had only mild to moderate cardiac disease but severe orthopedic or respiratory disease, these were more likely the performance limiting disease (Knight and Evans 2000, Martin et al. 2000, van Erck et al. 2006, Fraipont et al. 2011, Melkova et al. 2016). If no or only mild orthopedic, respiratory or other disease were present and moderate to severe cardiac findings were present, heart rate after exercise was elevated above the normal rate and heart rate recovery was prolonged the cardiac finding was assumed to be the performance limiting condition.

Furthermore, each horse was looked up in the database of the German Federation of Equestrian Sports (Federation national/FN), in which all competition results in Germany since 1976 are recorded to be better able to judge the horse's level of performance at the time of the examination. We used the UELN (Unique equine life number) to search for the horse in the database. Horses were then divided into groups depending on the discipline (Dressage, Show-jumping, 3-Day-Eventing) and the level of performance (low-level, medium-level, high-level). The level of performance was assessed following the FN's different levels of performance as follows: Low Level = FN Level

novice (A) and beginner (E), medium = FN level easy (L) and medium (M) and high Level = FN Level Difficult (S).

#### Statistical analysis

Data was collected from the patient file as described above. Horses were divided into groups depending on their presenting complaint and their level of performance. Data were stored in an Excel spreadsheet (IBM Excel® Version 2017, Microsoft Corporation, Redmont, WA, USA). Statistical analysis was conducted using IBM SPSS statistical software version 27 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA). Frequency tables as well as mean, median, standard deviation, 95 %-confidence intervals and boxplots were used for the presentation of descriptives.

The presenting complaint was compared to the clinical presentation at the day of the examination regarding the performance of the horse using a Cohen's Kappa Test. The level of agreement was assessed according to McHugh (McHugh 2012) as follows: 0 = Poor; 0.01–0.2 = slight; 0.21–0.4 = fair; 0.41–0.6 = moderate; 0.61–0.8 = substantial and 0.81–1.0 = almost perfect. Frequency analysis was used to determine how common different cardiological findings were in our group of horses. Associations between different cardiac findings were determined using a Chi-Squared-Test. Association was considered significant if the p-value was smaller than 0.05. Odds Ratios (OR) including 95 % CI were calculated to evaluate whether certain findings presented a risk of the presence of other findings. OR were also calculated to evaluate whether horses competing in different disciplines and at different performance levels were at a higher risk of having performance deficits due to cardiological problems. The risk was considered significantly enhanced if the OR was above 1.00 and the p-value was significant.

In order to test, whether different age groups were affected by different valvular regurgitations, a Mann-Whitney-U Test was used to determine, whether a significant difference in age existed between horses affected by AVI, MVI or TVI. This was considered the case if the p-value was below 0.05.

A multivariable binomial logistic regression model was used to determine the probability of showing a cardiologically caused performance problem depending on potential influence factors. Thirteen variables were entered into the model. These were presence of mild MVI, mild AVI, mild TVI, moderate MVI, moderate TVI, moderate AVI, severe MVI, severe AVI, severe TVI, mild VSD, AF, SVPCs and VPCs. These variables were included in the full model and eliminated backwards until only variables with  $p < 0.1$  were included. Nagelkerke's R-squared was 0.509 in the full model and 0.441 in the final model. Influence was considered statistically significant if the p-value was below 0.05 and the risk was considered enhanced if the OR was above 1.00. The 95 % CI was also calculated. The model impact was assessed by Nagelkerke's R squared.

#### Results

Horses: A total of 288 warmblood horses presented for cardiological examination in the period mentioned above. 27

horses did not have any cardiac findings. Therefore, they were excluded from the study. 261 active sport horses with cardiac findings were included. The age range was between 3.0 years and 21.0 years. The mean age was 8.7 years. The largest group of horses were Holsteins (n = 89), followed by Hanoverians (n = 75), Oldenburgs (n = 28), German Sport Horses (n = 25) and Trakehners (n = 21). Most horses presented were geldings (n = 159), while mares (n = 82) and stallions (n = 20) were presented less commonly.

#### Reasons for examination

The majority of horses (n = 176/67 %) presented for cardiological examination due to an incidental finding of a murmur or arrhythmia. 97 (37 %) were detected during a prepurchase examination and 85 (33 %) during a routine examination. Only 32 % of horses (n = 85) showed clinical signs, indicating a possible cardiac disease, such as exercise intolerance, syn-

cope, cyanosis or ventral edema. Most of them (n = 67/26 %) were presented because of a complaint of poor performance. Seventeen (6 %) horses showed other clinical signs.

#### Echo- and electrocardiographic findings

An echocardiographic examination was conducted in all 261 horses, revealing a pathology in 238 cases. Regurgitations or congenital abnormalities were present in 229 cases. Most of these were due to an isolated MVI (n = 154/59 %) (Tab. 2) and the majority was graded as mild (n = 202/72 %) (Tab. 3). Dimensional changes were present in 32 % (n = 83) of horses examined. The LA was most affected, with LA enlargement being present in 59 horses (22 %) (Tab. 4). 78 horses were diagnosed with valvular regurgitations and dimensional changes. This implies that 94 % of dimensional changes were accompanied by valvular regurgitations. The risk of LA enlargement was more than three times higher (OR = 3.14, CI = 1.35–7.31, p < 0,01) if horses were affected by MVI than in horses without this finding. AVI was not significantly associated with LA enlargement (p = 0.21). The probability of having LV enlargement on the other hand was thirteen times higher in horses with AVI (OR = 13.1, CI = 5.61–30.35, p < 0.01) than in horses without this regurgitation. No significant association existed between MVI and LV enlargement (p = 0.11). No significant association could be detected between VSD and LA enlargement (p = 0.13) or LV enlargement (p = 0.31). A RA enlargement was found twenty-eight times (OR = 28.46, CI = 7.36–110.10, p < 0,01) more frequently in horses with TVI than in those without this finding. RV Enlargement was also significantly associated with TVI (OR = 20.36, CI = 2.60–201.59, p = 0.09).

Regarding the age of the horses, findings varied between MVI, TVI and AVI. (Tab. 5). 56 % of horses with AVI were over 10 years of age, while 73 % of horses with MVI and 75 % of horses with TVI were younger than 10 years. The Mann-Whitney-U Test showed that significant differences in age structure exist between horses with and without AVI (U = 3072.0; p < 0.001). The same was true for horses with and without MVI (U = 4731.50; p = 0.001).

A resting ECG was performed in all 261 horses. Heart rate at rest ranged from 28 to 60 beats per minute and mean resting heart rate was 36.3 ± 4.2 beats per minute. Resting ECG revealed an arrhythmia in 54 horses. The most common

Table 2 Frequency of different cardiac findings in 261 sport horses that underwent echocardiographic examinations in the equine clinic in Bargteheide. | Häufigkeit verschiedener Herzbefunde bei 261 Sportpferden, die in der Pferdeklinik Bargteheide echokardiographisch untersucht wurden.

MVI	154 (65 %)
AVI	22 (9 %)
MVI+TVI	20 (9 %)
MVI+AVI	13 (6 %)
TVI	11 (5 %)
More than 2 R	4 (2 %)
AVI+PVI	2 (1 %)
MVI+VSD	2 (1 %)
AVI+TVI	1 (0,5 %)
PVI	1 (0,5 %)
VSD	1 (0,5 %)
Total	214 (100 %)

Abbreviations: R. = Regurgitation, MVI = Mitral valve regurgitation, AVI = Aortic valve regurgitation, TVI = Tricuspid valve regurgitation, PVI = Pulmonic valve regurgitation, VSD = Ventricular septal defect | Abkürzungen: R. = Regurgitation, MVI = Mitralklappenregurgitation, AVI = Aortenklappenregurgitation, TVI = Tricuspidalklappenregurgitation, PVI = Pulmonalklappenregurgitation, VSD = ventrikulärer Septumdefekt

Table 3 Frequency and severity of valvular regurgitations in 261 horses that underwent echocardiographic examination in the equine clinic in Bargteheide between 2000 and 2020. | Häufigkeit und Schwere von Klappenregurgitationen bei 261 Pferden, die zwischen 2000 und 2020 in der Pferdeklinik Bargteheide echokardiographisch untersucht wurden.

	MVI	AVI	TVI	PVI	VSD	Total
Mild	140 (72 %)	27 (59 %)	25 (69 %)	3 (100 %)	3 (100 %)	198 (70 %)
Moderate	47 (24 %)	14 (30 %)	8 (22 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	69 (24 %)
Severe	7 (4 %)	5 (11 %)	3 (8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	15 (5 %)
Total	194 (100 %)	46 (100 %)	36 (100 %)	3 (100 %)	3 (100 %)	282 (100 %)

Abbreviations: MVI = Mitral Valve Regurgitation, AVI = Aortic Valve Regurgitation, TVI = Tricuspid Valve Regurgitation, PVI = Pulmonal Valve Regurgitation, VSD = Ventricular Septal Defect | Abkürzungen: MVI = Mitralklappenregurgitation, AVI = Aortenklappenregurgitation, TVI = Tricuspidalklappenregurgitation, PVI = Pulmonalklappenregurgitation, VSD = ventrikulärer Septumdefekt

finding was AF affecting 12 % of all horses examined ( $n = 32$ ), followed by second-degree AV-Block (5 %/ $n = 12$ ) and SVPCs (3 %/ $n = 9$ ) and VPCs (0,5 %/ $n = 1$ ). A total of 69 horses underwent an exercising electrocardiographic examination. Maximum heart rate during exercise ranged between 122 and 310 beats per minute. Mean value was  $175.3 \pm 33.3$  beats per minute. Exercising ECG revealed a finding in 24 horses. Fifteen horses (6 %) were affected by AF. 2 had SVPCs (1 %), 6 had SVPCs and VPCs (2 %) and one had a sinus arrhythmia.

A significant association could be established between a LA enlargement and the occurrence of AF. Horses with dilatation of the LA were three times more likely (OR = 3.18, CI = 1.47–6.87,  $p = 0.05$ ) to be affected by AF. The risk of AF increased with the severity of the dimensional changes of the LA. Therefore, only 9 % of horses with normal LA dimensions were affected by AF. 10 % of horses with mild dimensional changes and 25 % of horses with moderate changes of LA dimensions were affected by AF (OR = 2.85, CI = 1.15–7.04,  $p = 0.04$ ). Ultimately, 57 % of horses with severe changes of LA dimensions were affected by AF (OR = 10.77, CI = 2.29–50.58,  $p = 0.05$ ). We could not find that presence of mild or moderate MVI and TVI was significantly associated with AF.

However, we found a significant association between severe MVI (OR = 10.76, CI = 2.29–50.58,  $p = 0.05$ ) and severe TVI (OR = 15.20, CI = 1.34–172.73,  $P = 0.04$ ) with AF.

#### Association with poor performance

A total of 67 horses (26 %) presented for a cardiological exam due to a complaint of poor performance. Upon examination, 67 (26 %) horses showed signs of poor performance. In 58 of these horses (86 %), the presenting complaint and the clinical exercising examination agreed. This means that agreement between the presenting complaint and the findings from the exercising examination was almost perfect (Kappa 0.82). Presenting complaint and exercising examination were significantly associated. (OR = 132.47, CI = 50.22–349.40,  $p < 0.001$ ). A total of 194 (74 %) of the 261 horses with a cardiac finding showed no clinical signs of decreased performance during the exercising examination. Mean heart rate measured right after intensive exercise was  $151.5 \pm 1.1$  beats per minute in horses considered fit.  $181.9 \pm 3.4$  was the mean heart rate in poor performers. In horses, that had cardilogically caused performance problems mean heart rate was even  $196.5 \pm 1.2$ .

Table 4 Frequency and severity of cardiac dimensional changes in 261 horses that underwent echocardiographic examination in the equine clinic in Bargteheide between 2000 and 2020. | Häufigkeit und Schwere der kardialen Dimensionsveränderungen bei 261 Pferden, die zwischen 2000 und 2020 in der Pferdeklinik Bargteheide echokardiographisch untersucht wurden.

	Left Atrium	Left Ventricle	Right Atrium	Right Ventricle
Mild	20 (34%)	8 (27%)	7 (54%)	2 (33%)
Moderate	32 (54%)	17 (57%)	1 (8%)	1 (17%)
Severe	7 (12%)	5 (17%)	5 (38%)	3 (50%)
Total	59 (100%)	30 (100%)	13 (100%)	6 (100%)

Other organ systems were detected as the cause of the clinical problems in 23 poorly performing horses (34 %). The heart was determined as the only performance limiting condition in 29 cases. In another 10 horses cardiological findings together with findings in other organ systems were responsible for the poor performance of the horse affected. In 5 horses no reason for the exercise intolerance could be detected (Tab. 6). AF was the cardiac finding most found responsible for poor performance. It was found in 51 % of horses with cardilogically caused poor performance. In 85 % of these cases AF was accompanied by valvular regurgitations (Tab. 7). Moreover, 63 % ( $n = 20$ ) of horses with AF were performing poorly. This was only true for 14 % of horses with valvular regurgitations. Logistic regression showed that AF was significantly associated with poor performance (OR = 22.77, CI = 7.47–69.41,  $p < 0.001$ ) This finding was supported by absolute numbers as 63 % of all horses diagnosed with AF were performing poorly. In total, more than half of all horses performing poorly due to a cardiological problem (51 %) were affected by AF, either as an isolated finding or combined with other pathologies. Another finding significantly associated with poor performance was SVPCs (OR = 7.36, CI = 1.51–35.96,  $p = 0.01$ ). In absolute numbers, 50 % ( $n = 4$ ) of horses

Table 5 Age structure in years in horses diagnosed with MVI, AVI or TVI in the equine clinic in Bargteheide between 2000 and 2020. | Altersstruktur in Jahren bei Pferden mit Diagnose MVI, AVI oder TVI in der Pferdeklinik Bargteheide zwischen 2000 und 2020.

	MVI	AVI	TVI
Total	194	46	36
Mean	8.23	11.05	8.41
Median	7.55	10.66	8.00
Minimum	3.0	4.3	3.3
Maximum	18.0	21.0	13.1

Abbreviations: MVI = Mitral valve regurgitation, AVI = Aortic valve regurgitation, TVI = Tricuspid valve regurgitation | Abkürzungen: MVI = Mitralklappenregurgitation, AVI = Aortenklappenregurgitation, TVI = Tricuspidalklappenregurgitation

Table 6 Reasons for poor performance in sport horses that were presented for a cardiac examination because of a complaint of p performance in the equine clinic in Bargteheide between 2000 and 2020. | Gründe für die Leistungsschwäche bei Sportpferden, die aufgrund dieser in der Pferdeklinik Bargteheide zwischen 2000 und 2020 zur Herzuntersuchung vorgestellt wurden.

	Reason for Poor Performance
Heart	29 (36%)
Airways	24 (30%)
Heart, Airways	7 (9%)
No Reason found	6 (8%)
Orthopedic	6 (8%)
Heart, Orthopedic	3 (4%)
Other	2 (3%)
Airways, Orthopedic	2 (3%)
Total	79 (100.0%)

**Table 7** Cardiac findings in warmblood sport horses with cardiologically caused performance problems examined in the equine clinic in Bargteheide. | *Herzbefunde bei Warmblutsporth Pferden mit kardiologisch bedingten Leistungsproblemen – untersucht in der Pferdeklunik Bargteheide.*

	Findings	Max. HF	Level of performance
1	Mild AVI	182/ min	Medium Level Showjumping
2	AF, severe TVI	188/min	Medium Level Dressage
3	AF, moderate TVI	189/min	Medium Level Showjumping
4	Moderate AVI	189/ min	Low-Level Showjumping
5	Moderate AVI	181/min	Low-Level Showjumping
6	Severe AVI	188/ min	Medium Level Showjumping
7	AF, severe AVI	179/ min	Medium Level Showjumping
8	Moderate MVI	188/ min	Medium Level Showjumping
9	AF, moderate MVI	232/ min	Low-Level Dressage
10	Severe TVI	188/ min	Medium Level Showjumping
11	Severe MVI	182/ min	Medium Level Dressage
12	Moderate MVI	189/ min	Low-Level Showjumping
13	Mild AVI	200/ min	Medium Level Showjumping
14	AF, Mild AVI	184/min	Medium Level Showjumping
15	AF, Mild MVI	184/ min	Medium Level Showjumping
16	AF, Mild MVI, Moderate AVI, Severe TVI	184/ min	Medium Level Dressage
17	AF	191/ min	Medium Level Showjumping
18	Severe MVI, Mild TVI	191/min	Medium Level Showjumping
19	Severe MVI	182/ min	Medium Level Dressage
20	AF, Mild MVI	189/ min	Medium Level Showjumping
21	Moderate AVI	191/ min	Medium Level Dressage
22	AF, Severe MVI	188/ min	Medium Level Dressage
23	AF	194/ min	Medium Level Showjumping
24	AF, Severe MVI	248/ min	Low Level Dressage
25	AF, Moderate MVI	199/ min	Low Level Eventing
26	AF, Mild MVI	299/ min	High Level Showjumping
27	Moderate MVI	184/ min	Low Level Showjumping
28	AF, Mild MVI	180/ min	Low Level Dressage
29	Moderate MVI, Moderate AVI	189/ min	Low Level Dressage
30	SVPCs	188/ min	Low Level Dressage
31	Moderate AVI	194/ min	Medium Level Dressage
32	Moderate MVI, SVPC	187/min	Medium Level Dressage
33	AF, Mild MVI, mild AVI	248/ min	Medium Level Showjumping
34	SVPCs	182/ min	High Level Showjumping
35	SVPCs, VPCs	181/ min	Low Level Showjumping
36	AF	180/ min	Medium Level Showjumping
37	AF, Moderate MVI	228/ min	Medium Level Showjumping
38	AF, Mild MVI	230/ min	Medium Level Showjumping
39	AF, Moderate MVI	199/ min	Medium Level Showjumping

Abbreviations: MVI = Mitral Valve Regurgitation, AVI = Aortic Valve Regurgitation, TVI = Tricuspid Valve Regurgitation, AF = Atrial Fibrillation, VPCs = Ventricular Premature Contractions, SVPCs = Supraventricular Premature Contractions | Abkürzungen: MVI = Mitralklappenregurgitation, AVI = Aortenklappenregurgitation, TVI = Tricuspidklappenregurgitation, AF = Vorhofflimmern, VPCs = ventrikuläre Frühkontraktionen, SVPCs = supraventrikuläre Frühkontraktionen

with SVPCs were performing poorly. MVI was also significantly associated ( $p = 0.002$ ). However, only severe MVI had an increased risk for poor performance (OR = 4.65, CI = 0.58–37.07), while mild (OR = 0.19, CI = 0.07–0.57) and moderate (OR = 0.33, CI = 0.09–1.10) MVI were not associated with an increased risk. In absolute numbers only 5 % ( $n = 7$ ) of horses with mild MVI and 15 % ( $n = 7$ ) of horses with moderate MVI were poor performing. Many of these also had other findings. 71 % ( $n = 5$ ) of horses with severe MVI were performing poorly. AVI was also a common finding in poorly performing horses, as 22 % ( $n = 6$ ) of mild AVI, 21 % ( $n = 3$ ) of moderate AVI and 40 % ( $n = 2$ ) of severe AVI were found in horses with exercise intolerance. Some other findings were primarily found in poorly performing horses as well. 67 % of VPCs ( $n = 4$ ) and 100 % ( $n = 3$ ) of severe TVI were diagnosed in poor performers.

### Sporting performance

At the time of the examination, all horses examined were used as sport horses in Germany. 119 horses started in dressage competitions. Of these 60 were low-level, 52 in medium level and 7 high-level sport horses. 116 horses were showjumpers. Of these 35 started in low-level, 63 in medium-level and 18 in high-level competitions. Another 26 horses were eventers, of which 15 were low-level, 10 medium-level and 1 high level sport horses. A total of 18 % ( $n = 23$ ) of showjumpers, 12 % ( $n = 15$ ) of dressage horses and 7 % ( $n = 2$ ) of eventers were performing poorly due to a cardiological finding, while the rest were not affected negatively at the time of the examination. The level of performance of horses with a cardiological caused performance problem was most commonly at a medium level, with 24 horses being affected, which equals 17 % of all horses performing at that level and 63 % of all horses performing poorly. OR revealed a significant association between discipline and level of performance with cardiological caused poor performance only in medium-level showjumpers (OR = 1.98, CI = 0.95–4.09,  $p = 0.05$ ), compared to the other horses examined.

### Discussion

Valvular regurgitations occur in different frequencies in warmblood horses and racehorses. There is a high prevalence of TVI in racehorses, while other valvular regurgitations are found less commonly (Patteson and Cripps 1993, Kriz et al. 2000, Young et al. 2008, Young and Wood 2010, Zucca et al. 2010, Leroux et al. 2013). The prevalence of TVI increases significantly with intensive training in these horses (Buhl et al. 2005, Young and Wood 2010). The low prevalence of TVI (13 %) in this population of warmblood horses could be related to the lack of high intensity training at a young age. On the other hand, MVI is described as the most common valvular regurgitation in warmblood horses (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2007, Leroux et al. 2013). It has been hypothesized in literature that larger horses have a predisposition for developing MVI (Leroux et al. 2013), which may explain the high prevalence of MVI in our population (74 %) and other populations of warmblood horses (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2007, Leroux et al. 2013). AVI is very

rarely seen in racehorses (Patteson and Cripps 1993, Kriz et al. 2000, Young et al. 2008) but can be found more frequently in warmblood horses (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2007, Leroux et al. 2013). We found that AVI is significantly more common in older horses and AVI is described to be a pathology of the older horse in other studies as well (Else and Holmes 1972, Leroux et al. 2013). This could be a reason why it is so rarely seen in the generally very young racehorse population. The least common valvular regurgitation in warmblood horses (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2007, Leroux et al. 2013), as well as in racehorses (Young et al. 2008, Zucca et al. 2010) was PVI. The latter was also rarely diagnosed in our population. Other than AVI, MVI and TVI were more commonly found in younger horses in our population and other populations of horses (Leroux et al. 2013). This may explain why these findings are more common in the very young racehorse population than AVI.

We found significant associations between MVI and LA enlargement, as described in literature (Gehlen et al. 2003, Gehlen et al. 2007, Gehlen et al. 2007, Reef et al. 2014). However, we cannot determine an association between MVI and LV enlargement contrary to what is stated in the latest consensus statement (Reef et al. 2014). This could, however, be due to the low number of severe MVI in this population of horses. The described associations between AVI and LV enlargement and TVI and RA enlargement are also described in literature (Reef and Spencer 1987, Gehlen et al. 2003, Gehlen et al. 2007, Gehlen et al. 2007, Reef et al. 2014). The latest consensus statement describes AVI as a risk factor of LV and LA enlargement (Reef et al. 2014). In this context, we could not detect an association between AVI and LA enlargement. This, again, may be due to the fairly low number of horses with severe AVI (11 %).

We found AF to be the most diagnosed arrhythmia in our population of horses, which is supported by other studies (Gehlen et al. 2007, Gehlen 2010, Leroux et al. 2013). In general, AF is described as the most common pathological arrhythmia in the horse (van Loon 2019). In racehorses AF often is paroxysmal (Deem and Fregin 1982, Ohmura et al. 2003), which is probably caused by the extremely high demands placed upon the cardiovascular system during racing. Most horses with AF (78 %) in our population had an underlying heart disease. This goes along with findings in other studies on large populations of non-racehorses (Leroux et al. 2013). Cardiovascular demands placed upon warmblood sport horses in general are lower, potentially explaining the low prevalence of AF without underlying heart disease in our population. Especially LA enlargement is described to increase the risk of AF (Gehlen and Stadler 2002, Gehlen et al. 2007, Reef et al. 2014). This is strongly supported by the results of this study. MVI and TVI are sometimes also described to increase the risk of AF (Reef et al. 1988, Leroux et al. 2013, Onmaz et al. 2019). We could not find that the presence of atrioventricular valvular regurgitations in general was associated with AF. The lack of a direct association between TVI and MVI and AF in general is most likely due to the low number of severe MVI and TVI in this population. If only severe MVI and TVI were considered, a significant association between regurgitations of these valves and AF could be established. This makes sense as severe MVI and TVI includes severe enlargement of the LA

or RA, which present an increased risk for AF, as discussed above (Reef et al. 2014)

Other studies found, VPCs and SVPCs to be a common finding in horses (Vibe-Petersen and Nielsen 1980, Martin et al. 2000, Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010, Onmaz et al. 2019). These arrhythmias were rather rare findings in our population. The majority of VPCs and SVPCs are diagnosed by exercising ECG, during exercise or in the recovery period (Martin et al. 2000, Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010). The very low number of SVPCs and VPCs in our population could be due to the relatively small number of exercising ECGs performed. Even though an auscultation was performed right after exercise and during the recovery period SVPCs and VPCs may have been missed without an exercising ECG. This certainly presents an important limitation to the results presented in this study.

Furthermore, we tried to determine which cardiological conditions are associated with exercise intolerance in competing warmblood sport horses. As in other studies, we found a large portion of horses (44 %) performing poorly, because of a respiratory or orthopedic problem (Knight and Evans 2000, Martin et al. 2000, van Erck et al. 2006, Richard et al. 2010, Fraipont et al. 2011, Melkova et al. 2016, Hövener et al. 2020). This number is slightly smaller than that of horses performing poorly, due to cardiac problems (49 %). However, there probably exists a bias because all horses in this study had a cardiac pathology. If taking all poorly performing horses presented to the clinic into account, respiratory and orthopedic problems would most likely be even more common.

Determining the clinical significance of cardiac findings is challenging for veterinarians, as regurgitations and arrhythmias commonly occur in healthy, normal performing horses (Buhl et al. 2005, Young et al. 2008, Buhl et al. 2010, Physick-Sheard and McGurrian 2010). Indeed, 74 % of horses in our population did not show any clinical signs indicating an underlying cardiac condition, even though all of them had one or more cardiac pathologies. Only 26 % of these horses showed signs of exercise intolerance. Similar results are presented in other studies (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2007, Gehlen et al. 2007, Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010).

Valvular regurgitations in general are rarely described as clinically relevant findings in warmblood horses (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2007, Gehlen et al. 2007) and racehorses (Kriz et al. 2000, Young et al. 2008). If they are considered as the cause of performance problems, MVI is described as having the biggest negative influence on a horse's performance in literature (Patteson 1995, Reef 1995). Other studies, however, have found that MVI is of little clinical significance in racehorses (Kriz et al. 2000, Young et al. 2008, Fraipont et al. 2011) and warmblood horses (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2007, Gehlen et al. 2007). These findings are supported by our study, in which only 10 % of horses with MVI showed signs of poor performance upon examination. TVI is usually described as an incidental finding as well and has been found frequently without clinical implications in a high number of young racehorses (Patteson and Cripps 1993, Kriz et al. 2000, Young et al. 2008, Young and Wood

2010). Data exists, however, that a majority of warmblood horses diagnosed with TVI were poorly performing (Gehlen et al. 2007). In our population, on the other hand, 86 % of horses with TVI were performing normally, but a total of 24 % of horses with AVI were performing poorly. AVI is described to have a bigger influence on the performance potential of horses (Gehlen et al. 2007, Reef et al. 2014). In this context it may be worth noting that AVI was more often moderate to severe than MVI and TVI in our population. However, already 22 % of mild and 21 % of moderate AVI were found in poorly performing horses. This was only the case for 5 % of mild MVI, 4 % of mild TVI, 15 % of moderate MVI and 13 % of moderate TVI. An AVI could lead to a higher risk of performance deficits than regurgitations of the atrioventricular valves, as blood ejected through the aortic valve is supposed to deliver oxygen to the skeletal musculature of the horse (Bonagura and Reef 2004). If the cardiac output is limited due to an AVI, oxygen supply in the skeletal musculature may be inadequate, which may lead to a reduced performance potential of the horse affected (Schwarzwald 2013). However, if regurgitations were severe, they were accompanied by exercise intolerance in most cases. 40 % of severe AVI, 71 % of severe MVI and 100 % of severe TVI were found in poorly performing horses. This strongly indicates that the severity of the regurgitation, coupled with the associated dimensional changes are more relevant for the horse's performance potential than which valve is affected. VSD which are less than 25 mm in diameter are described to be present in performance horses without clinical signs (Scanzen 2019) and are usually described as not performance limiting in horses not competing in high-intensity sports, as they are not considered haemodynamically important (Reef et al. 2014). This is supported by the fact that none of the horses with exercise intolerance in this population had a VSD.

Unlike regurgitations arrhythmias are more commonly described as a reason for performance deficits (Martin et al. 2000, Jose-Cunilleras et al. 2006, Schwarzwald 2013, Durando 2019). In general, AF is described as the most common performance limiting cardiac condition in horses (Deem and Fregin 1982, Schwarzwald 2013, Reef et al. 2014, McGurrian 2015, Durando 2019). Moreover, it has been found that induced AF can significantly decrease exercise potential (Buhl et al. 2018). A large portion of horses with AF also had a complaint of exercise intolerance in advance (Reef et al. 1988, Reef et al. 1995, Gehlen and Stadler 2002). We found that 63 % of horses with AF were exercise intolerant at the time of the examination and AF was significantly associated with poor performance, underlining these findings. Other arrhythmias like VPCs and SVPCs have been described as performance limiting, as well (Martin et al. 2000, Fraipont et al. 2011). However, many other studies have shown horses with SVPCs or VPCs to perform normally and found that these pathologies do not necessarily lead to clinical signs in warmblood horses (Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010) or racehorses (Jose-Cunilleras et al. 2006). However, 50 % of SVPCs and 67 % of VPCs were found in poorly performing horses in this study and SVPCs were significantly associated with poor performance. The general number of SVPCs and VPCs was low in this population. This may be due to the low number of exercising-ECGs performed. Potentially, the high percentages of poor performing horses with SVPCs or VPCs are because exercising ECG was performed only in horses with inexplicable

poor performance or if arrhythmias were auscultable at rest or after exercise. Maybe some fit horses had SVPCs or VPCs during or after exercise but did not undergo exercising ECG. Therefore, these pathological arrhythmias may have remained undetected in a number of horses. This lack of exercising ECG examinations in the majority of horses presents an important limitation to the significance of the results presented.

Finally, we hypothesized that eventing horses and high-class performance horses suffer most from cardiac disease. Because considering the three Olympic disciplines eventing is the one with the highest demands on the cardiovascular system of the horse and higher-class tournaments generally require more cardiac output (Bitschnau et al. 2010, Munsters et al. 2014). Contrary to this we found medium-level showjumpers most commonly suffering from cardiologically caused performance deficits. The low number of eventers in general may have contributed to them being underrepresented. Furthermore, eventers are described as having a higher cardiac capacity in general (Bitschnau et al. 2010) and, therefore, might be better and longer able to compensate for pathologies limiting cardiac output. The cardiovascular demands placed upon horses in dressage competitions, on the other hand, are comparatively low. This may explain, why these horses rarely are presented because of a poor performance due to a cardiac problem. Pedersen et al. (Pedersen et al. 2018) hypothesized that horses with gastric ulcerations may never reach high-class performance level because this illness may cause subclinical performance limitations. This could also be true for horses with cardiac disease. Therefore, these horses may have a subclinical performance deficit and would never compete well enough to be considered for starting in eventing or higher-class tournaments due to their mild cardiac findings. This may be a reason why high-level performance horses and eventers do not suffer the most from cardiac disease. However, we have the limiting factor that only horses starting in national tournaments were considered. Including horses competing at international tournaments could also alter the results.

In general, our data was taken from a population of warmblood horses that was very diverse regarding age, breed, and sex of the animals and included sport horses from all performance levels. Therefore, the horses in this study could be seen as representative for warmblood sport horses with cardiac conditions in Germany and even Central Europe. On that note we do not see a reason for a significant bias. However, our study differed from other studies, as the evaluation of such a large number of cardiological examinations on performing warmblood horses has not yet been conducted to the best of our knowledge. Some limitations of the present study should be underlined, nonetheless.

Data used in the study has been collected over a period of almost 20 years. Due to technological progress, ultrasound technology and image quality have improved during the time of our study and new methods of examinations developed, which may have altered results. However, case files and images were reviewed by the same person. Technology was already very advanced in the early twentyfirst century and very well suited to identify and grade valvular regurgitations and cardiac dimensions and to diagnose arrhythmias. Moreover,

the base frame of the cardiologic examination was generally the same over the period described and for all examining veterinarians. Of course, the examination was still adapted to recommendations of renowned experts in the field of equine cardiology. We did not note any differences regarding frequency or severity of findings, neither between different examiners, nor between different periods when reviewing the case files and images. Moreover, a Chi-Square test was performed for each cardiac condition and no significant differences were observed, neither between different examiners, nor between different times. Therefore, we suppose that the findings from different years and from different veterinarians can be compared with each other.

Moreover, the lack of a control group remains a limitation, especially when OR are calculated. The OR would probably be even higher, if horses with a certain cardiac finding were compared to a healthy population instead of horses with other cardiac conditions.

The lack of allometric scaling, when grading cardiac dimensions can also be named as a limitation to the results of this study, as some exceptionally small or large horses could have been graded incorrectly when using cut-off values for the grading of their cardiac dimensions. However, all horses were adult warmblood horses, therefore physiological cardiac dimensions should not vary excessively.

Finally, as always when examining the poorly performing horse, the only way to determine the cause of the problem is by diagnosis of exclusion. This is because the clinical complaint described can be caused by pathologies in almost all organ systems (Niederhofer and Müller 2017). Determining an accurate diagnosis and finding the cause of the exercise intolerance was attempted by conducting a very thorough examination of all horses presented because of a complaint of poor performance, including an examination of all organ systems commonly described as being responsible for performance deficits in the sport horse, especially an orthopedic and respiratory examination. A strict recorded exercise test including an exercising ECG was not performed in this population of horses. This could have altered results regarding the performance of the horses. However, all horses underwent an exercising examination and were closely monitored during the recovery period especially regarding heart rate and heart rate recovery. Moreover, most horses assessed as poor performing by the examining veterinarian were also presented because the rider noted a decrease in the horse's performance. This indicates that the horse was not performing as it used to at its usual level of training. At last, exercise examination, exercising heart rate and heart rate recovery was analyzed to make sure that any present cardiac finding was only declared as the cause of the exercise intolerance, if no other performance limiting pathologies could be found, heart rate after exercise was elevated above a physiological level and heart rate recovery was prolonged.

## Conclusion and clinical implications

We found valvular regurgitations to be a common, but rarely clinically relevant finding in a group of 261 warmblood sport

horses. Contrary to studies on racehorses which are mostly affected by TVI, we found MVI to be the most common valve affected, followed by AVI. The latter was especially common in older horses. We found a significant association between presence and grade of left atrial enlargement and the presence of AF. The latter was the most common arrhythmia in our population and the finding most often associated with exercise intolerance. Other arrhythmias were less common. AF was significantly associated with poor performance, as were SVPCs and severe MVI. To sum up, we can say that valvular regurgitations on their own rarely cause performance problems. However, they are associated with dimensional changes of the heart, which are associated with AF. This finding can be detrimental to a horse's performance potential.

## Abbreviations

AF = Atrial Fibrillation  
 AVI = Aortic Valve Regurgitation  
 CI = Confidence Interval  
 LA = Left Atrium  
 LV = Left Ventricle  
 mm = Millimeters  
 MVI = Mitral Valve Regurgitation  
 OR = Odds Ratio  
 PVI = Pulmonary Valve Regurgitation  
 RA = Right Atrium  
 RV = Right Ventricle  
 SVPC = Supraventricular Premature Complex  
 TVI = Tricuspid Valve Regurgitation  
 VPC = Ventricular Premature Complex  
 VSD = Ventricular Septal Defect

## References

- Al-Haidar A., Farnir F., Deleuze S., Sandersen C. F., Leroux A. A., Borde L., Cerri S., Amory H. (2013) Effect of breed, sex, age and body weight on echocardiographic measurements in the Equine species. *Res. Vet. Sci.* 95, 255–260; DOI 10.1016/j.rvsc.2013.02.014
- Allen K. J., Young L. E., Franklin S. H. (2016) Evaluation of heart rate and rhythm during exercise. *Equine Vet. Educ.* 28, 99–112; DOI 10.1111/eve.12405
- Barbesgaard L., Buhl R., Meldgaard C. (2010) Prevalence of exercise-associated arrhythmias in normal performing dressage horses. *Equine Vet. J.* 42, 202–207; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00223.x
- Berthoud D., Schwarzwald C. C. (2021) Echocardiographic assessment of left ventricular size and systolic function in warmblood horses using linear measurements, area-based indices, and volume estimates: A retrospective database analysis. *J. Vet. Intern. Med.* 35, 504–520; DOI 10.1111/jvim.15968
- Birks E. K., Durando M. M., Martin B. B. (2004) Chapter 2 - Clinical exercise testing: evaluation of the poor performing athlete, *Equine Sports Medicine and Surgery*, K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, R. J. Geor and W. Bayly. W. B. Saunders. Oxford, 9–18
- Bitschnau J., Wiestner T., Trachsel D. S., Auer J. A., Weishaupt M. A. (2010) Performance parameters and post exercise heart rate recovery in warmblood sports horses of different performance levels. *Equine Vet. J. Suppl.* 7, 17–22; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00260.x
- Bonagura J. D., Reef V. B. (2004) Chapter 8 - Disorders of the Cardiovascular System, *Equine Internal Medicine (Second Edition)*, S. M. Reed, W. M. Bayly and D. C. Sellon. W. B. Saunders. Saint Louis 355–459
- Buhl R., Carstensen H., Hesselkilde E. Z., Klein B. Z., Hougaard K. M., Ravn K. B., Loft-Andersen A. V., Fenner M. F., Pipper C., Jespersen T. (2018) Effect of induced chronic atrial fibrillation on exercise performance in Standardbred trotters. *J. Vet. Intern. Med.* 32, 1410–1419; DOI 10.1111/jvim.15137
- Buhl R., Erbsboll A. K., Eriksen L., Koch J. (2005) Changes over time in echocardiographic measurements in young Standardbred racehorses undergoing training and racing and association with racing performance. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 226, 1881–1887; DOI 10.2460/javma.2005.226.1881
- Buhl R., Erbsboll A. K., Eriksen L., Koch J. (2005) Use of color Doppler echocardiography to assess the development of valvular regurgitation in Standardbred trotters. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 227, 1630–1635; DOI 10.2460/javma.2005.227.1630
- Buhl R., Meldgaard C., Barbesgaard L. (2010) Cardiac arrhythmias in clinically healthy showjumping horses. *Equine Vet. J.* 42, 196–201; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00185.x
- Chope K. B. (2018) Cardiac/Cardiovascular Conditions Affecting Sport Horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 34, 409–425; DOI 10.1016/j.cveq.2018.04.001
- de Solis C. N. (2016) Exercising arrhythmias and sudden cardiac death in horses: Review of the literature and comparative aspects. *Equine Vet. J.* 48, 406–413; DOI 10.1111/evj.12580
- Declodet A., De Clercq D., Ven Sofie S., Van Der Vekens N., Sys S., Broux B., Van Loon G. (2017) Echocardiographic measurements of right heart size and function in healthy horses. *Equine Vet. J.* 49, 58–64; DOI 10.1111/evj.12554
- Deem D. A., Fregin G. F. (1982) Atrial fibrillation in horses: a review of 106 clinical cases, with consideration of prevalence, clinical signs, and prognosis. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 180, 261–265
- Durando M. M. (2019) Cardiovascular Causes of Poor Performance and Exercise Intolerance and Assessment of Safety in the Equine Athlete. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 35, 175–190; DOI 10.1016/j.cveq.2018.12.002
- Else R. W., Holmes J. R. (1972) Cardiac Pathology in the Horse. *Equine Vet. J.* 4, 1–8; DOI https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1972.tb03868.x
- Fraipont A., Van Erck E., Ramery E., Richard E., Denoix J. M., Lekeux P., Art T. (2011) Subclinical diseases underlying poor performance in endurance horses: diagnostic methods and predictive tests. *Vet. Rec.* 169, 154; DOI 10.1136/vr.d4142
- Gehlen H. (2010). *Pferdekardiologie*. Hannover, Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.
- Gehlen H., Goltz A., Rohn K., Stadler P. (2007) A survey of the frequency and development of heart disease in riding-horses - Part 1: Retrospective evaluation (1992–2003) and questionnaires. *Pferdeheilkunde* 23, 369–377; DOI 10.21836/PEM20070408
- Gehlen H., Goltz A., Rohn K., Stadler P. (2007) A survey of the frequency and development of heart disease in riding-horses - Part 2: Clinical and echocardiographic followup examination. *Pferdeheilkunde* 23, 378–387; DOI 10.21836/PEM20070409
- Gehlen H., Michl A., Stadler P. (2003) Clinical and echocardiographic follow-up study in warm-blood horses with heart valve insufficiency. *Pferdeheilkunde* 19, 379–386; DOI 10.21836/PEM20030406
- Gehlen H., Stadler P. (2002) Atrial fibrillation in warmblood horses – Echocardiography, therapy, prognosis and outcome in 72 cases. *Pferdeheilkunde* 18, 530–536; DOI 10.21836/PEM20020603
- Gehlen H., Stadler P., Deegen E. (1998) A cardiological scoring scheme for standardisation of cardiac examination in horses. *Pferdeheilkunde* 14, 107–114; DOI 10.21836/PEM19980201
- Hövener J., Barton A. K., Merle R., Gehlen H. (2020) Review: Poor performance in the warmblood sport horse – causes and diagnostic approach. *Pferdeheilkunde* 36, 511–530; DOI 10.21836/PEM20200604
- Hövener J., Pokar J., Merle R., Gehlen H. (2021) Association between Cardiac Auscultation and Echocardiographic Findings in Warmblood Horses. *Animals* 11, 3463



- Huesler I. M., Mitchell K. J., Schwarzwald C. C. (2016) Echocardiographic Assessment of Left Atrial Size and Function in Warmblood Horses: Reference Intervals, Allometric Scaling, and Agreement of Different Echocardiographic Variables. *J. Vet. Intern. Med.* 30, 1241–1252; DOI 10.1111/jvim.14368
- Jago R., Keen J. (2019) Identification of common equine cardiac murmurs. *In Practice* 41, 222–232; DOI 10.1136/inp.j1769
- Jose-Cunilleras E., Young L. E., Newton J. R., Marlin D. J. (2006) Cardiac arrhythmias during and after treadmill exercise in poorly performing Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J.* 38, 163–170; DOI 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05534.x
- Keen J. A. (2019) Examination of Horses with Cardiac Disease. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 35, 23–42; DOI 10.1016/j.cveq.2018.12.006
- Knight P., Evans D. (2000) Clinical abnormalities detected in post-race examinations of poorly performing Standardbreds. *Aust. Vet. J.* 78, 344–346; DOI 10.1111/j.1751-0813.2000.tb11790.x
- Kriz N. G., Hodgson D. R., Rose R. J. (2000) Prevalence and clinical importance of heart murmurs in racehorses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 216, 1441–1445; DOI 10.2460/javma.2000.216.1441
- Leroux A., Dettelleux J., Sandersen C., Borde L., Houben R., Haidar A., Art T., Amory H. (2013) Prevalence and Risk Factors for Cardiac Diseases in a Hospital-Based Population of 3,434 Horses (1994–2011). *J. Vet. Intern. Med.* 27, 1563–1570; DOI 10.1111/jvim.12197
- Maarse J. J. (2014). Valvular regurgitations, heart murmurs and cardiac dimensions in elite eventing horses., studententheses.uu.nl
- Maré L., Boshuizen B., Plancke L., De Bruijn M., Delesalle C. (2017) Standardized exercise tests in horses: Current situation and future perspectives. *Vlaams Dierg. Tijdschft.* 86, 63–72; DOI 10.21825/vdt.v86i2.16290
- Martin B., Reef V., Parente E., Sage A. (2000) Causes of poor performance of horses during training, racing, or showing: 348 cases (1992–1996). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 216, 554–558; DOI 10.2460/javma.2000.216.554
- Martin B. B., Davidson E. J., Durando M. M., Birks E. K. (2004) Chapter 4 – Clinical exercise testing: overview of causes of poor performance, *Equine Sports Medicine and Surgery*, K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, R. J. Geor and W. Bayly. W. B. Saunders. Oxford 32–41
- McGurrin K. (2015) The diagnosis and management of atrial fibrillation in the horse. *Vet. Med. Res. Rep.* 83; DOI 10.2147/vmrr.s46304
- McHugh M. L. (2012) Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochem. Med. (Zagreb)* 22, 276–282
- Melkova P., Jahn P., Bodecek S., Dobesova O., Hanak J. (2016) Evaluation of poor performance in racehorses using a high-speed treadmill. *Vet. Med.* 61, 243–248; DOI 10.17221/8878-vetmed
- Mitchell K. J. (2019) Equine Electrocardiography. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 35, 65–83; DOI 10.1016/j.cveq.2018.12.007
- Munsters C. C. B. M., van Iwaarden A., van Weeren R., Sloet van Oldruijtenborgh-Oosterbaan M. M. (2014) Exercise testing in warmblood sport horses under field conditions. *Vet. J.* 202, 11–19; DOI 10.1016/j.tvjl.2014.07.019
- Navas de Solis C., Green C., Sides R., Seino K., Bayly W. (2014) Arrhythmias in Thoroughbreds during and after Treadmill and Racetrack Exercise. *Equine Vet. J.* 46, 24–25; DOI 10.1111/evj.12267\_74
- Niederhofer M., Müller A. (2017) Leistungsschwäche. *Differenzialdiagnosen Innere Medizin beim Pferd*. H. Gehlen. Stuttgart, Enke Verlag. DOI 10.1055/b-004-140 271
- Ohmura H., Hiraga A., Takahashi T., Kai M., Jones J. H. (2003) Risk factors for atrial fibrillation during racing in slow-finishing horses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 223, 84–88; DOI 10.2460/javma.2003.223.84
- Onmaz A. C., Güneş V., Pavaloiu A., Van Den Hoven R. (2019) The coexistence of heart murmurs and arrhythmias in an equine hospital population – a retrospective study. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 43, 481–485; DOI 10.3906/vet-1901-78
- Patteson M. (1995). *Equine cardiology*. Oxford; Cambridge, MA, Blackwell Science.
- Patteson M. W., Cripps P. J. (1993) A survey of cardiac auscultatory findings in horses. *Equine Vet. J.* 25, 409–415; DOI 10.1111/j.2042-3306.1993.tb02982.x
- Pedersen S. K., Cribb A. E., Windeyer M. C., Read E. K., French D., Banse H. E. (2018) Risk factors for equine glandular and squamous gastric disease in show jumping Warmbloods. *Equine Vet. J.* 50, 747–751; DOI 10.1111/evj.12949
- Physick-Sheard P. W., McGurrin M. K. J. (2010) Ventricular Arrhythmias during Race Recovery in Standardbred Racehorses and Associations with Autonomic Activity. *J. Vet. Intern. Med.* 24, 1158–1166; DOI 10.1111/j.1939-1676.2010.0553.x
- Reef V. B. (1990) Echocardiographic examination in the horse: The basics. *Comp. Cont. Educ. Pract. Vet.* 12, 1312–1320
- Reef V. B. (1995) Heart murmurs in horses: determining their significance with echocardiography. *Equine Vet. J. Suppl.* (19), 71–80; DOI 10.1111/j.2042-3306.1995.tb04992.x
- Reef V. B., Bonagura J., Buhl R., McGurrin M. K. J., Schwarzwald C. C., Van Loon G., Young L. E. (2014) Recommendations for Management of Equine Athletes with Cardiovascular Abnormalities. *J. Vet. Intern. Med.* 28, 749–761; DOI 10.1111/jvim.12340
- Reef V. B., Levitan C. W., Spencer P. A. (1988) Factors affecting prognosis and conversion in equine atrial fibrillation. *J. Vet. Intern. Med.* 2, 1–6; DOI 10.1111/j.1939-1676.1988.tb01970.x
- Reef V. B., Reimer J. M., Spencer P. A. (1995) Treatment of Atrial Fibrillation in Horses: New Perspectives. *J. Vet. Intern. Med.* 9, 57–67; DOI 10.1111/j.1939-1676.1995.tb03274.x
- Reef V. B., Spencer P. (1987) Echocardiographic evaluation of equine aortic insufficiency. *Am. J. Vet. Res.* 48, 904–909
- Richard E. A., Fortier G. D., Pitel P. H., Dupuis M. C., Valette J. P., Art T., Denoix J. M., Lekeux P. M., Van Erck E. (2010) Sub-clinical diseases affecting performance in Standardbred trotters: Diagnostic methods and predictive parameters. *Vet. J.* 184, 282–289; DOI 10.1016/j.tvjl.2009.04.016
- Scansen B. (2019) Equine Congenital Heart Disease. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 35, 103–117; DOI 10.1016/j.cveq.2018.11.001
- Schwarzwald C. C. (2013) Herzerkrankungen als Ursache für Leistungsschwäche. *Bicentennial Congress of the Swiss Veterinary Association (GST)*; 10.5167/uzh-91152
- Schwarzwald C. C. (2019) Equine Echocardiography. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 35, 43–64; DOI 10.1016/j.cveq.2018.12.008
- van Erck E., Jakesova V., Lekeux P., Art T. (2006) Field evaluation of poor performance in Standardbred trotters. *Pferdeheilkunde* 22, 625–631; DOI 10.21836/Pem20060516
- van Loon G. (2019) Cardiac Arrhythmias in Horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 35, 85–102; DOI 10.1016/j.cveq.2018.12.004
- Verdegaal E. J. M., Voorhout G., van Loon G., Sloet van Oldruijtenborgh-Oosterbaan M. M. (2002) Herzgeräusche als Zufallsbefunde bei tierärztlichen Kauf- oder Verfassungsuntersuchungen. *Befunde und Verlauf bei 77 klinisch gesunden Pferden*; DOI 10.21836/PEM20020309
- Vernemmen I., Vera L., Van Steenkiste G., Van Loon G., Declodeet A. (2020) Reference values for 2-dimensional and M-mode echocardiography in Friesian and Warmblood horses. *J. Vet. Intern. Med.* 34, 2701–2709; DOI 10.1111/jvim.15938
- Vibe-Petersen G., Nielsen K. (1980) Electrocardiography in the horse. (A report of findings in 138 horses). *Nord. Vet. Med.* 32, 105–121
- Young L. E., Rogers K., Wood J. L. N. (2008) Heart Murmurs and Valvular Regurgitation in Thoroughbred Racehorses: Epidemiology and Associations with Athletic Performance 22, 418–426; DOI 10.1111/j.1939-1676.2008.0053.x
- Young L. E., Wood J. L. N. (2010) Effect of age and training on murmurs of atrioventricular valvular regurgitation in young Thoroughbreds. *Equine Vet. J.* 32, 195–199; DOI 10.2746/042516400776563563
- Zucca E., Ferrucci F., Stancari G., Saporiti T., Ferro E. (2010) The prevalence of cardiac murmurs among standardbred racehorses presented with poor performance. *J. Vet. Med. Sci.* 72, 781–785; DOI 10.1292/jvms.09-0217

## Erweiterte Zusammenfassung

### Befunde bei 261 kardiologischen Untersuchungen von Warmblutsporth Pferden und ihre Assoziation mit Leistungsschwäche

Klappenrückflüsse und Arrhythmien werden regelmäßig bei Sportpferden diagnostiziert. Viele dieser Pferde werden zur eingehenden Herzuntersuchung vorgestellt ohne im Vorfeld klinische Symptome einer Herzerkrankung aufzuweisen. Oft wird vorberichtlich lediglich von einem auskultierbaren Herzgeräusch berichtet und die Pferde erbringen normale Leistung. Ein gewisser Prozentsatz von Pferden mit kardiologischen Befunden wird jedoch auch aufgrund klinischer Beschwerden, wie etwa Leistungsinsuffizienz zur kardiologischen Untersuchung vorgestellt. Daher stellt sich die Frage, welche Herzbefunde in der Regel klinische Relevanz besitzen und welche mit großer Wahrscheinlichkeit keine klinischen Konsequenzen haben oder haben werden. Dies ist vor allem der Fall, wenn es um die Ermittlung der Ursache einer Leistungsschwäche geht oder auch wenn, etwa im Rahmen einer Ankaufsuntersuchung, eine Prognose für die zukünftige Leistungsfähigkeit des Pferdes abgegeben werden soll. In diesem Artikel wurden 261 kardiologische Untersuchungen bei sportlich genutzten Warmblutpferden retrospektiv ausgewertet. Die Pferde wurden in einer großen Überweisungsklinik in Norddeutschland, entweder aufgrund klinischer Symptome, welche auf eine Herzerkrankung hinweisen könnten, oder aufgrund eines zufällig festgestellten Auskultationsbefundes klinisch, echo- und elektrokardiographisch, sowie hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit untersucht. Nur Erstuntersuchungen von Pferden mit einem echo- oder elektrokardiografischen Befund wurden in die Studie aufgenommen. Hinsichtlich der Klappeninsuffizienzen wurde festgestellt, dass Rückflüsse der Mitralklappe am häufigsten vorkamen ( $n = 194$ ), gefolgt von Aortenklappenrückflüssen ( $n = 46$ ). Trikuspidal- ( $n = 36$ ) und Pulmonalklappenrückflüsse ( $n = 3$ ), sowie Ventrikelseptumdefekte ( $n = 3$ ) waren deutlich seltener zu finden. Zusätzlich wurde festgestellt, dass Pferde, welche von Aortenklappeninsuffizienzen betroffen waren im Schnitt älter waren (11 Jahre), als Pferde mit Mitralklappen- oder Trikuspidalinsuffizienzen (8 Jahre). 83 Pferde wiesen zum Untersuchungszeitpunkt Dimensionsveränderungen einer oder mehrerer Abteilungen des Herzens auf. Dabei war der linke Vorhof am häufigsten betroffen ( $n = 59$ ). 54 Pferde wiesen Arrhythmien in der elektrokardiografischen Untersuchung in Ruhe auf und 24 während des Belastungselektrokardiogrammes. Es konnte zudem festgestellt werden, dass Vergrößerungen des linken Vorhofes mit einem erhöhten Risiko für Vorhofflimmern verbunden waren ( $OR = 3,18$ ,  $p = 0,05$ ).

Sofern das Herz nach gründlicher Untersuchung in Ruhe und Belastung und nach Ausschluss anderer potentieller Ursachen, wie etwa Erkrankungen des Bewegungsapparates oder der Atemwege als Ursache für eine vorberichtliche und klinisch feststellbare Leistungsschwäche festgestellt werden konnte, war Vorhofflimmern der häufigste damit einhergehende Befund. Auch im Rahmen einer logistischen Regression wurde Vorhofflimmern als Herzerkrankung mit dem größten Risiko für Leistungsinsuffizienz in dieser Population von Warmblutpferden ermittelt ( $OR = 22,77$ ,  $p < 0,001$ ). Andere Befunde, die häufig bei Pferden mit Leistungsschwäche diagnostiziert wurden, waren hochgradige Mitralklappeninsuffizienzen, hochgradige Trikuspidalklappeninsuffizienzen, Aortenklappeninsuffizienzen, sowie atriale und ventrikuläre Extrasystolen. Insgesamt wurde kardiologisch bedingte Leistungsschwäche vor allem bei Springpferden, welche in den Klassen L bis M starteten diagnostiziert, auch wenn dies nicht die größte Gruppe von Pferden war die zur Untersuchung vorgestellt wurde.

Insgesamt lässt sich aber sagen, dass ein Großteil der Pferde ( $n = 176$ ), bei denen ein Herzbefund diagnostiziert wurde, keinerlei klinische Anzeichen einer Herzerkrankung aufwiesen. Bei diesen Pferden wurden lediglich im Rahmen einer Routine- oder einer Ankaufsuntersuchung ein Herzgeräusch oder eine Arrhythmie auskultiert. Insgesamt lässt sich daher, anhand der Daten, welche wir an der beschriebenen Population erheben konnten, sagen, dass Klappeninsuffizienzen, vor allem solche, die als mild bis moderat einzustufen sind, in der Regel nicht mit klinischen Symptomen verbunden sind. Man muss jedoch erwähnen, dass das Vorliegen von Klappenrückflüssen mit einem erhöhten Risiko für die Entwicklung von Dimensionsveränderungen des Herzens verbunden ist. Diese, hierbei vor allem Vergrößerungen des linken Vorhofes, sind mit einem erhöhten Risiko für Vorhofflimmern verbunden. Dies wiederum ist der kardiologische Befund, welcher am stärksten mit Leistungsschwäche assoziiert ist. Daher sollten auch bei Pferden mit milden Herzbefunden Folgeuntersuchungen erfolgen.

Schlüsselwörter: Kardiologie, Sportpferd, Klappeninsuffizienz, Arrhythmie, Leistungsschwäche

### III. ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION

In unserer Studie konnten wir feststellen, dass bei einem hohen Anteil der untersuchten Warmblutpferde die Befunde von Auskultation und Echokardiografie hinsichtlich der betroffenen Klappe übereinstimmten. Die Rate der Übereinstimmung war besonders hoch ( $K = 0.94$ ) bei Pferden, bei denen nur ein Herzgeräusch und nur eine Klappeninsuffizienz vorhanden war. Wenn mehrere Herzgeräusche auskultierbar waren und/ oder im Herzultraschall mehrere Klappeninsuffizienzen feststellbar waren war die Übereinstimmung weniger deutlich aber immer noch substantiell ( $K = 0.74$ ). In Studien an Rennpferden konnte ebenfalls festgestellt werden, dass die Auskultation ein sehr spezifisches Untersuchungsverfahren darstellt und in vielen Fällen, hinsichtlich der betroffenen Klappe zum selben Ergebnis kam wie die Echokardiografie (Kriz et al. 2000, Young und Wood 2010). In diesen Studien wurden Übereinstimmungsraten von bis zu 100% erreicht (Young und Wood 2010). Eine derart hohe Übereinstimmung konnte in unserer Pferdepopulation nicht erreicht werden. Dies hängt vielleicht auch mit der höheren Körpermasse der Warmblüter im Vergleich zum Rennpferd und den damit verbundenen, etwas schwereren Auskultationsbedingungen für die Untersucher zusammen (Kriz et al. 2000). Die Genauigkeit der Auskultation war jedoch in unserer Studie deutlich höher als die von Pferdepraktikern durchgeführten Auskultationen in anderen Studien, wie etwa in der Studie von Naylor et al., in der die Übereinstimmung zwischen Auskultation und Echokardiografie lediglich 33% betrug (Naylor et al. 2001). Demzufolge können wir behaupten, dass die Herzauskultation ein relativ spezifisches Verfahren ist, um die dem Herzgeräusch zugrunde liegende Klappeninsuffizienz zu identifizieren. Damit kann bereits eine gewisse Aussage über mit der Herzerkrankung verbundene Risiken und über die Wahrscheinlichkeit, dass eine Klappeninsuffizienz mit klinischen Symptomen einhergeht, getroffen werden. Dies hängt damit zusammen, dass verschiedene Klappeninsuffizienzen unterschiedlich häufig zu klinischen Symptomen wie etwa Leistungsschwäche führen. So ist etwa die Aortenklappeninsuffizienz in der Literatur als Ursache für Leistungsinsuffizienz beschrieben (Gehlen et al. 2007), während Insuffizienzen der Atrioventrikularklappen in der Regel nicht mit klinischen Symptomen verbunden sind (Kriz et al. 2000, Gehlen et al. 2007, Young et al. 2008). Limitierend für unsere Studie ist sicherlich die Tatsache, dass Herzgeräusche lediglich hinsichtlich der Herzphase, in der sie auftraten, der Seite, auf der sie am lautesten zu hören waren und ihrer Lautstärke charakterisiert wurden. Eine genauere Charakterisierung hinsichtlich Dauer (früh-, spät-, holo-, pansystolisch/diastolisch), sowie der Art des Geräusches (crescendo/ decrescendo) hätte vermutlich zu einer noch höheren Übereinstimmung zwischen Auskultation und Herzultraschall geführt, da sich funktionale Herzgeräusche und solche, die von Herzklappeninsuffizienzen herrühren hinsichtlich dieser Parameter noch besser differenzieren lassen (Jago und Keen 2019).

Dies war jedoch nicht möglich, da die Daten retrospektiv erhoben wurden und Dauer und Art des Geräusches, im Gegensatz zu den anderen Parametern in einer Vielzahl der Fälle nicht erhoben bzw. nicht dokumentiert wurden. Neben der Tatsache, dass die betroffene Klappe den Charakter des Herzgeräusches bestimmt, vermuteten wir, dass der Grad der Klappeninsuffizienz, sowie die Präsenz von Veränderungen der Herzdimensionen einen Einfluss auf die Lautstärke des auskultierbaren Herzgeräusches haben könnte. In der Literatur existieren kontroverse Informationen über den Einfluss, den der Schweregrad einer Klappeninsuffizienz auf die Lautstärke des Herzgeräusches hat. So fanden Blissit und Bonagura, dass lautere Herzgeräusche in der Echokardiografie mit größeren Rückflüssen von längerer Dauer verbunden waren (Blissit und Bonagura 1995). Ebenso fand Reef, dass Herzgeräusche mit einer Intensität von weniger als 3/6 und ohne das Anzeichen kardiovaskulärer Erkrankungen in der Regel mit geringgradigen Klappeninsuffizienzen verbunden waren (Reef 1985). Andere Studien hingegen zeigten, dass auch leise Herzgeräusche von hochgradigen Klappeninsuffizienzen herrühren können, ebenso wie laute Herzgeräusche ihren Ursprung in geringgradigen Insuffizienzen haben können (Brown 1985). In der Human-, sowie der Kleintiermedizin wurden ebenfalls Studien zu diesem Thema durchgeführt. In der Humanmedizin kamen Desjardins et al. zu dem Schluss, dass die Intensität der auskultierten Herzgeräusche signifikant mit dem Schweregrad von Insuffizienzen der Mitral- und Aortenklappe die mittels Echokardiographie diagnostiziert wurden korreliert (Desjardins et al. 1996). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Studien, die sich mit der Übereinstimmung dieser beiden Untersuchungsmethoden bei Hunden (Caivano et al. 2018, Rishniw et al. 2019) befasst haben. In unserer Population zeigte sich eine ordentliche Übereinstimmung zwischen Grad des Herzgeräusches und Schweregrad der assoziierten Klappeninsuffizienz ( $K = 0.32$ ). So konnten wir feststellen, dass in 86% der Fälle Herzgeräusche vom Grad 1 und 2 von geringgradigen Herzklappeninsuffizienzen ausgelöst wurden und nur zu einem Prozent von hochgradigen Rückflüssen. Caivano et al. fanden in einer Population von 284 Hunden ebenfalls heraus, dass keiner der Hunde, welcher nur ein geringgradiges Herzgeräusch hatte von einer schweren Klappenerkrankung betroffen war (Caivano et al. 2018). In derselben Population von Hunden wurde jedoch auch festgestellt, dass die Differenzierung bei lauterem Herzgeräuschen weniger zuverlässig war. So hatten 10% der Hunde mit moderaten Herzgeräuschen schwere Klappenerkrankungen und 20% der Hunde mit hochgradigen Herzgeräuschen nur moderate oder sogar milde Klappenbefunde (Caivano et al. 2018). Wir konnten ebenfalls keinen signifikanten Unterschied bezüglich Grad des Herzgeräusches zwischen mittel- und hochgradigen Herzklappenrückflüssen in der untersuchten Pferdepopulation feststellen. Tatsächlich waren nur 40% der hochgradigen Rückflüsse mit einem Herzgeräusch von Grad 5 oder 6 vergesellschaftet, während 45% lediglich ein Herzgeräusch von Grad 3 oder 4 auslösten. Dies zeigt, dass die Herzauskultation

alleine keine sicherere Aussage über den Schweregrad einer Klappeninsuffizienz erlaubt. Vor allem die Tatsache, dass hochgradige Klappenrückflüsse in fast der Hälfte der Fälle lediglich ein Herzgeräusch dritten bis vierten Grades auslösen, birgt die Gefahr der Unterschätzung dieser moderaten Auskultationsbefunde. Lediglich eine Abgrenzung geringgradiger von mittel- bis hochgradigen Herzklappenrückflüssen ist einigermaßen zuverlässig möglich. Dies untermauert die aktuellen Empfehlungen des Consensus Statements zu Herzerkrankungen beim Pferd, welche eine echokardiografische Untersuchung von Pferden mit linksseitigen systolischen Herzgeräuschen lauter als Grad 3/6, mit rechtsseitigen systolischen Herzgeräuschen lauter als Grad 4/6 und jeglichem linksseitigen diastolischem Herzgeräusch, insbesondere falls eine Aortenklappeninsuffizienz vermutet wird, empfehlen (Reef et al. 2014, Schwarzwald 2016). Zudem stellte sich uns die Frage, welchen Einfluss Veränderungen der Herzdimensionen auf die Lautstärke des auskultierbaren Herzgeräusches hat. Über diesen Zusammenhang ist bei Pferden sehr wenig bekannt. Lediglich Gehlen et al. beschreiben, dass bei Nachuntersuchungen von Pferden mit Klappeninsuffizienzen die Intensität des Herzgeräusches sich verstärkt, wenn in der echokardiografischen Nachuntersuchung Vergrößerungen der Herzdimensionen festgestellt werden konnten (Gehlen et al. 2003). Eine direkte Assoziation konnte jedoch nicht festgestellt werden, da sich der Grad der Klappeninsuffizienz in den meisten Fällen ebenfalls verstärkte (Gehlen et al. 2003). Bei Hunden konnte festgestellt werden, dass 90% der Tiere mit geringgradigen Herzgeräuschen keine strukturellen Veränderungen am Herzen aufwiesen (Ljungvall et al. 2014). Studien bei Katzen kamen zu ähnlichen Ergebnissen (Wagner et al. 2010). Wir konnten feststellen, dass Pferde mit Dimensionsvergrößerungen im Durchschnitt ein lauterer Herzgeräusch aufwiesen als solche mit normalen Herzdimensionen. So betrug die durchschnittliche Lautstärke eines Herzgeräusches bei Pferden mit physiologischen Herzdimensionen 2,5/6, während bei Pferden mit Dimensionsveränderungen im Durchschnitt ein Geräusch vom Grad 3,3/6 auskultiert werden konnte. Wir konnten jedoch auch feststellen, dass Pferde mit höhergradigen Klappeninsuffizienzen und damit verbundenen, lauterer Herzgeräuschen häufiger auch von Dimensionsveränderungen betroffen sind. Demzufolge ist mit diesem Test nicht eindeutig zu erklären, ob das höhergradige Herzgeräusch aufgrund der Dimensionsveränderungen zustande kommt, oder ob diesem einfach eine schwerwiegendere Klappeninsuffizienz zugrunde liegt. Mithilfe von post-hoc Tests konnten wir feststellen, dass das Vorliegen von Veränderungen der Herzdimensionen die Lautstärke des Herzgeräusches auch unabhängig vom Schweregrad der assoziierten Klappeninsuffizienz beeinflusst. So verändern etwa Dimensionsveränderungen der linken Herzkammer die Intensität eines linksseitigen, diastolischen Herzgeräusches unabhängig vom Schweregrad der Aortenklappeninsuffizienz. Dies passierte jedoch nicht in einer linearen Art und Weise, so dass das Herzgeräusch etwa auch durch die Dimensionsveränderungen abgeschwächt werden kann.

Neben der Genauigkeit der Auskultation beschäftigten wir uns in der vorliegenden Studie auch mit dem Vorliegen, sowie dem Schweregrad verschiedener Herzerkrankungen der untersuchten aktiven Warmblutsporthpferde. Warmblutpferde sind aufgrund ihrer sportlichen Nutzung bis ins höhere Alter und auch aufgrund anderer sportlicher Anforderungen, die an sie gestellt werden, nicht mit Rennpferden zu vergleichen (Gehlen et al. 2007, Munsters et al. 2014). Dies trifft vor allem auch auf die Herzerkrankungen und ihre klinischen Auswirkungen zu, da die kardiovaskulären Anforderungen an das Pferd bei den Reitsportdisziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit grundsätzlich niedriger sind als beim Trab- oder Galopprennen (Munsters et al. 2014, Maré et al. 2017). Während in der Rennpferdepopulation Rückflüsse an der Trikuspidalklappe am häufigsten festgestellt werden, (Patteson und Cripps 1993, Kriz et al. 2000, Young et al. 2008, Zucca et al. 2010, Leroux et al. 2013) ist beim Warmblutpferd am häufigsten die MVI, gefolgt von der AVI festzustellen, während TVI eher selten ist (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2007, Leroux et al. 2013). Dies konnten wir in unserer Population bestätigen. Bei 69% der Pferde die echokardiografisch untersucht wurden konnte ein Rückfluss an der Mitralklappe festgestellt werden. Zweithäufigster Befund waren Aortenklappeninsuffizienzen, wovon insgesamt 16% der untersuchten Tiere betroffen waren. TVI wurden lediglich bei 13% der untersuchten Pferde festgestellt und PVI sogar bei nur einem Prozent. Insuffizienzen der Trikuspidalklappe, welche bei Galopp- und Trabrennpferden generell am häufigsten festgestellt werden, sind also beim Warmblutpferd eher seltene Befunde. Neben potenziellen genetischen Einflussfaktoren spielt hierbei möglicherweise auch das intensive Training in jungen Jahren bei Rennpferden eine Rolle. So konnte festgestellt werden, dass durch den Beginn intensiven Trainings die Häufigkeit von TVI bei jungen Galopp- (Young und Wood 2010) und Trabrennpferden (Buhl et al. 2005) signifikant zunahm. Zudem konnten Buhl et al. feststellen, dass Pferde, welche regelmäßig Rennen liefen häufiger von TVI betroffen waren (Buhl et al. 2005), als solche, die weniger sportlich gefordert wurden. Es wäre daher möglich, dass eine starke Belastung des Herz-Kreislauf-Systems in jungen Jahren zu einer höheren Prävalenz von TVI führen könnte. Im Gegensatz zu Rennpferden werden Warmblutpferde erst mit höherem Alter und in der Regel weniger intensiv als Rennpferde trainiert, was die niedrige Inzidenz von TVI erklären könnte.

Wir konnten außerdem feststellen, dass sich die Häufigkeit der Klappenerkrankungen zwischen verschiedenen Altersgruppen unterschieden. So treten AVI vermehrt bei älteren Pferden auf. 56% der Pferde, bei denen diese Diagnose gestellt wurde, waren zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung über 10 Jahre alt, während 73% der Pferde mit MVI und 75% der Pferde mit TVI jünger als 10 Jahre waren. Zudem lag das Durchschnittsalter von Pferden mit MVI bei 8,2 Jahren, das von Pferden mit TVI bei 8,4 Jahren und das von Pferden mit AVI bei 11,1 Jahren. Dies deckt sich mit Ergebnissen anderer Studien, welche ebenfalls feststellen konnten, dass AVI klassischerweise bei älteren Pferden zu finden ist (Else und Holmes 1972,

Leroux et al. 2013), während TVI und MVI eher bei jüngeren Pferden befundet wird (Leroux et al. 2013). Dies erklärt vermutlich auch die geringe Inzidenz von AVI in der insgesamt sehr jungen Rennpferdepopulation (Buhl et al. 2005, Young und Wood 2010). Bezüglich Arrhythmien konnten wir feststellen, dass AF, welches in 59% der Fälle, in denen eine Arrhythmie diagnostiziert wurde, festgestellt wurde, die häufigste pathologische Arrhythmie in der beschriebenen Population ist. Dies deckt sich auch mit Befunden anderer Studien, in denen beispielsweise sogar 76% der diagnostizierten Arrhythmien auf AF zurückzuführen waren (Gehlen et al. 2007). Insgesamt wird die Inzidenz von AF in der Gesamtpferdepopulation mit etwa 2% (Gehlen 2010) und damit auch als die häufigste pathologische Arrhythmie beim Pferd (van Loon 2019) beschrieben. Wir fanden AF bei insgesamt 12% (n=32) der Pferde, bei denen ein EKG durchgeführt wurde. Eine andere Studie fand mit 16.1% einen vergleichbar hohen Anteil von Pferden mit AF unter den Pferden, die einer EKG-Untersuchung unterzogen wurden und konnten diesen Befund ebenfalls als häufigste Arrhythmie festlegen (Leroux et al. 2013). In einigen anderen Studien wurde hingegen der AV-Block 2. Grades oder VPC als häufigste Arrhythmien diagnostiziert (Vibe- Petersen und Nielsen 1980, Onmaz et al. 2019). AV-Block Grad 2 war auch in unserer Studie ein häufiger Befund, welcher bei 12 Pferden diagnostiziert wurde. Möglicherweise, trat ein solcher Befund sogar noch häufiger auf. Da der AV-Block zweiten Grades jedoch häufig als physiologischer Befund beim Pferd beschrieben wird (van Loon 2019) ist es möglich, dass die Untersucher diesen Befund in ihrem Befundbericht unerwähnt lassen und es dadurch zu einer Verzerrung der Ergebnisse gekommen ist. Extrasystolen waren in unserer Pferdepopulation ein eher seltener Befund im Ruhe-EKG, traten aber unter Belastung oder in der Beruhigungsphase vermehrt auf. Dies bedeutet, dass von 69 Pferden, bei denen ein Belastungs-EKG durchgeführt wurde bei 2 Pferden SVPCs und bei 6 Pferden supraventrikuläre und ventrikuläre Extrasystolen diagnostiziert wurden. In anderen Studien wurden SVPCs bei 29% (Barbesgaard et al. 2010) oder sogar bei 89% (Buhl et al. 2010) der Pferde, bei denen ein Belastungs-EKG durchgeführt wurde befundet. Einige Studien legen nahe, dass VCPs häufigere Arrhythmien sind, als in unserer Population beschrieben. So liegen Studien vor, die von einer Häufigkeit von 5% (Barbesgaard et al. 2010, Leroux et al. 2013) oder sogar 21% (Buhl et al. 2010) berichten. Die insgesamt vergleichsweise niedrige Inzidenz von Extrasystolen in der hier untersuchten Population könnte möglicherweise auch mit der vergleichsweise niedrigen Zahl durchgeführter Belastungs-EKGs zusammenhängen, da Extrasystolen vor allem in der Beruhigungsphase nach der Belastung auftreten und hier eventuell, trotz gründlicher Auskultation in dieser Phase ohne Belastungs-EKG unentdeckt geblieben sind (Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010, van Loon 2019).

Wir konnten in der vorliegenden Studie einen deutlichen Zusammenhang zwischen verschiedenen Befunden am Pferdeherzen feststellen. So sind bestimmte Klappenrückflüsse mit einem signifikant erhöhten Risiko für bestimmte Dimensionsveränderungen verbunden. So ist das Vorliegen von MVI mit einem dreifach erhöhten Risiko für Dimensionsveränderungen

des LA und das Vorliegen von AVI mit einem dreizehnfach erhöhten Risiko für Vergrößerungen des LV verbunden. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen AVI und Vergrößerung des LA und MVI und Vergrößerung des LV konnte in dieser Population, anders als im letzten Consensus Paper zu Herzerkrankungen des Pferdes nicht festgestellt werden (Reef et al. 2014). Noch höhere Werte konnten für TVI und Vergrößerungen des RA festgestellt werden. In diesem Fall war das Risiko für Dimensionsveränderungen des RA achtundzwanzigmal so hoch, wenn TVI vorlag, als wenn dieser Befund nicht vorlag. Ebenso konnte ein zwanzigfach erhöhtes Risiko für rechtsventrikuläre Vergrößerung bei Pferden mit TVI festgestellt werden. Auch in anderen Studien konnte festgestellt werden, dass Pferde mit Dimensionsveränderungen der Herzabteilungen in den allermeisten Fällen auch Klappeninsuffizienzen aufweisen (Gehlen et al. 2003, Gehlen et al. 2007, Gehlen et al. 2007). Oft wird auch beschrieben, dass das Vorliegen von Klappeninsuffizienzen, hierbei vor allem Insuffizienzen der Atrioventrikularklappen, zu einem erhöhten Risiko für die Entwicklung von Arrhythmien und hierbei besonders von Vorhofflimmern führen kann (Reef et al. 1988, Leroux et al. 2013, Onmaz et al. 2019). Dies konnten wir in der untersuchten Pferdepopulation teilweise bestätigen. Das Vorliegen von milder bis moderater MVI und TVI führte nicht zu einem erhöhten Risiko für Vorhofflimmern. Wir konnten jedoch feststellen, dass hochgradige MVI und TVI sehr wohl zu einem erhöhten Risiko für AF führten. Dies ergibt Sinn, da hochgradige Insuffizienzen der Mitral- und Trikuspidalklappe definitionsgemäß mit Dimensionsveränderungen des linken bzw. des rechten Vorhofes verbunden sind (Reef et al. 2014) und wir ein deutlich erhöhtes Risiko für Vorhofflimmern bei Pferden mit Dimensionsvergrößerungen des linken Vorhofes feststellen konnten. Auch andere Studien fanden, dass Pferde mit Vorhofflimmern in mehr als der Hälfte der Fälle auch Veränderungen der Vorhofdimensionen aufwiesen.

Verglichen mit Atemwegs- und orthopädischen Erkrankungen sind Herzbefunde in der Literatur vergleichsweise selten als Auslöser für Leistungsinsuffizienz beschrieben (Morris und Seeherman 1991, Martin et al. 2000, van Erck et al. 2006). Viele Pferde mit Herzbefunden können zudem normale Leistungen erbringen (Kriz et al. 2000, Young et al. 2008, Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010) und zeigen auch in Verlaufsuntersuchungen häufig keinen Leistungsabfall (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2003, Gehlen et al. 2007). In einer groß angelegten Studie (Gehlen et al. 2007) wurden nur 20% der untersuchten Pferde wegen vorberichtlicher Leistungsinsuffizienz zur Untersuchung vorgestellt. Auch in der von uns untersuchten Population hatten nur 26% der Pferde eine Leistungsschwäche als Vorbericht.

Dies erschwert die Einschätzung von Herzbefunden bei Pferden mit Leistungsschwäche erheblich und oft sind andere Organsysteme verantwortlich für verminderte Leistungsfähigkeit des Pferdes, auch wenn ein Herzbefund festgestellt werden konnte (Martin et al. 2000). So konnte auch in der hier untersuchten Pferdepopulation festgestellt werden, dass bei einem großen Anteil der Pferde, welche einen Herzbefund verbunden mit klinischer



Leistungsschwäche aufwiesen, nach gründlicher Untersuchung andere Organsysteme als Auslöser der Leistungsinsuffizienz festgestellt werden konnten. Von den 67 Pferden, welche zur kardiologischen Untersuchung wegen Leistungseinbußen vorstellig wurden, konnte nur bei 39 Pferden kardiologische Befunde, durch Ausschluss anderer Ursachen oder aufgrund der Schwere der Befunde, als leistungsmindernde Erkrankung festgestellt werden. In 51% der Fälle in denen Herzerkrankungen leistungsmindernd waren, lag AF vor und 63% der Pferde mit AF zeigten eine verminderte Leistungsfähigkeit. Zudem konnten wir feststellen, dass AF insgesamt die Herzerkrankung ist, welche das größte Risiko für Leistungsinsuffizienz mit sich bringt. Auch in der Literatur wird AF als die Herzerkrankung mit dem größten leistungsmindernden Potential beschrieben (Reef et al. 1988, Schwarzwald 2013, McGurrin 2015, Durando 2019) und im Tierversuch konnte nachgewiesen werden, dass induziertes AF die Leistungsfähigkeit von Rennpferden vermindert (Buhl et al. 2018). Bei anderen Herzerkrankungen ist weit weniger eindeutig, ob sie die Leistungsfähigkeit der betroffenen Pferde beeinflussen. Andere Rhythmusstörungen, wie etwa SVPCs und VPCs wurden schon als Ursachen für Leistungsschwäche beschrieben (Martin et al. 2000, Fraipont et al. 2011). Andererseits gibt es auch Studien, welche zahlreiche Extrasystolen bei gesunden Sportpferden ohne Anzeichen von Leistungsschwäche fanden (Barbesgaard et al. 2010, Buhl et al. 2010). Wir konnten feststellen, dass das Vorliegen von SVPCs ein signifikant erhöhtes Risiko für Leistungsschwäche zur Folge hatte, während dies für VPCs in der hier untersuchten Pferdepopulation nicht festgestellt werden konnte. Klappeninsuffizienzen werden in der Regel nicht als leistungsmindernde Erkrankung eingestuft, da die meisten Pferde mit Klappenrückflüssen normale Leistung erbringen (Martin et al. 2000, Verdegaal et al. 2002, Fraipont et al. 2011). Auch milde, moderate oder hochgradige AVI waren relativ häufig bei leistungsinsuffizienten Pferden zu finden. Dies deckt sich mit anderen Studien, in denen AVI als Auslöser für LI beschrieben wird (Gehlen et al. 2007, ter Woort et al. 2021). Wie bereits beschrieben werden auch bei Rennpferden Klappeninsuffizienzen, vor allem solche der Atrioventrikularklappen häufig diagnostiziert, haben in der Regel jedoch keinen Einfluss auf die Rennleistung der betroffenen Pferde (Kriz et al. 2000, Buhl et al. 2005, Young et al. 2008). Auch beim Warmblutpferd werden TVI und MVI in der Regel bei klinisch unauffälligen Pferden festgestellt (Verdegaal et al. 2002, Gehlen et al. 2003, Gehlen et al. 2007, ter Woort et al. 2021). In unserer Population war MVI signifikant mit Leistungsschwäche assoziiert. Jedoch war das Risiko für Leistungsschwäche nur bei hochgradiger MVI erhöht. Bei milder oder moderater MVI war das Risiko jedoch nicht erhöht. Auch milde und moderate TVI sind selten mit Leistungsinsuffizienz vergesellschaftet, jedoch waren alle Pferde mit hochgradiger TVI leistungsinsuffizient. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die meisten Klappenrückflüsse die Leistung der betroffenen Pferde nicht negativ beeinflussen. Jedoch erhöhen sie das Risiko für die Entstehung von Dimensionsveränderungen, welche wiederum zu einem erhöhten Risiko für Vorhofflimmern führen, welches der Befund mit dem größten Risiko für LI in unserer Population ist.

Inwieweit das Herz-Kreislauf-System eines Sportpferdes während Training und Wettkampf gefordert wird hängt stark davon ab, in welcher Disziplin und in welcher Leistungsklasse ein Pferd an den Start geht und mit welcher Intensität es dementsprechend trainiert wird (Bitschnau et al. 2010). Von den klassischen Reitsportdisziplinen Dressur, Springen und Vielseitigkeit stellen sicherlich Vielseitigkeitsprüfungen, vor allem aufgrund der anspruchsvollen Geländeteilprüfungen die höchsten Anforderungen an das Herzkreislaufsystem des Pferdes (Munsters et al. 2014). Außerdem unterliegen Pferde in höheren Leistungsklassen stärkerer körperlicher Belastung als solche, die in niedrigeren Klassen an den Start gehen (Bitschnau et al. 2010). Aufgrund dessen vermuteten wir, dass Pferde in höheren Leistungsklassen und solche, die in Vielseitigkeitsprüfungen starteten eher durch Herzbefunde in ihrer sportlichen Leistungsfähigkeit eingeschränkt sind. Wir konnten schlussendlich zwar feststellen, dass Pferde, die in niedrigen Klassen starteten, weniger oft in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkt waren als solche, die in mittelschweren bis schweren Klassen an den Start gingen. Insgesamt waren jedoch auch Sportpferde in den mittelschweren Klassen häufiger als solche in den schweren Klassen durch die Herzbefunde in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkt. Zudem konnten wir feststellen, dass vor allem Springpferde, die auf mittlerem Level starteten, häufiger aufgrund eines Herzbefundes in ihrer sportlichen Leistung eingeschränkt waren als andere Sportpferde. Dies könnte dadurch begründet sein, dass Vielseitigkeitspferde insgesamt eine höhere aerobe Kapazität haben als Warmblutpferde anderer Disziplinen und dadurch eventuell länger in der Lage sind eventuelle Leistungseinschränkungen des Herzkreislaufsystems zu kompensieren, während die kardiovaskulären Anforderungen an Pferde, die in Dressurprüfungen starteten recht gering sind (Bitschnau et al. 2010). Eine weitere mögliche Erklärung wäre, dass Pferde, welche aufgrund von Herzbefunden schon immer subklinische Leistungslimitationen aufwiesen, nie fit genug waren, um als Vielseitigkeitspferd oder hochklassiges Springpferd gekauft und ausgebildet zu werden. Ein vergleichbarer Zusammenhang wurde bereits beim Vorliegen von Sportpferden mit Magengeschwüren diskutiert (Pedersen et al. 2018). Limitierend muss hier erwähnt werden, dass nur die Erfolgsdaten der Deutschen Reiterlichen Vereinigung (FN) zur Analyse der Leistungsklasse zum Untersuchungszeitpunkt verwendet wurden.

Möglicherweise hätte ein Einbeziehen international startender Pferde, oder solcher, die im Ausland sportlich aktiv waren, die Ergebnisse verändert.

## IV. ZUSAMMENFASSUNG

### **Auswertung kardiologischer Untersuchungen bei Warmblutpferden mit Fokus auf Häufigkeit, Schweregrad sowie Zusammenhang von Befunden, Aussagekraft der Herzauskultation und potenziellen Einflüssen von Herzerkrankungen auf die Leistungsfähigkeit**

Im Rahmen von Ankaufsuntersuchungen, vor Sedationen oder Allgemeinanästhesien oder auch zur Abklärung von klinischen Beschwerden, wie Leistungsschwäche, ist die Auskultation des Herzens beim Pferd ein integraler Bestandteil der Untersuchung. Relativ häufig werden hierbei Herzgeräusche oder Arrhythmien festgestellt. Viele Herzgeräusche und auch Rhythmusstörungen können beim Pferd physiologisch sein, jedoch gibt es auch Herzerkrankungen, die mit einem erhöhten Risiko, etwa für Leistungsinsuffizienz des betroffenen Pferdes verbunden sind. Ziel dieser Arbeit war es zum einen festzustellen, ob man Ätiologie und Schweregrad von Herzerkrankungen mittels Auskultation sicher feststellen kann und zum anderen sollte eine Übersicht über die Häufigkeit verschiedener Klappeninsuffizienzen, Rhythmusstörungen und Dimensionsveränderungen bei einer großen Gruppe von Pferden erstellt werden. Des Weiteren habe wir untersucht, wie sich verschiedene Herzerkrankungen gegenseitig in Bezug auf Häufigkeit und Schweregrad beeinflussen und welche Herzbefunde mit einem erhöhten Risiko für Leistungseinbußen verbunden sind. Dafür wurden 822 kardiologische Erstuntersuchungen, die zwischen Januar 2000 und Mai 2020 in der Tierärztlichen Klinik für Pferde in Bargteheide durchgeführt wurden ausgewertet. Es wurde festgestellt, dass die Auskultation ein spezifisches Verfahren ist, um die dem Herzgeräusch zugrundeliegende Klappeninsuffizienz festzustellen. Dies ist besonders der Fall, wenn nur ein Herzgeräusch und nur eine Klappeninsuffizienz vorliegt. In diesen Fällen kann eine fast perfekte Übereinstimmung zwischen der betroffenen Klappe und dem mit ihr laut Literatur vergesellschafteten Herzgeräusch festgestellt werden ( $K = 0.94$ ). Falls mehrere Herzgeräusche und/ oder mehrere Klappeninsuffizienz vorlagen, so war die Übereinstimmung etwas weniger gut, aber immer noch substanziell ( $K = 0.74$ ). Substanzielle Übereinstimmung konnte zwischen MVI und linksseitigen, systolischen Herzgeräuschen ( $K = 0.68$ ), sowie zwischen AVI und linksseitigem diastolischen Herzgeräusch festgestellt werden ( $K = 0.72$ ). Eine moderate Übereinstimmung wurde zwischen rechtsseitigen, systolischen Herzgeräuschen und dem Vorliegen von TVI und/ oder VSD festgestellt ( $K = 0.41$ ). Bezüglich des Zusammenhangs zwischen Lautstärke des Herzgeräusches und Schweregrad der Klappenerkrankung konnten wir feststellen, dass leise Herzgeräusche (Grad 1-2/6) in den meisten Fällen (86%) durch geringgradige Klappeninsuffizienzen ausgelöst wurden, während die sichere Unterscheidung von mittel- und hochgradigen Insuffizienzen durch Auskultation allein nicht möglich ist, da laute Herzgeräusche (Grad 5-6/6) in 45% der Fälle von moderaten

und nur in 40% der Fälle von hochgradigen Insuffizienzen ausgelöst werden. Insgesamt konnten wir feststellen, dass Pferde mit Dimensionsveränderungen durchschnittlich lautere Herzgeräusche haben, als Pferde mit normalen Herzdimensionen. Jedoch konnten wir keinen linearen Zusammenhang zwischen Schweregrad der Dimensionsveränderungen und Lautstärke des Herzgeräusches feststellen.

Zudem wurde die Fragestellung, welche Herzbefunde bei den zum Zeitpunkt der Untersuchung aktiv sportlich genutzten Warmblutpferden vorkamen und wie sich diese auf die Leistungsfähigkeit der Warmblutsporthpferde auswirkte. Bezüglich Häufigkeit der Befunde konnten wir feststellen, dass MVI (n=194) die häufigste Klappeninsuffizienz in dieser Population ist, gefolgt von AVI (n=46). TVI war ein relativ seltener Befund (n=36) und PVI wurde kaum festgestellt (n=3). 70% der Rückflüsse waren mild. Zudem konnte festgestellt werden, dass die verschiedenen Klappenrückflüsse in unterschiedlichen Altersgruppen unterschiedlich häufig vorkommen. So lag das Durchschnittsalter von Pferden mit MVI bei 8,2 Jahren, das von Pferden mit TVI bei 8,4 Jahren und das von Pferden mit AVI bei 11,1 Jahren. Häufigste Arrhythmie in Ruhe war Vorhofflimmern (n= 32), während atriale und ventrikuläre Extrasystolen häufiger im Belastungs- als im Ruhe-EKG festgestellt werden konnten. Vergrößerungen des linken Vorhofs waren die am häufigsten diagnostizierten Dimensionsveränderungen (n=59). Insgesamt konnten ein signifikant erhöhtes Risiko für Dimensionsveränderungen des LA bei Pferden mit MVI festgestellt werden (OR = 3.14, CI = 1,35-7.31,  $p < 0.01$ ). Ebenso war AVI mit einem erhöhten Risiko für Vergrößerungen des LV (OR = 13.1, CI = 5.61 -30.35,  $p < 0.01$ ) und TVI mit erhöhtem Risiko für Vergrößerungen des RA (OR = 28.46, CI = 7.36-110.10,  $p < 0.01$ ) und des RV (OR = 20.36, CI = 2.60 – 201.59,  $p = 0.09$ ) verbunden. Vergrößerungen des LA (OR = 3.18, CI = 1.47-6.87,  $p = 0.05$ ) waren mit einem erhöhten Risiko für Vorhofflimmern verbunden, welches in einem multivariablen Modell der kardiologische Befund mit dem größten Risiko für Leistungsinsuffizienz war (OR = 22.7, CI = 7.47 – 69.41,  $p < 0.01$ ). Weitere Herzbefunde, welche häufig bei Pferden mit Leistungseinbußen festgestellt wurden, waren AVI, hochgradige MVI, hochgradige TVI, sowie ventrikuläre und atriale Extrasystolen. Insgesamt wies jedoch der Großteil der Pferde mit Herzbefunden (74%) keine klinischen Symptome zum Zeitpunkt der Untersuchung auf.

Es wurden im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich kardiologische Erstuntersuchungen ausgewertet. Um in der Lage zu sein eine bessere Prognose für die weitere Nutzung von Pferden mit kardiologischen Befunden und ihre Leistungsfähigkeit geben zu können wären größer angelegte Verlaufsuntersuchungen nötig und sinnvoll.

## V. SUMMARY

### **Analysis of cardiological examinations in warmblood horses, regarding frequency, severity and association of findings, accuracy of auscultation and potential influence of cardiac findings on performance potential**

During a Prepurchase Examination, before sedation or anesthesia or because of clinical complaints like poor performance, cardiac auscultation is an integral part of the examination of the horse. Murmurs and arrhythmias can be found quite regularly and can sometimes be physiological findings in horses. However, there are certain cardiac findings that can present a risk for clinical consequences, like poor performance. Aim of this research was to find out, whether it is possible to determine etiology and severity of cardiac pathologies by auscultation. Moreover, we aimed to outline the frequency of different valvular regurgitations, arrhythmias, and dimensional changes in a large group of warmblood horses. Furthermore, we investigated how different cardiac pathologies interacted regarding frequency and severity and which findings lead to a higher risk of exercise intolerance.

For that purpose, 822 initial cardiological examinations, conducted between January 2000 and May 2020 were analyzed. It was found that auscultation is well suited to identify the valvular regurgitation underlying the murmur. This was especially true, if only one murmur and one regurgitation were present. In these cases, agreement between the valve affected and the corresponding murmur was almost perfect ( $K = 0.94$ ). If more than one murmur and/ or more than one regurgitation were present, agreement was less good but still substantial ( $K = 0.74$ ). Substantial agreement was found between MVI and left-sided, systolic murmurs ( $K = 0.68$ ) and AVI and left-sided diastolic murmurs ( $K = 0.72$ ). Moderate agreement could be determined between right-sided systolic murmurs and TVI and/ or VSD ( $K = 0.41$ ). Regarding association between grade of murmur and severity of the valvular regurgitation we found that murmurs of grade 1-2/6 were in 86% due to mild regurgitations. However, differentiation between moderate and severe regurgitations by auscultation alone was not possible. We found that horses with dimensional changes of one or more compartments of the heart had a higher mean murmur intensity than horses with normal cardiac dimensions. We could, however, not determine a linear association between severity of the dimensional changes and murmur intensity.

Moreover, the frequency of different cardiac findings in the active warmblood sport horses in this population was analyzed and their association with performance in the horses actively performing in competitions was evaluated. Regarding frequency of findings, we found MVI ( $n=194$ ) to be the most common valvular regurgitation in our population. AVI ( $n=46$ ), TVI ( $n=36$ ) and PVI ( $n=3$ ) were less common findings. 70% of regurgitations were mild. Moreover, we found that mean age differed significantly between horses affected by the different valvular

regurgitations. Mean age for horses with MVI was 8.2 years, for horses with TVI 8.4 years and for horses with AVI 11.5 years. Most common arrhythmia at rest was AF (n=32). This was also the most common arrhythmia during and after exercise, however VPCs and SVPCs were common findings detected during an exercising ECG as well. Left atrial enlargement was the most diagnosed dimensional change (n=59). A significantly increased risk for dimensional changes of the LA could be found if MVI was present (OR=3.14, CI = 1.35-7.31,  $p < 0.01$ ). Horses with AVI had a higher risk for LV enlargement (OR = 13.1, CI = 5.61 – 30.35,  $p < 0.01$ ) and horses with TVI had a higher risk for RA (OR = 28.46, CI = 7.36-110.10,  $p < 0.01$ ) and RV Enlargement (OR = 20.36, CI = 2.60-201.59,  $p=0.09$ ). Dimensional changes of the LA significantly increased risk for AF (OR = 3.18, CI = 1.47 – 6.87,  $p=0.05$ ). Again, horses with moderate to severe dimensional changes were more commonly affected by AF than those with only mild changes. In a multivariate model we determined that AF is the cardiological finding with the highest risk for poor performance in our population of warmblood horses (OR = 22.7, CI = 7.47 – 69.41,  $p < 0.01$ ). Other findings negatively affecting a horse's performance potential were AVI, severe MVI, severe TVI, as well as VPCs and SVPCs. However, most horses with cardiac findings (67%) did not show any clinical signs at the time of the examination.

As only initial cardiac examinations were evaluated in this study it is not possible to judge the horse's prognosis based on our results. Therefore, large follow-up studies would be helpful and necessary to be better able to judge the future development of horses with cardiac disease.

## VI. LITERATURVERZEICHNIS

Barbesgaard L., Buhl R., Meldgaard C. (2010) Prevalence of exercise-associated arrhythmias in normal performing dressage horses. *Equine Veterinary Journal* 42, 202-207; 10.1111/j.2042-3306.2010.00223.x

Bitschnau C., Wiestner T., Trachsel D. S., Auer J. A., Weishaupt M. A. (2010) Performance parameters and post exercise heart rate recovery in Warmblood sports horses of different performance levels. *Equine Vet J Suppl*, 17-22; 10.1111/j.2042-3306.2010.00260.x

Blissit K. J., Bonagura J. D. (1995) Colour flow Doppler echocardiography in horses with cardiac murmurs. *Equine Veterinary Journal* 27, 82-85; <https://doi.org/10.1111/j.20423306.1995.tb04993.x>

Brown C. M. (1985) Acquired Cardiovascular Disease. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 1, 371-382; [https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30761-7](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30761-7)

Buhl R., Carstensen H., Hesselkilde E. Z., Klein B. Z., Hougaard K. M., Ravn K. B., Loft Andersen A. V., Fenner M. F., Pipper C., Jespersen T. (2018) Effect of induced chronic atrial fibrillation on exercise performance in Standardbred trotters. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 32, 1410-1419; 10.1111/jvim.15137

Buhl R., Ersboll A. K., Eriksen L., Koch J. (2005) Use of color Doppler echocardiography to assess the development of valvular regurgitation in Standardbred trotters. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 227, 1630-1635; 10.2460/javma.2005.227.1630

Buhl R., Meldgaard C., Barbesgaard L. (2010) Cardiac arrhythmias in clinically healthy showjumping horses. *Equine Veterinary Journal* 42, 196-201; 10.1111/j.2042-3306.2010.00185.x

Caivano D., Dickson D., Martin M., Rishniw M. (2018) Murmur intensity in adult dogs with pulmonic and subaortic stenosis reflects disease severity. *Journal of Small Animal Practice* 59, 161-166; 10.1111/jsap.12760

Desjardins V. A., Enriquez-Sarano M., Tajik A. J., Bailey K. R., Seward J. B. (1996) Intensity of murmurs correlates with severity of valvular regurgitation. *Am J Med* 100, 149-156; 10.1016/s0002-9343(97)89452-1

Durando M. M. (2019) Cardiovascular Causes of Poor Performance and Exercise Intolerance and Assessment of Safety in the Equine Athlete. *Vet Clin North Am Equine Pract* 35, 175-190; 10.1016/j.cveq.2018.12.002

Else R. W., Holmes J. R. (1972) Cardiac Pathology in the Horse. *Equine Veterinary Journal* 4, 1-8; <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1972.tb03868.x>

Fraipont A., Van Erck E., Ramery E., Richard E., Denoix J. M., Lekeux P., Art T. (2011) Subclinical diseases underlying poor performance in endurance horses: diagnostic methods and predictive tests. *Vet Rec* 169, 154; 10.1136/vr.d4142

Gehlen H. (2010). *Pferdekardiologie*. Hannover, Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.

Gehlen H., Goltz A., Rohn K., Stadler P. (2007) A survey of the frequency and development of heart disease in riding-horses - Part 1: Retrospective evaluation (1992 - 2003) and questionnaires. *Pferdeheilkunde* 23, 369-377; 10.21836/PEM20070408

Gehlen H., Goltz A., Rohn K., Stadler P. (2007) A survey of the frequency and development of heart disease in riding-horses - Part 2: Clinical and echocardiographic followup examination. *Pferdeheilkunde Equine Medicine* 23, 378-387; 10.21836/PEM20070409

Gehlen H., Michl A., Stadler P. (2003) Clinical and echocardiographic follow-up study in warm-blood horses with heart valve insufficiency. *Pferdeheilkunde* 19, 379-386; 10.21836/PEM20030406

Jago R., Keen J. (2019) Identification of common equine cardiac murmurs. *In Practice* 41, 222-232; 10.1136/inp.j1769

Knight P., Evans D. (2000) Clinical abnormalities detected in post-race examinations of poorly performing Standardbreds. *Australian Veterinary Journal* 78, 344-346; 10.1111/j.1751-0813.2000.tb11790.x

Kriz N. G., Hodgson D. R., Rose R. J. (2000) Prevalence and clinical importance of heart murmurs in racehorses. *J Am Vet Med Assoc* 216, 1441-1445; 10.2460/javma.2000.216.1441



Leroux A., Detilleux J., Sandersen C., Borde L., Houben R., Haidar A., Art T., Amory H. (2013) Prevalence and Risk Factors for Cardiac Diseases in a Hospital-Based Population of 3,434 Horses (1994-2011). *Journal of veterinary internal medicine / American College of Veterinary Internal Medicine* 27, 1563-1570; 10.1111/jvim.12197

Ljungvall I., Rishniw M., Porciello F., Ferasin L., Ohad D. G. (2014) Murmur intensity in small breed dogs with myxomatous mitral valve disease reflects disease severity. *J Small Anim Pract* 55, 545-550; 10.1111/jsap.12265

Maré L., Boshuizen B., Plancke L., De Bruijn M., Delesalle C. (2017) Standardized exercise tests in horses: Current situation and future perspectives. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift* 86, 63-72; <https://doi.org/10.21825/vdt.v86i2.16290>

Martin B., Reef V., Parente E., Sage A. (2000) Causes of poor performance of horses during training, racing, or showing: 348 cases (1992-1996). *Journal of the American Veterinary Medical Association* 216, 554-558; 10.2460/javma.2000.216.554

McGurrin K. (2015) The diagnosis and management of atrial fibrillation in the horse. *Veterinary Medicine: Research and Reports*, 83; 10.2147/vmrr.s46304

Melkova P., Jahn P., Bodecek S., Dobesova O., Hanak J. (2016) Evaluation of poor performance in racehorses using a high-speed treadmill. *Veterinární Medicína* 61, 243-248; 10.17221/8878-vetmed

Morris E. A., Seeherman H. J. (1991) Clinical evaluation of poor performance in the racehorse: the results of 275 evaluations. *Equine Vet J* 23, 169-174; 10.1111/j.2042-3306.1991.tb02749.x

Munsters C. C. B. M., van Iwaarden A., van Weeren R., Sloet van Oldruitenborgh Oosterbaan M. M. (2014) Exercise testing in Warmblood sport horses under field conditions. *The Veterinary Journal* 202, 11-19; <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.07.019>

Naylor J. M., Yadernuk L. M., Pharr J. W., Ashburner J. S. (2001) An Assessment of the Ability of Diplomates, Practitioners, and Students to Describe and Interpret Recordings of Heart Murmurs and Arrhythmia. 15, 507; 10.1892/0891-6640(2001)015<0507:aaotao>2.3.co;2

Niederhofer M., Müller A. (2017). 33 Leistungsschwäche. Differenzialdiagnosen Innere Medizin beim Pferd. H. Gehlen. Stuttgart, Enke Verlag.

Onmaz A. C., Güneş V., Pavaloiu A., Van Den Hoven R. (2019) The coexistence of heart murmurs and arrhythmias in an equine hospital population – a retrospective study. *TURKISH JOURNAL OF VETERINARY AND ANIMAL SCIENCES* 43, 481-485; 10.3906/vet-1901-78

Patteson M. W., Cripps P. J. (1993) A survey of cardiac auscultatory findings in horses. *Equine Vet J* 25, 409-415; 10.1111/j.2042-3306.1993.tb02982.x

Pedersen S. K., Cribb A. E., Windeyer M. C., Read E. K., French D., Banse H. E. (2018) Risk factors for equine glandular and squamous gastric disease in show jumping Warmbloods. *Equine Veterinary Journal* 50, 747-751; <https://doi.org/10.1111/evj.12949>

Reef V. B. (1985) Evaluation of the Equine Cardiovascular System. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 1, 275-288; [https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30756-3](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30756-3)

Reef V. B., Bonagura J., Buhl R., McGurrin M. K. J., Schwarzwald C. C., Van Loon G., Young L. E. (2014) Recommendations for Management of Equine Athletes with Cardiovascular Abnormalities. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 28, 749-761; 10.1111/jvim.12340

Reef V. B., Levitan C. W., Spencer P. A. (1988) Factors affecting prognosis and conversion in equine atrial fibrillation. *J Vet Intern Med* 2, 1-6; 10.1111/j.1939-1676.1988.tb01970.x

Richard E. A., Fortier G. D., Pitel P. H., Dupuis M. C., Valette J. P., Art T., Denoix J. M., Lekeux P. M., Van Erck E. (2010) Sub-clinical diseases affecting performance in Standardbred trotters: Diagnostic methods and predictive parameters. *Veterinary Journal* 184, 282-289; 10.1016/j.tvjl.2009.04.016

Rishniw M., Caivano D., Dickson D., Swift S., Rouben C., Dennis S., Sammarco C., Lustgarten J., Ljungvall I. (2019) Breed does not affect the association between murmur intensity and disease severity in dogs with pulmonic or subaortic stenosis. *Journal of Small Animal Practice* 60, 493-498; 10.1111/jsap.13015

Schwarzwald C. (2016) Herzerkrankungen beim Sportpferd: Aktuelle Empfehlungen des 2014 ACVIM/ECEIM Consensus Statement. Schweizer Archiv für Tierheilkunde 10, 677-689; <https://doi.org/10.17236/sat00086>

Schwarzwald C. C. (2013) Herzerkrankungen als Ursache für Leistungsschwäche. Bicentennial Congress of the Swiss Veterinary Association (GST); 10.5167/uzh-91152

Schwarzwald C. C. (2019) Equine Echocardiography. Vet Clin North Am Equine Pract 35, 43-64; 10.1016/j.cveq.2018.12.008

ter Woort F., Reef V., Stefanovski D., Slack J. (2021) Cardiac pre-purchase examination in horses – evaluation, outcome and athletic follow-up. Equine Vet Educ; 10.1111/eve.13507

van Erck E., Jakesova V., Lekeux P., Art T. (2006) Field evaluation of poor performance in Standardbred trotters. Pferdeheilkunde 22, 625-631; Doi 10.21836/Pem20060516

van Loon G. (2019) Cardiac Arrhythmias in Horses. Vet Clin North Am Equine Pract 35, 85 102; 10.1016/j.cveq.2018.12.004

Verdegaal E. J. M. M., Voorhout G., van Loon G., Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan M. m. (2002) Herzgeräusche als Zufallsbefunde bei tierärztlichen Kauf- oder Verfassungsuntersuchungen. Befunde und Verlauf bei 77 klinisch gesunden Pferden.

Vibe-Petersen G., Nielsen K. (1980) Electrocardiography in the horse. (A report of findings in 138 horses). Nord Vet Med 32, 105-121;

Wagner T., Fuentes V. L., Payne J. R., McDermott N., Brodbelt D. (2010) Comparison of auscultatory and echocardiographic findings in healthy adult cats. J Vet Cardiol 12, 171-182; 10.1016/j.jvc.2010.05.003

Young L. E., Rogers K., Wood J. L. N. (2008) Heart Murmurs and Valvular Regurgitation in Thoroughbred Racehorses: Epidemiology and Associations with Athletic Performance. 22, 418-426; 10.1111/j.1939-1676.2008.0053.x

Young L. E., Wood J. L. N. (2010) Effect of age and training on murmurs of atrioventricular valvular regurgitation in young Thoroughbreds. Equine Veterinary Journal 32, 195-199; 10.2746/042516400776563563

Zucca E., Ferrucci F., Stancari G., Saporiti T., Ferro E. (2010) The prevalence of cardiac murmurs among standardbred racehorses presented with poor performance. *J Vet Med Sci* 72, 781-785; 10.1292/jvms.09-0217

## VII. LISTE DER PUBLIKATIONEN

- a. Hövener J., Barton A. K., Merle R., Gehlen H. (2020) Review: Poor performance in the Warmblood sport horse – causes and diagnostic approach. *Pferdeheilkunde* 36, 511– 530; DOI 10.21836/PEM20200604
- b. Hövener, J.; Pokar, J.; Merle,R.; Gehlen, H. Association between Cardiac Auscultation and Echocardiographic Findings in Warmblood Horses. *Animals* 2021, 11, 3463, DOI: 10.3390/ani11123463
- c. Hövener J., Pokar J., Merle R., Gehlen H. (2022) Findings in 261 cardiac examinations of warmblood sport horses and their association with performance. *Pferdeheilkunde* 38, 252-263; DOI 10.21836/PEM20220306

### **Meine Beteiligung an diesen Publikationen:**

An der Idee zur Literaturstudie, die zur Publikationen 1.1. führte, war ich zusammen mit Prof. Heidrun Gehlen, Dr. Ann-Kristin Barton und Dr. Roswitha Merle gleichwertig beteiligt. Die Literaturrecherche und das Verfassen der Literaturübersicht erfolgten durch mich. Frau Prof. Dr. Gehlen, Frau Dr. Merle und Frau Dr. Barton haben das Manuskript Korrektur gelesen.

Die Idee zu den Publikationen 1.2. und 1.3. entstand unter meiner direkten Mitwirkung gemeinsam mit meiner Doktormutter Prof. Dr. Heidrun Gehlen und Frau Julie Pokar aus der Pferdeklunik in Bargteheide, die einen Großteil der ausgewerteten kardiologischen Untersuchungen in den letzten zwei Jahrzehnten durchgeführt hat. Gemeinsam mit Frau Pokar habe ich auch die Herzultraschallbilder reevaluiert und beurteilt. Die Erfassung der Daten aus dem Computersystem der Pferdeklunik Bargteheide wurde von mir durchgeführt. Bei der Ausarbeitung der statistischen Werte stand mir Frau Dr. Merle tatkräftig zur Seite. Das Verfassen der Artikel wurde von mir selbst eigenständig durchgeführt. Frau Dr. Merle und Frau Prof. Dr. Gehlen haben die Manuskripte Korrektur gelesen.

## VIII. DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen bedanken, die zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben!

Zuallererst möchte ich mich bei meiner Doktormutter Prof. Dr. Heidrun Gehlen dafür bedanken, dass sie mir die Möglichkeit gegeben hat diese externe Dissertation unter ihrer Anleitung zu verfassen. Besonders danken möchte ich ihr auch für die Unterstützung bei der Themenfindung, ihre ständige Erreichbarkeit rund um die Uhr, ihre fachliche Beratung und ihre Unterstützung beim Verfassen und Einreichen der Publikationen.

Ebenso möchte ich meiner zweiten Betreuerin, Dr. Roswitha Merle, sehr herzlich danken. Sie hat mich sicher durch alle statistischen Turbulenzen geleitet und stand mir stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden, sowie auf die nötige Wissenschaftlichkeit unserer Daten geachtet. Und das alles rund um die Uhr, 365 Tage im Jahr.

Außerdem möchte ich mich bei Dr. Werner Jahn, Dr. Volker Sill, Dr. Ina Lorenz und Dr. Jan Brunk aus der Pferdeklinik in Bargteheide herzlich dafür bedanken, dass sie mir die Möglichkeit gegeben haben in ihrem Hause die Fälle, auf denen diese Arbeit aufgebaut ist, zu sammeln. Ohne diese Unterstützung wäre das Entstehen dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Vielen Dank!

Des Weiteren möchte ich mich insbesondere auch bei Julie Pokar aus der Pferdeklinik Bargteheide bedanken. Zum einen hat sie einen Großteil der Untersuchungen, die in dieser Studie ausgewertet wurden, durchgeführt. Außerdem hat sie mich bei der Themenfindung unterstützt und mir bei der Auswertung der Herzultraschallbilder und EKGs tatkräftig zur Seite gestanden. Auch Dr. Friederike Jaek-Lutz, Gesche Nohl und Lisa Bodem möchte ich für die Untersuchung und vor allem auch die hervorragende Dokumentation der kardiologischen Patienten in der Pferdeklinik Bargteheide danken.

Auch meinen Kollegen und Freunden Nadja Sönnichsen, Sahra Sielaff, Michel Milewski, Justine Laux, Andreas Kraft, Lukas Bretzinger und Marvin Hölper möchte ich danken. Sie haben diese Arbeit durch gemeinsames Brainstorming und Korrekturlesen der Artikel und der Arbeit unterstützt, sowie mentalen Beistand geleistet.

Selbstverständlich möchte ich mich auch bei meinen Eltern, meiner Oma Heidi und meiner Tante Margrit bedanken! Ohne eure Unterstützung wäre diese Arbeit niemals so zustande gekommen.

Und vielen Dank an Natascha, dass du immer Verständnis hattest, wenn ich abends oder am Wochenende noch am Schreibtisch gesessen habe, für deine Unterstützung mit Excel und dafür, dass du immer hinter mir stehst!

## **IX. FINANZIERUNG**

Teile dieser Studie konnten dank der finanziellen Unterstützung durch die Freie Universität Berlin in einem Open-Access Journal veröffentlicht werden und stehen so einer breiten Öffentlichkeit kostenlos zur Verfügung.



## **X. INTERESSENKONFLIKT**

Im Rahmen dieser Arbeit bestehen keine Interessenskonflikte durch Zuwendungen Dritter.

## **XI. 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.

Berlin, den 13.09.2022

Jakob Matthias Bernd Hövener







