

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

---

**Entwicklung kardialer Befunde des Pferdes und ihre  
Auswirkungen auf die sportliche Performance**

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

**vorgelegt von  
Ferdinand Matthias Kähn  
Tierarzt aus Hildesheim**

**Berlin 2024  
Journal-Nr.: 4486**







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

**Entwicklung kardialer Befunde des Pferdes und ihre Auswirkungen auf die  
sportliche Performance**

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

**vorgelegt von**  
Ferdinand Matthias Kähn  
**Tierarzt**  
**aus Hildesheim**

**Berlin 2024**

**Journal-Nr.: 4486**

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:	Prof. Dr. Anna May
Dritter Gutachter:	PD Dr. Andreas Brühschwein

*Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):*

horses, horse riding, horse racing, heart, cardiac output, clinical examination,  
cardiac insufficiency, heart diseases, echocardiography, ultrasonography,  
ultrasonic diagnosis, blood circulation

Tag der Promotion: 11.11.2024

Teile dieser kumulativen Dissertation wurden wie folgt veröffentlicht:

Publikationen in Fachzeitschriften:

- I. Kähn F, Merle R, Hövener J, Gehlen H (2024) Retrospektive Studie zur Entwicklung von klinischen und echokardiographischen Herzbefunden bei Warmblutpferden. Pferdeheilkunde – Equine Medicine 40, 49–58, DOI: 10.21836/PEM20240106
  
- II. Kähn F, Hövener J, Merle R, Gehlen H (2024) Retrospective study on the athletic development of Warmblood horses after cardiac examination. Pferdehlk Equine Med 40, 455–462; DOI 10.21836/PEM20240504



# INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	7
I. EINLEITUNG .....	9
II. LITERATURÜBERSICHT .....	13
2.1. Anatomie und Lage.....	13
2.2. Arbeitsphasen.....	13
2.3. Erregungsbildung und Weiterleitung.....	13
2.4. Pathophysiologie.....	14
2.5. Epidemiologie .....	14
2.6. Diagnostika der Herzuntersuchungen .....	14
2.7. Interpretation der Herzbefunde .....	16
2.8. Therapie.....	17
III. PUBLIKATIONEN.....	19
3.1. Publikation I .....	19
Retrospektive Studie zur Entwicklung von klinischen und echokardiographischen Herzbefunden bei Warmblutpferden .....	19
Zusammenfassung.....	20
Originalpublikation.....	21
3.2. Publikation II .....	31
Retrospective study on the athletic development of Warmblood horses after cardiac examination .....	31
Abstract .....	32
Originalpublikation.....	33
IV. ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION .....	41
V. ZUSAMMENFASSUNG .....	49
VI. SUMMARY .....	51
VII. LITERATURVERZEICHNIS .....	53
VIII. LISTE DER PUBLIKATIONEN.....	59
IX. DANKSAGUNG .....	61
X. FINANZIERUNG .....	62
XI. INTERESSENKONFLIKT .....	63
XII. SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG .....	64



## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

EKG = Elektrokardiogramm

MR = Mitralklappen Regurgitation

AR = Aortenklappen Regurgitation

TR = Trikuspidalklappen Regurgitation

PR = Pulmonalklappen Regurgitation

VSD = Ventrikelseptumdefekt

LA = Linkes Atrium

RA = Rechtes Atrium

LV = Linker Ventrikel

RV = Rechter Ventrikel

AF = Vorhofflimmern

mm = Millimeter

OR = Odds Ratio

U1 = Erstuntersuchung

U2 = Zweituntersuchung

FN = Deutsche Reiterliche Vereinigung

AV = Atrioventrikular

Et al. = und weitere



## I. EINLEITUNG

Herzgesundheit hat einen bedeutenden Einfluss auf die Lebensqualität und Leistungsfähigkeit von Menschen und Tieren. Insbesondere bei Sportlern ist die Verfassung dieses Organs wesentlich.

Durch die Nutzung der Pferde als Sportpartner kann die Leistungsfähigkeit eines Pferdes deutliche Auswirkungen auf Wettkampfsentscheidungen und Turnierergebnisse haben.

Für Pferdebesitzer und Pferdesportler mag dementsprechend ein besonderes Augenmerk auf der gesundheitlichen Verfassung des Pferdes liegen und die Konstitution des Pferdeherzens mag einer von wichtigen erfolgsentscheidenden Faktoren sein. Pferdebesitzer mögen jedoch, auch ohne die Absicht auf Turniererfolge am Wohl ihres Tieres interessiert sein und eine Haltung und Nutzung ermöglichen, die nicht nur artgerecht ist, sondern auf die individuelle körperliche Verfassung und insbesondere auf die Gesundheit des Tieres Rücksicht nimmt.

Das Pferd sollte als Fluchttier in der Lage sein in kurzer Zeit hohe körperliche Leistung zu bringen. Eine Flucht vor potenziell lebensgefährdenden Angreifern erforderte vom Fluchttier plötzlich starke Anstrengung, um in kurzer Zeit eine größtmögliche Distanz zwischen sich und den Angreifer zu legen.

Aufgrund dieser Anforderung vermag das Pferdherz auch heute noch über große Reservekapazität verfügen, sodass Herzerkrankungen oft erst in fortgeschrittenem Stadium für Leistungseinbußen verantwortlich sind und klinisch werden. Ein Vergleich der Physiologie von Mensch und Pferd zeigt, dass das Pferd besser an Leistungsfähigkeit angepasst ist und über eine außergewöhnliche aerobe Reservekapazität verfügt (Van Der Vekens et al. 2013).

Leistungseinbußen der Pferde, die aufgrund dessen bei Tierärzten vorgestellt werden, sind in der Mehrzahl der Fälle nicht auf eine Herzerkrankung zurückzuführen.

In den meisten Fällen der Leistungsinsuffizienz werden orthopädische oder respiratorische Erkrankungen als Ursachen identifiziert, während endokrinologische oder kardiologische Erkrankungen seltener vorkommen (Martin et al. 2000). Herzerkrankungen können zu einem erniedrigten Herzzeitvolumen führen und verschiedene Organsysteme unterversorgen, was eine Vielzahl von Symptomen verursachen kann (Reef et al. 2014;Chope 2018). Die Symptomausprägungen variieren von milden bis zu schwerwiegenden wie Niederstürzen und Kollabieren. Schwerwiegende Ausprägungen können zum plötzlichen Herztod führen (Navas De Solis 2016).

Aufgrund des großen Einflusses der Herzgesundheit ist die Befundung eines Herzens und insbesondere ihre Interpretation entscheidend. Prognosen, die auf der Interpretation von

Herzbefunden basieren, sind folglich von großem Interesse für Tierhalter, Wissenschaftler, Tierärzte und Pferdesportler.

Neben vielen Befunden, die nur in fortgeschrittenem Stadium klinisch auffällig werden, finden sich Befunde wie der AV-Block zweiten Grades oder funktionelle Strömungsgeräusche, die insbesondere bei gut trainierten Pferden auftreten und bekanntermaßen physiologisch sind (Jago und Keen 2017; Van Loon 2019). Wenige Faktoren sind bekannt, die den Verlauf einer chronischen Herzerkrankung beeinflussen. Das Verständnis der Auswirkungen verschiedener diagnostizierter Herzbefunde ist jedoch entscheidend für die Prognose der zukünftigen Lebensqualität und Leistungsfähigkeit des Pferdes.

Frühere Studien haben gezeigt, dass Vorhofflimmern, die Vergrößerung des linken Vorhofs, ventrikuläre und supraventrikuläre Extrasystolen sowie hochgradige Mitralklappenregurgitation zu einer eingeschränkten Belastungstoleranz führen können (Hövenner et al. 2022). Allerdings sind Studien mit präzisen Ergebnissen bezüglich sportlicher Leistungskennzahlen wie Karrieredauer, Gewinne oder Nutzung nach echokardiografischer Diagnose bei Warmblütern selten.

Das Hauptziel kardiologischer Untersuchungen sollte darin bestehen, Herzerkrankungen beim Pferd zu identifizieren, bevor irreversible Schäden auftreten (Gehlen 2010). Die Erstellung genauer Prognosen gestaltet sich gegenwärtig als herausfordernd. Einzelne Untersuchungsparameter allein reichen oft nicht aus, um Vorhersagen zum Verlauf von Herzerkrankungen zu treffen. Stattdessen scheint die Gesamteinschätzung eines erfahrenen Tierarztes nach umfassender Evaluierung prognostisch wertvoll zu sein (Ter Woort et al. 2022).

Moderne bildgebende Diagnostik am Pferdeherz erfolgt vorwiegend durch transthorakalen, nicht durch transösophagealen Ultraschall (Young et al. 1997). Zusätzlich dient das Elektrokardiogramm der grafischen Darstellung der Herz-Erregungsweiterleitung und eine Blutuntersuchung liefert Hinweise auf den Metabolismus von Herzmuskelfasern (Giers et al. 2023). Andere weiterführende Diagnoseverfahren wie MRT oder CT werden aufgrund der Größe des Pferdekörpers, des temperamentvollen Charakters im wachen Zustand und des hohen Narkoserisikos in Allgemeinanästhesie nur selten in Betracht gezogen (Gilbert et al. 2010; Vernemmen et al. 2021).

Das Ziel der vorliegenden Studie besteht darin, die Genauigkeit der prognostischen Bewertung bei weiterführenden kardiologischen Untersuchungen zu erhöhen. Es wurde versucht den

Tierärzten in Überweisungskliniken mehr Informationen bereit zu stellen, dass diese den Auftraggebern kardiologischer Untersuchungen verlässlichere Prognosen bieten können. So mag es Tierärzten einerseits bei einer herzdiagnostischen Erstvorstellung in Zukunft besser möglich sein einen Verlauf bis zur Zweituntersuchung abzuschätzen. Andererseits könnten genauere Aussagen, insbesondere zur Karriererelevanz einer Erkrankung, getroffen werden.

Für diesen Zweck wurde einerseits die klinische und echokardiographische Entwicklung verschiedener Herzbefunde im Zeitraum von der Erst- zur Zweituntersuchung retrospektiv analysiert. Die ausgewerteten Untersuchungen erstreckten sich über einen Zeitraum von mehr als 22 Jahren bei 104 Warmblütern.

Andererseits wurde die sportliche Karriereentwicklung von 450 Warmblütern anhand der FN-Datenbank erforscht, die zuvor einer ausführlichen kardiologischen Untersuchung unterzogen worden waren. Die ausgewerteten Untersuchungen erstreckten sich über einen Zeitraum von 18 Jahren, zuzüglich fünf darauffolgender Jahre, um die sportlichen Karrieren zu untersuchen.



## II. LITERATURÜBERSICHT

### 2.1. Anatomie und Lage

Das Pferdeherz besteht, wie beim Menschen, unter anderem aus den beiden Vorhöfen (Atrien) und den beiden Herzkammern (Ventrikeln). Sie sind nebst Septum durch Herzklappen voneinander getrennt und sorgen dafür, das Blut gerichtet durch den Körper strömt, um Organe und Gewebe mit Sauerstoff und Nährstoffen zu versorgen (Nickel 2005).

Die Herzklappen namentlich Mitral-, Trikuspidal-, Aorten- und Pulmonalklappe spielen eine entscheidende Rolle beim ordnungsgemäßen Blutfluss und der Verhinderung des Zurückfließens des Blutes.

Die Herzspitze findet sich beim Pferd auf Höhe des Ellenbogengelenks, während sich die Herzbasis auf Höhe des Buggelenks befindet (Budras und Röck 2004).

### 2.2. Arbeitsphasen

Das venöse Blut wird während der Diastole aus den großen Hohlvenen, der cranialen und caudalen Vena cava in das rechte Atrium des Herzens transportiert. Von dort gelangt es in den rechten Ventrikel. Während der Systole, wird das Blut durch den Truncus pulmonalis und die Arteria pulmonalis zur Lunge befördert (Ellenberger et al. 1943). In der Lunge findet der Gasaustausch statt, bei dem Sauerstoff aufgenommen und Kohlendioxid abgegeben wird. Das nun sauerstoffreiche venöse Blut fließt in der anschließenden Diastole über die Lungenvenen zurück in das linke Atrium des Herzens. Von dort wird es in den linken Ventrikel gepumpt und während der folgenden Systole über die Aorta als arterielles Blut in den Körperkreislauf ausgestoßen (Harmeyer 2000).

### 2.3. Erregungsbildung und Weiterleitung

Im Sinusknoten, der im rechten Vorhof lokalisiert ist, beginnt die autonome Erregungsleitung des Pferdeherzens. Ausgehend vom Sinusknoten breitet sich die elektrische Erregung über die Muskeln der Atrien aus und wird durch den Atrioventrikular-Knoten (AV-Knoten) zu den Ventrikeln weitergeleitet. Der Sinusknoten fungiert als primärer Herzschrittmacher aufgrund seiner hohen Entladungsfrequenz (Antoni 2000).

Nachrangig haben auch andere Teile des Herzens die Fähigkeit zur spontanen Erregung. In Fällen, in denen primäre Erregungszentren beeinträchtigt sind, können diese als Ersatz-Impulsgeber dienen.

Das Herz des Pferdes unterliegt einem hohen Vagustonus. Es existieren physiologische Arrhythmien, die vom Sinus- oder AV-Knoten ausgehen (Marr und Bowen 2010). Sie treten in

Ruhe oder während des Übergangs von sympathischer zu parasympathischer Dominanz auf. Eine Sinusbradykardie resultiert aus langsamer Sinusaktivität. Ein AV-Block manifestiert sich in verlängerten PQ-Intervallen oder intermittierender Leitungsstörung (Gehlen 2010).

### 2.4. Pathophysiologie

Herzerkrankungen des Pferdes können bei unzureichender Funktion zu Fehlversorgung von Organen führen, die klinische Ausprägungen haben. Diese können sich durch Leistungsschwäche, Niederstürzen, Dyspnoe, Schleimhautzyanose und Ödeme zeigen (Patteson 1996).

Herzerkrankungen können Herzklappenregurgitationen sein, die zur Volumenüberlastung des Herzens führen, welche nach Dimensionsveränderungen der Vorhöfe oder Kammern Herzrhythmusstörungen verursachen können.

Kardiale muskuläre Hypertrophie kann auch durch besondere körperliche Fitness und Aktivität des Pferdes bedingt sein (Lopes et al. 2021).

### 2.5. Epidemiologie

Vorhofflimmern ist die häufigste Arrhythmie beim Pferd. Die Inzidenz wird in Studien auf bis zu 2,5% geschätzt, wobei in Studien teilweise Schlachthopferde mit einbezogen werden, sodass die Prävalenz pathologischer Befunde im Vergleich zur Prävalenz der Gesamtpopulation positiv beeinflusst sein kann (Else und Holmes 1971).

Vorhofflimmern ist unter herzerkrankten Pferden mit Abstand die häufigste pathologische Arrhythmie.

Die Mehrheit der Pferde zeigt isoliertes Vorhofflimmern, das nach Behandlung eine gute Prognose zur vollen Rückgewinnung der Leistungsfähigkeit hat.

Bei herzkranken Pferden wird in den meisten Fällen eine Regurgitation an der Mitralklappe festgestellt, die teilweise kombiniert mit weiteren Regurgitationen vorliegt.

Nachrangig der Mitralklappe werden Regurgitationen an der Aortenklappe gefolgt von der Trikuspidalklappe und zuletzt seltener an der Pulmonalklappe festgestellt (Gehlen et al. 2007a).

### 2.6. Diagnostika der Herzuntersuchungen

Die genaue Diagnose von Herzkrankheiten beim Pferd erfordert oft eine Kombination mehrerer diagnostischer Verfahren. Ein frühzeitiges Erkennen von Herzproblemen kann die Lebensqualität des Pferdes verbessern und dem Besitzer ermöglichen seine Erwartungen und Anforderungen an sein Pferd anzupassen (Gehlen 2010).

Das Pferd wird zunächst einer allgemeinen, sowie einer speziellen kardiologischen Untersuchung unterzogen. Während der Auskultation des Herzens mittels Stethoskops werden Herztöne und Geräusche evaluiert, die auf Anomalien hinweisen können. Ebenso kann der Rhythmus des Herzschlages beurteilt werden. Aufgrund der Lautstärke, Lokalisation und dem Zeitpunkt des Auftretens können Rückschlüsse über die Beschaffenheit des Pferdherzens gezogen werden (Kaemmerer 1983).

Blutuntersuchungen können Hinweise auf eine Herzkrankheit liefern, indem bestimmte Enzyme gemessen und mit Referenzwerten verglichen werden können. Ein erhöhter Troponin-Wert im Blut kann auf eine Schädigung des Herzmuskels hinweisen (Gehlen 2010).

Pferde werden für präzise Herzdiagnostik meist in spezialisierte Praxen oder Kliniken überwiesen, die über moderne Geräte und entsprechend fortgebildete Tierärzte verfügen. Gründe für die Überweisungen sind neben Leistungsinsuffizienzen auch das zufällige Entdecken von Herzgeräuschen während Ankaufuntersuchungen oder anderen veterinärmedizinischen Untersuchungen (Reef 2019).

Echokardiographie in Verbindung mit Elektrokardiogramm dient weiterführender Diagnostik. Diese Techniken eignen sich ebenso zur Dokumentation der Entwicklung des Krankheitsverlaufs (Marr 1994).

Ein Elektrokardiogramm misst die elektrische Aktivität des Herzens und zeichnet sie auf einem Graphen auf, um den Herzrhythmus und eventuelle Unregelmäßigkeiten zu visualisieren.

Die Echokardiographie ist sonographisch basierte Schnittbildtechnik, die verwendet wird, um die Struktur und Funktion des Herzens zu beurteilen. Sie ermöglicht es dem Tierarzt, die Größe der Herzkammern, die Dicke der Herzwände, die Funktion der Herzklappen, mögliche Defekte oder Missbildung, sowie Blutflussmuster zu untersuchen (Marr 1994).

Herzultraschallbilder werden mittels verschiedener Techniken erhalten. Das Spektrum reicht von nicht invasiver bis invasiverer Art. Die transthorakale Ultraschalluntersuchung kann über verschiedene Fenster in verschiedenen Ansichten erfolgen und ist nicht invasiv. Obwohl sie eine bessere Übersicht aller Herzstrukturen ermöglicht, können einige Teile wie die Funktion der Mitralklappe und der Aortenklappe am besten mit einer unüblichen, invasiveren Art, der transösophagealen Echokardiographie betrachtet werden (Young et al. 1997; Aly et al. 2021).

Weitere hochentwickelte bildgebende Verfahren, wie Magnetresonanztomographie oder Computertomographie, sind aufgrund der geringen Kontrollierbarkeit und der Größe der Patienten in der Pferdemedizin keine etablierten Verfahren für kardiale Diagnostik (Gilbert et al. 2010; Vernemmen et al. 2021).

## 2.7. Interpretation der Herzbefunde

Herzgeräusche und Arrhythmien werden häufig bei Pferden festgestellt. Die Bewertung der Relevanz dieser kardiovaskulären Pathologien beim Leistungspferd kann eine Herausforderung darstellen. Die Bestimmung des Einflusses einer kardiovaskulären Störung auf Leistung, Lebenserwartung, Pferd- und Reiter- oder Fahrersicherheit ist von entscheidender Bedeutung.

Eine umfassende Bewertung der festgestellten kardiovaskulären Abnormalität ist unerlässlich, um ihre Schwere zu bestimmen und dem Pferdebesitzer eine möglichst präzise Prognose geben zu können.

Das Consensus Statement (Reef et al. 2014) präsentiert einen allgemeinen Ansatz zur Bewertung kardiovaskulärer Abnormalitäten und beschreibt die häufigsten Herzgeräusche und Arrhythmien. Die Beschreibung, Diagnose, Bewertung und Prognose werden für verschiedene kardiovaskuläre Befunde herangezogen.

Während die Mehrheit der Pferde mit kardiovaskulären Befunden eine gute Prognose für Nutzbarkeit und Lebensqualität haben, sind Nachuntersuchungen für Pferde mit klinisch relevanten Erkrankungen zu empfehlen.

Insbesondere bei Kaufuntersuchung diagnostizierte Befunde besitzen zu dem Zeitpunkt oft keine klinische Relevanz, doch Auftraggeber wünschen sich aufgrund der Bedeutung des Pferdeherzens meist eine exakte Einschätzung zur weiteren Entwicklung der Befunde sowie zur zukünftig zu erwartenden klinischen Relevanz (Reef 2019).

Bei solchen Kaufuntersuchungen mit Schwerpunkt auf der Herzgesundheit des Pferdes ist in den meisten Fällen mit günstigen Prognosen zu rechnen. Nur selten entscheiden sich Tierärzte für weniger günstige Prognosen. Prognosen im Zusammenhang mit Kaufuntersuchungen sind häufig zuverlässig und zutreffend (Ter Woort et al. 2022).

Pferde mit pulmonaler Hypertonie, schwerwiegenden Herzklappenregurgitationen oder komplexen ventrikulären Arrhythmien sollten nicht geritten oder gefahren werden (Reef et al. 2014).

Rein klinische Untersuchungs- und Auskultationstechniken sind meist nicht ausreichend, um Herzpathologien beim Pferd präzise zu diagnostizieren, obwohl die Auskultation eine gute Methode darstellt, eine durch Veränderung betroffene Klappe zu identifizieren. Die Auskultation ist jedoch nicht gut geeignet den Grad einer Regurgitation auf der Grundlage der Lautstärke des Herzgeräusches zu bestimmen. Es ist andererseits bekannt, dass geringgradige Herzgeräusche in der Regel durch leichte Regurgitationen verursacht werden,

während die Unterscheidung zwischen mittelgradigen und schwerwiegenden Regurgitationen auf Grundlage der Lautstärke des Herzgeräusches nicht zuverlässig ist (Hövenner et al. 2021).

Herzbiomarker wie Troponine und natriuretische Peptide werden in der Humanmedizin routinemäßig zur Bewertung von Myokardschäden und Herzinsuffizienzen eingesetzt. Vergleiche zwischen humanen und equinen Herzbiomarker-Studien zeigen jedoch wichtige Unterschiede, sodass Interpretation mit großer Vorsicht geschehen sollte (Van Der Vekens et al. 2013).

Interpretationen zu echokardiografisch erhobenen Herzdimensionen sollten in Bezug zu Rasse, Körpergewicht, Alter und zum Geschlecht des Pferdes gestellt werden, da diese Faktoren Einfluss auf die Dimension des Pferdeherzens haben (Al-Haidar et al. 2013a; Al-Haidar et al. 2013b; Trachsel et al. 2016).

Dimensionale Veränderungen des linken Vorhofs sind mit einem erhöhten Risiko für Vorhofflimmern assoziiert und sind die häufigste Ursache für kardial bedingte Leistungsinsuffizienz beim Pferd. Leichte und moderate Klappenregurgitationen sind in den meisten Fällen klinisch wenig relevant. Allerdings gehen sie mit einem erhöhten Risiko für die Entwicklung von dimensionalen Veränderungen einher (Martin et al. 2000).

Wenige Studien befassen sich mit der tatsächlichen Wettbewerbsbeeinflussung echokardiografischer Parameter beim Pferd und diese Studien beinhalten meist keine Warmblüter, sondern befassen sich mit Vollblütern oder Trabern (Young et al. 2008). Deren Ergebnisse zeigen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen negativer Beeinflussung der Leistung und Klappenregurgitationen. Ebenso wurden keine signifikanten Zusammenhänge zwischen negativer Beeinflussung und Schweregrad eines Herzgeräusches beobachtet.

Auch die Sterblichkeitsrate der Pferde mit und ohne linksseitige Klappenregurgitationen unterscheiden sich nicht signifikant (Stevens et al. 2009).

### 2.8. Therapie

Die Therapiemöglichkeiten von Herzerkrankungen bei Pferden hängt von der Art und der Erkrankung sowie von anderen individuellen Faktoren ab. Therapiemöglichkeiten bei chronischen Herzerkrankungen des Pferdes sind begrenzt, die Verwendung von Diuretika, Betablockern, ACE-Hemmern und Herzglykosiden ist keine etablierte, evidenzbasierte Praxis (Redpath und Bowen 2019).

Hingegen ist der Einsatz des Antiarrhythmikum Chinidinsulfat zur Behandlung von Vorhofflimmern verbreitet. Eine weitere Therapie von Vorhofflimmern ist die transvenöse elektrische Kardioversion in Allgemeinanästhesie (Gehlen und Stadler 2002;Goltz et al. 2009). Die Prognose nach einer Therapie von Vorhofflimmern und die Wahrscheinlichkeiten eines Rezidivs sind, abhängig von verschiedenen Faktoren, unterschiedlich (Reef et al. 1988;Gehlen und Stadler 2002;Mcgurrin 2015).

Pferde, die an paroxysmale oder anhaltendem Vorhofflimmern leiden, zeigen in vielen Fällen keine nachweisbaren strukturellen Herzpathologien. Bei diesen Tieren kann mit hoher Wahrscheinlichkeit durch eine Therapie ein Sinusrhythmus wiederhergestellt werden. Die Pferde erreichen in der Regel ihr früheres Leistungsniveau (Martin et al. 2004). Eine angepasste Bewegungstherapie kann helfen fortschreitende Herzerkrankungen bei Pferden zu verlangsamen und die allgemeine Fitness des Pferdes zu erhalten. Diese sollte nach Absprache mit einem Tierarzt erfolgen, um Überbelastung herzkranker Pferde zu vermeiden und Patienten und Pferdebesitzer vor möglichen Folgeschäden zu schützen (Navas De Solis 2016).

Pferde können an Gesundheitsproblemen leiden, die mit ihrer Herzerkrankung in Zusammenhang stehen. Haltungsoptimierung sowie Behandlung und Kontrolle dieser Begleiterkrankungen kann ein wichtiger Bestandteil im Management von herzkranken Pferden sein (Ceriotti et al. 2020).

### III. PUBLIKATIONEN

#### 3.1. Publikation I

#### **Retrospektive Studie zur Entwicklung von klinischen und echokardiographischen Herzbefunden bei Warmblutpferden**

Pferdeheilkunde – Equine Med. 40 (2024), 1, 49–58, DOI: 10.21836/PEM20240106

Ferdinand Kähn <sup>1,3</sup>, Roswitha Merle <sup>2</sup>, Jakob Hövener <sup>1</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

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

You have to read this part online.

### 3.2. Publikation II

#### **Retrospective study on the athletic development of Warmblood horses after cardiac examination**

Pferdeheilkunde – Equine Med. 40 (2024), 5, 455–462, DOI: 10.21836/PEM20240504

Ferdinand Kähn <sup>1,3</sup>, Roswitha Merle <sup>2</sup>, Jakob Hövener <sup>1</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

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

You have to read this part online.



## IV. ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION

Das Herz des Pferdes hat einen bedeutenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Tieres, sodass insbesondere bei sportlich genutzten Pferden ein besonderes Augenmerk auf der Verfassung dieses Organs liegt. Zur weiterführenden Befunderhebung am Herzen dient nach einer ausführlichen klinischen Untersuchung insbesondere ein Elektrokardiogramm (EKG) und Echokardiographie, sowie eine Blutuntersuchung (Gehlen et al. 1998; Giers et al. 2023). Herzfehler und die klinische und ultraschallgestützte Entwicklung kardiologischer Befunde spielen eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung der weiteren Nutzung, dem Auftreten von Leistungsinsuffizienz und dem Gesamtwert des Pferdes (Hövener et al. 2020; Ter Woort et al. 2022). Die Studien dieser Dissertation haben zum Ziel die Entwicklung kardiologischer Befunde von Erst- (U1) bis Zweituntersuchung (U2) aufzuzeigen und die Prognose nach der Erstevaluierung durch spezialisierte und fortgebildete Praktiker zu verbessern.

Die klinische Auswirkung von Herzbefunden beeinflusst die Belastbarkeit eines Tieres und ist für das Leben und die Nutzung des Warmblüters entscheidend, da bei schwerwiegenden Herzerkrankungen von intensiver Belastung oder von der Nutzung als Reitpferd für Kinder abzuraten ist (Reef et al. 2014).

Das Vorliegen eines Auskultationsbefundes liefert Hinweise auf die Herzgesundheit eines Pferdes (Hövener et al. 2021) und kann deshalb zu einer Reduzierung des Kaufpreises oder sogar zum Scheitern von Pferdeverkäufen führen, was es zu einem bedeutenden wirtschaftlichen Faktor in der Industrie macht (Verdegaal et al. 2002). Die Relevanz klinischer Befunde und entsprechend die Relevanz eines Herzgeräusches wird deshalb oft durch weiterführende Diagnostik evaluiert. Dennoch führen weitere Untersuchungen selten zu eindeutigen Aussagen bzw. Prognosen (Martin et al. 2004). Eine klinische Relevanz kann aber von dem Schweregrad einer Herzerkrankung abhängig gemacht werden (Reef 2019). So mag neben dem Status quo auch die Entwicklung einer Herzerkrankung von milden zu schwerwiegenderen Befunden von Interesse sein. Die Studien der vorliegenden Dissertation untersuchen sowohl die Entwicklung der klinischen und ultrasonographischen Befunde, als auch die Karriereentwicklung der Pferde, die eine weiterführende Diagnostik durchliefen.

Die Daten beider Studien entstammen einer Population von Warmblutpferden, die mutmaßlich der Gesamtpopulation von Warmblutpferden in Nordwest- und Mitteleuropa ähnelt. Die gewonnenen Erkenntnisse könnten wertvoll für prognostische Einschätzungen von Pferden innerhalb dieser und vergleichbaren Populationen.

Es ist wichtig, die Einschränkungen dieser Studien zu beachten. Die Daten, die über bis zu 22 Jahre gesammelt wurden, sollten im Kontext des technologischen Fortschritts betrachtet werden. Obwohl sich Ergebnisse im Laufe der Zeit möglicherweise aufgrund neuer Erkenntnisse verfeinert haben, war die Ultraschalltechnologie durchgehend präzise für die

Dokumentation relevanter kardiologischer Befunde geeignet (Gehlen et al. 1998). Bei den in den Studien vorliegenden Routinedaten einer privatwirtschaftlich geführten Pferdeklinik sind jedoch teilweise unvollständige Informationen vorhanden.

In der ersten Studie dieser Dissertation wird gezeigt, dass der Großteil der Befunde sich nicht bis zur Zweituntersuchung (U2) verschlechtert und in nur 2,9% der Fälle neue klinische Probleme auftreten, die in der U1 nicht feststellbar sind. Dies entspricht Erkenntnissen einer Studie aus dem Jahr 2007, die zeigt, dass sich ultrasonographische Befunde bis zur U2 im Durchschnitt nur geringfügig verschlechtern und nur bei wenigen Pferden klinisch relevant werden (Gehlen et al. 2007b).

Das Vorliegen einer Arrhythmie in der U1 erhöht die Wahrscheinlichkeit ihres erneuten Auftretens in der U2. Das entspricht dem aktuellen Wissenstand, da irreversible Strukturveränderungen als ätiologischer Faktor für Arrhythmien gelten (Reef et al. 2014). Darüber hinaus zeigten sieben Pferde in beiden Untersuchungen Vorhofflimmern (AF), was oft mit Leistungsinsuffizienzen und signifikant häufiger mit Vorhofvergrößerungen des linken Herzens einhergeht. Dies ist bereits durch vorherige Studien bestätigt (Goltz et al. 2009).

Ein Viertel der Pferde mit Kreislaufproblemen in der U2 zeigen bereits in der U1 Auffälligkeiten, obwohl insgesamt nur 5,8% der Pferde in der U1 auffällig sind. Dies könnte daran liegen, dass AF häufig mit Kreislaufproblemen einhergeht, insbesondere wenn der linke Vorhof vergrößert ist (Reef et al. 2014). Diese Erkenntnisse decken sich mit der vorliegenden Studie, in der Pferde mit vergrößertem linken Vorhof in der U1 signifikant häufiger AF in der U2 zeigten und die meisten Pferde mit AF auch strukturelle kardiovaskuläre Veränderungen aufwiesen. Die Ergebnisse widersprechen jedoch einer anderen Studie, die zwar eine Vorhofvergrößerung als prädisponierenden Faktor für AF nennt, aber feststellt, dass die meisten Pferde mit AF keine strukturellen Herzveränderungen zeigen (McGurrian 2015).

Solche Widersprüche könnten darauf zurückzuführen sein, dass in der tierärztlichen Praxis Nachuntersuchungsempfehlungen nur bei bestimmten Befunden ausgesprochen werden und eine Follow-Up-Studie entsprechend nur begrenzt mit einer Prävalenzstudie vergleichbar ist.

In der Humanmedizin ist Bluthochdruck ein bedeutender Risikofaktor für AF, gefolgt von strukturellen und funktionellen Herzanomalien (Losi et al. 2015) insbesondere einer Vergrößerung des linken Vorhofs, die vermehrt zu wiederkehrendem AF führt (Olshansky et al. 2005). Der Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein eines vergrößerten linken Vorhofs in der U1 und der erhöhten Wahrscheinlichkeit von AF in der U2 wurde in dieser Studie als hochsignifikant ( $p=0,007$ ) bestätigt. Ebenso zeigten Pferde mit vergrößertem linken Vorhof in der U1 signifikant häufiger Leistungsinsuffizienz in der U2.

Ob Pferde in der U2 signifikant häufiger AF zeigen, wenn der linke Vorhof in der U1 vergrößert ist und Pferde ausgeschlossen sind, die bereits in der U1 AF zeigen, kann formal mit einem p-Wert von 0,053 nicht vollständig bestätigt werden. Auch in diesem Fall könnte eine

unzureichende Fallzahl ausschlaggebend sein, da nur zwei Pferde in der U2 AF zeigten, die in der U1 nicht auffällig waren.

Der Grad der Herzgeräusche zeigte in der Studie unterschiedliche Entwicklungen: Zur U2 wurden Herzgeräusche leiser, lauter oder blieben unverändert. Dies verdeutlicht, dass die Lautstärke eines Herzgeräusches nicht zwangsläufig zur Beurteilung des Schweregrads einer Herzkrankheit herangezogen werden sollte (Reef 1995;Hövener et al. 2021). Außerdem ist bekannt, dass Herzgeräusche auch aufgrund abnormer Druckverhältnisse im Abdomen nur vorübergehend auftreten können oder als funktionelle Geräusche im Rahmen physiologischer Umbauprozesse entstehen (Gehlen 2010).

Die Studie konnte nicht zeigen, dass sich verschlechternde Befunde unterschiedliche Auswirkungen auf das Auftreten zusätzlicher Befunde in der U2 im Vergleich zu stabilen Befunden hatten. Eine frühere Studie in derselben Population zeigte, dass eine Mitralklappenregurgitation (MR) in der U1 die Wahrscheinlichkeit einer Vergrößerung des linken Vorhofs beeinflusste (Hövener et al. 2022). Hierbei handelt es sich oft um eine Vorstufe von AF, und ein direkter Einfluss der MR auf AF konnte in der vorliegenden Studie nicht schlüssig nachgewiesen werden. Die aktuelle Studie zeigt, dass MR keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtentwicklung hat, im Gegensatz zu einer anderen Studie (Van Loon 2019). Dieser Unterschied kann darauf zurückzuführen sein, dass in der aktuellen Studie Pferde mit schwerer MR fehlen.

Die Hypothese, dass kombinierte Befunde von MR und AF signifikant die Wahrscheinlichkeit einer Vorhofvergrößerung in der U2 erhöhen, wird aufgrund möglicherweise unzureichender Fallzahl (vier Pferde mit kombinierten Befunden in der U1) nicht bestätigt. Die Untersuchung von Abhängigkeiten von Untersuchungsintervallen für Vergrößerungen kardialer Dimensionen zeigte in der Mehrheit der Dimensionen keine Signifikanz. Nur bei den Änderungen in den Dimensionen des linken Vorhofs machte die Dauer des Untersuchungsintervalls einen Unterschied und Pferde, die über längere Intervalle untersucht wurden, zeigten signifikant häufiger Dimensionsänderungen.

Die Empfehlung für Nachuntersuchungen alle ein bis zwei Jahre, wie sie in der aktuellen Literatur vorgeschlagen wird (Gehlen 2010;Reef et al. 2014), ist mit den Ergebnissen dieser Studie nachzuvollziehen, auch wenn frühere Nachuntersuchungen wertvolle Erkenntnisse liefern können.

Die Studie ist durch das Ausschließen von Pferden aus der Studie eingeschränkt, die keine U2 durchlaufen haben. Verschiedene Faktoren wie der Tod des Pferdes oder die Entscheidung der Besitzer gegen eine U2 lassen keine Datenerhebung für eine U2 zu. Dies kann insbesondere dann Verzerrungen mit sich bringen, wenn bestimmte Patientengruppen eher auf U2 verzichten, sei es aufgrund positiver klinischer Entwicklungen oder finanzieller Gründe.

Die Studie untersucht nicht, ob bestimmte Patientengruppen eher dazu neigen, die U2 zu meiden.

Das Augenmerk der zweiten Studie der Dissertation liegt insbesondere auf dem Einfluss auf sportliche Parameter. Dafür wird der Zusammenhang kardiologischer Befunde und die, durch die FN-Datenbank dokumentierte, sportliche Performance der Warmblüter dargestellt, sodass in Zukunft bei Erstvorstellung und kardiologischer Erstdiagnose eines Warmblüters genauere Empfehlungen für die sportliche Nutzung eines Patienten gestellt werden könnten.

Insbesondere Patientenbesitzer, die auf sportliche Nutzung ihres Warmblüters fokussiert sind, mögen einen besonderen Wert auf die Leistungsprognose des Tierarztes legen, da die Leistung des Tieres durch Beeinflussung des Marktwertes direkte Auswirkungen auf betriebswirtschaftliche Kalkulation eines Tierbesitzers und damit auf existenzielle Fragen Einfluss nehmen könnte.

Der Tierarzt mag beim Sportpferdebesitzer also besonders gefordert sein eine akkurate Prognose zu treffen.

Die Studie zeigt deutliche Unterschiede in den Karrierenentwicklung der untersuchten Pferden. Insbesondere Klappenregurgitation, Dimensionsveränderungen, AF und klinische Ausprägungen von Herzbefunden während der Untersuchung haben einen Einfluss auf die Langzeit-Performance und die Karriereverläufe der Patienten.

AF ist ein beeinflussender Faktor für den sportlichen Erfolg. Außerdem ist AF signifikant mit der reduzierten Chance auf Steigerung der sportlichen Leistung, sowie dem zeitnahen Beenden sportlicher Karrieren assoziiert. Diese Beobachtung ist nicht überraschend, da AF bekannt dafür ist klinische Auswirkungen zu haben. In einer Studie aus dem Jahr 2002 wird gezeigt, dass 42% der Patienten vor der Untersuchung an Leistungsinsuffizienz litten (Gehlen und Stadler 2002). Die Therapie war in 35% nicht erfolgreich, sodass die klinische Relevanz von Vorhofflimmern unstrittig ist (Van Loon 2019).

Pferde ohne dimensionale Veränderungen zeigen eine signifikant höhere Rate beim Erreichen sportlicher Erfolge. Diese Trends halten über den Lauf der Zeit an. In jeder Kategorie zeigen Pferde mit dimensionalen Veränderungen durchgehend niedrigere Platzierungschancen im Vergleich zu denen ohne solche Veränderungen. Dies gilt als deutliches Indiz, dass dimensionale Veränderungen auf eine mindestens moderate Herzerkrankung hindeuten (Gehlen 2010) und betont den Einfluss dieser kardialen Veränderungen auf die langfristige sportliche Leistung von Warmblütern.

Die dimensionale Veränderung des linken Vorhofs (LA) ist ein signifikanter Faktor, der zum Ende der sportlichen Karriere eines Pferdes führen kann. Dieses Ergebnis ist nachvollziehbar, da ein vergrößerter LA dafür bekannt ist, signifikant öfter mit Vorhofflimmern (AF) in Verbindung zu stehen und entsprechend mit klinischem Erscheinungsbild im Sinne von

Leistungsinsuffizienz einhergeht (Reef et al. 2014). In der Studie zeigt sich außerdem, dass Besitzer von Pferden mit einem vergrößerten LA dazu neigen ihre Pferde in den Ruhestand zu versetzen oder sportliche Wettkämpfe zu vermeiden.

Diese Ergebnisse unterstreichen die Empfehlung zur Überwachung und Kontrolle von dimensionsbezogenen Veränderungen in der Echokardiographie, um das sportliche Potenzial und das Wohlbefinden von Pferdeathleten zu optimieren (Reef et al. 2014), da offensichtlich ist, dass Herzerkrankungen und subklinische Befunde fortschreiten und in Zukunft klinisch relevant werden können (Gehlen et al. 2007a). Ein vergrößerter linker Ventrikel (LV) ist ebenfalls ein signifikanter Faktor für das vermehrte Beenden der sportlichen Karriere eines Pferde. Das Ergebnis entspricht früheren Erkenntnissen, da ein vergrößerter LV ein Indikator für die besondere Schwere einer Aortenregurgitation (AR) sein kann (Ven et al. 2016).

Die Diagnose eines vergrößerten rechten Vorhofs (RA) und rechten Ventrikels (RV) erhöht die Wahrscheinlichkeit eines Karriereendes. Es ist bekannt, dass Dimensionsveränderungen des rechten Herzens ebenso auf ein fortgeschrittenes Stadium der Herzerkrankung hinweisen (Chope 2018).

Aortenregurgitation (AR) hat die Entwicklung der sportlichen Karriere in vorliegender Studie in eine unerwartete Richtung beeinflusst. Pferde mit AR in dieser Studienpopulation zeigten einen höheren Anteil an Karrieren von mehr als 12 Jahren im Vergleich zu denen ohne diese Erkrankung. Die Vermutung, dass AR einen potenziell protektiven Effekt auf die Länge von Sportkarrieren hat, ist wahrscheinlich falsch. In diesem Fall ist es sehr wichtig, die Ergebnisse im Verhältnis zur Studienpopulation zu sehen, die nur Pferde umfasst, die eine kardiologische Untersuchung in einer Pferdeklinik durchlaufen haben. Daher haben Pferde mit ausschließlich AR möglicherweise eine bessere Chance auf eine längere Karriere, wenn dies im Vergleich zum Rest der Studienpopulation, die Pferde mit verschiedenen schweren kardiologischen Befunden umfasst, gesehen wird. Aktuelle Literatur bestätigt, dass AR vergleichsweise häufig vorkommt und nur gelegentlich mit einer Leistungsminderung verbunden ist, trotz des potenziell erhöhten Risikos für plötzlichen Herztod (Keen 2016). Ein fachlicher Erklärungsversuch ist, dass AR vermehrt bei alten Pferden auftritt (Stevens et al. 2009). Pferde, die in der Untersuchung also AR haben, mögen schon älter sein und eine lange Karriere schon hinter sich haben wenn die Diagnose einer Herzerkrankung gestellt wird.

Dies könnte erklären, warum Pferde mit Aortenvergrößerung in den ersten vier Jahren nach der Diagnose nicht signifikant öfter ein Karriereende bevorstand, jedoch eine verringerte Wahrscheinlichkeit für eine Teilnahme an Wettkämpfen über diesen Zeitraum hinaus hatten.

Eine Vergrößerung der Pulmonalarterie trägt signifikant zum vermehrten Beenden der Sportkarrieren bei, wobei eine beträchtliche Mehrheit, der von dieser Erkrankung betroffenen Pferde, ihre Teilnahme an Wettkämpfen einstellte. Im Gegensatz dazu setzte ein

bemerkenswerter Prozentsatz von Pferden ohne Vergrößerung der Pulmonalarterie ihre Karrieren fort. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Dimensionen der Pulmonalarterie eine bestimmende Wirkung auf die Fortsetzung oder Beendigung sportlicher Aktivitäten bei Warmblütern haben. Es ist zu beachten, dass andere Krankheiten wie schweres Equines Asthma bei Pferden die Wahrscheinlichkeit einer vergrößerten Pulmonalarterie erhöhen können (Ceriotti et al. 2020), und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Karrieren der Pferde aufgrund anderer Umstände oder Krankheiten beendet wurden.

Die Prognosen, die den Patienten in dieser Studie gegeben wurden, waren oft zutreffend. Diese Erkenntnisse stimmen mit einer anderen Studie von Ter Woort (Ter Woort et al. 2022) überein, die besagt, dass Prognosen bei Voruntersuchungen auf sportliche Leistung im Allgemeinen genau sind.

Die Studien weisen keine Kontrollgruppen auf, was die kritische Notwendigkeit betont, Bewertungen vor allem im Zusammenhang mit dem entsprechenden Teil der Studienpopulation vorzunehmen. Bewertungen, insbesondere wenn sie Verteilungen mit der Gesamtpopulation vergleichen, sollten aufgrund möglicher signifikanter Verzerrungen mit Vorsicht interpretiert werden und einen besonderen Wert auf Vergleichbarkeit der Populationen legen. Dennoch sind die Erkenntnisse aus der Studie wertvoll, da sie einen Kontext für das Verständnis der Schwere einer bestimmten Diagnose im Verhältnis zu verschiedenen anderen Herzkrankheiten bieten.

Die Studie hat Herzdimensionen nicht im Verhältnis zu Körperdimensionen, Alter, Geschlecht oder Trainingszustand bewertet, was die Robustheit der Schlussfolgerungen beeinträchtigen könnte (Al-Haidar et al. 2013a). Es wird inzwischen empfohlen Herzdimensionen allometrisch anzuwenden (Al-Haidar et al. 2013b) und laut einer Studie von Trachsel aus dem Jahr 2016 hat Training und das weibliche Geschlecht, sowie zunehmendes Alter einen additiven Effekt auf die Größe des linken Vorhofes. Die Erhöhung des Alters hat zusätzlich noch einen additiven Effekt auf den linken Ventrikel (Trachsel et al. 2016). Die Empfehlung des Integrierens dieser Variablen konnten in diesen Studien nicht berücksichtigt werden, da ein Großteil der Daten schon erhoben wurde als solche Empfehlungen noch nicht veröffentlicht waren. Zukünftige Studien, die solche und weitere wichtigen Parameter einbeziehen, mögen zu einer gründlicheren Analyse und noch deutlich präziseren Aussagen beitragen.

Die Studiendaten erstrecken sich über einen Zeitraum von mehr als 18 und 22 Jahren, und Fortschritte in der Technologie könnten im Laufe der Zeit Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben. Tatsächlich ist die Ultraschalldiagnostik auch schon zu Beginn der Studie präzise

gewesen und war über den gesamten Studienzeitraum gut geeignet, relevante kardiologische Befunde zu dokumentieren (Gehlen et al. 1998).

Die Abhängigkeit von routinemäßigen klinischen Daten birgt potenzielle Probleme der Unvollständigkeit. Insbesondere in privatwirtschaftlichen Kliniken mag aus wirtschaftlichen Gründen auf vollständige Datenerhebung verzichtet werden. Möglicherweise verzichtet ein Tierarzt zum Beispiel auf eine vollständige Untersuchung, weil der Besitzer die Untersuchung aufgrund von Aussichtslosigkeit und Kostengründen abbricht.

Eine der beiden Studien verwendet Daten der Erfolgsdatenbank der FN Deutschland. Pferde, die Teil der Studie sind können jedoch auch im Ausland erfolgreich gewesen sein, sodass dies eine weitere Quelle der Verzerrung darstellen kann. Ebenso wie es möglich ist, dass Pferde mancher Gruppen in der ersten Studie nicht mehr zur Nachuntersuchung vorstellig werden mag es in der zweiten Studie möglich sein, dass Pferde bestimmter Studiengruppen nicht in der deutschen stattdessen jedoch in ausländischen Erfolgsdatenbank auftreten, weil sie vermehrt ins Ausland verkauft werden.

Trotzdem können wir davon ausgehen, dass beide Studien wertvolle Ergebnisse liefern, um die Bedeutung verschiedener Diagnosen besser einzuordnen und zu helfen die Entwicklungsoptionen verschiedener Befunde vorherzusagen.

Die Studie betont die vielfältigen Auswirkungen verschiedener kardialer Dimensionen auf Sportkarrieren und die Komplexität der kardialen Gesundheit von Warmblutpferden im Zusammenhang mit sportlicher Leistung. Diese Erkenntnisse können zu einem tieferen Verständnis der Faktoren beitragen, die die Dauer und den Erfolg von Sportkarrieren bei Warmblutpferden beeinflussen, und wertvolle Einblicke für sowohl tierärztliche Praktiker als auch Pferdebesitzer bieten.

Um die Präzision zukünftiger Ergebnisse zu verbessern, wird empfohlen, vergleichbare Studien mit größeren Stichproben durchzuführen. Zusätzlich sollte die Integration weiterer Variablen und eine präzisere Dokumentation in der Routinepraxis stattfinden. Insbesondere im Zusammenhang mit sportbezogenen Daten sollten mehr Datenbanken eingebunden werden, die insbesondere auch internationale und ausländische nationale Erfolge mit einbeziehen.



## V. ZUSAMMENFASSUNG

Die prognostische Einschätzung kardiologischer Befunde bei Warmblütern ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Für Pferdehalter, Tierärzte und Wissenschaftler stellen sich oftmals die Fragen nach Entwicklung der Herzbefunde. Für diesen Zweck werden nach Erstuntersuchung eines Patienten oft Nachuntersuchungen empfohlen. Pferdebesitzer fragen sich jedoch auch schon bei Erstuntersuchung, wie sich die Herzuntersuchungsergebnisse ihrer Pferde langfristig auf Überleben, Reitbarkeit, Leistung und Wert ihrer Pferde auswirken. Um diese Fragen besser beantworten zu können und die Zuverlässigkeit von Langzeitprognosen zu verbessern, wird zum einen die Entwicklung kardiologischer und klinischer Befunde von Erst- zu Nachuntersuchung bei 104 Warmblütern untersucht und zum anderen die sportliche Entwicklung von 450 Warmblütern anhand der FN-Datenbank analysiert, die zuvor sowohl einer allgemeinen als auch einer spezifischen Herzuntersuchung unterzogen wurden. Die Daten zur Auswertung der Befundentwicklung von Erst- zu Nachuntersuchung werden über einen Zeitraum von 22 Jahren gesammelt. Die klinischen Daten der Pferde, deren sportliche Karrieren ausgewertet werden, entstammen aus einem Zeitraum von 18 Jahren.

Der Herzultraschall gilt als geeignetes Mittel für präzise Diagnostik und Prognoseeinschätzung. Die Studien zeigen, dass ein vergrößerter linker Vorhof in der Erstuntersuchung häufig zu Vorhofflimmern (Odds Ratio (OR)=7,5;  $p=0,007$ ) und Leistungsinsuffizienz (OR=4,380;  $p=0,027$ ) in der Folgeuntersuchung führte. Die Größenzunahme des linken Vorhofes ist auch abhängig von der Dauer des Untersuchungsintervalls, insbesondere wenn dieses größer als 15 Monate war (OR = 5,647;  $p = 0,019$ ). Die Studie bestätigt, dass sich kardiologische Befunde im Laufe der Zeit meist nur geringfügig verschlechtern und selten eine klinisch relevante Ausprägung entwickeln.

Die Studien zeigen auch, dass besonders Pferde mit Veränderungen in den Herzdimensionen dazu neigen, ihre sportliche Karriere um den Zeitpunkt der Diagnose zu beenden. Pferde mit Vorhofflimmern zeigten ebenso vermehrtes Beenden der sportlichen Karrieren. Die prognostischen Einschätzungen der Tierärzte erwiesen sich als genau, besonders bei weniger günstigen Prognosen.

Zukünftige Studien sollten pferdespezifische Daten wie Gewicht, Alter und Größe einbeziehen und die Genauigkeit der Dokumentation in Kliniken verbessern, um präzisere retrospektive Studien zu ermöglichen. Die Nutzung internationaler Sportdaten beziehungsweise Datenbanken wird ebenfalls empfohlen, um das Verständnis der Faktoren, die die

Langlebigkeit und den Erfolg von Sportkarrieren in der Pferdepopulation beeinflussen, zu vertiefen und relevante prognostische Werte für Tierärzte und Pferdebesitzer zu liefern.

## VI. SUMMARY

### **Development of cardiac findings in the horse and their impact on athletic performance**

Evaluating the prognosis of clinical cardiological and echocardiographic findings in warm-blooded horses poses a significant challenge. Despite this, there is a demand from horse owners and potential buyers for the utmost precision in anticipating how heart disease might impact their equine companion's long-term survival, quality of life, and overall performance. This study seeks to elevate the accuracy of these prognostic assessments by documenting the trajectory of clinical and echocardiographic findings in 104 warmblood horses. Additionally, it aims to contribute valuable insights by analysing the sports performance outcomes following clinical and echocardiographic consultations for a cohort of 450 warmblood horses.

The research encompasses an examination of horses conducted at an equine clinic in northern Germany. One segment of the study focuses on horses evaluated between January 1, 2000, and May 25, 2022. Each horse underwent both an initial (U1) and a subsequent follow-up (U2) cardiological assessment, involving comprehensive clinical examinations and cardiac ultrasounds during both visits. The two assessments were conducted with a minimum interval of two weeks, encompassing a reevaluation of cardiac ultrasound data.

The study reveals that ultrasound findings typically remain stable or tend to worsen up to U2. Only 2.9% of cases exhibit abnormalities in U2 that were not initially detected in U1. This aligns with previous studies. Additionally, the study demonstrates that conditions such as arrhythmias and atrial fibrillation (AF) frequently recur during the U2 examination. The correlation between the occurrence of an enlarged LA and AF is confirmed to be highly significant ( $p=0.007$ ). Horses are more prone to AF in U2 if they have an enlarged LA in U1. Consistent with these findings the study is able to demonstrate that the enlargement of the LA depends on the period between examination and occurs particularly when the examination interval is longer than 15 months ( $OR=5.647$ ;  $p=0.019$ ). The degree of heart murmurs varies compared to the U1. Heart murmurs in U2 are both of higher and lower grades. This emphasizes that the grade of a heart murmur is not necessarily a reliable indicator of the severity of a heart disease. It is also known that heart murmurs can occur briefly. The study undertaken did not establish a direct causal relationship between MR and AF. This contradicts another study, which may be explained by the fact that no horse with severe MR is found in the study.

The second study aims to establish associations between cardiac findings and career developments in sport horses. Against this background, the athletic trajectories of 450 Warmbloods are analysed.

The data reveals a significant deterioration of athletes following a diagnosis of heart dimensional changes and AF.

Both study populations lack measurements of body size, weight and patient age, which must be acknowledged as a limitation when interpreting heart dimensions.

Future studies should incorporate more horse-specific data, including factors such as weight, age, and size. The thoroughness of routine documentation in clinics should be enhanced to facilitate the precision of retrospective studies. Additionally, it is advisable to explore the utilization of other international sports-related databases. The results can improve our understanding of the factors that influence longevity and success of sport careers in the equine population and provide relevant prognostic values for veterinarians and horse owners.

## VII. LITERATURVERZEICHNIS

- Al-Haidar, A., F. Farnir, S. Deleuze, C. F. Sandersen, A. A. Leroux, L. Borde, S. Cerri and H. Amory (2013a):  
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.
- Al-Haidar, A., A. Leroux, L. Borde, S. Deleuze, S. Cerri, C. Sandersen, H. Amory and F. Farnir (2013b):  
Relationship between echocardiographic measurements and body size in horses.  
Journal of Equine Veterinary Science 33: 107-114. DOI: 10.1016/j.jevs.2012.05.063.
- Aly, I., A. Rizvi, W. Roberts, S. Khalid, M. W. Kassem, S. Salandy, M. Du Plessis, R. S. Tubbs and M. Loukas (2021):  
Cardiac ultrasound: An Anatomical and Clinical Review.  
Translational Research in Anatomy 22: 100083. DOI: 10.1016/j.tria.2020.100083.
- Antoni, H. (2000):  
Mechanik der Herzaktion.  
Physiologie des Menschen. R. F. Schmidt, G. Thews and F. Lang. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 448-471.
- Budras, K. D. and S. Röck (2004):  
Atlas der Anatomie des Pferdes: Lehrbuch für Tierärzte und Studierende.  
Hannover, Schlütersche.
- Ceriotti, S., M. Bullone, M. Leclere, F. Ferrucci and J. P. Lavoie (2020):  
Severe asthma is associated with a remodeling of the pulmonary arteries in horses.  
PLoS One 15: e0239561. DOI: 10.1371/journal.pone.0239561.
- Chope, K. B. (2018):  
Cardiac/Cardiovascular Conditions Affecting Sport Horses.  
Veterinary Clinics of North America: Equine Practice 34: 409-425. DOI: 10.1016/j.cveq.2018.04.001.
- Ellenberger, W., H. Baum and O. Zietzschmann (1943):  
Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere.  
Heidelberg, Springer.
- Else, R. W. and J. R. Holmes (1971):  
Pathological Changes in Atrial Fibrillation in the Horse.  
Equine Veterinary Journal 3: 56-64. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1971.tb04441.x.
- Gehlen, H. (2010):  
Pferdekardiologie.  
Hannover, Schlütersche.
- Gehlen, H., A. Goltz, K. Rohn and P. Stadler (2007a):  
A survey of the frequency and development of heart disease in riding-horses - Part 1: Retrospective evaluation (1992 - 2003) and questionnaires.  
Pferdeheilkunde Equine Medicine 23: 369-377. DOI: 10.21836/PEM20070408.

- Gehlen, H., A. Goltz, K. Rohn and P. Stadler (2007b):  
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. DOI: 10.21836/PEM20070409.
- Gehlen, H. and P. Stadler (2002):  
Atrial fibrillation in warmblood horses - Echocardiography, therapy, prognosis and outcome in 72 cases.  
Pferdeheilkunde Equine Medicine 18: 530-536. DOI: 10.21836/PEM20020603.
- Gehlen, H., P. Stadler and E. Deegen (1998):  
Vorschlag zur Standardisierung der Untersuchung von herzkranken Warmblutpferden mit einem kardiologischen Beurteilungssystem.  
Pferdeheilkunde Equine Medicine 14: 107-114.
- Giers, J., A. Bartel, K. Kirsch, S. F. Müller, S. Horstmann and H. Gehlen (2023):  
Blood-based markers for skeletal and cardiac muscle function in eventing horses before and after cross-country rides and how they are influenced by plasma volume shift.  
Animals (Basel) 13: 3110.
- Gilbert, S. H., F. J. McConnell, A. V. Holden, M. U. Sivananthan and J. Dukes-McEwan (2010):  
The potential role of MRI in veterinary clinical cardiology.  
The Veterinary Journal 183: 124-134. DOI: 10.1016/j.tvjl.2008.11.018.
- Goltz, A., H. Gehlen, K. Rohn and P. Stadler (2009):  
Therapy of atrial fibrillation with class-1A and class-1C antiarrhythmic agents and ACE inhibitors.  
Pferdeheilkunde Equine Medicine 25: 220-227. DOI: 10.21836/PEM20090304.
- Harmeyer, J. (2000):  
Herz.  
Physiologie der Haustiere. Stuttgart Enke: 136-168.
- Hövenner, J., A. K. Barton, R. Merle and H. Gehlen (2020):  
Review: Poor performance in the Warmblood sport horse – causes and diagnostic approach.  
Pferdeheilkunde Equine Medicine 36: 511–530-511–530. DOI: 10.21836/pem20200604.
- Hövenner, J., J. Pokar, R. Merle and H. Gehlen (2021):  
Association between cardiac auscultation and echocardiographic findings in warmblood Horses.  
Animals (Basel) 11. DOI: 10.3390/ani11123463.
- Hövenner, J., J. Pokar, R. Merle and H. Gehlen (2022):  
Findings in 261 cardiac examinations of warmblood sport horses and their association with performance.  
Pferdeheilkunde Equine Medicine: 252-263. DOI: 10.21836/PEM20220306.
- Jago, R. and J. Keen (2017):  
Identification of common equine cardiac murmurs.  
In Practice 39: 222-232. DOI: 10.1136/inp.j1769.
- Kaemmerer, H. (1983):  
Die Auskultation des Herzens beim Pferd (Wertung und Beschreibung eines neuen Stethoskopes).  
Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 90: 503-546

- Keen, J. A. (2016):  
Equine aortic regurgitation: The search for objective repeatable and reproducible indicators of severity.  
Veterinary Journal 213: 91-92. DOI: 10.1016/j.tvjl.2016.04.016.
- Lopes, V., G. Costa, A. Pereira, L. Pereira, L. Magalhães, D. Santos and D. Junior (2021):  
Morphoquantitative evaluation of the heart of equine athletes.  
Pubvet 15: 1-8. DOI: 10.31533/pubvet.v15n06a826.1-8.
- Losi, M. A., R. Izzo, M. De Marco, G. Canciello, A. Rapacciuolo, V. Trimarco, E. Stabile, F. Rozza, G. Esposito, N. De Luca, G. De Simone and B. Trimarco (2015):  
Cardiovascular ultrasound exploration contributes to predict incident atrial fibrillation in arterial hypertension: the Campania Salute Network.  
International Journal of Cardiology 199: 290-295. DOI: 10.1016/j.ijcard.2015.07.019.
- Marr, C. M. and I. M. Bowen (2010):  
Cardiology of the horse.  
London, Saunders Elsevier.
- Marr, G. M. (1994):  
Equine echocardiography—sound advice at the heart of the matter.  
British Veterinary Journal 150: 527-545. DOI: 10.1016/S0007-1935(94)80036-7.
- Martin, B., B. M. Ben, E. J. Davidson, M. M. Durando and E. K. Birks (2004):  
Clinical exercise testing: overview of causes of poor performance.  
Equine Sports Medicine and Surgery: 32-41.
- Martin, B., V. B. Reef, E. J. Parente and A. D. Sage (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. DOI: 10.2460/javma.2000.216.554.
- McGurrin, M. K. J. (2015):  
The diagnosis and management of atrial fibrillation in the horse.  
Veterinary Medicine: Research and Reports 6: 83-90. DOI: 10.2147/vmrr.S46304.
- Navas de Solis, C. (2016):  
Exercising arrhythmias and sudden cardiac death in horses: Review of the literature and comparative aspects.  
Equine Veterinary Journal 48: 406-413. DOI: 10.1111/evj.12580.
- Nickel, R. (2005):  
Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane.  
Stuttgart, Georg Thieme.
- Olshansky, B., E. N. Heller, B. Mitchell, M. Chandler, W. Slater, M. Green, M. Brodsky, P. Barrell and H. L. Greene (2005):  
Are transthoracic echocardiographic parameters associated with atrial fibrillation recurrence or stroke?  
Journal of the American College of Cardiology 45: 2026-2033. DOI: 10.1016/j.jacc.2005.03.020.
- Patteson, M. W. (1996):  
Equine cardiology.  
Oxford, Blackwell science.

- Redpath, A. and M. Bowen (2019):  
Cardiac Therapeutics in Horses.  
Vet Clin North Am Equine Pract 35: 217-241. DOI: 10.1016/j.cveq.2018.11.004.
- Reef, V. B. (1995):  
Evaluation of ventricular septal defects in horses using two-dimensional and Doppler echocardiography.  
Equine Veterinary Journal 27: 86-95.
- Reef, V. B. (2019):  
Assessment of the cardiovascular system in horses during prepurchase and insurance examinations.  
Veterinary Clinics of North America: Equine Practice 35: 191-204. DOI: 10.1016/j.cveq.2018.11.002.
- Reef, V. B., J. Bonagura, R. Buhl, M. K. J. McGurrin, C. C. Schwarzwald, G. Van Loon and L. E. Young (2014):  
Recommendations for management of equine athletes with cardiovascular abnormalities.  
Journal of Veterinary Internal Medicine 28: 749-761. DOI: 10.1111/jvim.12340.
- Reef, V. B., C. W. Levitan and P. A. Spencer (1988):  
Factors affecting prognosis and conversion in equine atrial fibrillation.  
Journal of Veterinary Internal Medicine 2: 1-6. DOI: 10.1111/j.1939-1676.1988.tb01970.x.
- Stevens, K. B., C. M. Marr, J. N. Horn, D. U. Pfeiffer, J. D. Perkins, I. M. Bowen, E. J. Allan, J. Campbell and J. Elliott (2009):  
Effect of left-sided valvular regurgitation on mortality and causes of death among a population of middle-aged and older horses.  
Veterinary Record 164: 6-10. DOI: 10.1136/vr.164.1.6.
- Ter Woort, F., V. Reef, D. Stefanovski and J. Slack (2022):  
Cardiac pre-purchase examination in horses – evaluation, outcome and athletic follow-up.  
Equine Veterinary Education 34: 530-538. DOI: 10.1111/eve.13507.
- Trachsel, D. S., A. Giraudet, D. Maso, G. Hervé, D. D. Hauri, E. Barrey and C. Robert (2016):  
Relationships between body dimensions, body weight, age, gender, breed and echocardiographic dimensions in young endurance horses.  
BMC Veterinary Research 12: 226. DOI: 10.1186/s12917-016-0846-x.
- Van Der Vekens, N., I. Hunter, J. P. Goetze, A. Decloedt, D. De Clercq and G. Van Loon (2013):  
Human and equine cardiovascular endocrinology: beware to compare.  
Cardiovascular Endocrinology & Metabolism 2: 67-76. DOI: 10.1097/xce.000000000000009.
- Van Loon, G. (2019):  
Cardiac Arrhythmias in Horses.  
Veterinary Clinics of North America: Equine Practice 35. DOI: 10.1016/j.cveq.2018.12.004.
- Ven, S., A. Decloedt, N. Van Der Vekens, D. De Clercq and G. Van Loon (2016):  
Assessing aortic regurgitation severity from 2D, M-mode and pulsed wave Doppler echocardiographic measurements in horses.  
Veterinary Journal 210: 34-38. DOI: 10.1016/j.tvjl.2016.01.011.

Verdegaal, E. J. M. M., G. Voorhout, G. Van Loon and M. m. Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan (2002):  
Heart murmurs found at pre-purchase or veterinary examinations - Inventory and follow-up of 77 clinically healthy horses.  
*Pferdeheilkunde Equine Medicine* 18: 263-272.

Vernemmen, I., G. Van Steenkiste, S. Hauspie, L. De Lange, E. Buschmann, K. Vanderperren and G. Van Loon (2021):  
Development of a computer model that represents 3D in vivo anatomy of the equine heart.  
33rd EAVA Congress.

Young, L., K. Blissitt, D. Bartram, E. Clutton, V. Molony and R. Jones (1997):  
Measurement of cardiac output by transoesophageal Doppler echocardiography in anaesthetized horses: Comparison with thermodilution.  
*British Journal of Anaesthesia* 77: 773-780. DOI: 10.1093/bja/77.6.773.

Young, L. E., K. Rogers and J. L. Wood (2008):  
Heart murmurs and valvular regurgitation in thoroughbred racehorses: epidemiology and associations with athletic performance.  
*Journal of Veterinary Internal Medicine* 22: 418-426. DOI: 10.1111/j.1939-1676.2008.0053.x.



## VIII. LISTE DER PUBLIKATIONEN

- a. Kähn F, Merle R, Hövener J, Gehlen H (2024) Retrospektive Studie zur Entwicklung von klinischen und echokardiographischen Herzbefunden bei Warmblutpferden. *Pferdeheilkunde Equine Medicine* 40, 49–58, DOI 10.21836/PEM20240106
  
- b. Kähn F, Hövener J, Merle R, Gehlen H (2024) Retrospective study on the athletic development of Warmblood horses after cardiac examination. *Pferdehlk Equine Med* 40, 455–462; DOI 10.21836/PEM20240504

### Meine Beteiligung an diesen Publikationen

Die Ideen für die zwei Publikationen entstanden unter meiner direkten Mitwirkung in Zusammenarbeit mit meiner Doktormutter Prof. Dr. Heidrun Gehlen, sowie meinem Kollegen Dr. Jakob Hövener. Die Datenerhebung aus dem Praxisprogramm der Pferdeklinik Bargteheide wurde von mir selbstständig durchgeführt. In der statistischen Auswertung unterrichtete mich Dr. Roswitha Merle und stand jederzeit für Beratung und Fragestellungen zur Verfügung. Bei erneuter Beurteilung und Bewertung der Ultraschallbilder war Dr. Jakob Hövener mein kompetenter Ansprechpartner in der Pferdeklinik Bargteheide. Die Artikel wurden durch mich eigenständig verfasst. Die Manuskripte wurden durch Prof. Heidrun Gehlen, Dr. Roswitha Merle und Dr. Jakob Hövener Korrektur gelesen.

## IX. DANKSAGUNG

Ich möchte mich an dieser Stelle bei den Menschen bedanken, die mich auf meinem Weg zur Vollendung dieser Dissertation begleitet und unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meiner Doktormutter, Prof. Dr. Heidrun Gehlen, für die Gelegenheit, diese externe Dissertation unter ihrer fachkundigen Anleitung zu verfassen. Ich möchte mich herzlich für ihre Expertise, ihre motivierende und unkomplizierte Art der Begleitung und Anleitung rund um die Uhr bedanken.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Dr. Roswitha Merle, meiner Statistikerin, für ihre professionelle Beratung. Ihre fachkundige Unterstützung hat die Grundlage dieser Arbeit gestärkt und maßgeblich zu deren Qualität beigetragen.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt meiner Forschungsarbeit war die Zusammenarbeit in der Pferdeklinik Bargtheide, sodass ich der Klinikleitung namentlich Dr. Ina Lorenz, Dr. Jan Brunk, Dr. Volker Sill und Dr. Werner Jahn für die großzügige Bereitstellung der Daten aus ihrer Klinik danken möchte. Außerdem danke ich all meinen Kollegen und insbesondere Dr. Jakob Hövener.

Mein tiefster Dank gilt meinen Eltern Dr. Dr. habil. Wolfgang Kähn und Dr. Birgit Kähn, die seit jeher ermutigend auf mich eingewirkt haben, mich gefordert und gefördert haben und mir bedingungslosen Rückhalt geben. Ihre Unterstützung und Fürsorge haben Alles möglich gemacht.

Ein besonderes Dankeschön gilt meiner geliebten Ehefrau Dr. Stefanie Kähn, und meinen beiden Geschwistern Dr. Hubertus und Dr. Charlotte Kähn. Alle drei sind eine große Hilfe gewesen.

## X. FINANZIERUNG

Die wissenschaftliche Arbeit wurde ohne finanzielle Unterstützung durchgeführt.

## XI. INTERESSENKONFLIKT

Im Rahmen dieser Arbeit bestehen keine Interessenskonflikte durch Zuwendungen Dritter.

## XII. 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.

Ferdinand Matthias Kähn

Berlin, den 11.11.2024







