

Aus dem Klinischen Department für Kleintiere und Pferde  
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Klinisches Zentrum für Pferde  
(Leiterin: Univ.-Prof. Dr.med.vet. Florian Jenner, Dipl.ACVS Dipl.ECVS)

# **Literaturrecherche zu Hitzestress beim Pferd**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von  
Julia Katharina Daxner

Wien, im Juni 2024

Betreuung:

Univ.-Prof. Dr.med.vet. Jessika-Maximiliane Cavalleri, Dipl.ECEIM  
Leitung Interne Medizin Pferde der Universitätsklinik für Pferde  
Klinisches Department für Kleintiere und Pferde  
Veterinärmedizinische Universität Wien

Begutachtung:

Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Christine Aurich, Dipl.ECAR  
Leitung des Klinischen Zentrums für Reproduktion  
Klinisches Department für Kleintiere und Pferde  
Veterinärmedizinische Universität Wien

## **ABSTRACT**

Heat stress poses significant challenges for both humans and animals, with documented cases dating back over 2000 years. However, the focus on "heat stress in horses" has surged in the last 30 years, particularly highlighted by incidents during the 1992 Barcelona Olympics. Subsequent efforts, including scientific research, have aimed to better understand and manage heat stress in horses, particularly in the context of major equestrian events. Notably, the issue extends beyond tournaments, with climate change exacerbating heat-related challenges, as also seen in Austria's increasing temperatures. This review emphasizes the importance of comprehensive knowledge in mitigating misdiagnoses, inadequate treatments, and adverse outcomes. The thesis seeks to investigate the physiological impacts of heat stress on horses and identify effective management strategies to safeguard their health and performance in climatic hot environments, providing practical recommendations for implementation.

To effectively manage heat stress in horses, early detection of this medical condition is essential. Numerous promising studies have shown that monitoring the animals' body temperature is a reliable indicator. Another method involves observing behavior in relation to vital signs. The most effective and straightforward treatment is continuously hosing the horses with cold water. Additionally, medications such as flunixin meglumine and detomidine can be administered. The most crucial preventive measure is avoiding situations that are likely to lead to heat stress. In this regard, the best current safeguard concerning environmental conditions is the Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT).

This review shows that further research into prevention and treatment of heat stress in horses is highly necessary.

# VORWORT

Hitzestress stellt sowohl für Menschen als auch für Tiere erhebliche Herausforderungen dar, wobei dokumentierte Fälle mehr als 2000 Jahre zurückreichen. In den letzten 30 Jahren hat jedoch das Thema "Hitzestress beim Pferd" an Bedeutung gewonnen, insbesondere durch Vorfälle während der Olympischen Spiele 1992 in Barcelona. Nachfolgende Bemühungen, einschließlich wissenschaftlicher Forschung, zielen darauf ab, Hitzestress beim Pferd besser zu verstehen und zu bewältigen, insbesondere im Kontext mit großen Reitveranstaltungen. Die Problematik reicht weit über Turniere hinaus, da der Klimawandel die hitzebedingten Herausforderungen verschärft, wie auch anhand der zunehmenden Temperaturen in Österreich zu sehen ist. Diese Literaturübersicht zeigt die Bedeutung umfassender Kenntnisse zur Vermeidung von Fehldiagnosen, unzureichenden Behandlungen und ungünstigen Ergebnissen. Diese Arbeit zielt darauf ab, die physiologischen Auswirkungen von Hitzestress auf Pferde zu untersuchen und wirksame Managementstrategien zur Sicherung ihrer Gesundheit und Leistungsfähigkeit in klimatisch heißen Gebieten zu identifizieren und praktische Empfehlungen für die Umsetzung zu geben.

Um Hitzestress bei Pferden effektiv zu managen, ist die frühzeitige Erkennung dieses medizinischen Zustandes essenziell. Zahlreiche vielversprechende Studien haben gezeigt, dass die Überwachung der Körpertemperatur der Tiere ein zuverlässiger Indikator ist. Eine weitere Methode ist die Beobachtung des Verhaltens im Zusammenhang mit den Vitalparametern. Die effektivste und einfachste Maßnahme zur Behandlung ist das kontinuierliche Abduschen der Pferde mit kaltem Wasser. Zusätzlich können Medikamente wie Flunixin-Meglumine und Detomidin verabreicht werden. Als wichtigster präventiver Punkt gilt die Vermeidung von Situationen, die mit großer Gewissheit zu Hitzestress führen. Hierbei ist die bisher beste Absicherung in Bezug auf die Umweltbedingungen der Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT).

Diese Literaturübersicht zeigt, dass weitere Forschung zur Prävention und Behandlung von Hitzestress bei Pferden dringend notwendig ist.

An dieser Stelle möchte ich ein herzliches Dankeschön an meine Betreuerin für ihre Unterstützung und fachliche Anleitung aussprechen. Ebenso möchte ich meiner Familie für ihre fortwährende Unterstützung danken. Ohne sie wäre mein gesamtes Studium nicht möglich gewesen.

## **ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

DIC	disseminierte intravasale Koagulopathie
EHI	exertional heat illness
FEI	Fédération Equestre International
IKT	innere Körpertemperatur
SIRS	systemic inflammatory response syndrome
UHI	Urban Heat Island Effect
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature

# INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Fragestellung.....	1
2. Material und Methodik.....	3
2.1. Literatursuche.....	3
2.2.1. Einschlusskriterien.....	3
2.2.2. Ausschlusskriterien.....	3
2.2.3. Informationsquellen .....	3
2.2. Auswahl der Studien.....	4
2.3. Übersicht über eingeschlossene Studien .....	5
3. Ergebnisse.....	7
3.1. Thermoregulation.....	7
3.1.1. Adaption an Kälte und Hitze .....	9
3.2. Definition von Hitzestress .....	11
3.2.1. Definition von Exertional Heat Illness.....	11
3.3. Klinisches Bild .....	12
3.3.1. Körpertemperatur .....	12
3.3.2. Durchblutung und Herzkreislauf.....	12
3.3.3. Atmung.....	14
3.3.4. Verhalten .....	14
3.3.5. Zusammenfassung .....	15
3.4. Pathophysiologie .....	16
3.5. Invasive und nicht-invasive Methoden zur Erkennung von Hitzestress beim Pferd .....	18
3.5.1. Einteilung von Verhalten und klinischen Parametern nach Brownlow et al. (2016) für Exertional Heat Illness.....	18
3.5.2. Verhalten .....	19
3.5.3. Körpertemperatur .....	20

3.5.4.	Hautelastizität .....	22
3.5.5.	Cortisol .....	22
3.6.	Präventive und kurative Maßnahmen.....	23
3.6.1.	Medikamente als kurative Maßnahme .....	23
3.6.2.	Kühlung als kurative und präventive Maßnahme .....	24
3.6.3.	Indizes und Grenzwerte als präventive Maßnahme .....	27
3.6.4.	Anpassung und Training als präventive Maßnahme .....	29
3.7.	Exkurs: Reproduktion und Hitzestress .....	30
3.8.	Conclusio.....	32
4.	Literaturverzeichnis.....	35
5.	Abbildungsverzeichnis .....	46
6.	Eidesstattliche Erklärung .....	47

# 1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Bei Hitzestress und seinen Auswirkungen auf den Körper von Menschen und Tieren handelt es sich bei weitem um keine neue Thematik. Schon vor über 2000 Jahren wurde die Problematik von Hitzestress beim Menschen dokumentiert. Er ist somit einer der ältesten bekannten medizinischen Zustände. (1) Aber doch gewann das Thema „Hitzestress beim Pferd“ erst in den letzten 30 Jahren zunehmend an Bedeutung. Die erste Indikation für ein besseres wissenschaftliches Verständnis dieser Erkrankung zeichnete sich mit den Olympischen Spielen 1992 in Barcelona ab. Weltweit wurden Bilder von überhitzten Pferden ausgestrahlt. Die Problematik erschwerte sich durch einen Mangel an Information über das Management von Hitzestress bei diesen Tieren. Der Ausblick auf die Olympischen Spiele 1996 in Atlanta mit ähnlichen Temperaturen und zusätzlicher hoher Luftfeuchtigkeit beunruhigte die Fédération Equestre International (FEI), die internationale Dachorganisation des Pferdesports. Eine Initiative zum besseren Verständnis im Umgang mit Sportpferden in klimatisch bedingten heißen Gebieten war die Folge. Zwischen 1992 und 2000 wurden über 50 wissenschaftliche Artikel von PubMed in Bezug auf „heat“, „exercise“ und „horses“ gelistet. Dieser Output wurde genutzt, um die Olympischen Spiele und andere große Pferdesport-Events sicherer über die Bühne zu bringen. (2)

Das Wissen über Hitzestress ist jedoch nicht nur bei internationalen Turnierserien in heißen Regionen von Bedeutung. Die durchschnittliche Temperatur in Österreich, bedingt durch den Klimawandel, ist in den letzten 100 Jahren im Tiefland um 1,9 °C gestiegen. Im Jahr 2019 betrug beispielsweise die Anzahl der Tage mit Temperaturen über 30 °C (Hitzetage) in Wien 37 Tage. (3)

Aufgrund dieser Entwicklungen ist die Thematik „Hitzestress beim Pferd“ auch für österreichische Veterinärmediziner:innen, Veranstalter:innen von jeglichen Turnieren und Pferdehalter:innen von großer Relevanz. Daher ist eine umfassende Kenntnis in diesem Bereich einer der wichtigsten Faktoren, um mögliche Fehldiagnosen, das Fehlen einer geeigneten Behandlung, gehäufte Fälle von Erkrankungen und Todesfälle verhindern zu können. (4)

Angesichts der steigenden Temperaturen und der dadurch bedingten wachsenden Bedeutung von Hitzestress beim Pferd zielt diese Abschlussarbeit darauf ab, die

Auswirkungen von Hitzestress auf Pferde zu recherchieren und geeignete Managementstrategien zu identifizieren, um die Gesundheit sowie die Leistungsfähigkeit von Pferden in heißen Umgebungen zu verbessern. Dabei wird der Einfluss von Hitzestress auf die physiologischen und pathologischen Prozesse des Pferdekörpers sowie eine Varianz dieser Reaktionen anhand von Umwelt und individuellen Faktoren beschrieben. Auch Verhaltensindikatoren für Hitzestress beim Pferd werden genauer unter die Lupe genommen. Es wird die Frage nach der Genauigkeit und Anwendbarkeit von invasiven und nicht-invasiven Methoden gestellt. Außerdem werden die Vor- und Nachteile möglicher präventiver und therapeutischer Ansätze eruiert. Des Weiteren werden die Herausforderungen, die der Klimawandel in Österreich und anderen Regionen mit sich bringt, beleuchtet und Empfehlungen für die praxisorientierte Umsetzung erarbeitet. Zuletzt wird auf Lücken im aktuellen Wissensstand in Bezug auf Hitzestress beim Pferd verwiesen.

## 2. MATERIAL UND METHODIK

### 2.1. LITERATURSUCHE

#### 2.2.1. Einschlusskriterien

Bezüglich der Merkmale der Studien wurde zunächst großzügig jede Studie erfasst, die sich mit Hitzestress und Wärmeregulation bei Pferden befasst. Sowohl Studien in deutscher als auch englischer Sprache wurden gesucht. Allerdings wurden nur Studien berücksichtigt, die im Volltext online über den Hochschulzugang der Veterinärmedizinischen Universität Wien einsehbar waren.

#### 2.2.2. Ausschlusskriterien

Einige Studien mit englischem Titel und Abstract haben sich bei der Beurteilung des Volltextes als Studien in einer anderen Sprache herausgestellt und wurden exkludiert. Keine der Studien wurde vor mehr als 50 Jahren publiziert und des Weiteren wurden keine älteren Studien zum Thema gefunden.

#### 2.2.3. Informationsquellen

Es wurden erstmals im April 2023 Studien in verschiedenen Datenbanken (siehe Tabelle 1) gesucht. In der Folge wurden in den Quellenverzeichnissen bereits gefundener Studien nach weiteren Veröffentlichungen zum Thema recherchiert. Wissenschaftler:innen, welche sich aufgrund vorhandener Studien offensichtlich im Zuge ihrer Laufbahn mit dem Thema befassten, wurden ebenfalls nachgeschlagen und ihre Arbeiten nach weiteren themenrelevanten Publikationen durchsucht. Die Suche mit den vordefinierten Suchbegriffen (siehe Tabelle 1) wurde am Juni 2023 abgeschlossen.

Kriterien	Parameter
Sprache	Englisch, Deutsch
Zeitraum	Beginn: April 2023 Ende: Juni 2023
Suchmaschinen	Pubmed (National Library of Medicine) vetmed:seeker der Veterinärmedizinischen Universität Wien Google/ Google Scholar Scopus (2020 Elsevier B.V.) Web of Science (Clarivate Analytics)

Suchbegriffe	heat stress in horses exertional heat illness exertional heat illness + horses heat stress + horse heat stress + equine heat stress + horse + australia exertional heat illness in australia heat stroke + horses heat stress + horse + olympic games heat + exercise + horse Hitzestress bei Pferden Hitzestress + Pferd Hitzeschlag + Pferd
Weiteres	Suche im Literaturverzeichnis gefundener Studien

*Tabelle 1: Kriterien und Suchbegriffe der Literaturrecherche zu Hitzestress bei Pferden*

## 2.2. AUSWAHL DER STUDIEN

Folgende Schlüsselwörter wurden bei der Suche verwendet: heat stress, exertional heat illness, heat stroke, Hitzestress, Hitzeschlag (siehe Tabelle 1). Da eine Suche nach "heat stress" in PubMed beispielsweise 70.393 verschiedene Treffer ergab, war ein erster Reduktionsschritt notwendig. Zur Eingrenzung wurde "horse" oder „equine“ ins Suchfeld hinzugefügt, um möglichst präzise Suchergebnisse zu erhalten.

Alle Treffer wurden dann anhand ihres Titels in die Identifikation ein- oder ausgeschlossen. Eingeschlossen wurden sämtliche wissenschaftliche Beiträge, welche sich mit Hitzestress sowie Hitzeadaptation von Equiden befassen.

Diese 104 Beiträge wurden genauer betrachtet und mithilfe ihres Abstracts entweder ausgeschlossen oder zur weiteren Beurteilung des Volltextes eingeschlossen. Zur Beurteilung des Volltextes wurden Artikel aus wissenschaftlichen Fachzeitschriften (mit peer-review-Verfahren) und Dissertationen einbezogen. Vorträge und Übersichtsposter wurden nicht inkludiert.

Letztendlich wurden die vorhandenen Volltexte anhand folgender Ausschlusskriterien weiter beurteilt. Entweder war kein Volltext über den Hochschulzugang der Veterinärmedizinischen Universität zugänglich oder eine andere unpassende Fragestellung für die gefragte Thematik stand im Vordergrund.

## 2.3. ÜBERSICHT ÜBER EINGESCHLOSSENE STUDIEN

In den folgenden Diagrammen werden die ausgewählten Studien anhand des Publikationsdatums und der Klimazone veranschaulicht.

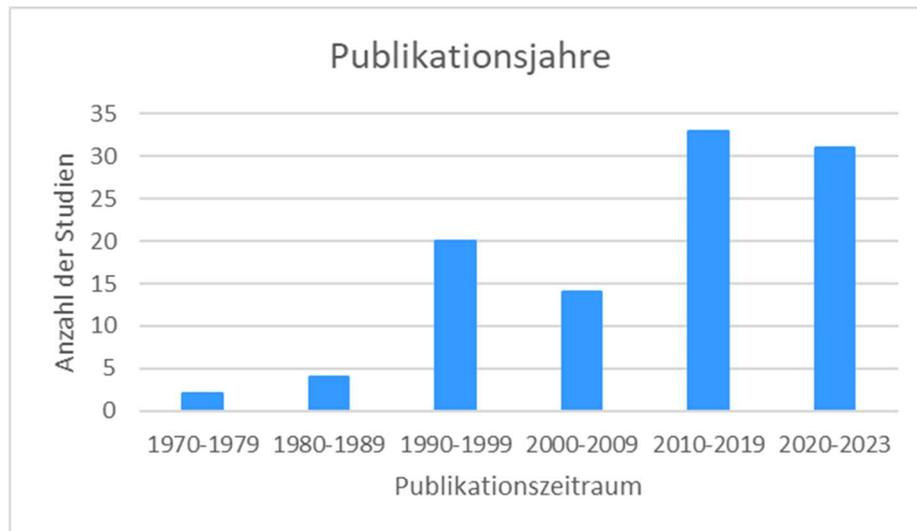


Abbildung 1: Diese Abbildung stellt die ausgewählten Studien zu Hitzestress bei Equiden in den festgelegten Publikationszeiträumen dar. Die älteste Studie wurde 1973 publiziert. Der Großteil der Studien wurde ab 2010 veröffentlicht. (Erstellt von: Julia K. Daxner)

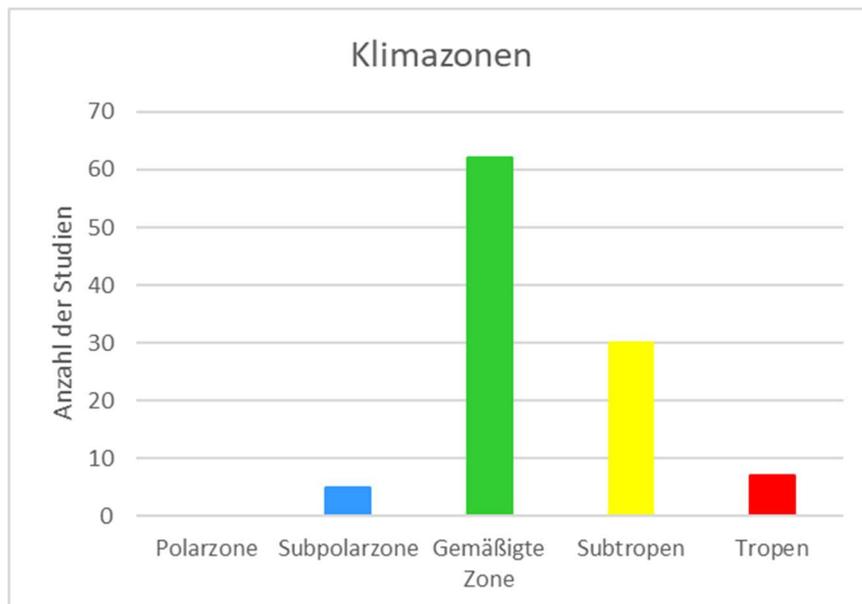


Abbildung 2: Diese Abbildung stellt die ausgewählten Studien zu Hitzestress bei Equiden in den fünf Klimazonen dar. Mehr als die Hälfte der Studien wurde in Ländern der gemäßigten Zone (z.B.: Belgien, USA, Kanada) durchgeführt. Der zweit stärkste Vertreter sind die Subtropen (z.B.: Australien, Japan). Sowohl die Tropen (z.B.: Brasilien, Nigeria) als auch die Subpolarzone (z.B.: Schweden) weisen weniger als zehn Studien auf. (Erstellt von: Julia K. Daxner)

In Abbildung 1 sind die ausgewählten Studien zu Hitzestress bei Equiden in den festgelegten Publikationszeiträumen dargestellt. Die älteste Studie wurde im Jahr 1973 publiziert. Im Zeitraum von 1990 bis 1999 lässt sich ein deutlicher Anstieg an Publikationen erkennen, der sich mit den Geschehnissen während der Olympischen Spiele 1992 in Barcelona erklären lässt. Der Großteil der verwendeten Studien wurde ab 2010 veröffentlicht. Eindrücklich ist, dass in den letzten vier Jahren fast ein Drittel aller Studien publiziert wurde. Durch dieses Diagramm wird die steigende Relevanz von Hitzestress bei Pferden gut veranschaulicht.

Abbildung 2 stellt die ausgewählten Studien zu Hitzestress bei Equiden in den fünf Klimazonen dar. Hier ist anzumerken, dass manche Länder in mehreren Klimazonen liegen. Daher wurde bei der Zuordnung die Zone gewählt, in der ein Großteil dieses Landes liegt. Australien hat beispielweise einen geringen Anteil an den Tropen im Nordosten des Landes, gehört aber sonst der subtropischen Zone an.

Mehr als die Hälfte der Studien wurden in Ländern mit gemäßigttem Klima durchgeführt. Mit 30 Studien sind die Subtropen der zweit stärkste Vertreter. Sowohl die Tropen als auch die Subpolarzone weisen weniger als zehn Veröffentlichungen auf. Der Polarzone konnte keine einzige Publikation zugeordnet werden.

Weiters ist anzumerken, dass mehr als die Hälfte aller Studien nur aus drei Ländern stammen, nämlich Australien, den USA und Großbritannien.

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1. THERMOREGULATION

Gesunde adulte Pferde können ihre Körpertemperatur ohne Energieaufwand zwischen 37.5 und 38.5 °C halten (5), solange sie sich in ihrer thermoneutralen Zone (in Europa meistens als 5 bis 25 °C definiert) befinden. (6) Um die Körpertemperatur in diesem engen Bereich zu halten, ist es für die Pferde essenziell die Balance zwischen Hitzeproduktion und Hitzeverlust aufrechtzuhalten. (7)

Einen externen Einfluss auf diese Balance nehmen umweltbedingte Faktoren wie Sonneneinstrahlung, Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit. Aber am bedeutendsten für das Entstehen eines Ungleichgewichts ihrer Körpertemperatur ist die metabolische Hitze, die bei körperlicher Anstrengung entsteht. (8)

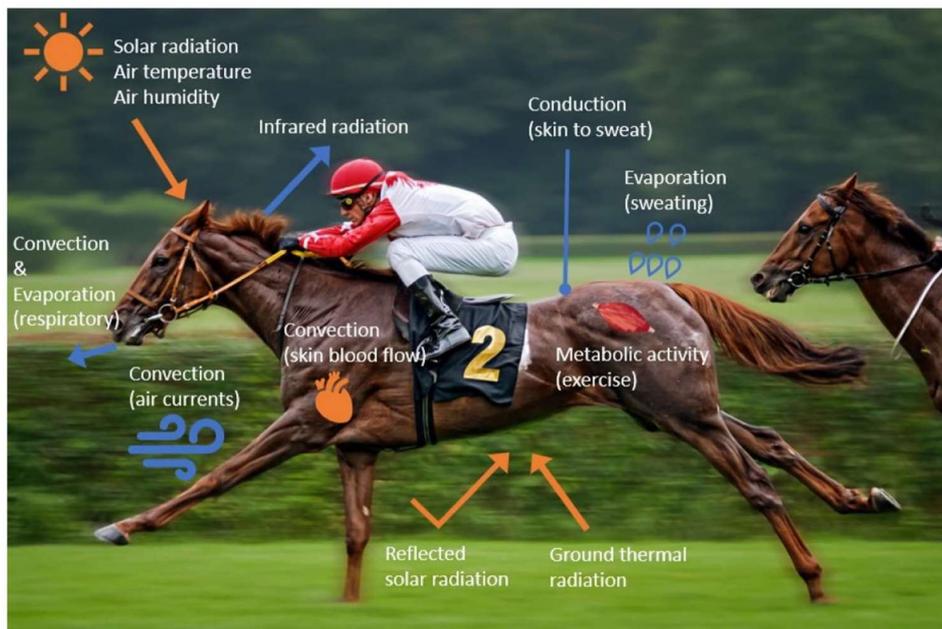


Abbildung 3: Diese Abbildung stellt den physikalischen Hitzetransfer bei einem Pferd in Arbeit dar. Die blauen Symbole beschreiben die Hitzeabgabe, die orangenen Symbole die Hitzeakkumulation. (Kang, Zsoldos et al. 2023)

Pferde brauchen für die Wärmeabgabe mehr Energie als beispielsweise der Mensch, da sie eine kleinere spezifische Körperoberfläche (Verhältnis Körperoberfläche zu Masse, 1:90-100 m<sup>2</sup>/kg) aufweisen. (9) Um ihre innere Temperatur im normalen Bereich zu halten, nutzen Pferde vier verschiedene Mechanismen: Thermale Radiation, Konduktion, Konvektion und Evaporation. (8)

Die primäre Thermoregulationsmethode basiert bei Equiden auf der Verdunstung von Schweiß und Wasser. (8, 10) Die Schweißproduktionsrate ( $L/h/m^2$ ) ist bei arbeitenden Pferden drei Mal so groß wie bei Menschen, wenn sie Arbeit mit gleicher Intensität verrichten. (11) Ungefähr 70 % der gesamten Hitzeabgabe erfolgt beim Pferd über diesen Mechanismus, wenn die Evaporation durch eine niedrige Luftfeuchtigkeit gegeben ist. Bei hoher Luftfeuchtigkeit und gleichzeitig hohen Temperaturen ist dieser Effekt der Verdunstung von Schweiß jedoch eingeschränkt. Wenn der produzierte Schweiß den Pferdekörper hinunterrinnt, anstatt zu verdunsten, werden nur 5 bis 10 % der Wärme beseitigt, die durch Evaporation abgegeben werden würde. (12)

Auch über den Atmungsstrakt wird die Kühlung durch Verdunstung genutzt. Die Ausatemluft hat immer dieselbe Temperatur wie die Körpertemperatur mit einem Feuchtigkeitsanteil von 100 %. Pferde nutzen diese kühlende Eigenschaft, indem sie ihre Atemfrequenz und ihr Atemvolumen um das Zehn- bis 18-fache je nach Arbeitsintensität erhöhen. (7, 13) Doch auch dieser Mechanismus der Evaporation ist stark abhängig von den vorhandenen Umweltbedingungen. (8)

Um die Wärmeabgabe über die Hautoberfläche bestmöglich auszunutzen, steigern Pferde in Ruhephasen die Durchblutung in Richtung Peripherie. Dieses System ist vergleichbar mit den Ohren von Elefanten. Elefanten nutzen die große Oberfläche und die gute Durchblutung ihrer Ohren als effektive Wärmeabgabe. Im Gegensatz zu Elefanten nutzen Pferde aber ihre gesamte Körperoberfläche für diese Aufgabe. (1)

Natürlich besteht die Thermoregulation von Pferden nicht nur aus Kühlmechanismen. Sie haben genauso auch die Möglichkeit sich vor übermäßiger Kälte zu schützen. Zum akuten Schutz vor Kälte nützen Pferde die Vasokonstriktion, um weniger Wärme über die Peripherie abzugeben. Infolgedessen wird der gesamte Kreislauf zentralisiert und die Akren werden vermindert durchblutet. Ebenfalls vermindert sich die Atemfrequenz. (14, 10)

Die beste Isolationsmethode der Pferde ist ihr Winterfell. Die Länge und Dichte vom Fell ändert sich im gemäßigten Klima nur langsam im Verlauf der Jahreszeiten. Um ihren Körper besser gegen akute Kälteeinbrüche zu isolieren, nützen Pferde die Piloerektion. Hierbei werden die einzelnen Fellhaare durch die Kontraktion glatter Muskelfasern aufgerichtet, so dass die isolierende Luftschicht um den Körper größer wird. (10) Umgangssprachlich wird

dieses Phänomen beim Menschen als "Gänsehaut" bezeichnet. Weiters kann Körperwärme auch durch Muskelzittern generiert werden. (15)

### **3.1.1. Adaption an Kälte und Hitze**

Pferde werden überall auf der Welt, in verschiedensten Regionen und Klimata, gehalten. Sie trotzen Berichten zufolge Temperaturen von -40 °C in Kanada bis +55 °C in Australien. (16, 15)

Wenn die Thermoneutralität aus globaler Sicht betrachtet wird, ist sie undefiniert und die absoluten Werte verändern sich je nach Jahreszeit, Region, Rasse und Alter. In der Literatur gibt es hier eine Vielzahl von unterschiedlichen Werten. (15) Von der kanadischen Regierung wird als thermoneutrale Zone, die für adulte Pferde bereitzustellen ist, - 7 °C bis 29 °C genannt. (17) In einer schwedischen Studie wurde diese Zone wiederum von 5 °C bis 25 °C definiert. (6) Dieser zuletzt genannte Bereich ist in einer Vielzahl von europäischen Fachbüchern wiederzufinden. Wobei hier anzumerken ist, dass diese Studie sich auf nur fünf adulte Pferde, davon ein Shetlandpony und vier Traber, bezieht. (18, 19) Was die Frage aufwirft, ob diese fünf Pferde repräsentativ genug für alle verschiedenen Pferderassen auf der Welt sind. Klar ist, mithilfe der soeben besprochenen Thermoregulation sowie weiteren Anpassungsmechanismen schaffen es Pferde in Umgebungstemperaturen, außerhalb ihres thermoneutralen Bereichs zu leben.

Zuerst passen Pferde ihr Verhalten an. Bei Kälte suchen sie Sonne und windgeschützte Orte auf. Bei Hitze wird Schatten und so wenig Bewegung wie möglich bevorzugt. (20, 14)

Auch das Haarkleid adaptiert sich an die Temperatur. In unserem gemäßigten Klima ist uns das Winter- und Sommerhaarkleid gut bekannt. Pferde lassen ihre Haare als Antwort auf eine verkürzte Sonneneinstrahlungsdauer wachsen. (21, 10)

In heißen Klimata gehaltene Pferde tendieren aber generell dazu feine und glatte Haare zu haben, um die Absorption von Hitze durch Reflexion zu vermindern. (16)

Nicht nur das Haarkleid isoliert Pferde in kälteren Regionen, sondern auch ihr subkutanes Fett. (22) Dadurch bedingt verändert sich ihr Energiebedarf. Sollte dieser erhöhte Energiebedarf der Pferde nicht gedeckt werden, können im schlimmsten Fall auch Todesfälle auftreten. (23)

Bei der Betrachtung der Fütterung von Pferden in heißen und kalten Regionen ist der Begriff „postprandiale Thermogenese“ von Bedeutung. Dies beschreibt die Wärme, die durch den Nährstoffstoffwechsel, die Verdauung und die daran beteiligte Muskelaktivität entsteht. Genau diese entstandene Wärme beeinflusst die Thermoregulation, da diese Restwärme die Körperkerntemperatur bei Kälte aufrechterhält, aber bei heißem Wetter die Körperkerntemperatur zusätzlich erhöht. (10)

In Bezug auf die Fütterung bei Temperaturen unterhalb der Thermoneutralitätsgrenze von Pferden wird von Cymbaluk et al. (1990) empfohlen, die Pferde mit ungefähr 2,5 % mehr Energie pro °C unterhalb ihrer thermoneutralen Zone (hier -15 °C) zu versorgen und das Raufutter, zum Beispiel Heu, kontinuierlich anzubieten. Sollte das Heu alleine diesen Energiebedarf nicht abdecken, wird empfohlen Getreide als Energiequelle zuzufüttern. Durch das kontinuierliche Heuangebot soll dafür gesorgt werden, dass die metabolische Wärme, die durch die Verdauung produziert wird, über 24 Stunden aufrechtgehalten wird und dem Pferd so eine Wärmequelle bietet. (15) Für Tiere in heißen Regionen wird hingegen vorgeschlagen, eine mäßig getreidehaltige Ration mit dem minimalen Bedarf an Raufutter anzubieten. Außerdem sollte das Raufutter eher nachts verfüttert werden, da in der Nacht die Temperaturen meist sinken und die entstandene metabolische Wärme ein geringeres Problem darstellt als tagsüber. Den Pferden sollten keine großen Futtermengen einmal täglich angeboten werden, damit die durch die Verdauung entstandene Menge an Wärme kontinuierlich gehalten werden kann und keinen plötzlichen Peak der Körpertemperatur verursacht. (15) Ein ausreichendes Wasserangebot ist in beiden Situationen sicher zu stellen. (15)

Ein Teil dieser Adaptation an das Klima erfolgt aber erst im Laufe des Lebens, daher ist bei Fohlen besondere Vorsicht geboten. (15) Im Vergleich zu ausgewachsenen Tieren besitzen Jungtiere einen geringeren weißen Fettanteil sowie eine kleinere Masse, was dazu führt, dass sie schneller auskühlen. (10)

Weiters mitzunehmen ist aus der Studie von Cymbaluk et al. (1990), dass Hitzestress für übergewichtige Pferde ein größeres Problem darstellen könnte. Durch ihren vermehrten Fettanteil hätten sie eine bessere Isolation, die bei Hitze nicht gewünscht ist. (15)

Außerdem birgt das Thema Hitzestress bei kälteadaptierten Pferden mit Winterfell noch einen ganz anderen Aspekt in sich. Hier ist bei einem Klinikaufenthalt oder einer Umstallung

zu bedenken, dass die Tiere plötzlich in eine zu warme Umgebung gebracht werden. Die thermoneutrale Zone von kälteadaptierten adulten Quarter Horses befindet sich ungefähr im Bereich zwischen -15 °C und 10 °C. Werden diese Tiere nun bei 18 °C eingestallt, führt dies zu Hitzestress. (15, 24)

## **3.2. DEFINITION VON HITZESTRESS**

Generell wird Hitzestress als eine Situation definiert, bei der es zu einer Ansammlung von Wärme im Körper kommt und deren Abgabe nicht adäquat funktioniert. Dies ist meist der Fall, wenn Lebewesen die Obergrenze ihrer thermoneutralen Zone überschreiten. Weiters ist die Effizienz der Thermoregulation, die dafür verantwortlich ist vermehrte Wärme abzugeben, unter heißen Temperaturen, geringer Luftbewegung und hoher Luftfeuchtigkeit nur begrenzt möglich. Auch wenn die Tiere eine extreme körperliche Anstrengung verrichten, ist die produzierte Wärme größer als das Maß an abgegebener Wärme. Wenn also Pferde die Kapazität ihres Thermoregulationssystems zur Abgabe von Wärme überschreiten, tritt Hitzestress als Folge dieser Überlastung des Körpers auf. (7, 1)

In der Humanmedizin wird die fatale Auswirkung von Hitzestress, der Hitzschlag, durch zwei Charakteristika beschrieben: Eine innere Körpertemperatur über 40 °C und neurologische Symptome wie Bewusstlosigkeit, Krämpfe oder Verwirrung. Hierbei wird zwischen dem klassischen Hitzeschlag bedingt durch heiße Umgebung und einem Hitzeschlag bedingt durch extreme körperliche Anstrengung bei heißen Temperaturen unterschieden. (25)

Im Handbuch Pferdepraxis wird ein Hitzeschlag durch eine gestörte Thermoregulation mit Hyperthermie und einer Körpertemperatur von über 41 °C bei nicht zureichender Wärmeabgabe definiert. (26)

### **3.2.1. Definition von Exertional Heat Illness**

Als besondere und fatale Form des Hitzestresses ist die „Exertional Heat Illness“ (EHI) zu nennen. Der Begriff „Exertional Heat Illness“ bei Pferden wurde von australischen Wissenschaftler:innen geprägt. In Südafrika von MacDonald et al. (2008) wurde dieselbe Problematik beispielsweise als „postrace distress syndrome“ bezeichnet. Der oben beschriebene belastungsinduzierte Hitzeschlag wird im englischsprachigen Raum als EHI

bezeichnet und beschreibt somit die gleiche Symptomatik. Diese zwei Begriffe belastungsinduzierter Hitzeschlag und „Exertional Heat Illness“ sind also miteinander gleichzusetzen. (27)

Dieser Zustand tritt auf, wenn ein Individuum die durch körperliche Anstrengung erzeugte Stoffwechselwärme nicht mehr adäquat abgeben kann. Die daraus resultierende Erhöhung der Körperkerntemperatur kann zu multiplen Organversagen, meist charakteristisch gekennzeichnet durch eine Dysfunktion des zentralen Nervensystems, führen. (1)

### **3.3. KLINISCHES BILD**

Im Folgendem wird auf die Veränderungen der unterschiedlichen klinischen Parameter bei Hitzestress eingegangen. Die vorhandenen Daten und Studien fokussieren sich zum größten Teil auf die Form des belastungsinduzierten Hitzestresses, verursacht durch körperliche Anstrengung bei heißen Temperaturen. Demnach stellt das beschriebene klinische Bild eben diese Form dar.

#### **3.3.1. Körpertemperatur**

Während der Arbeit ist die Hauptquelle für Wärmeentwicklung der Metabolismus in Zusammenhang mit den Muskelkontraktionen. Ein Großteil der produzierten Wärme wird gespeichert und durch den Blutfluss im gesamten Körper verteilt, dadurch kommt es zu einer Erhöhung der inneren Körpertemperatur (28). Die Arbeit von Hogson et al. (1997) zeigte, dass Rennpferde mit 1250 kJ/min die höchste Rate an Wärmeproduktion unter den Sportpferden aufweisen. Sollte sämtliche metabolische Wärme gespeichert werden, könnte die innere Körpertemperatur von Rennpferden um 0,8 °C pro Minute steigen. Eine Temperatur von 42,0 °C wäre leicht erreichbar (9). Die kritische Temperatur für Hitzestress bei Pferden ist nicht exakt bekannt. Bei einigen Laufbandstudien zeigten sich bei 42,0 °C bis 43,0 °C Körperkerntemperatur keine eindeutigen klinischen Symptome. (29) Anekdotisch ist nehezulegen, dass bei 43,5 °C Ataxie auftritt und bei 44,0 °C Kollaps zu beobachten ist. (1)

#### **3.3.2. Durchblutung und Herzkreislauf**

Wie oben schon angesprochen wird während anspruchsvoller körperlicher Arbeit der Metabolismus auf die Muskeln konzentriert. Dabei nimmt die Durchblutung der Muskulatur

rund 80 % des gesamten Blutflusses in Anspruch. In Ruhe beträgt die Durchblutung der Muskeln nur 15 %. Nach abgeschlossener Arbeit und in der Erholungsphase wird sowohl der Blutfluss zur Hautoberfläche als auch zu den Atmungsmuskeln gesteigert, um ihre Rolle bei der Wärmeabgabe besser zu unterstützen. Die Durchblutung, die hier nun für Haut und Atmung aufgewandt wird, beträgt ca. 50 %. Sowohl während der Anstrengungsphase als auch der Erholungsphase ist die Durchblutung der Verdauungsorgane auf ein Minimum beschränkt. (29, 30) In Abbildung 2 ist die prozentuelle Aufteilung des Blutvolumens beim Pferd in der Ruhe-, in der Arbeits- und in der Erholungsphase noch einmal aufgezeigt. (1, 30)

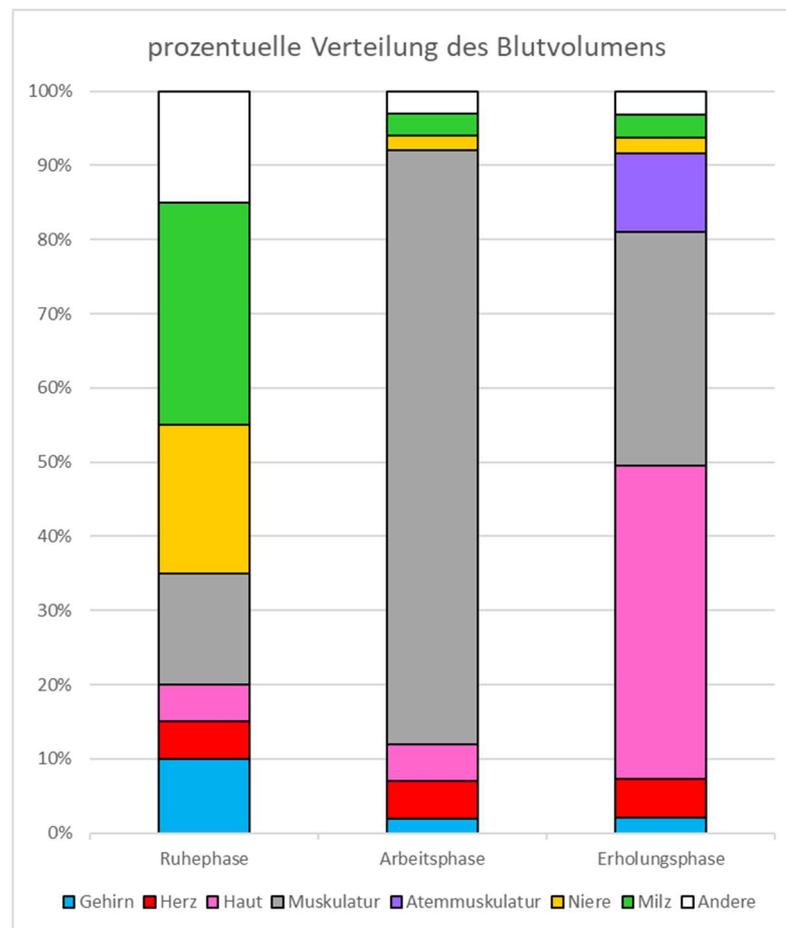


Abbildung 4: Diese Abbildung stellt die prozentuelle Verteilung des Blutvolumens auf die unterschiedlichen Organsysteme in der Ruhe-, in der Arbeits- und in der Erholungsphase dar. (Erstellt von: Julia K. Daxner, Mit Daten aus: Brownlow, Mizzi; 2023)

Weiters sind die venösen Gefäße viel dehnbarer als ihre arteriellen Partner, weshalb ein großes Volumen des Blutes sich dort ansammelt und zu einem effektiven Verlust an Blutvolumen führt. Dieser Effekt wird als distributive Hypovolämie bezeichnet. Normalerweise

hilft die distributive Hypovolämie dem Pferd sich zu kühlen. Ist dieser Zustand jedoch über einen längeren Zeitraum gegeben, können erhebliche Nachteile durch Ischämien der unterversorgten Organe wie Gehirn und Verdauungsapparat entstehen. Auch wenn die Pferde ihre Herzfrequenz auf über 160 Schläge/min erhöhen, die Gesamtherzleistung ist durch das verminderte Blutvolumen im zentralen Kreislauf eingeschränkt. Somit ist auch das Volumen vermindert, das vom Herzen zur Hautoberfläche transportiert werden kann. Infolgedessen ist es dem Pferd nicht mehr möglich durch eine gesteigerte Durchblutung der Haut eine Kühlung herbeizuführen. (1, 31)

Die Tiere weisen also eine verlangsamte kapilläre Rückfüllzeit auf, aber durch das vermehrte Blut in der Peripherie erscheint die Haut warm und die Schleimhäute in ihrem physiologischen rosaroten Zustand. Die peripheren Kapillaren zeigen sich vermehrt gestaut und sind vor allem an den Beinen der Tiere zu erkennen. Auch Hinweise auf Dehydratation sind beispielsweise mithilfe eines Hautfalten-Elastizität-Tests zu erkennen. (1, 4)

### **3.3.3. Atmung**

Beim Ankämpfen gegen den Hitzestress ist bei Pferden eine vermehrte und verstärkte Atmung zu erkennen. Sie nutzen ihre thermoregulatorische Fähigkeit sich über die verdunstende Ausatemluft zu kühlen. (7, 13) In einigen Literaturstellen in Bezug auf EHI wird diese Atmung sogar als „keuchend“ oder „hechelnd“ beschrieben. (32, 4) Die Atemfrequenzen in Ruhe können zwischen 60-100 Atemzüge/min erfasst werden. Die Nüstern sind weit aufgebläht. (27, 1)

### **3.3.4. Verhalten**

Grundsätzlich ist zum Verhalten der Pferde bei Hitzestress anzumerken, dass es unterschiedlichste Einteilungen und Ansätze gibt.

Das Verhalten der Pferde ist unterschiedlich je nach Grad und Dauer der Erkrankung. Die Symptome beginnen mit leichter Unruhe, geblähten Nüstern und sichtlich vermehrter sowie verstärkter Atmung. Als Steigerung zeigen die Tiere kolikähnliche Symptome. Sie zeigen sich unkooperativ, schütteln den Kopf, treten willkürlich aus und werfen sich ohne Vorwarnung auf den Boden. Auch weitere neurologische Symptome wie Ataxie können in schweren Fällen auftreten. Die Pferde scheinen sich teils nicht mehr ihrer selbst oder ihrer Umgebung bewusst zu sein, weshalb das unvorhersehbare Verhalten sowohl für Tier als

auch für Mensch als gefährlich einzustufen ist. Schlussendlich können Ganzkörper-Krampfanfälle, Koma und sogar der Tod auftreten. (27)

### 3.3.5. Zusammenfassung

In der Tabelle sind die oben angeführten klinischen Veränderungen nochmals auf einen Blick dargestellt.

Parameter	Klinische Veränderungen
Körpertemperatur	ab 41,0 °C kritisch, bei 43,5 °C Ataxie, bei 44,0 °C Kollaps
Puls	erhöht
Atmung	erhöht, teils „keuchend“, „hechelnd“, geblähte Nüstern
Schleimhäute	rosarot
Verhalten	Unruhe, kolikähnliche Symptome, Ataxie, Bewusstseinsverlust, Krampfanfälle
Hautelastizität	evtl. vermindert

*Tabelle 2: Übersicht des klinischen Bildes bei Hitzestress beim Pferd*

### 3.4. PATHOPHYSIOLOGIE

Es gibt drei pathophysiologische Komponenten für Hitzestress, die gleichzeitig auftreten und zusammenspielen. (4)

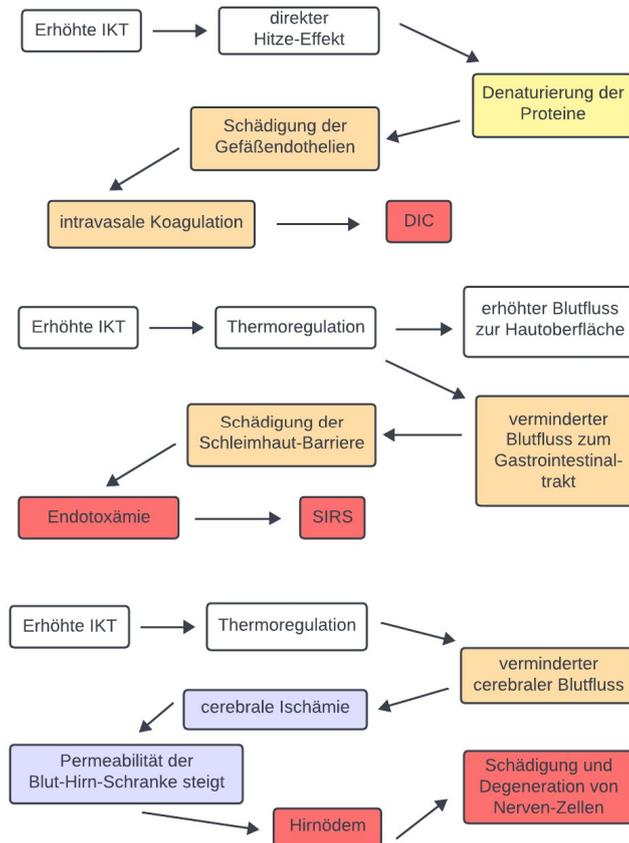


Abbildung 5: Diese Abbildung stellt die drei diskutierten Wege im Verlauf von EHI dar. 1) Dieser Pfad wird als Hitze-Toxizitäts-Pfad bezeichnet. Durch den direkten Effekt der Hitze kommt es zu einer Denaturierung von Proteinen und damit auch Schäden an den Gefäßendothelien. Diese Schädigung kann eine intravasale Koagulation bis hin zu einer disseminierten intravasalen Koagulopathie (DIC) losstreten. 2) Der zweite Pfad wird als Endotoxämie-Pfad bezeichnet. Durch eine Hypoperfusion und Hypoxämie des Verdauungsapparates wird die Schleimhautbarriere für freie Radikale, Bakterien und Endotoxine durchlässig. Das Immunsystem antwortet auf diese fremden Stoffe im Blutfluss mit dem „systemic inflammatory response syndrome“ (SIRS). 3) Der dritte Pfad erläutert die Dysfunktion des zentralen Nervensystems aufgrund einer cerebralen Ischämie. In diesem Fall steigt die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke. Ein Hirnödeme kann entsteht, was in weiterer Folge zu einer Schädigung und Degeneration von Nerven-Zellen führt. (Erstellt von Julia K. Daxner)

Dem ersten pathophysiologischen Pfad liegt die Hyperthermie des Pferdes zugrunde. Er wird auch als Hitze-Toxizitäts-Pfad bezeichnet. Aufgrund von anstrengender Arbeit und verschiedenen Umweltbedingungen, die die Thermoregulation des Pferdes einschränken, kann es zu einer Hyperthermie kommen. Überschreitet die innere Körpertemperatur ein kritisches Level setzt sich der Hitze-Toxizitäts-Pfad in Gang. (1) Der direkte Effekt von Hitze auf Zellen ist durch eine Denaturierung der Proteine und einer damit verbundenen Apoptose gekennzeichnet. (33) Dadurch entstehen auch Schäden an den Gefäßendothelien, was den Prozess einer intravasalen Koagulation losstreten kann. Diese Koagulationen können sich in weiterer Folge zu einer disseminierten intravasalen Koagulopathie (DIC) entwickeln. Ausgeprägte Schäden durch intravasale Thromben in verschiedensten Organen entstehen. (4) Bei nachfolgenden pathologischen Untersuchungen lassen sich oft in Leber, Lunge, Herz und Niere eben diese intravasalen Thromben finden. Schlussendlich kann durch diese Thromben ein multiples Organversagen herbeigeführt werden. (33)

Im Jahr 2002 wurde von Bouchama und Knochel im Bereich der Humanmedizin vorgeschlagen, dass ein Hitzeschlag von einem weiteren pathophysiologischen Weg charakterisiert ist. Diesen bezeichneten sie als „Hitze-Sepsis“ bzw. Endotoxämie-Pfad. (34) Aufgrund der oben beschriebenen Priorisierung des Blutflusses Richtung Haut und Muskel entsteht eine Reduktion des Blutflusses zu den Verdauungsorganen, eine intestinale Hypoperfusion und Hypoxämie sind die Folge. (35, 36) Dadurch wird die Integrität der Schleimhaut-Barriere im Gastrointestinaltrakt beschädigt. Dieses Phänomen nennt sich „leaky gut“. (37) Endotoxine, freie Radikale und Bakterien gelangen nun in den zentralen Blutfluss und in weiterer Folge kann eine Antwort des Immunsystems, genauer „systemic inflammatory response syndrome“ (SIRS), entstehen. Die Produktion von Zytokinen wird gefördert und kann einen Hitzeschlag vorantreiben, auch wenn keine extreme Hyperthermie vorliegt. (38, 39)

In einer Studie wurden Rennpferde bis zur völligen Ermüdung trainiert. Der Endotoxinspiegel stieg zum Zeitpunkt der Ermüdung um das Dreifache an und sank im Laufe der nächsten zwei Stunden allmählich ab. Am wichtigsten ist jedoch, dass festgestellt wurde, dass das Training eine entzündungsfördernde Reaktion mit einer Zytokinfreisetzung auslöste, die im Humanbereich typisch für einen Hitzeschlag ist. (34, 40)

Als weiterer (dritter) pathophysiologischer Pfad wird eine Dysfunktion des zentralen Nervensystems beschrieben. (4) Aufgrund eines verminderten Blutflusses zum Gehirn

sowohl in der Arbeitsphase als auch in der Erholungsphase entsteht eine cerebrale Ischämie. Besteht die Hyperthermie über einen längeren Zeitraum gehen durch die verminderte Versorgung mit Sauerstoff auch hier Zellen zugrunde. Durch diese Schädigung steigt die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke und ein Plasmaverlust über die cerebralen Kapillaren entsteht. Dieses Geschehen führt zur Ausbildung eines Hirnödems. Wird dieses Ödem wiederum nicht therapiert, kommt es zu einer Schädigung und Degeneration von Nervenzellen. (41)

### **3.5. INVASIVE UND NICHT-INVASIVE METHODEN ZUR ERKENNUNG VON HITZESTRESS BEIM PFERD**

Vor dem Hintergrund, dass Hitzestress erst verhindert oder bekämpft werden kann, wenn er auch zuverlässig erkannt wird, ist es ein Ziel dieser Arbeit sensitive und/oder spezifische Parameter hierfür zu finden. Eine frühzeitige Erkennung ist von großer Bedeutung, damit rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen werden können. (27)

#### **3.5.1. Einteilung von Verhalten und klinischen Parametern nach Brownlow et al. (2016) für Exertional Heat Illness**

Vor drei Jahren (2021) wurde unter Experten in der Humanmedizin der Konsensus erreicht, dass die verschiedenen Levels an ZNS-Dysfunktionen, die verlässlichsten Indikatoren für das Auftreten eines Hitzeschlags sind, egal welcher Grad der Hyperthermie gerade vorliegen mag. (42) Auch im Pferdebereich gibt es eine Einteilung von EHI in Level 1-4 anhand der klinischen Symptome, die von Brownlow et al. (2022) bei Vollblutpferden in Australien beobachtet wurden. (4)

##### **Level 1:**

Die Pferde präsentieren sich vom Verhalten normal. Sie fühlen sich bei Palpation sehr heiß an. Es ist eine langsame Erholung nach dem Rennen zu beobachten. Eine erhöhte Atemfrequenz (60-100 Atemzüge/Minute), weit geblähte Nüstern und übertriebene Thoraxexkursionen sowie erhöhte Herzfrequenz (über 150 Schläge/Minute) werden als klinische Parameter beschrieben. Das Pferd schwitzt sehr stark. (27)

**Level 2:**

Das Verhalten des Tieres ist reizbar und unkooperativ. Die Pferde zeigen ungewöhnliche Verhaltensweisen wie Kopfschütteln und wahlloses Ausschlagen. Diese Symptome können mit einer Kolik verwechselt werden kann. Es kann zu geringgradigen Ganganomalien kommen. (27)

**Level 3:**

Die Pferde werden zunehmend schwierig zu handhaben. Sie haben jetzt ein depressiveres Auftreten, das oft als „abwesender“, „glasiger“ oder „leerer“ Blick beschrieben wird, Sie zeigen ein unberechenbares und gefährliches Verhalten mit Ataxie und Bewegungsunlust, gefolgt von einem plötzlichen Vorwärtstürmen und -springen. Manche Pferde haben eine seltsame Gangart, bei der sie auf einem Hinterbein hüpfen, während sie das andere Bein tragen. Dies sieht aus als hätten sie eine akute Verletzung der Extremität, was wiederum zu Fehldiagnosen führen kann. (27, 4)

**Level 4:**

Das Pferd zeigt erhebliche Funktionsstörungen des zentralen Nervensystems, nimmt seine Umgebung nicht mehr wahr, wirft sich hin oder fällt wiederholt hin, prallt gegen Gegenstände und kann rückwärts umkippen. Auch die klinischen Anzeichen einer Endotoxämie, gekennzeichnet durch hyperämische Schleimhäute und langsame Kapillarrückfüllungszeiten, sind nun vorhanden. Bei diesen Pferden kommt es zu Bewusstseinsverlust, Krämpfen, Koma und Tod, wenn sie nicht schnell und aggressiv behandelt werden. (27)

**3.5.2. Verhalten**

Eine Verhaltensänderung der Tiere gibt es genauso für die klassische Form von Hitzestress ohne Belastung. Pritchard et al. (2006) beschreibt in einer Studie in Pakistan das Verhalten von Eseln und Pferden als wichtigen Indikator für Besitzer:innen, um Hitzestress zu erkennen und eine Behandlung zu starten. Es wird aber nicht weiter auf die Verhaltensänderung eingegangen. (43)

In einer weiteren Studie zu EHI wurde beobachtet, dass arabische Rennpferde in Ausdauerrennen aufhören zu trinken und bald danach aus dem Rennen ausscheiden. Diese Ausfälle erfolgten wahrscheinlich als Resultat eines gestörten Durstreflexes mit gleichzeitigem übermäßigem Verlust von Wasser und Elektrolyten durch Schwitzen bei hoher Temperatur und Feuchtigkeit. (44)

### 3.5.3. Körpertemperatur

Wie schon oben angedeutet gilt für M. Brownlow, die rektale Körpertemperatur nicht mehr als der Goldstandard für die Diagnostik von Hitzestress. (27) Da zuerst ein Anstieg der Muskeltemperatur, dann eine Erhöhung der Körperkerntemperatur und schlussendlich eine Steigerung der rektalen Körpertemperatur erfolgt. (45) Durch diesen Zusammenhang kann die rektale Körpertemperatur von Pferden, vor allem nach kurzer intensiver Arbeit, noch nicht erhöht sein. Außerdem ist zu beachten, dass das Rektum bei erschöpften Pferden oft leer und schlaff ist, was eine Messung eventuell weiter verfälscht. Weiters ist das teils gefährliche und unkooperative Verhalten von den Tieren bei Hitzestress zu beachten. (27) Um diese Probleme zu umgehen, gibt es schon verschiedene Ansätze und Methoden um die Körpertemperatur von Pferden auf andere Weise als rektal zu messen.

Die Infrarot-Thermografie, insbesondere die Messung der maximalen Augentemperatur, hat sich als nicht-invasives Instrument erwiesen, das zur Messung von akutem und chronischem Stress bei anderen Tierarten, wie zum Beispiel Rindern, eingesetzt werden kann. (46) In vorangegangenen Studien wurde auch gezeigt, dass eine Freisetzung von Cortisol, ausgelöst durch die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse, mit einem Anstieg der Augentemperatur korreliert. (47) Weiters wurden Messungen zu akutem Stress bei Sportveranstaltungen durchgeführt, die ebenfalls einen Zusammenhang zwischen dem Cortisol-Level und der Augentemperatur zeigten. (48) Diese Methode wurde aber nicht in Zusammenhang mit Hitzestress getestet, sondern sollte zur generellen Stresseinschätzung von Pferden bei Rennen herangezogen werden.

Die Verwendung von per Hand gehaltenen Infrarot-Thermometern als ein frühzeitiges Tool zur Erkennung von Hitzestress nach Belastung wurde ebenfalls in Australien bei Vollblut-Rennpferden beschrieben. Eine Hautoberflächentemperatur von  $\geq 39\text{ }^{\circ}\text{C}$  in der Zeit unmittelbar nach dem Rennen galt als heiß. Die Pferde mit hoher Oberflächentemperatur, also  $\geq 39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , wurden einer sofortigen Behandlung unterzogen. Da aber Tiere, die eine erhöhte Temperatur zeigten, aus ethischen Grundsätzen natürlich nicht unbehandelt gelassen werden konnten, war es in dieser Feldstudie nicht möglich eine signifikante Aussage über die Korrelation zwischen der Oberflächentemperatur und EHI zu treffen. (49)

Als Alternative zu den bereits genannten Methoden wurden in einer Vielzahl von Studien kontaktlose Microchips getestet, die kontinuierlich messen. Da, abgesehen von der

Applikation, kein Kontakt zum Tier nötig ist, wird der Stress für das Tier und das Risiko für den Menschen vermindert. (50)

Bei Ponys und Pferden wurden die Temperaturmessungen mit einem perkutanen thermischen Mikrochip und die Rektaltemperatur verglichen, um ihre Sensitivität und Spezifität für die Erkennung von Hyperthermie, definiert als Rektaltemperatur  $>38,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , zu bewerten. Es wurde ein Anstieg der Mikrochip-Temperatur um  $0,44\text{ }^{\circ}\text{C}$  je Anstieg der Rektaltemperatur um  $0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$  festgestellt. Die Messwerte des Wärmesensors wurden durch die Rektaltemperatur, aber auch durch die Umgebungstemperatur erheblich beeinflusst, so Robinson et al. (2008). Zu den Erklärungen für die Auswirkungen der Umgebungstemperatur auf die Messwerte des Thermosensors gehören die oberflächliche Lage des Thermosensors und der geringe Blutfluss im Nackenband (Lig. nuchae) des Pferdes. (51)

In einer weiteren Studie wurden verschiedene Platzierungsorte (M. pectoralis, M. splenius, M. gluteus und Lig. nuchae) für perkutane thermische Mikrochips in Fohlen untersucht. Wobei die Temperaturen im Nackenband (Lig. nuchae) die geringste Korrelation zur Rektaltemperatur aufwiesen. Die Temperaturen in der Brustmuskulatur (M. pectoralis) hingegen zeigten die stärkste Korrelation und die wenigsten Abweichungen zur rektalen Körpertemperatur. Aber auch hier wurden die Auswirkungen der Umwelteinflüsse, vor allem zu kälteren Jahreszeiten, bemängelt. (52)

In einer Studie aus Frankreich wurde die Analyse der gemessenen Temperatur von intramuskulär-implantierten Mikrochips bei Jährlingen, die in Gruppen in Ställen untergebracht waren, über zwei Winterperioden betrieben. Bei 26 von 43 Fohlen wurden zusätzlich Messungen der rektalen Temperatur durchgeführt. Es wurde gezeigt, dass per Microchip gemessene and rektale Temperaturen signifikant miteinander korrelieren ( $P<0,001$ ). Die intramuskuläre Implantation von den Microchips habe die Signifikanz der Messung verbessert, da ein Einfluss der Umwelttemperatur vermieden wird. (50)

Außerdem zeigten Verdegaal et al. (2016), dass die telemetrische gastrointestinale Pille eine zuverlässige und praktische Methode zur Echtzeitüberwachung der gastrointestinalen Temperatur bei Pferden ist. Hierzu wurde eine nicht-verdauliche Kapsel mit 5 Litern Wasser über eine Nasenschlundsonde eingegeben, die durch den Verdauungstrakt des Tieres wanderte. Anschließend wurden die gemessenen Daten über elektromagnetische Wellen an einen Empfänger, der mit einem Gurt am Pferd befestigt war, gesendet. Somit zeigte diese Studie eine weitere Technik, mit der Hitzestress gemonitort werden kann. (53)

#### **3.5.4. Hautelastizität**

Das Ziel einer Studie von Pritchard et al. (2006) war es, einen standardisierten Hautfalten-Test für Dehydrierung und Hitzestress bei Arbeitspferden zu validieren. Die Studie wurde an 130 Arbeitspferden und Eseln in Pakistan durchgeführt. Der hochsignifikante Zusammenhang ( $P < 0,001$ ) zwischen einem positiven Hautfalten-Test und einer niedrigen Serumsmolalität deutet darauf hin, dass der Hauttest ein valider Marker für Dehydrierung ist. Bei beiden Tierarten korrelierte jedoch das typische Verhalten bei Hitzestress sowie die erhöhte Rektaltemperatur nicht mit einem positiven Hauttest. Somit ist ein Hautfalten-Test zur Diagnostik von Hitzestress ungeeignet. (43)

#### **3.5.5. Cortisol**

Der Körper reagiert auf Stress mit einer Dysregulation der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse, was zu einem Anstieg des zirkulierenden Cortisols führt. Dies führt zur Mobilisierung freier Fettsäuren, zu einer Verringerung des Wachstums- und Sexualhormonspiegels, zu einem Anstieg der Herzleistung und des Blutdrucks sowie zu einer verminderten Reaktion des Immunsystems. (54, 55)

Einerseits gibt es die Bestimmung des Cortisol-Levels direkt aus dem Blut bzw. Plasma. Andererseits gibt es die Speichelprobenentnahme, die eine weitgehend akzeptierte, nicht-invasive alternative Methode zur Bestimmung des Cortisolspiegels darstellt. Diese zweite Option ist für die physiologische Stressbeurteilung bei Pferden besser geeignet, vor allem im Wettkampf. Die Speichelprobe kann überall und von jedem:r Reiter:in bei jedem domestizierten Pferd nach einer kurzen Einarbeitungszeit entnommen werden. Die Probennahme ist einfach, stress- und schmerzfrei. (56)

Die Speichel-Cortisol-Konzentrationen wurden bereits in Stressstudien mit Pferden verwendet, die Stressfaktoren wie einem Transport und einem Wettkampf ausgesetzt waren. Die Basalwerte des Speichel-Cortisols von Pferden unterschieden sich stark zwischen den Individuen. Es wird empfohlen, die Basalwerte für jedes Individuum zu messen, bevor die Konzentrationen während Stressereignissen gemessen werden. (57, 58)

Der Zusammenhang zwischen Hitzestress und einer Erhöhung des Cortisol-Spiegels wurde bereits in einer Vielzahl von Studien zu Nutztieren diskutiert. (59, 60) Auch wenige Studien im Pferdebereich greifen das Thema auf, um vor allem einen Rückgang des Stresslevels anzuzeigen. (61, 62)

## 3.6. PRÄVENTIVE UND KURATIVE MAßNAHMEN

Durch die größer werdende Bedeutung der Thematik gibt es eine Vielzahl von Maßnahmen, um den Hitzestress bei Pferden vorzubeugen bzw. zu bekämpfen.

### 3.6.1. Medikamente als kurative Maßnahme

Von EHI betroffene Pferde zeigen ein gefährliches und unberechenbares Verhalten für sich selbst und betreuende Personen. Aufgrund dieses Zustandes beschloss M. Brownlow den Einsatz von Detomidin als intravenöse Applikation. (1) Detomidin ist ein  $\alpha_2$ -Agonist. Dies bedeutet, dass es an die zentralen  $\alpha_2$ -Rezeptoren bindet und dadurch eine Hemmung der Nervenimpulse im ZNS bewirkt. Das Medikament hat eine sedierende und analgetische Wirkung. Außerdem kommt es zu einer Muskelrelaxation. Als relevante Kontraindikationen sind in diesem Fall Hypovolämie, Schock und Erschöpfung zu nennen. (63) Doch im Gegensatz zu der erwartenden Sedierung, zeigten die Pferde innerhalb von zwei bis drei Minuten nach Verabreichung von Detomidin keine ZNS-Symptome mehr. Sie zeigten ein ruhiges und normales Allgemeinverhalten. (1) Der Grund für diesen Effekt könnte die Serotonin-Antagonist-Aktivität dieses Medikaments sein. Serotonin gilt nämlich als der Haupt-Neurotransmitter bei cerebraler Pathophysiologie im Zusammenhang mit Hitzschlägen. Die schädigende Wirkung auf das Hirn und die damit verbundenen ZNS-Symptome scheinen dadurch verhindert zu werden. (64, 65) Von Brownlow et al. wird eine Dosierung von 0,02 – 0,04 mg/kg empfohlen. (1) Dies entspricht einer mittleren Sedierung bei einem gesunden Pferd. (63)

Zur Behandlung von Endotoxämie bei Pferden ist das am häufigsten verwendete NSAID (non-steroidal anti-inflammatory drug) Flunixin-Meglumin. (66) Es wurde schon in vielen Modellen der Endotoxämie beim Pferd eingehend untersucht. Es zeigt eine antiinflammatorische, antipyretische und analgetische Wirkung. Weiters wird die Proliferation von Zytokinen unterdrückt, was das Entstehen eines Entzündungsprozesses verhindert. (67) Die Standard-Dosierung von Flunixin-Meglumin liegt bei 1,1 mg/kg und wird auch hier von Brownlow et al. empfohlen. (1)

Dexamethason wird von einer Vielzahl von Veterinärmediziner:innen in Anekdoten und Internet-Foren als Medikament der Wahl beschrieben. Hierbei handelt es sich um ein Glukokortikoid mit einem antiinflammatorischen und immunsuppressiven Effekt. (68) In einer

klinischen Studie wurden die Wirkung von Flunixin-Meglumin, Dexamethason und Prednisolon bei endotoxämischen Ponys getestet. Nur bei den mit Flunixin-Meglumin behandelten Ponys waren die gemessenen Veränderungen im Blut weniger schwerwiegend und die Überlebenszeiten länger. (69)

### **3.6.2. Kühlung als kurative und präventive Maßnahme**

Eine Studie im Hinblick auf die Olympischen Spiele 2020 in Japan untersuchte fünf verschiedene Methoden zum Kühlen der Pferde nach dem Rennen. Hierfür rannten fünf Vollblutpferde auf einem Laufband bei einer Wet-Bulb-Globe-Temperatur von  $31,8 \pm 0,1$  °C bis die Messung anhand ihrer Pulmonalarterie eine Temperatur von 42 °C erreichte. Danach wurden sowohl der Zeitpunkt, an dem die Pulmonalarterien-Temperatur unter 39 °C sank als auch die rektale Körpertemperatur 30 Minuten nach Ende des Rennens dokumentiert. Die getesteten Methoden waren: Keine zusätzliche Kühlung (CONT), Bewegung im Schritt und Ventilatoren mit einem Luftstrom von 3,0 m/s (FAN), Bewegung im Schritt und intermittierendes Duschen mit kaltem Wasser (10°C) mit Entfernung des Wassers vom Haarkleid durch Abputzen (ICW + SCRAPE), Bewegung im Schritt und intermittierendes Duschen mit kaltem Wasser (10 °C) (ICW) sowie keine Bewegung und kontinuierliches Abduschen mit Leitungswasser (26 °C) (STW). Das kontinuierliche Duschen der Pferde mit Wasser zeigte sich als effektivste Methode um die innere Körpertemperatur zu senken. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen dem intermittierenden Abduschen und den Ventilatoren. (70) Diese Effizienz des durchgehenden Kühlens mit Wasser lässt sich durch die thermale Konduktivität von Wasser erklären. Sie ist nämlich um ein 24-faches höher als die Wärmeleitfähigkeit von Luft. (71)

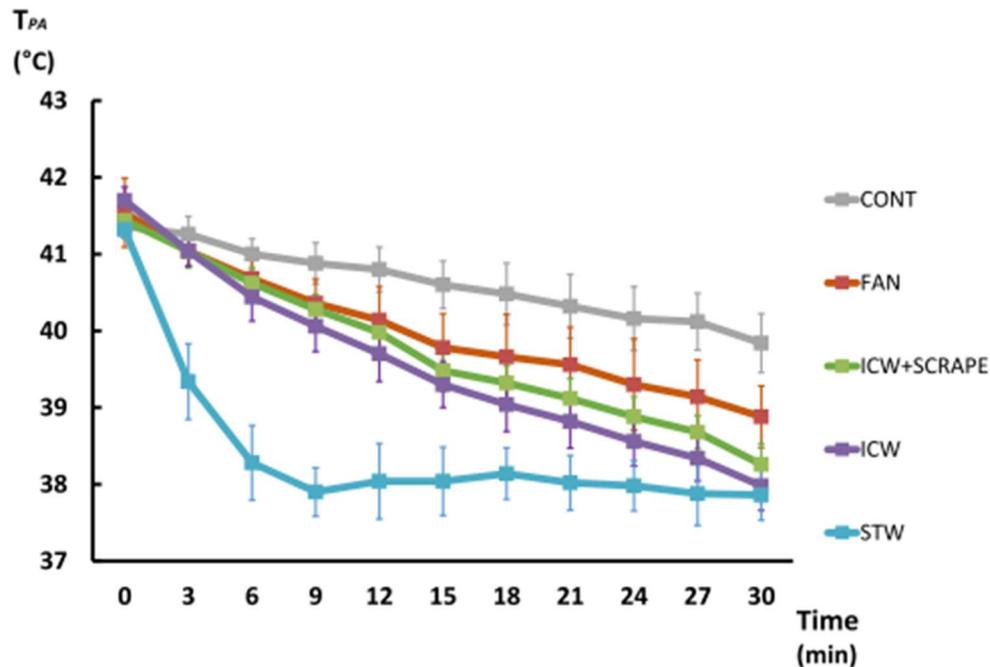


Abbildung 6: Diese Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf der Pulmonalarterientemperatur von Pferden mit fünf verschiedenen Kühlprotokollen während eines 30-minütigen Zeitraums nach dem Training unter heißen und feuchten Bedingungen. Die Punkte zeigen Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung. (Takahashi, Ohmura et al.; 2020)

Ventilatoren werden oft in Kombination mit dem Besprühen durch Wasser eingesetzt. Durch die erhöhte Luftbewegung in der Umgebung soll die Evaporation und damit die Wärmeabgabe gefördert werden. Diese Methode scheint vor allem gut zu funktionieren, wenn die Lufttemperatur niedriger ist als die Hauttemperatur des Pferdes. Auch eine hohe Luftfeuchtigkeit behindert die Evaporation als Kühlmethode. (1) Ein ähnliches Problem zeigt sich bei der Anwendung von Verdunstungsanlagen. Durch ihren Luftstrom wird zwar die Evaporation gefördert, doch durch die Zufuhr von Wasser steigt auch der Feuchtigkeitsgehalt in der Luft. (72, 73)

In Bezug auf die Kühlung von Freizeit-Pferden, die eher einer Arbeit von geringer bis mittlerer Intensität ausgesetzt sind, wurden in Polen verschiedene Körperpositionen zum Kühlen mit Wasser getestet. Hier zeigte sich, dass das einmalige Besprühen mit Wasser keinen Effekt hat. Die dreimalige Applikation von kühlem Wasser auf die Gliedmaßen des Pferdes schien aber ausreichend zu sein. Das abwechselnde Abduschen der Gliedmaßen und des oberen Körperbereichs erwies sich im Vergleich dazu als weniger erfolgreich. (74)

In einer anderen Studie wurde wiederum der Effekt des Tragens einer Kühldecke ohne den Verbrauch von Wasser oder die teure Installation von Ventilatoren untersucht. Diese Kühldecken bestanden aus Kaltfolienbeuteln und Eisbeuteln. Die Parameter von zwanzig gesunden Pferden wurden zunächst ohne Decke und dann mit Decke gemessen. Danach wurden die Pferde getauscht, um einen Cross-Over-Versuch zu unternehmen. Die Decke war so konzipiert, dass sie den vorderen Rücken, den hinteren Rücken und die Lende kühlte. Die Hautoberflächentemperatur des vorderen Rückens sank mit der Decke, während sie sich ohne Decke nicht veränderte. Auch die Herzfrequenz, die Atemfrequenz und der Plasmacortisolspiegel sanken nur bei Tieren mit Kühldecke. (62)

Hingegen ist das Tragen einer hellen Baumwolldecke kein adäquater Ersatz für die Bereitstellung von Schatten an heißen und sonnigen Tagen. (75)

Von Brownlow wurde 2018 noch die Verwendung eines Kühlkragens angesprochen. Über den Effekt des Kühlens des Bluts in der Carotis-Arterie am Hals, und in weiterer Folge des Blutflusses im Hirn, konnte bisher noch keine definitive Aussage getroffen werden. Pferde unter thermischer Belastung scheint dieser Kühlkragen zu helfen. Laut der Autorin selbst wären hierfür weitere evidenzbasierte Tests nötig. (4)

Außerdem zeigte eine Studie von Klous, Siegers et al. (2020), dass das Vorkühlen, also das Abkühlen zwischen dem Aufwärmen und dem eigentlichen Event, den Anstieg der Hauttemperaturen an Schulter- und Beckenpartie sowie der rektalen Körpertemperatur von zehn internationalen Vielseitigkeitspferden während eines mäßig intensiven Galopptrainings unter moderaten Umweltbedingungen leicht reduzierte. Die getestete Vorkühlzeit betrug acht Minuten. Diese kurze Zeitperiode für das Vorkühlen könnte laut Autoren der Studie leicht in den vollgepackten Eventzeitplan einkalkuliert werden. (76)

Abschließend ist anzumerken, dass es sich bei den hier genannten Kühlstrategien und Studien nur um eine Auswahl handelt. Generell wird bei EHI aber eine schnelle Kühlung innerhalb eines 30-Minuten-Fensters empfohlen, um eine Schädigung der Zellen so gering wie möglich zu halten. (77) Eine exakte Temperatur für einen Kühlungsstopp konnte bis jetzt nicht definiert werden, vielmehr sollte auf das gesamte Verhalten des Tieres geachtet werden. (1)

Zusätzlich ist zu diesem Punkt noch das Phänomen der paradoxen Reaktion bei Kühlung zu ergänzen. In der Humanmedizin wird beschrieben, dass eine aggressive Kühlung, vor allem durch eiskaltes Wasser, eine Wärmezeugung durch Zittern und eine periphere Vasokonstriktion induzieren kann, was den gewünschten Effekt der Kühlung behindert. (78–81)

### **3.6.3. Indizes und Grenzwerte als präventive Maßnahme**

Der so genannte "Comfort-Index" oder Hitze-Index, basierend auf der Summe aus Umgebungstemperatur (°C) und relativer Luftfeuchtigkeit (%), wurde nach den Vorfällen bei den World Equestrian Games 1994 heftig kritisiert. Laut Fédération Équestre Internationale (FEI) sollte dieser Index niemals für das Management von Pferden unter heißen oder feuchtheißen Bedingungen verwendet werden, da er sich in der Vergangenheit als äußerst unzuverlässig erwiesen hat und zu unangemessenen Entscheidungen und einem großen Risiko für das Wohlergehen von Pferden und Athlet:innen führen könnte. (82)

Dennoch wird eben dieser Index in der amerikanischen Pferdewelt weiterhin verwendet und empfohlen. Ab einer Temperatur von 101 °F, umgerechnet 38,3 °C, wird das Vermeiden von Arbeit und erhebliche Kühlmaßnahmen empfohlen. (83, 84)

Die Erfahrung hat gezeigt, dass es unerlässlich ist die mikroklimatischen Bedingungen auf der Strecke mit der Dauer und Schwere des Wettkampfs, einschließlich Faktoren wie Bodenbeschaffenheit, Fitness und Können der Pferde und Reiter:innen in Beziehung zu setzen, um die Auswirkungen der thermischen Belastungen voraussagen zu können. (85)

Der Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT) wurde 1957 eigentlich für die US Navy und Marine Corps entwickelt. Fand aber seitdem großen Anklang in Sportorganisationen und -komitees. (86) Dieser Index wird nun auch von der Fédération Équestre Internationale (FEI) verwendet. (82)

WBGT-Lesung	Empfehlungen
Weniger als 28	Es sollten keine Änderungen des von der FEI empfohlenen Formats für die Wettbewerbe der dreitägigen Veranstaltung erforderlich sein.
28 - 30	Einige Vorkehrungen zur Reduzierung der Wärmebelastung der Pferde werden notwendig sein.
30 - 32	Zusätzliche Vorkehrungen zu den oben genannten sind notwendig, um die Überhitzung der Pferde zu vermeiden.
32 - 33	Dies sind gefährliche klimatische Bedingungen für die Pferde, um an einem Wettbewerb teilzunehmen und erfordern weitere Änderungen an der Prüfung.
Über 33	Diese Umweltbedingungen sind wahrscheinlich nicht mit einem sicheren Wettbewerb vereinbar. Vor der Fortsetzung sind weitere tierärztliche Beratungen erforderlich.

*Tabelle 3: Diese Tabelle zeigt die Empfehlungen für verschiedene Stufen des WBGT-Index für den Cross-Country Day of Eventing (Marlin D., Misheff M., Whitehead P; 2018)*

Zusätzlich zu den Auswirkungen von Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit berücksichtigt er die Windstärke und die Strahlung, insbesondere Sonneneinstrahlung. Anhand des WBGT-Index wird die effektive Hitzebelastung von Pferd und Reiter:in berechnet. Es handelt sich bei diesem Index um den einzigen validierten Index für den Pferdesport. (85) Die derzeitige Empfehlung der FEI für die wahrscheinliche Absage eines Wettbewerbs liegt beispielsweise bei 33 °C. (82)

In den letzten Jahren machten Experten im Bereich des Hitzestress nun darauf aufmerksam, dass der WBGT-Index nicht fehlerlos ist. Laut Brownlow müssen sich die Veterinärmediziner:innen darüber im Klaren sein, dass der WBGT-Index ein ungenauer Indikator für Umweltstress ist und nicht mit einem vorhersehbaren Niveau der klinischen physiologischen Belastung gleichzusetzen ist. Dies liegt daran, dass bei jedem einzelnen WBGT-Wert ein breites Spektrum an thermischen Belastungen auftreten kann. Vor allem aber spiegelt sich nicht die Schwere der hohen Luftfeuchtigkeit in Verbindung mit einer geringen Windgeschwindigkeit wider, die bekanntlich bei Pferden am ehesten zu Hitzestress führt. Aus diesem Grund ist die Aussagekraft des WBGT für den Umgang mit Hitzestress bei Pferderennen fraglich. Hinzu kommt, dass eine Messung meist in der Nähe von den Rennbahnen erfolgt, aber nicht direkt an der Rennbahn. Vorherrschende Mikroklimas werden durch solche Messungen nicht erfasst. (87, 86)

Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessungen sind leicht verfügbar und ermöglichen die Berechnung der absoluten Luftfeuchtigkeit, die möglicherweise informativer und effektiver als der WBGT-Wert ist, wenn es um Hitzestress geht. Dies ist Gegenstand, der weiteren Studien bedarf. (87)

Generell sollte ein allgemeines Einverständnis darüber bestehen, dass Umweltindizes nur als Richtlinie für die Zuteilung von Ressourcen und für Managementstrategien verwendet werden sollten und nicht als Grenzwerte für die Einstellung von Wettbewerben oder Leistung. (87)

#### **3.6.4. Anpassung und Training als präventive Maßnahme**

Im Zuge des Kapitels „Thermoregulation“ wurde schon auf die starke Adaptionsfähigkeit von Pferden hingewiesen. Obwohl es nicht möglich ist, die Auswirkungen ungünstiger Umweltbedingungen auf die Leistung und die Gesundheit der Tiere zu eliminieren, ist klar, dass ein gründliches Trainingsprogramm in Verbindung mit einer anschließenden Akklimatisierungsphase dazu beitragen kann, die Auswirkungen der Umweltbedingungen zu mildern. In Bezug auf den Leistungssport ist ein zweiwöchiges moderates Bewegungstraining unter diesen ungünstigeren Bedingungen für die Optimierung der Thermoregulationsfunktion und der körperlichen Leistungsfähigkeit erforderlich. (88)

Außerdem können Pferde bei vermehrtem Training in warmen Regionen einige speziellere Anpassungen als nur ihr Verhalten oder Haarkleid aufweisen. Ein vergrößertes Plasmavolumen, eine größere Stabilität der kardiovaskulären Funktion während des Trainings und eine verbesserte Effizienz des Wärmeverlusts durch Verdunstung als Ergebnis von Veränderungen in der Schwitzreaktion wurden dokumentiert. (88)

### 3.7. EXKURS: REPRODUKTION UND HITZESTRESS

Hitzestress verursacht nicht nur ein erhöhtes Gesundheitsrisiko, sondern hat auch Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit der Pferde.

Die Spermatogenese bei Hengsten ist ein temperaturabhängiger Prozess, der idealerweise bei Temperaturen leicht unterhalb der Körperkerntemperatur (35 °C) stattfindet. Eine ordnungsgemäße Thermoregulation ist besonders wichtig, da die Spermatogenese bei Hengsten und die daraus resultierenden Spermien negativ von erhöhten Hodentemperaturen beeinflusst werden. Folglich kann ein Versagen der Thermoregulation aufgrund von Hitzestress die Spermienqualität mindern und die Wahrscheinlichkeit der Unfruchtbarkeit bei Hengsten erhöhen. (89)

Es wurde von Friedman et al. (1991) gezeigt, dass Hengste mit einer leicht erhöhten Hodentemperatur ( $36.8 \pm 0.3$  °C) vorübergehende Beeinträchtigungen der Spermatogenese aufweisen. Nach einer Hodenisolation mit Hyperthermie kehrten alle Spermienparameter zwischen Tag 40 und Tag 60 auf die Werte vor der Behandlung zurück. (90) Die Ergebnisse einer weiteren Studie deuten jedoch darauf hin, dass Veränderungen der endokrinen Funktion nicht mit Veränderungen der Spermatogenese korrelieren. Endokrine Parameter seien somit keine nützlichen Biomarker zur Vorhersage von Veränderungen der Spermatogenese nach testikulärer Hyperthermie. (90, 91)

In Bezug auf die Fruchtbarkeit von Stuten wird in einer Vielzahl von Beiträgen häufig der Fokus auf den Monat oder die Jahreszeit gelegt, was eine genaue Beurteilung in Zusammenhang mit Temperatur erschwert. Außerdem wird die saisonale Fortpflanzung von Stuten bekanntlich maßgeblich von der Tageslichtlänge beeinflusst. Somit ist es nicht überraschend, dass bisher der Schwerpunkt der Forschung in diesem Bereich liegt. (92)

Bessere Erkenntnisse über die Belastung von Hitze auf das Reproduktionssystem von Stuten lassen sich aus Beiträgen zu Embryotransfer ziehen.

In einer Studie von Mortensen et al. wurde der Effekt von Arbeit bei Stuten zur Gewinnung von Embryonen erforscht. Die Rektaltemperatur der Stuten stieg während des Trainings von einem Durchschnitt von 38 °C auf einen Durchschnitt von 39,9 °C an. Stuten hatten bei körperlicher Betätigung Ovulationen aus kleineren Follikeln als unter Kontrollbedingungen ( $39,8 \pm 0,5$  im Vergleich zu  $41,5 \pm 0,5$  mm Durchmesser;  $P < 0,05$ ) und benötigten eine

längere Zeit von der PGF2-Verabreichung bis zur anschließenden Ovulation ( $8,47 \pm 0,337$  im Vergleich zu  $9,27 \pm 0,294$  Tagen;  $P < 0,05$ ). Die Embryoentnahme bei den Kontrollstuten betrug 22 von 35 (63 %). Bei den trainierten Stuten wurden weniger Embryonen entnommen (11 von 32, 34 %;  $P < 0,05$ ). (93)

In Australien erforschte ein Team den Zusammenhang zwischen hoher Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit mit dem frühen embryonalen Verlust nach einem Embryotransfer bei Stuten. Sowohl einzelne als auch kumulative Episoden eines hohen Temperatur-Feuchtigkeits-Indexes am Tag des Transfers und zwischen Tag 7 und Tag 14 der Trächtigkeit wurden mit einem erhöhten Risiko für den frühen embryonalen Verlust bei Stuten nach dem Embryotransfer in Verbindung gebracht. Es ist unklar, ob diese Relation auf übermäßige Hitzebedingungen am Tag des Transfers, übermäßige Hitzebedingungen in der Woche danach oder Einflüsse von beiden Zeitpunkten zurückzuführen ist. (94)

### 3.8. CONCLUSIO

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Literaturrecherche zum Thema „Hitzestress beim Pferd“ eine Vielzahl von Erkenntnissen zutage gebracht hat. Die wichtigsten Fakten in Bezug auf die Erkennung, Prävention und Therapie sind hier nochmals veranschaulicht.

Um den fatalen Auswirkungen des Hitzestress bei Pferden vorbeugen zu können, ist eine frühe Erkennung essenziell. Das Verhalten, die Atmung und der Puls zeigten sich als verlässliche Parameter für die Identifizierung von Hitzestress. Hingegen die Messung der rektalen Temperatur mit klassischen Thermometern sollte bei unkooperativen und unberechenbaren Pferden vermieden werden, um sich selbst und das Tier nicht in Gefahr zu bringen. (27, 4) Die Beiträge zu den Mikrochips zeigen eine vielversprechende Zukunft auf. Mithilfe dieser Methode kann eine ganze Pferdeherde nicht nur im Zusammenhang mit Hitzestress, sondern auch in Bezug auf Geburten oder andere Erkrankungen überwacht werden. (50) Eine andere Option zur kontinuierlichen und minimal invasiven Messung der inneren Körpertemperatur stellt eine telemetrische gastrointestinale Pille dar. (53)

Die Messung der Augentemperatur mittels Infrarot-Thermografie kann durch die Korrelation von steigendem Cortisol-Level und steigender Augentemperatur einen Hinweis zur generellen Stresssituation des Pferdes bieten. (44, 45, 46) Diese Methode kann aber derzeit nicht zur definitiven Beurteilung von Hitzestress herangezogen werden.

Die effektivste und einfachste Methode bei der Bekämpfung von Hitzestress ist das kontinuierliche Abduschen der Pferde mit kaltem Wasser. (70) Dies kann von Pferdebesitzer:innen nach der verrichteten Arbeit, an besonders heißen Tagen vorbeugend oder bei dem Auftreten von oben beschriebenen Hitzestress-Symptomen erfolgen. Die Therapie und die Prävention liegen somit sehr nahe beisammen.

Aufgrund des hohen Wasserverbrauchs durch diese Kühlmethode wird aber klar, dass nach anderen Möglichkeiten geforscht werden muss. Hier zu erwähnen wären beispielsweise ein Kühlkragen für Pferde oder eine spezielle Kühldecke. Doch bisher zeigten diese Versuche nicht dieselbe Effizienz wie das kontinuierliche Abduschen mit kaltem Wasser, weshalb diese Methode der Kühlung zu bevorzugen ist. (4)

Als weitere Therapieoption ist die Verabreichung der Medikamente Flunixin-Meglumine 1,1 mg/kg und Detomidin 0,02-0,04 mg/kg anzuführen. (1)

Für kälteadaptierte Pferde mit Winterfell ist das Risiko von Hitzestress besonders relevant, wenn sie plötzlich in wärmere Umgebungen wie bei einem Klinikaufenthalt oder einer Umstallung gebracht werden. In Zusammenhang mit diesen plötzlichen Temperaturänderungen ist auch an akute Wetterumschläge zu denken, wie sie durch den Klimawandel bedingt immer häufiger werden. Außerdem darf das erhöhte Risiko für übergewichtige Pferde nicht außer Acht gelassen werden. (15) Es ist also ein Augenmerk auf die individuelle Anfälligkeit der Tiere für Hitzestress zu legen, um ihr Wohlbefinden und ihre Gesundheit zu gewährleisten. Weiters darf die mögliche Entstehung von Hitzestress beim Transport von Pferden nicht vergessen werden. (95, 96, 58)

Neben dem bereits ausführlich beschriebenen akuten Gesundheitsrisiko ist es wichtig zu beachten, dass Hitzestress auch Auswirkungen auf die Reproduktion und das Immunsystem der betroffenen Tiere haben kann. Allerdings gibt es im Gegensatz zur verminderten Fruchtbarkeit bei Pferden bisher keine spezifischen Studien, die sich mit einer Schwächung des Immunsystems befassen. Hier möchte ich auf eine Vielfalt an Studien in Bereich der Geflügel-, Schweine- und Rindermedizin verweisen. (97–100) Eine vermehrte Wärmebelastung erhöht beispielsweise das Risiko für klinische Mastitis bei Milchkühen. (101)

Laut Prognosen befindet sich das Klima auf der gesamten Welt im Wandel. Für die Zukunft wird ein weiteres Ansteigen der Temperaturen sowie der Anzahl heißer Tage mit Tageshöchstwerten von über 30 °C (Hitzetage) in Österreich erwartet. (97) Diese Veränderungen bedeuten eine Herausforderung für das österreichische Pferdemanagement. Denn im Gegensatz zu Ländern wie Australien, die seit jeher mit heißen Temperaturen kämpfen mussten, ist es für Österreich mit seinem gemäßigten Klima eine neue Entwicklung. Hier können die Empfehlungen der Fédération Équestre Internationale (FEI) bezüglich des WBGT-Index eine gewisse Richtlinie für nationale Events und die Hobbyhaltung in Österreich geben.

Vor allem ein Begriff ist noch hervorzuheben: „Urban Heat Island Effect“ (UHI-Effekt). Der UHI-Effekt beschreibt die Tendenz von Städten, die im Vergleich zu ihren umliegenden ländlichen Gebieten wärmer sind. Dieser Temperaturunterschied entsteht durch eine Kombination von Faktoren, wie der Absorption und Freisetzung von Wärme durch Gebäude und Straßenbeläge, der geringeren Vegetation und der menschlichen Aktivität wie industrielle Prozesse und Verkehr. Weiters haben Studien gezeigt, dass durch heiße

Wetterperioden ein erhöhtes Gesundheitsrisiko der städtischen Bevölkerung im Vergleich zur ländlichen oder Vorort-Bevölkerung besteht. (102) Aber nicht nur Menschen leiden unter diesem Effekt und dem daraus resultierenden Hitzestress, genauso auch alle Pferde, die in städtischen Gebieten beheimatet sind. Beim Gedanken an Städte und Pferde in Österreich sind die Fiaker natürlich nicht wegzudenken. Es wird die Frage aufgeworfen mit welchen Maßnahmen und Richtlinien hier Tierleid durch Hitzestress in unseren Innenstädten verhindert werden kann. In Bezug auf diese Erkenntnisse ist auf die verschiedenen Mikroklimas innerhalb Österreichs Acht zu geben.

Derzeit ist der WBGT-Index die beste Methode zur Überwachung der Umweltbedingungen, jedoch die schwere Auswirkung der hohen Luftfeuchtigkeit in Verbindung mit einer geringen Windgeschwindigkeit spiegelt sich bei diesem Index nicht wider. Genau aber diese Kombination führt bekanntlich bei Pferden am ehesten zu Hitzestress. Aus diesem Grund ist die Aussagekraft des WBGT für den Umgang mit Hitzestress bei Pferdeturnieren fraglich. Hier sollte die Bedeutung der absoluten Luftfeuchtigkeit als möglicher Index für Hitzestress beim Pferd untersucht werden. (86, 87)

Abschließend kann festgehalten werden: Hitzestress bei Pferden ist ein aktuelles Problem unserer Zeit, welches in Zukunft weiter an Relevanz gewinnen wird. Mit dieser Literaturlarbeit zeigt sich, dass weitere Forschung vor allem im Bereich der Prävention und Behandlung nötig ist.

## 4. LITERATURVERZEICHNIS

1. Brownlow M, Mizzi JX. An Overview of Exertional Heat Illness in Thoroughbred Racehorses: Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment Rationale. *Animals (Basel)* 2023; 13(4).
2. Marlin D. Heat, humidity and horse welfare in the Olympic Games: learning from history. *The Veterinary Journal* 2009; 182(3):373–4. Available from: URL: [https://www.researchgate.net/publication/26807031\\_Heat\\_humidity\\_and\\_horse\\_welfare\\_in\\_the\\_Olympic\\_Games\\_Learning\\_from\\_history](https://www.researchgate.net/publication/26807031_Heat_humidity_and_horse_welfare_in_the_Olympic_Games_Learning_from_history).
3. Neoklima — ZAMG; 2023 [cited 2023 Jul 16]. Available from: URL: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima>.
4. Brownlow MA, Mizzi JX. Exertional heat illness in Thoroughbred racehorses – Pathophysiology, case definition and treatment rationale. *Equine Vet Educ* 2022; 34(5):259–71.
5. Katrina L. Mealey. Appendix C: Vital signs and potential monitoring parameters for dogs, cats, horses, and ferrets. In: *Pharmacotherapeutics for Veterinary Dispensing*. John Wiley & Sons, Ltd; 2019. p. 569–70 Available from: URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119404576.app3>.
6. Morgan K. Thermoneutral zone and critical temperatures of horses. *Journal of Thermal Biology* 1998; 23(1):59–61. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456597000478>.
7. Kang H, Zsoldos RR, Sole-Guitart A, Narayan E, Cawdell-Smith AJ, Gaughan JB. Heat stress in horses: a literature review. *Int J Biometeorol* 2023:1–17. Available from: URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-023-02467-7>.
8. Hodgson DR, McKeever KH, McGowan CM, editors. *The athletic horse: Principles and practice of equine sports medicine*. 2nd ed. St. Louis: Saunders/Elsevier; 2014.
9. Hodgson DR, McCutcheon LJ, Byrd SK, Brown WS, Bayly WM, Brengelmann GL et al. Dissipation of metabolic heat in the horse during exercise. *J Appl Physiol* (1985) 1993; 74(3):1161–70.

10. Aurich C, Engelhardt W von, editors. *Physiologie der Haustiere*. 3., vollst. überarb. Aufl. Stuttgart: Enke; 2010. Available from: URL: <https://swbplus.bsz-bw.de/bsz312599056idx.htm>.
11. Kingston JK, Geor RJ, McCutcheon LJ. Rate and composition of sweat fluid losses are unaltered by hypohydration during prolonged exercise in horses. *J Appl Physiol* (1985) 1997; 83(4):1133–43.
12. Guthrie AJ, Lund RJ. Thermoregulation. Base mechanisms and hyperthermia. *Vet Clin North Am Equine Pract* 1998; 14(1):45–59. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749073917302110>.
13. Franklin SH, van Erck-Westergren E, Bayly WM. Respiratory responses to exercise in the horse. *Equine Vet J* 2012; 44(6):726–32. Available from: URL: <https://beva.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2042-3306.2012.00666.x>.
14. Cymbaluk NF. Thermoregulation of horses in cold, winter weather: A review. *Livestock Production Science* 1994; 40(1):65–71. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0301622694902666>.
15. Cymbaluk NF, Christison GI. Environmental effects on thermoregulation and nutrition of horses. *Vet Clin North Am Equine Pract* 1990; 6(2):355–72.
16. Hafez ESE. *Adaptation of domestic animals*,. Philadelphia: Lea & Febiger; 1968.
17. *Canadian farm buildings handbook*; 1988 [cited 2024 Jan 2]. Available from: URL: [https://publications.gc.ca/collections/collection\\_2014/aac-aaaf/agrhist/A15-1822-1988-eng.pdf](https://publications.gc.ca/collections/collection_2014/aac-aaaf/agrhist/A15-1822-1988-eng.pdf).
18. Morgan K. Effects of short-term changes in ambient air temperature or altered insulation in horses. *Journal of Thermal Biology* 1997; 22(3):187–94. Available from: URL: [https://www.researchgate.net/publication/223369645\\_Effects\\_of\\_short-term\\_changes\\_in\\_ambient\\_air\\_temperature\\_or\\_altered\\_insulation\\_in\\_horses](https://www.researchgate.net/publication/223369645_Effects_of_short-term_changes_in_ambient_air_temperature_or_altered_insulation_in_horses).
19. Morgan K, Ehrlemark A, Sällvik K. Dissipation of heat from standing horses exposed to ambient temperatures between –3°C and 37°C. *Journal of Thermal Biology* 1997; 22(3):177–86. Available from: URL: [https://www.researchgate.net/publication/222620766\\_Dissipation\\_of\\_heat\\_from\\_standing\\_horses\\_exposed\\_to\\_ambient\\_temperatures\\_between\\_-3C\\_and\\_37C](https://www.researchgate.net/publication/222620766_Dissipation_of_heat_from_standing_horses_exposed_to_ambient_temperatures_between_-3C_and_37C).
20. Waring GH. *Horse Behavior*. 2nd ed. Norwich: William Andrew; 2007. Available from: URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=3008688>.

21. Kooistra LH, Ginther OJ. Effect of photoperiod on reproductive activity and hair in mares. *Am J Vet Res* 1975; 36(10):1413–9.
22. Ruiz M, Sarriés MV, Beriain MJ, Crecente S, Domínguez R, Lorenzo JM. Relationship between carcass traits, prime cuts and carcass grading from foals slaughtered at the age of 13 and 26 months and supplemented with standard and linseed-rich feed. *animal* 2018; 12(5):1084–92. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731117002555>.
23. Dieterich RA, Holleman DF. Hematology, biochemistry, and physiology of environmentally stressed horses. *Canadian journal of zoology* 1973; 51(8):867–73. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4750287/>.
24. McBride GE, Christopherson RI, Sauer W. Metabolic rate and plasma thyroid hormone concentrations of mature horses in response to changes in ambient temperature. *Can. J. Anim. Sci.* 1985; 65(2):375–82.
25. Peiris AN, Jaroudi S, Noor R. Heat Stroke. *JAMA* 2017; 318(24):2503. Available from: URL: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2667073>.
26. Brehm W, Gehlen H, Ohnesorge B, Wehrend A. *Handbuch Pferdepraxis. 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage.* Stuttgart: Enke Verlag; 2017.
27. Brownlow MA, Dart AJ, Jeffcott LB. Exertional heat illness: a review of the syndrome affecting racing Thoroughbreds in hot and humid climates. *Aust Vet J* 2016; 94(7):240–7.
28. Geor RJ, McCutcheon LJ, Ecker GL, Lindinger MI. Heat storage in horses during submaximal exercise before and after humid heat acclimation. *J Appl Physiol* (1985) 2000; 89(6):2283–93. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11090580/>.
29. David C. Poole, Howard H. Erickson. Highly Athletic Terrestrial Mammals: Horses and Dogs. In: *Comprehensive Physiology.* John Wiley & Sons, Ltd; 2011. p. 1–37 Available from: URL: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cphy.c091001?saml\\_referrer](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cphy.c091001?saml_referrer).
30. Brownlow MA, Mizzi JX. Thermoregulatory capacity of the Thoroughbred racehorse and its relationship to the pathogenesis of exertional heat illness. *Equine Vet Educ* 2022; 34(4):214–21.
31. Jessen C. *Temperature Regulation in Humans and Other Mammals.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2001. Available from: URL:

[https://www.researchgate.net/publication/316268572\\_Temperature\\_Regulation\\_in\\_Humans\\_and\\_Other\\_Mammals](https://www.researchgate.net/publication/316268572_Temperature_Regulation_in_Humans_and_Other_Mammals).

32. Butler PJ, Woakes AJ, Smale K, Roberts CA, Hillidge CJ, Snow DH et al. Respiratory and cardiovascular adjustments during exercise of increasing intensity and during recovery in thoroughbred racehorses. *The Journal of experimental biology* 1993; 179:159–80. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8340728/>.

33. Yaqub B, Al Deeb S. Heat strokes: aetiopathogenesis, neurological characteristics, treatment and outcome. *J Neurol Sci* 1998; 156(2):144–51. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9588849/>.

34. Bouchama A, Knochel JP. Heat stroke. *The New England journal of medicine* 2002; 346(25):1978–88. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12075060/>.

35. Stewart AS, Pratt-Phillips S, Gonzalez LM. Alterations in Intestinal Permeability: The Role of the "Leaky Gut" in Health and Disease. *J Equine Vet Sci* 2017; 52:10–22. Available from: URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6467570/>.

36. McConaghy FF, Hales JR, Hodgson DR. Cardiovascular responses to heat and exercise in the horse. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1997; 813:600–3. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9100939/>.

37. Oikawa M, Ohnami Y, Koike M, Park C-H, Oyamada T. Endotoxin-induced injury of the central, autonomic and enteric nervous systems and intestinal muscularis in Thoroughbred horses. *Journal of comparative pathology* 2007; 136(2-3):127–32. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17367806/>.

38. Lambert GP, Gisolfi CV, Berg DJ, Moseley PL, Oberley LW, Kregel KC. Selected contribution: Hyperthermia-induced intestinal permeability and the role of oxidative and nitrosative stress. *J Appl Physiol (1985)* 2002; 92(4):1750-61; discussion 1749. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11896046/>.

39. Baker B, Gaffin SL, Wells M, Wessels BC, Brock-Utne JG. Endotoxaemia in racehorses following exertion. *Journal of the South African Veterinary Association* 1988; 59(2):63–6. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3392702/>.

40. Donovan DC, Jackson CA, Colahan PT, Norton N, Hurley DJ. Exercise-induced alterations in pro-inflammatory cytokines and prostaglandin F<sub>2</sub>alpha in horses. *Veterinary*

immunology and immunopathology 2007; 118(3-4):263–9. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17617470/>.

41. Sharma HS, Hoopes PJ. Hyperthermia induced pathophysiology of the central nervous system. *Int J Hyperthermia* 2003; 19(3):325–54.

42. Roberts WO, Armstrong LE, Sawka MN, Yeargin SW, Heled Y, O'Connor FG. ACSM Expert Consensus Statement on Exertional Heat Illness: Recognition, Management, and Return to Activity. *Current sports medicine reports* 2021; 20(9):470–84. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34524191/>.

43. Pritchard JC, Barr ARS, Whay HR. Validity of a behavioural measure of heat stress and a skin tent test for dehydration in working horses and donkeys. *Equine Vet J* 2006; 38(5):433–8.

44. Adamu L, Adzahan NM, Rasedee A, Ahmad B. Physical Parameters and Risk Factors Associated with the Elimination of Arabian and Crossed Arabian Endurance Horses during a 120-km Endurance Race. *J Equine Vet Sci* 2014; 34(4):494–9. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080613008095>.

45. Hodgson DR, Davis RE, McConaghy FF. Thermoregulation in the horse in response to exercise. *Br Vet J* 1994; 150(3):219–35.

46. Stewart M, Webster, JR, Schaefer AL, Cook NJ, Scott SL. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Anim. welf.* 2005; 14(4):319–25. Available from: URL: [https://www.researchgate.net/publication/263077841\\_Infrared\\_thermography\\_as\\_a\\_non-invasive\\_tool\\_to\\_study\\_animal\\_welfare](https://www.researchgate.net/publication/263077841_Infrared_thermography_as_a_non-invasive_tool_to_study_animal_welfare).

47. N. Cook, A. Schaefer, L. Warren, L. Burwash, V. Baron. Adrenocortical and metabolic responses to ACTH injection in horses: an assessment by salivary cortisol and infrared thermography of the eye; 2001. (vol 81). Available from: URL: [https://www.researchgate.net/publication/310749139\\_Adrenocortical\\_and\\_metabolic\\_responses\\_to\\_ACTH\\_injection\\_in\\_horses\\_an\\_assessment\\_by\\_salivary\\_cortisol\\_and\\_infrared\\_thermography\\_of\\_the\\_eye](https://www.researchgate.net/publication/310749139_Adrenocortical_and_metabolic_responses_to_ACTH_injection_in_horses_an_assessment_by_salivary_cortisol_and_infrared_thermography_of_the_eye).

48. Valera M, Bartolomé E, Sánchez MJ, Molina A, Cook N, Schaefer A. Changes in Eye Temperature and Stress Assessment in Horses During Show Jumping Competitions. *J Equine Vet Sci* 2012; 32(12):827–30. Available from: URL:

[https://www.researchgate.net/publication/236902480\\_Changes\\_in\\_Eye\\_Temperature\\_and\\_Stress\\_Assessment\\_in\\_Horses\\_During\\_Show\\_Jumping\\_Competitions](https://www.researchgate.net/publication/236902480_Changes_in_Eye_Temperature_and_Stress_Assessment_in_Horses_During_Show_Jumping_Competitions).

49. Brownlow M, Smith T. The use of the hand-held infrared thermometer as an early detection tool for exertional heat illness in Thoroughbred racehorses: A study at racetracks in eastern Australia. *Equine Vet Educ* 2021; 33(6):296–305.

50. Auclair-Ronzaud J, Benoist S, Dubois C, Frejaville M, Jousset T, Jaffrézic F et al. No-Contact Microchip Monitoring of Body Temperature in Yearling Horses. *J Equine Vet Sci* 2020; 86:102892. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080619306410>.

51. Robinson TR, Hussey SB, Hill AE, Heckendorf CC, Stricklin JB, Traub-Dargatz JL. Comparison of temperature readings from a percutaneous thermal sensing microchip with temperature readings from a digital rectal thermometer in equids. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 2008; 233(4):613–7. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18710319/>.

52. Kang H, Sole-Guitart A, Mellor VA, Gaughan JB, Zsoldos RR. The use of percutaneous thermal sensing microchips for non-invasive measurement of body temperature in foals during summer seasons in a subtropical region. *animal* 2022; 16(9):100620. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S175173112200177X>.

53. Verdegaal E-LJMM, Delesalle C, Caraguel CGB, Folwell LE, McWhorter TJ, Howarth GS et al. Evaluation of a telemetric gastrointestinal pill for continuous monitoring of gastrointestinal temperature in horses at rest and during exercise. *Am J Vet Res* 2017; 78(7):778–84. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28650242/>.

54. Amasheh S, Arnold W, Aschenbach JR, Aurich C, Aurich J-E, Breer H et al. *Physiologie der Haustiere*. 6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2022.

55. Gawel MJ, Park DM, Alagband-Zadeh J, Rose FC. Exercise and hormonal secretion. *Postgrad. Med. J.* 1979; 55(644):373–6.

56. Peeters M, Sulon J, Beckers J-F, Ledoux D, Vandenneede M. Comparison between blood serum and salivary cortisol concentrations in horses using an adrenocorticotrophic hormone challenge. *Equine Vet J* 2011; 43(4):487–93.

57. Peeters M, Sulon J, Serteyn D, Vandenheede M. Assessment of stress level in horses during competition using salivary cortisol: preliminary studies. *Journal of Veterinary Behavior* 2010; 5(4):216.
58. Schmidt A, Biau S, Möstl E, Becker-Birck M, Morillon B, Aurich J et al. Changes in cortisol release and heart rate variability in sport horses during long-distance road transport. *Domestic Animal Endocrinology* 2010; 38(3):179–89. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0739724009001301>.
59. Ghassemi Nejad J, Lohakare JD, Son JK, Kwon EG, West JW, Sung KI. Wool cortisol is a better indicator of stress than blood cortisol in ewes exposed to heat stress and water restriction. *animal* 2014; 8(1):128–32. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731113001870>.
60. Christison GI, Johnson HD. Cortisol turnover in heat-stressed cow. *J Anim Sci* 1972; 35(5):1005–10.
61. Rammerstorfer C, Potter GD, Brumbaugh GW, Gibbs PG, Varner DD, Rammerstorfer EH. Physiologic responses of acclimatized or non-acclimatized mature reining horses to heat stress: I. Heart rate, respiration rate, lactate, rectal temperature, cortisol and packed cell volume. *J Equine Vet Sci* 2001; 21(9):431–8. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080601700172>.
62. Ojima Y, Torii S, Maeda Y, Matsuura A. Effect of Cooling Blanket on the Heat Stress of Horses in Hot and Humid Environments. *Animals (Basel)* 2022; 12(19).
63. Eberspächer-Schweda E. *AnästhesieSkills: Perioperatives Management bei Klein-, Heim- und Großtieren. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2020. (MemoVet).
64. Sharma HS. Hyperthermia influences excitatory and inhibitory amino acid neurotransmitters in the central nervous system. An experimental study in the rat using behavioural, biochemical, pharmacological, and morphological approaches. *J Neural Transm (Vienna)* 2006; 113(4):497–519.
65. MacDonald E, Scheinin H, Scheinin M. Behavioural and neurochemical effects of medetomidine, a novel veterinary sedative. *European journal of pharmacology* 1988; 158(1-2):119–27. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2906007/>.

66. Shuster R, Traub-Dargatz J, Baxter G. Survey of diplomates of the American College of Veterinary Internal Medicine and the American College of Veterinary Surgeons regarding clinical aspects and treatment of endotoxemia in horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 1997; 210(1):87–92.
67. Sykes BW, Furr MO. Equine endotoxaemia--a state-of-the-art review of therapy. *Aust Vet J* 2005; 83(1-2):45–50. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15971817/>.
68. Handler J, Schusser GF. Dosierungsvorschläge für Arzneimittel bei Pferden und Eseln. 4., vollständig aktualisierte und erweiterte Auflage. Stuttgart: Schattauer GmbH; 2016.
69. Ewert KM, Fessler JF, Templeton CB, Bottoms GD, Latshaw HS, Johnson MA. Endotoxin-induced hematologic and blood chemical changes in ponies: effects of flunixin meglumine, dexamethasone, and prednisolone. *Am J Vet Res* 1985; 46(1):24–30.
70. Takahashi Y, Ohmura H, Mukai K, Shiose T, Takahashi T. A Comparison of Five Cooling Methods in Hot and Humid Environments in Thoroughbred Horses. *J Equine Vet Sci* 2020; 91:103130. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080620302215>.
71. Proulx CI, Ducharme MB, Kenny GP. Effect of water temperature on cooling efficiency during hyperthermia in humans. *J Appl Physiol* (1985) 2003; 94(4):1317–23. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12626467/>.
72. Farnham C, Emura K, Mizuno T. Evaluation of cooling effects: outdoor water mist fan. *Building Research & Information* 2015; 43(3):334–45.
73. McEntire SJ, Suyama J, Hostler D. Mitigation and prevention of exertional heat stress in firefighters: a review of cooling strategies for structural firefighting and hazardous materials responders. *Prehosp Emerg Care* 2013; 17(2):241–60.
74. Janczarek I, Wiśniewska A, Tkaczyk E, Wnuk-Pawlak E, Kaczmarek B, Liss-Szczepanek M et al. Effect of Different Water Cooling Treatments on Changes in Rectal and Surface Body Temperature in Leisure Horses after Medium-Intensity Effort. *Animals (Basel)* 2022; 12(4).
75. Padalino B, Loy J, Hawson L, Randle H. Effects of a light-colored cotton rug use on horse thermoregulation and behavior indicators of stress. *Journal of Veterinary Behavior* 2019; 29:134–9. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1558787819300243>.

76. Klous L, Siegers E, van den Broek J, Folkerts M, Gerrett N, van Oldruitenborgh-Oosterbaan MS et al. Effects of Pre-Cooling on Thermophysiological Responses in Elite Eventing Horses. *Animals (Basel)* 2020; 10(9). Available from: URL: [https://www.researchgate.net/publication/344321970\\_Effects\\_of\\_Pre-Cooling\\_on\\_Thermophysiological\\_Responses\\_in\\_Elite\\_Eventing\\_Horses](https://www.researchgate.net/publication/344321970_Effects_of_Pre-Cooling_on_Thermophysiological_Responses_in_Elite_Eventing_Horses).
77. Casa DJ, Armstrong LE, Kenny GP, O'Connor FG, Huggins RA. Exertional heat stroke: new concepts regarding cause and care. *Current sports medicine reports* 2012; 11(3):115–23. Available from: URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22580488/>.
78. Wyndham Ch, Strydom Nb, Cooke Hm, Maritz Js, Morrison Jf, Fleming Pw et al. Methods of cooling subjects with hyperpyrexia. *J Appl Physiol* 1959; 14:771–6.
79. Barcroft H, Edholm OG. The effect of temperature on blood flow and deep temperature in the human forearm. *J Physiol* 1943; 102(1):5–20.
80. Eichler AC, McFee AS, Root HD. Heat stroke. *Am J Surg* 1969; 118(6):855–63.
81. Hadad E, Rav-Acha M, Heled Y, Epstein Y, Moran DS. Heat stroke : a review of cooling methods. *Sports Med* 2004; 34(8):501–11. Available from: URL: <https://link.springer.com/article/10.2165/00007256-200434080-00002>.
82. Marlin D., Misheff M., Whitehead P. Session 6 - Optimising performance in a challenging climate [Supporting Document - FEI Sports Forum] 2018 [cited 2023 Nov 29]. Available from: URL: [https://inside.fei.org/sites/default/files/Session\\_6\\_Optimising\\_performance\\_in\\_a\\_challenging\\_climate\\_SUPPORTING\\_DOC.pdf](https://inside.fei.org/sites/default/files/Session_6_Optimising_performance_in_a_challenging_climate_SUPPORTING_DOC.pdf).
83. Fran Rowe DV. Equine Heat Index Tool | Mad Barn; 2023 [cited 2024 Feb 10]. Available from: URL: <https://madbarn.com/equine-heat-index/>.
84. Joshua Hall DV. Equine heat index warning; 2024 [cited 2024 Feb 10]. Available from: URL: <https://www.uspolo.org/news-social/news/equine-heat-index-warning>.
85. Schroter RC, Marlin DJ, Jeffcott LB. Use of the Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) index to quantify environmental heat loads during three-day-event competitions. *Equine Vet J Suppl* 1996; 28(22):3–6.
86. Brocherie F, Millet GP. Is the Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) Index Relevant for Exercise in the Heat? *Sports Med* 2015; 45(11):1619–21. Available from: URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-015-0386-8>.

87. Margaret Brownlow. A perspective on the use of the wet-bulb globe temperature (WBGT) to quantify environmental heat stress in thoroughbred horse racing. Should it be considered obsolete. In: ; 2019 Available from: URL: [https://www.researchgate.net/publication/333031137\\_A\\_perspective\\_on\\_the\\_use\\_of\\_the\\_wet-bulb\\_globe\\_temperature\\_WBGT\\_to\\_quantify\\_environmental\\_heat\\_stress\\_in\\_thoroughbred\\_horse\\_racing\\_Should\\_it\\_be\\_considered\\_obsolete](https://www.researchgate.net/publication/333031137_A_perspective_on_the_use_of_the_wet-bulb_globe_temperature_WBGT_to_quantify_environmental_heat_stress_in_thoroughbred_horse_racing_Should_it_be_considered_obsolete).
88. Geor RJ, McCutcheon LJ. Thermoregulatory adaptations associated with training and heat acclimation. *Vet Clin North Am Equine Pract* 1998; 14(1):97–120. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749073917302146>.
89. Shakeel M, Yoon M. Heat stress and stallion fertility. *J Anim Sci Technol* 2023; 65(4):683–97.
90. Freidman R, Scott M, Heath SE, Hughes JP, Daels PF, Tran TQ. The effects of increase testicular temperature on spermatogenesis in the stallion. *J Reprod Fertil Suppl* 1991; 44:127–34.
91. R. Friedman, P.F. Daels, M.A. Scott, J.F. Roser, H.O. Mohammed, J.P. Hughes. Endocrine Profiles of Stallions with Impaired Testicular Function Due to Increased Testicular Temperature. *Biology of Reproduction* 1995; (Volume 52):642–6.
92. Voigt U, Justus Liebig University Giessen. Influence of Weather Parameters on the Fertility of Horse Mares (*Equus Caballus*). Universitätsbibliothek Gießen; 2020.
93. Mortensen CJ, Choi YH, Hinrichs K, Ing NH, Kraemer DC, Vogelsang SG et al. Embryo recovery from exercised mares. *Anim Reprod Sci* 2009; 110(3-4):237–44.
94. Yu K, Pfeiffer C, Burden C, Krekeler N, Marth C. High ambient temperature and humidity associated with early embryonic loss after embryo transfer in mares. *Theriogenology* 2022; 188:37–42.
95. Muñoz A, Castejón-Riber C, Riber C, Esgueva M, Trigo P, Castejón F. Current Knowledge of Pathologic Mechanisms and Derived Practical Applications to Prevent Metabolic Disturbances and Exhaustion in the Endurance Horse. *J Equine Vet Sci* 2017; 51:24–33. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073708061630380X>.

96. Padalino B, Raidal SL, Hall E, Knight P, Celi P, Jeffcott L et al. A Survey on Transport Management Practices Associated with Injuries and Health Problems in Horses. *PLOS ONE* 2016; 11(9):e0162371. Available from: URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0162371>.
97. Schauburger G, Mikovits C, Zollitsch W, Hörtenhuber SJ, Baumgartner J, Niebuhr K et al. Global warming impact on confined livestock in buildings: efficacy of adaptation measures to reduce heat stress for growing-fattening pigs. *Climatic Change* 2019; 156(4):567–87. Available from: URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-019-02525-3>.
98. Ortega ADSV, Szabó C. Adverse Effects of Heat Stress on the Intestinal Integrity and Function of Pigs and the Mitigation Capacity of Dietary Antioxidants: A Review. *Animals* 2021; 11(4).
99. Bagath M, Krishnan G, Devaraj C, Rashamol VP, Pragna P, Lees AM et al. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Res Vet Sci* 2019; 126:94–102.
100. Lara LJ, Rostagno MH. Impact of Heat Stress on Poultry Production. *Animals* 2013; 3(2):356–69.
101. Vitali A, Felici A, Lees AM, Giacinti G, Maresca C, Bernabucci U et al. Heat load increases the risk of clinical mastitis in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2020; 103(9):8378–87.
102. Heaviside C, Macintyre H, Vardoulakis S. The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment. *Curr Envir Health Rpt* 2017; 4(3):296–305. Available from: URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40572-017-0150-3>.

## **5. ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

1. Diese Abbildung wurde von der Autorin, Julia K. Daxner, selbst erstellt.
2. Diese Abbildung wurde von der Autorin, Julia K. Daxner, selbst erstellt.
3. Kang H, Zsoldos RR, Sole-Guitart A, Narayan E, Cawdell-Smith AJ, Gaughan JB. Heat stress in horses: a literature review. *Int J Biometeorol* 2023:1–17.
4. Diese Abbildung wurde von der Autorin, Julia K. Daxner, selbst erstellt.
5. Diese Abbildung wurde von der Autorin, Julia K. Daxner, selbst erstellt.
6. Takahashi Y, Ohmura H, Mukai K, Shiose T, Takahashi T. A Comparison of Five Cooling Methods in Hot and Humid Environments in Thoroughbred Horses. *J Equine Vet Sci* 2020; 91:103130.

## **6. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Hiermit erkläre ich, Julia Katharina Daxner, dass die vorliegende Diplomarbeit nach bestem Wissen und Gewissen eigenständig und ohne unzulässige Hilfe verfasst wurde. Ich habe ausschließlich die in der Literaturliste angeführten Hilfsmittel und Literaturstellen verwendet und keinerlei andere Quellen oder Hilfsmittel in Anspruch genommen. Jegliche Zitate und Übernahmen fremder Inhalte sind entsprechend den wissenschaftlichen Standards gekennzeichnet und durch Quellenangaben belegt.

Die zur Bewertung vorgelegte Diplomarbeit wurde eigenständig verfasst, ohne dass Teile daraus an anderer Stelle eingereicht oder veröffentlicht wurden.