

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde  
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Institut/Klinik für Pferdechirurgie  
(Leiterin: Univ.-Prof. Dr.med.vet. Florian Jenner)

**Die Hydrotherapie bei Pferden –  
eine systematische Literaturübersicht**

Bachelorarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von

Nicole Forstner

Wien, im Mai 2023

**Betreuer**

Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Dipl.ECVSMR Heinz Hans Florian Buchner  
Universitätsklinik für Pferde, Abteilung Pferdechirurgie

**Begutachterin**

Dr.med.vet. Dipl.ECVSMR Marion Mucha  
Universitätsklinik für Kleintiere, Klinische Abteilung für Kleintierchirurgie

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Einleitung.....	1
2. Material und Methode .....	3
3. Hydrotherapie .....	5
3.1 Definition Hydrotherapie .....	5
3.2 Physikalische Eigenschaften des Wassers.....	6
4. Literaturanalyse .....	7
4.1 Bewegungsablauf.....	7
4.1.1 Schwimmen .....	7
4.1.2 Unterwasserlaufband .....	9
4.2 Auswirkungen auf physiologische Parameter .....	12
4.2.1 Herz-Kreislauf-System .....	12
4.2.2 Atmungstrakt.....	13
4.2.3 Laktat.....	14
4.3 Effekte langfristiger Hydrotherapie.....	16
4.3.1 Trainingseffekte .....	16
4.3.2 Therapeutische Effekte .....	17
5. Diskussion .....	19
5.1 Mögliche Therapieeffekte, Indikationen und Risiken von Hydrotherapie .....	19
5.2 Mammalian Dive Response.....	24
5.3 Schlussfolgerung.....	25
6. Zusammenfassung .....	26
7. Summary .....	27
8. Literaturverzeichnis.....	28
9. Abbildungsverzeichnis .....	36
10. Anhang .....	37

## 1. Einleitung

Hydrotherapie ist beim Menschen bereits seit der (Spät-)Antike bekannt, auch bei Tieren kam man schnell auf die Idee, die positiven Eigenschaften von Wasser zu nutzen. Anekdotisch wird berichtet, dass in Deutschland im 19. Jahrhundert eigene Bäder für Pferde errichtet wurden. Damals wurde Hydrotherapie bei Pferden v.a. aufgrund von Rheuma, Lahmheiten oder chronischen Sehnenscheidenentzündungen angewendet (Süße et al. 2020). Heutzutage spielt Hydrotherapie in der Veterinärmedizin eine große Rolle. Eine Umfrage mit vorwiegend Teilnehmer\*innen aus den USA, Europa und Kanada zeigt, dass 30% der Befragten Schwimmen und 39% das Unterwasserlaufband zur Rehabilitation von Pferden nutzen. Auch Kaltwassertherapie wird sehr häufig (82,9%) angewendet. Diese Arten der Hydrotherapie werden laut Umfragebogen besonders für Erkrankungen der Sehnen und Bänder genutzt (Wilson et al. 2018).

Insgesamt existieren also schon lange Schwimmbäder oder Unterwasserlaufbänder speziell für Pferde. Auch im regulären Training wird Hydrotherapie gerne eingesetzt, besonders bei Hochleistungssportlern wie Rennpferden. Die Abwechslung im Training, der Erhalt der Fitness (während Verletzungen), sowie die Verbesserung der Leistung werden von Trainer\*innen unter anderem als Gründe für den Einsatz von Schwimmen genannt (Steel et al. 2019). Daher wurden besonders bei dieser Form des Aquatrainings physiologische Parameter wie Herz- (Hobo et al. 1998, Bonelli et al. 2017, Santosuosso et al. 2022a) oder Atemfrequenz (Murakami et al. 1976, Hobo et al. 1998), sowie ein möglicher Zusammenhang zwischen Schwimm- und Rennleistung (Misumi et al. 1994a, Klomp et al. 2014), mehrfach untersucht.

Das Unterwasserlaufband wird ebenfalls häufig als Trainingsmöglichkeit für Pferde genutzt. Laut einer Umfrage von Tranquille et al. (2018) wird diese Art der Hydrotherapie in 60% der Fälle als Training (vor allem für Sportpferde) und in 40% zur Rehabilitation genutzt. Besonders Erkrankungen der Sehnen und Bänder werden dadurch unterstützend behandelt.

Auch in der Kleintiermedizin wird das Unterwasserlaufband wegen der verringerten Last auf die Gelenke gerne genutzt. Schwimmen kommt beispielsweise für Hunde häufig bei gravieren-deren Fällen der Osteoarthritis zur Anwendung. Hierbei stellt das Wasser als Medium einen großen Vorteil dar (Shmalberg und Memon 2015). Während des Schwimmens oder Laufens im Wasser wirken verschiedene Kräfte auf den Körper, die durchaus positiv in der Rehabilitation sein können. Dazu zählen Auftriebskraft, Wasserwiderstand, hydrostatischer

Druck und eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit des Wassers (Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014). Alle aufgezählten physikalischen Eigenschaften dieses Mediums ziehen Einflüsse auf den Körper nach sich, die im Folgenden genauer erläutert werden.

Mithilfe einer systematischen Literaturstudie wird - nach einer kurzen Definition der Hydrotherapie - ein Überblick über die Effekte von Schwimmen und Unterwasserlaufband als Training und Therapie bei Pferden gegeben. Untersucht werden vor allem Hintergründe und Wirkungen auf Kinematik und physiologische Parameter dieser beiden Formen der Hydrotherapie. Auch ein Rückschluss auf mögliche Indikationen soll diskutiert werden.

## 2. Material und Methode

Für nachfolgende Analyse wurde von Dezember 2022 bis einschließlich Februar 2023 eine ausführliche Literaturrecherche in Anlehnung an Webster und Watson (2002) durchgeführt. Eingeschlossen wurden ausschließlich englisch- und deutschsprachige Artikel und Studien, die sich mit dem Schwimmen oder Aquatrainer als Trainings- und Therapiemöglichkeit bei Pferden beschäftigen. Folgende Suchmaschinen und Datenbanken wurden genutzt:

- Google Scholar
- Scopus
- PubMed
- Science direct
- Mendeley
- Vetmed Seeker

Gesucht wurden Kombinationen aus folgenden Suchbegriffen, die jeweils in deutscher und englischer Sprache eingegeben wurden:

- Hydrotherapie/hydrotherapy, Therapie/therapy, Rehabilitation/rehabilitation, Behandlung/treatment, Training/exercise
- Vorteile/benefits, Risiken/risks, Indikationen/indications, Auswirkungen/effects, Gründe/reasons
- Schwimmen/swimming, Schwimmbad/swimming pool, Unterwasserlaufband/underwater treadmill, Aquatrainer
- Pferd/horse, equine
- klinische Studie/clinical trial, randomisierte klinische Studie/randomized clinical trial

Gemäß der empfohlenen Herangehensweise von Webster und Watson (2002) wurde außerdem eine „backward search“, bei der die Literaturverzeichnisse der bereits gefundenen Schriften herangezogen werden, und eine „forward search“, bei der nach Literatur gesucht wird, die den gefundenen Artikel zitiert, durchgeführt. Somit wurden auch inhaltlich verwandte Texte ermittelt, um sie anschließend auf Relevanz zu prüfen.

Dafür wurde eine Konzeptmatrix erstellt, die die Literatur nach ihren Inhalten gliedert, eine Einordnung in das Thema und eine weitere Eingrenzung ermöglicht. Eingeschlossen wurden

vorerst alle Texte, die sich mit physiologischen Parametern und/oder therapeutischen Effekten von Schwimmen und/oder Unterwasserlaufbändern beschäftigen. Anschließend wurden die Studien anhand ihres Studiendesigns klassifiziert. Hier wurde zwischen Quer- und Längsschnittstudie, deskriptivem und analytischem Versuchsaufbau, sowie zwischen Beobachtungs- und experimenteller Studie unterschieden. Bei experimentellen Studien wurde zusätzlich geschaut, ob es sich um ein kontrolliertes, randomisiertes oder verblindetes Design handelt. Außerdem war die Stichprobengröße von Behandlungs- und Kontrollgruppe, sowie das Untersuchungsobjekt, d.h. gesunde Tiere, Tiere mit experimentell induzierter Erkrankung oder Patienten, Gegenstand der Untersuchung. Patienten wurden definiert als Tiere, die sich bei Beginn der Studie aufgrund einer Erkrankung, welche nicht experimentell induziert war, in akuter oder Rehabehandlung befanden.

Durch diese Klassifizierungen ließen sich die Texte innerhalb ihrer Themenbereiche weiter kategorisieren und die Kausalität besser abschätzen. Die Konzeptmatrix, sowie die weitere Klassifizierung der Studien sind als Tabelle im Anhang zu finden.

### 3. Hydrotherapie

#### 3.1 Definition Hydrotherapie

Hydrotherapie, Aquatherapie oder auch Wasserheilkunde umfasst verschiedene Anwendungen, die sowohl im humanmedizinischen als auch im veterinärmedizinischen Kontext zum Einsatz kommen. Eine eindeutige Definition lässt sich nicht finden, so gehören mal die innere und äußere Anwendung (Mooventhan und Nivethitha 2014) von Wasser, mal nur die äußere Anwendung (Pollok-Klein et al. 2019) dazu. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird auf letztere Definition zurückgegriffen und „die methodische äußere Verwendung von Wasser zu präventiven und therapeutischen Zwecken“ (Pollok-Klein et al. 2019) als Hydrotherapie gewertet. Somit sind Training und Therapie eingeschlossen.

Die unterschiedlichen Arten der Hydrotherapie umfassen unter anderem die lokale Anwendung von (Kalt-)Wasser, Balneo- oder Bewegungstherapie (Süße et al. 2020, Hohmann 2019). Im Folgenden wird nur die Bewegungstherapie, besonders der Einsatz von Schwimmen und Unterwasserlaufband, untersucht.

In der Regel ist für das Schwimmen ein eigens für Pferde gebauter Pool von Nöten, meistens mit integrierter Rampe zum Ein- und Ausstieg (Stokes 2015). Die Tiere können dabei vom Menschen am Strick geleitet werden, d.h. frei schwimmen (Vinardell et al. 2023), oder mit einem Seil am Schweif festgebunden schwimmen (Thomas et al. 1980). Letztere schwimmen nahezu auf der Stelle.

Die Therapie mithilfe des Unterwasserlaufbandes erfordert ebenfalls besonderes Equipment. Es gibt mittlerweile verschiedene Arten von Laufbändern, die mit Wasser gefüllt werden können. Die Füllhöhe reicht dabei bis zu 1,5 m und die einstellbare Laufgeschwindigkeit von 0,1 bis  $5,5 \frac{m}{s}$  (Nankervis et al. 2017). Hier wird zuerst das Pferd in den Aquatrainer geführt und anschließend die gewünschte Menge an Wasser hinzugegeben (Stokes 2015).

Das Medium Wasser stellt dabei eine besondere Umgebung dar, die sich grundlegend von den Konditionen an Land unterscheidet. Dabei sind vier physikalische Eigenschaften (Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014) besonders zu nennen, die jeweils Effekte auf den Körper nach sich ziehen.

### 3.2 Physikalische Eigenschaften des Wassers

Eine physikalische Eigenschaft des Wassers ist der erhöhte Widerstand, was sowohl mit der Dichte als auch mit der Viskosität des Wassers zusammenhängt (Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014). Diese ist um ein Vielfaches größer als die Viskosität der Luft, wodurch mehr Muskelkraft als an Land benötigt wird, um sich im Wasser bewegen zu können (King et al. 2012). Die Dichte wiederum setzt sich aus der Masse der Flüssigkeit und dem Platz, den sie einnimmt, zusammen. Der Körper verdrängt nun das ihn umgebende Wasser, wodurch Auftrieb entsteht, was gegen die Schwerkraft wirkt. Diese beiden Kräfte müssen sich ausgleichen, da es ansonsten zu einem Absinken des Körpers kommt. Die Auftriebskraft ist außerdem von Gewicht und Volumen des Körpers abhängig und steigt mit zunehmender Wasserhöhe an. Durch diese Kraft liegt weniger Gewicht auf den Gelenken, was besonders in der Rehabilitation oder bei übergewichtigen Patienten sinnvoll ist (Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014).

Wasser wirkt durch den hydrostatischen Druck zusätzlich als Kompressor. Dabei gilt, je tiefer der Körper unter Wasser ist, desto höher ist der Druck von außen (Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014). Dies wirkt sich positiv auf den Abtransport von Blut und Lymphe aus und fördert die Rückbildung von Ödemen und Schwellungen (King et al. 2012). Zusätzlich erfährt die Lunge ebenfalls diesen erhöhten Druck, was den Atemablauf erschwert bzw. verändert (Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014). Des Weiteren wird von einer erhöhten Stimulation von oberflächlich gelegenen Nerven und Mechanorezeptoren der Gelenke gesprochen (King et al. 2012).

Zuletzt ist die erhöhte Wärmeleitfähigkeit des Wassers zu nennen. Wärme oder Kälte kann sehr gut gespeichert werden, die Wärmekapazität des Wassers ist größer als die des (menschlichen) Körpers. Das führt dazu, dass sich ein im Wasser befindender Körper der Umgebungstemperatur anpasst (Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014). In der Rehabilitation können dabei verschiedene Temperaturen genutzt werden, wodurch es zu Vasodilatation oder -konstriktion kommt (King et al. 2012, Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014).

## **4. Literaturanalyse**

Es wurden etwa 30 Studien im Bereich Training und Therapie von Pferden mithilfe von Schwimmen oder Aquatrainer in die Literaturanalyse einbezogen. Außerdem ist eine dreiteilige Versuchsreihe zu finden, die sich mit den Therapieeffekten von Hydrotherapie - genauer mit dem Unterwasserlaufband - bei kranken Pferden beschäftigt. Zum Schwimmen existieren nach Wissen der Autorin derzeit keine klinischen Studien an Pferden, es gibt jedoch vereinzelt Literatur im Hundebereich. Des Weiteren sind mehrere anekdotische Berichte über mögliche Therapieeignung und -effekte von Hydrotherapie bei Pferden, sowie ein Fallbericht zum Schwimmen zu finden. Auch Umfragen oder retrospektive Studien zur Verbreitung der beiden untersuchten Hydrotherapieformen wurden bereits durchgeführt. Im Folgenden wird auf den equinen Bewegungsablauf beim Schwimmen eingegangen.

### **4.1 Bewegungsablauf**

#### **4.1.1 Schwimmen**

Für das Schwimmen bei Pferden wurden bereits die Beinbewegungen von Vorder- und Hinterextremitäten grob beschrieben. Dadurch ist ein Rückschluss auf die Funktion der Vor- bzw. Hinterhand möglich. Während die Hinterbeine für den Antrieb sorgen, werden die Vorderbeine für die Richtungssteuerung und zum Ausbalancieren genutzt. Bei einem runden Schwimmbecken wurde außerdem beobachtet, dass das jeweils äußere Hinterbein stärker agiert als das innere. Der Kopf des Pferdes ist dabei mit dem Kiefer unmittelbar über Wasser, wobei die Zähne aufeinandergepresst werden. Der Körper befindet sich meist unterhalb der Wasseroberfläche, allerdings taucht die Kruppe gelegentlich auf und ist zu sehen. Diese Feststellungen wurden jedoch nicht anhand von eindeutigen Messergebnissen getroffen, sondern stützen sich auf Beobachtungen mit bloßem Auge und einer Kamera (Murakami et al. 1976).

Mithilfe einer Elektromyografie (kurz: EMG) wurden schließlich die Muskelaktivitäten ausgewählter Muskeln gemessen, um objektivere Aussagen treffen zu können. Tokuriki et al. (1999) beschäftigten sich dabei mit dem M. splenius, M. sternomandibularis, M. flexor digitorum profundus, M. brachiocephalicus, M. triceps brachii, M. brachialis, M. extensor digitorum communis und M. vastus lateralis. Auffällig war eine tonische EMG-Aktivität des M. splenius, der für die Streckung des Nackens zuständig ist, während der M. sternomandibularis,

welcher für die Beugung des Nackens zu ständig ist, nur geringe Aktivität zeigt. Auch bei Muskeln der Vordergliedmaße ließen sich Besonderheiten entdecken. Der M. brachiocephalicus, M. flexor digitorum profundus und das caput longum des M. triceps brachii weisen eine erhöhte Aktivität während des Schwimmens auf. Des Weiteren wurde festgestellt, dass sich die Hinterbeine durchgehend (rhythmisch) bewegen, die Vorderbeine allerdings hin und wieder pausieren.

Santosuosso et al. (2021, 2022b) untersuchten schließlich den Bewegungsablauf während des Schwimmens intensiver und verglichen unter anderem die Range of Motion (kurz: ROM) von Vorder- und Hintergliedmaßen im Wasser mit jenen der passiven Mobilisierung.

Dafür wurden zunächst Zinkoxid-Marker an Punkten der linken Vordergliedmaße angebracht, sowie mehrere Kameras aufgestellt. Hier ist festzustellen, dass sich die Pferde individuell unterschiedlich bewegen und es deutliche Abweichungen in der ROM der einzelnen Gelenke gibt. Dennoch kann man sagen, dass beim Vorführen des Beines zuerst der Karpus, dann der Ellenbogen und schließlich das Fesselgelenk die stärkste Beugung erfährt. Die Vorführphase dauert mit 64% des Schwimmzuges länger als das Rückführen des Beines. Beim Vergleich mit der passiven Mobilisierung ist zu sehen, dass ein signifikanter Unterschied in der ROM von Karpal- und Fesselgelenk besteht. Beide Gelenke sind beim Schwimmen deutlich weniger in Bewegung. Diese Beobachtung kann auch damit zusammenhängen, dass das Pferd während des Schwimmens nicht in eine maximale Extension bzw. Flexion gezwungen wird, sondern die Bewegung selbstständig ausführt. Das Ellenbogengelenk zeigt hingegen kaum Unterschiede in der ROM der untersuchten Bewegungen (Santosuosso et al. 2021).

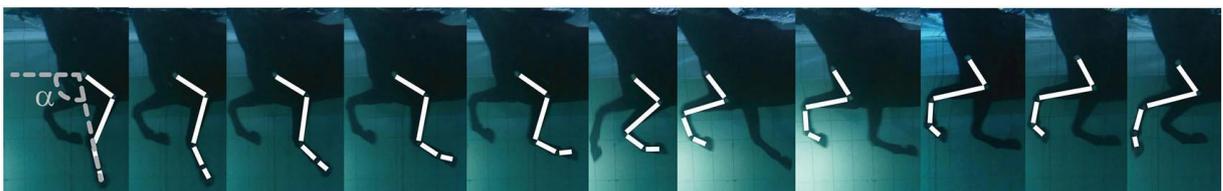


Abb. 1: Bewegungsablauf der vorderen Gliedmaße

Für die Hintergliedmaße lag der Fokus auf Sprung-, Fessel- und Kniegelenk, was mit Markern am linken Hinterbein und Aufnahmen von Videokameras genau zu beobachten war. Während

der Vorführphase wird als erstes das Kniegelenk, dann das Fesselgelenk und schließlich das Sprunggelenk am stärksten gebeugt. Beim Rückführen des Beines erfährt zuerst das Tarsalgelenk, gefolgt von Fessel- und Kniegelenk, seine maximale Streckung. Dabei ist jedoch zu beachten, dass nur eine geringe Menge an Pferden für die Analyse genutzt wurde und daraus Mittelwerte gebildet wurden. Außerdem sind mögliche Messungenauigkeiten aufgrund des Wassers nicht auszuschließen (Santosuosso et al. 2022b). Daher müssen die Messwerte der zeitlichen Abfolge von maximaler Flexion/Extension, welche gegen die bereits bekannte Spansägenkonstruktion von Knie- und Sprunggelenk sprechen, mit Vorsicht interpretiert werden.

Für die ROM des Fessel- und Kniegelenks wurden beim Schwimmen signifikant kleinere Werte gemessen als während der passiven Mobilisierung. Das Tarsalgelenk hingegen weist in beiden Bewegungen eine ähnliche ROM auf (Santosuosso et al. 2022b).



Abb. 2: Bewegungsablauf der hinteren Gliedmaße

#### 4.1.2 Unterwasserlaufband

Der equine Bewegungsablauf auf dem Unterwasserlaufband wurde vor allem anhand von Abweichungen des physiologischen Gangbildes auf trockenem Boden beschrieben. Im Vergleich zum Laufband ohne Wasser kann im Schritt eine signifikant größere Schrittweite festgestellt werden, sowie eine verlangsamte Schrittfrequenz. Beides wird größer bzw. langsamer bei Erhöhung der Wassermenge (McCrae et al. 2021). Greco-Otto et al. (2019) stellte die geringste Schrittfrequenz in kniegelenkshohem Wasser fest und untersuchte außerdem die Beschleunigung von Huf, Röhrbein und Radius. Auch diese ist im Schritt auf dem Unterwasserlaufband deutlich geringer als an Land und wird mit zunehmender Wasserhöhe abgeschwächt.

Die Schwing- bzw. Stemmphase verlangsamt bzw. verlängert sich ebenfalls innerhalb eines Schrittes bei erhöhter Wassermenge. Ferner wird die ROM von Karpal-, Sprung- und

Fesselgelenken von verschiedenen Wassertiefen beeinflusst, grundsätzlich ist sie aber auf dem Unterwasserlaufband im Schritt signifikant größer als auf trockenem Laufband (Mendez-Angulo et al. 2013, Tranquille et al. 2022).

Karpus und Ellenbogen erfahren einen erhöhten Flexions- und Elevationsgrad beim Gehen im Wasser. Ebenso werden Schulter- und Fesselgelenk stärker angehoben, was sich unmittelbar nach der Einheit am Unterwasserlaufband für Ellenbogen- und Schultergelenk auch am Boden zeigt (McCrae et al. 2021). Eine genauere Untersuchung zur ROM in Abhängigkeit der Wasserhöhe lieferte folgende Ergebnisse, die jedoch aufgrund unterschiedlicher Versuchsdurchführung der verschiedenen Studien nicht gänzlich miteinander vergleichbar sind.

Karpalgelenk, sowie Fesselgelenke von Vorder- und Hintergliedmaßen, erfahren im Schritt die stärkste Flexion in sprunggelenkshohem Wasser. Während beim Karpalgelenk die Wasserhöhe von maximaler Flexion und Extension übereinstimmt, zeigt sich die stärkste Extension der Fesselgelenke in fesselgelenkshohem Wasser. Das Sprunggelenk weist in kniegelenkshohem Wasser jeweils den höchsten Grad an Beugung und Streckung auf (Mendez-Angulo et al. 2013). Die ROM des Ellenbogengelenks ist am größten im karpalgelenkshohen Wasser. Auffällig ist außerdem, dass sich das Schultergelenk bei größerer Wasserhöhe, sowie nach mehreren Trainingstagen weniger stark streckt. Einzige Ausnahme bildet dabei der Extensionsgrad in karpalgelenkshohem Wasser, welcher größer ist. Auch beim Karpalgelenk ist eine Veränderung nach einigen Trainingseinheiten sichtbar. In den ersten Trainingstagen zeigt sich bei dieser Studie eine hohe ROM in karpalgelenkshohem Wasser, später allerdings in Wasser auf Kniegelenkshöhe (McCrae et al. 2021).

Nicht nur die Bewegung der Extremitäten auf dem Unterwasserlaufband wurde bereits genauer untersucht, auch die des Rückens gilt es zu verstehen. Mooij et al. (2013) nutzten dabei die Unterteilung der Bewegungsrichtungen in axiale Rotation (Rotation um die kraniocaudale Achse), laterale Biegung (Rotation um die dorsoventrale Achse) und Flexion des Beckens (Rotation um eine Achse senkrecht zur Sagittalachse). Hier wurden sowohl Veränderungen im Zusammenhang mit der Wasserhöhe, als auch nach mehreren Trainingstagen festgestellt. Die Bewegungsamplitude der Flexion des Beckens steigt im Schritt mit zunehmender Wasserhöhe an, während die der lateralen Biegung v.a. bei ellbogen- und schulterhohem Wasser sinkt. Nach 10 Tagen Training auf dem Unterwasserlaufband ist ein leicht erhöhter Bewegungsumfang der lateralen Biegung festzustellen, was für ein vermehrt gebeugtes Becken spricht. Die Bewegungsamplitude der axialen Rotation steigt bei

vermehrter Wassermenge zwar ebenfalls an, erreicht jedoch bei Wasser bis zum Karpus ihr Maximum. Diese Werte sind darauf zurückzuführen, dass das Pferd einen veränderten Bewegungsablauf annimmt, um in seichtem Wasser leichter voranzukommen. Es versucht dabei mit den Beinen über das Wasser zu steigen, was zu einer erhöhten axialen Rotation des Rückens führt.

Die Bewegungsamplitude der axialen Rotation erreicht also ein Plateau, bevor der Bewegungsablauf aufgrund zu hohen Wassers erneut verändert wird und eine stärkere Flexion des Beckens auftritt (Tranquille et al. 2022, Mooij et al. 2013). Des Weiteren steigt der Bewegungsumfang der Brustwirbelsäule, sowie die des dritten Lendenwirbels, mit zunehmender Wasserhöhe im Schritt signifikant an, während die des fünften Lendenwirbels signifikant sinkt. Auch sind Veränderungen in der Bewegung des Kopfes zu sehen, welcher eine leicht erhöhte Bewegungsamplitude aufweist. Widerrist, Kreuzbein und Hüfthöcker zeigen einen Anstieg der dorsoventralen und mediolateralen Rotation bei vermehrter Wassermenge (Tranquille et al. 2022).

Eine genauere Betrachtung der Muskelaktivität ist auch bei der Bewegung auf dem Unterwasserlaufband mithilfe einer Elektromyografie möglich. Hierbei weist das caput longum des *M. triceps brachii*, der das Ellenbogengelenk streckt, eine zeitweise Muskelaktivität im Schritt und Trab auf. Auch während der Gehbewegung an Land zeigt sich ein solches Aktivitätsmuster, jedoch mit geringerer Intensität als auf dem Unterwasserlaufband. Der *M. extensor digitorum communis*, der für die Streckung von Karpus sowie für die Beugung des Ellenbogens verantwortlich ist, hat sein EMG-Maximum im Schritt und Trab auf dem Unterwasserlaufband. Vermutlich dienen beide dieser Muskeln dem Vorführen des Beines, was aufgrund des Wassers zunehmend mehr Kraft beansprucht, wodurch eine erhöhte Muskelaktivität auf dem Aquatrainer festzustellen ist. *M. splenius* und *M. sternomandibularis* zeigen im Gegensatz zum Trab an Land kaum Aktivität bei dieser Gangart im Wasser, was auf eine unterschiedliche Beanspruchung dieser Muskulatur auf den verschiedenen beiden Untergründen hinweist (Tokuriki et al. 1999).

## **4.2 Auswirkungen auf physiologische Parameter**

### **4.2.1 Herz-Kreislauf-System**

In einigen Studien wurde bereits die Reaktion des Herz-Kreislauf-Systems während der Gewöhnung (Nankervis und Williams 2006), dem Schwimmen selbst (Hobo et al. 1998, Bonelli et al. 2017, Santosuosso et al. 2022a) oder der Nutzung des Unterwasserlaufbandes (Voß 2002, Wurm 2004) beschrieben. Besonders durch die Möglichkeit, das Schwimmen als Training z.B. für Rennpferde einzusetzen, sind physiologische Parameter während dieser Form der Belastung bereits mehrfach untersucht worden. Im Folgenden werden die Auswirkungen von kurzfristigem Schwimm- bzw. Aquatraining, das nicht über mehrere Tage oder Wochen hinweg durchgeführt wurde, eingegangen.

Gemessen wurde vor allem die Herzfrequenz während der Hydrotherapie. Hier ist grundsätzlich wichtig zu erwähnen, dass dieser Wert auch von äußeren Faktoren oder der Psyche des Pferdes beeinflusst wird (Wurm 2004, Voß 2002, Misumi et al. 1994b). Santosuosso et al. (2022a) stellten mit einem Mittelwert von 170 bpm zu Beginn der Schwimmeinheit eine höhere Herzfrequenz fest als nach einigen Schwimmszügen (160 bpm). Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass besonders der Eintritt ins Wasser mit Stress verbunden ist und das Pferd daraufhin eine kurze Gewöhnungszeit benötigt.

Insgesamt übersteigt die Herzfrequenz beim Schwimmen aber nicht 200 bpm, was für eine aerobe Arbeit spricht (Hobo et al. 1998, Bonelli et al. 2017). Des Weiteren hängt die Herzfrequenz mit der Arbeitsintensität zusammen, wie Thomas et al. (1980) feststellten. Bei jener Studie wurde außerdem ein niedrigeres Schlagvolumen bei geringerer Arbeit gemessen. Eine mögliche Erklärung dafür ist der Anstieg des intrathorakalen Drucks aufgrund des veränderten Atemablaufs während des Schwimmens, der in nachfolgendem Kapitel genauer beschrieben wird. Außerdem zeigt sich ein erhöhter (mittlerer arterieller) Blutdruck, vermutlich aufgrund des hydrostatischen Drucks des Wassers (Thomas et al. 1980).

Ferner sind in einer Studie (Santosuosso et al. 2022a) bei 63% der Pferde Arrhythmien während des Schwimmens aufgetreten. Diese umfassen vor allem supraventrikuläre prä-mature Depolarisationen und ventrikuläre prä-mature Depolarisationen, wobei Arrhythmien im Pferdesport und deren genaue Auswirkungen, sowie der weitere Umgang damit noch nicht genug erforscht sind. Ein Pferd zeigte außerdem unerwarteterweise eine Sinusarrhythmie, die

aufgrund des verringerten Vagotonus normalerweise nicht bei Belastung auftritt (Santosuosso et al. 2022a).

Auch während der Belastung auf dem Unterwasserlaufband steigt die Herzfrequenz im Vergleich zur Ruhe signifikant an. Zwischen Schritt und Trab gibt es ebenfalls einen deutlichen Unterschied, die Werte sind im Trab höher. Es kann allerdings kein Zusammenhang mit verschiedenen Wasserhöhen festgestellt werden. Die höchste Herzfrequenz bei diesem Experiment ist mit 125 bpm gemessen worden (Voß 2002). Wurm (2004) stellte ebenfalls einen Herzfrequenzanstieg mit zunehmender Belastung fest. Dabei wurde unterschieden in Einfluss von Laufgeschwindigkeit, -dauer und Wasserhöhe. Eine längere Laufdauer hat beispielsweise eine erhöhte Herzfrequenz zur Folge, wenn Geschwindigkeit und Wassertiefe gleichbleiben.

Nicht nur während des Trainings auf dem Unterwasserlaufband, auch bei der Gewöhnung an dieses spezielle Trainingsgerät wurde die Herzfrequenz gemessen. Nankervis und Williams (2006) untersuchten dies anhand von zwei verschiedenen Gruppen (sedierte und nicht sedierte Pferde) und stellten folgendes fest. Die sedierten Tiere haben bei den ersten Malen auf dem Unterwasserlaufband mit ca. 69 bpm eine geringere Herzfrequenz als die nicht sedierten mit ca. 75 bpm. Dennoch benötigen beide Gruppen eine ähnlich lange Zeit, um sich an diese Art des Trainings zu gewöhnen.

#### **4.2.2 Atmungstrakt**

Eine Eigenschaft des Wassers stellt der erhöhte Druck dar. Daher sind Einflüsse auf den Atmungstrakt besonders beim Schwimmen, wobei große Teile des Körpers sich unter Wasser befinden, zu erwarten (Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014).

Schwimmende Pferde zeigen durchaus einen besonderen Atemablauf. Bei Eintritt ins Wasser ist eine kurzzeitige Apnoe zu beobachten, danach folgen kleine grunzende Geräusche und die Tiere atmen kurz aus. Im weiteren Verlauf des Schwimmens sieht der Atemablauf wie folgt aus. Nach einer kurzen Inspiration folgt eine etwa 1,6-sekündige Pause und schließlich ein kraftvolles Ausatmen (Jones et al. 2020). Dabei ist die Expirationszeit deutlich länger als die Inspirationszeit, was sich eventuell positiv gegen einen spontanen Kollaps der Atemwege aufgrund des Wasserdrucks auswirkt (Hobo et al. 1998). Während der Atempause fallen die äußeren Nüstern ein und die Oberlippe wird hochgezogen. Es ist allerdings unklar, ob dieser spezielle Atemablauf mit apnoischer Pause freiwillig stattfindet oder ob es instinktiv, d.h. nicht

kontrollierbar, geschieht. Auch ein Zusammenhang mit der Auftriebskraft oder der Mammalian Dive Response (kurz: MDR), auf die in Kapitel 5.2 genauer eingegangen wird, ist nicht auszuschließen (Jones et al. 2020, Santosuosso et al. 2022a). Eine Kopplung von Atmung und Bewegung ist beim Schwimmen nicht festzustellen (Jones et al. 2020).

Trotz des außergewöhnlichen Atemablaufs zeigen freischwimmende Pferde nach der Belastung keine Auffälligkeiten in den oberen (Hobo et al. 1998) und unteren Atemwegen. Weder Blut noch Schleim ist bei der Tracheo-Bronchoskopie zu finden, wodurch freies Schwimmen kein prädisponierender Faktor für Exercise Induced Pulmonary Hemorrhage (kurz: EIPH) bei Distanzpferden zu sein scheint (Vinardell et al. 2023).

Die Atemfrequenz beim Schwimmen liegt bei ca. 25 Atemzügen pro Minute, kurz nach der Belastung ist sie jedoch deutlich höher (Murakami et al. 1976, Hobo et al. 1998).

Bei Training auf dem Unterwasserlaufband nimmt das Pferd ca. 46 Atemzüge pro Minute. In Abhängigkeit zur Wasserhöhe steigt bzw. sinkt die Atemfrequenz jedoch, solange die Laufgeschwindigkeit gleichbleibt. So ist sie mit ca. 50 Atemzügen pro Minute bei karpalgelenkshohem Wasser am höchsten und mit ca. 33 Atemzügen pro Minute bei kniegelenkshohem Wasser am niedrigsten. Bei höherer Belastung ist außerdem das Atemzugsvolumen erhöht, wodurch das Pferd einen verbesserten Gasaustausch erreicht. Mit steigender Wasserhöhe nimmt daher auch die Sauerstoffaufnahme (kurz:  $VO_2$ ) zu. Die Inspirations- und Expirationszeit verändert sich dagegen mit zunehmender Wasserhöhe nicht signifikant, die mittlere Zeit zum Einatmen ist 0,92 s, die für das Ausatmen 0,75 s (Greco-Otto et al. 2017).

#### **4.2.3 Laktat**

Aerobes Training trägt unter anderem zu einer Verbesserung des Herz-Kreislauf-Systems, sowie der Muskelkraft bei und führt somit zu einer besseren Ausdauer. Anaerobes Training hingegen fördert die rasche Erholung nach starker Beanspruchung (Kang et al. 2012). Die Art des Trainings kann mithilfe des Laktatwerts eingeordnet werden. Werte unter 4 mmol/L deuten auf aerobe Beanspruchung hin, darüberliegende Werte weisen auf eine Laktacidose und somit auf anaerobes Training bei Pferden hin (Voß 2002, Kang et al. 2012).

Laktatwerte von 1-10 mmol/L, die sich mit steigender Belastung erhöhen, werden beim angebundenen Schwimmen gemessen (Thomas et al. 1980). Beim freien Schwimmen hingegen bleiben alle gemessenen Werte im aeroben Bereich (Bonelli et al. 2017, Hobo et al. 1998, Murakami et al. 1976, Davie et al. 2008, Jones et al. 2020). Direkt im Anschluss an die Belastung steigen die Werte jedoch an, was wiederum für eine anstrengendere Arbeit spricht und auf eine anaerobe Komponente hindeuten lässt (Jones et al. 2020).

Die Laktatwerte während der Beanspruchung auf dem Unterwasserlaufband überschreiten ebenfalls nicht die Schwelle von 4 mmol/L (Voß 2002, Wurm 2004, Greco-Otto et al. 2017). Deswegen wird angenommen, dass es sich bei den beanspruchten Muskeln um Muskelfasern Typ I handelt. Des Weiteren konnte nicht beobachtet werden, dass sich eine Veränderung der Wasserhöhe, Geschwindigkeit oder Dauer stark auf die Laktatwerte auswirkt (Voß 2002). In einer anderen Studie (Wurm 2004) hingegen, stellte sich ein Zusammenhang zwischen steigender Wasserhöhe und höheren Laktatwerten dar. Das Gleiche gilt für schnellere Geschwindigkeit oder längere Laufdauer.

## **4.3 Effekte langfristiger Hydrotherapie**

### **4.3.1 Trainingseffekte**

Langfristige Hydrotherapie als Gesunderhaltung oder allgemeines Training der Pferde kann zu einer Veränderung der physiologischen Parameter führen. Nach vorangegangener Untersuchung zu Auswirkungen von kurzfristigem Schwimmen und Bewegung auf dem Unterwasserlaufband auf den Körper des Pferdes, werden nun Effekte von mehreren Einheiten Hydrotherapie, die über einen Zeitraum von mind. mehreren Tagen durchgeführt wurden, betrachtet. Da Schwimmen häufig als Training für Rennpferde eingesetzt wird, wurden auch hier verschiedene Werte wie Laktat, Atem- oder Herzfrequenz untersucht. Misumi et al. (1995) beschäftigte sich außerdem mit der Entwicklung der Muskulatur nach einem dreimonatigem Trainingsplan mit ausschließlich Training an Land, zusätzlich konstantem Schwimmtraining oder zusätzlich gesteigertem Schwimmtraining. Anhand von Muskelbiopsien ist nach Vollendung des Trainingsregimens ein deutlicher Anstieg an Muskelfasern Typ IIa, sowie eine Abnahme von Muskelfasern Typ IIb bei schwimmenden Pferden festzustellen. Diese Ergebnisse deuten auf eine verbesserte Sauerstoffkapazität des Muskels hin. Bei jenen Pferden, welche ein zusätzliches gesteigertes Schwimmtraining absolvierten, ist die deutlichste Veränderung zu sehen.

Eine deutliche Verbesserung oder Verschlechterung der Herzfunktion ist nach neun Wochen Schwimmtraining nicht festzustellen. Es werden keine signifikanten Unterschiede zwischen Schwimm- und Kontrollgruppe für die Herzrate in Ruhe und die Atemfrequenz gemessen. Auch für Herzwandstärke und fraktionelle Verkürzung zeigt sich keine signifikante Veränderung (Davie et al. 2008).

In den Laktatwerten hingegen ist nach mehreren Trainingstagen ein Unterschied messbar. Zwei Studien stellen eine Abnahme der Laktatwerte bei zunehmendem Trainingsstand fest (Davie et al. 2008, Kang et al. 2012). Auch fallen die Werte nach der Belastung schneller auf das Anfangsniveau zurück, was auf eine verbesserte Stoffwechselaktivität hindeutet (Kang et al. 2012). Bonelli et al. (2017) konnten dagegen keinen deutlichen Unterschied der Laktatwerte vor und nach der Trainingsperiode feststellen. Diese Studie zeigt jedoch Verbesserungen im Insulin-Glucose-Stoffwechsel durch ein schnelleres Absinken der Insulinwerte nach einem Glucosetoleranztest. Außerdem sind am Ende der Studie geringere Glucosewerte als zu Beginn des Trainingsprogramms zu messen (Kang et al. 2012, Bonelli et al. 2017).

Nicht nur für das Schwimmen, auch bei wiederholter Belastung auf dem Unterwasserlaufband sind im Vergleich zu einer Kontrollgruppe Unterschiede zu erkennen. Nach 20 Wochen mit je ein bzw. zwei Trainingseinheiten ist subjektiv ein deutlicher Muskelaufbau von Nacken-, Kruppen- und Hinterbeinmuskulatur zu sehen. Nur bei der Bauchmuskulatur, sowie dem zervikalen Trapezmuskel sind keine Abweichungen zur Kontrollgruppe zu erkennen. Daher scheint sich regelmäßige Belastung auf dem Unterwasserlaufband positiv auf die Stärkung der Hinterhand und weniger auf die Anhebung des Brustkorbes auszuwirken (Murray et al. 2020).

Außerdem gibt es in Bezug auf den Atmungstrakt deutliche Unterschiede zwischen 18-tägigem Training auf dem Unterwasserlaufband und dem normalen Laufband. Die maximale  $VO_2$  steigt mit Aquatraining um ca. 16%, während sie bei Training ohne Wasser gleichbleibt bzw. leicht sinkt (Greco-Otto et al. 2019).

Des Weiteren wurden die Laktatwerte im Verlauf des Trainings auf dem Unterwasserlaufband untersucht. Voß (2002) konnte hier jedoch keine deutliche Veränderung feststellen.

#### **4.3.2 Therapeutische Effekte**

Bei vorangegangener Literaturrecherche wurden keine klinischen Studien in Bezug auf das Schwimmen als Hydrotherapie gefunden. Es existiert jedoch ein Fallbericht über drei Pferde mit traumatisch bedingter unilateraler Paralyse des N. suprascapularis/brachialis. Die Tiere erhielten nach längerer Krankheitsdauer eine etwa zwei bis fünfmonatige Schwimmtherapie. Die Schulterinstabilität bildete sich bei allen Pferden nach einem Monat Hydrotherapie vollständig zurück, ebenso konnte die Schulter wieder das volle Gewicht aufnehmen. Nur bei einem Pferd, welches mit einer Dauer von sechs Monaten die längste Zeitspanne zwischen Auftreten der Lähmung und Beginn der Schwimmtherapie hatte, konnte sich die Muskelatrophie des M. infra-/supraspinosus nicht vollständig zurückbilden. Alle Tiere wurden lahmheitsfrei entlassen. Das sich steigende Schwimmtraining wurde dabei jeweils an fünf Tagen pro Woche durchgeführt und mit weiterer Physiotherapie wie z.B. passiver Mobilisation an drei Tagen unterstützt (Rattenhuber et al. 2012).

Die Auswirkungen von Hydrotherapie mithilfe des Unterwasserlaufbandes hingegen wurden im Rahmen einer randomisierten klinischen Versuchsreihe bereits untersucht. Dafür wurde bei 16 Pferden Osteoarthritis in einem willkürlich gewählten mittleren Karpalgelenk induziert und

sowohl subjektiv die Entwicklung der Lahmheit angeschaut, als auch Werte der ROM (King et al. 2017, King 2011) oder der Verschiebung des Körperschwerpunkts (King et al. 2013) gemessen. Die Pferde wurden etwa 8 Wochen lang entweder ohne Wasser auf dem Laufband bewegt oder in ca. schultergelenkshohem Wasser trainiert. Startpunkt der Therapie bzw. Bewegung war 15 Tage nach der operativen Induzierung der Krankheit. Am Ende des Experiments wurden alle Pferde euthanasiert und histologisch untersucht (King 2011, King et al. 2013, King et al. 2017).

Dabei ist festzustellen, dass Hydrotherapie mithilfe des Unterwasserlaufbands bei Osteoarthritis im Karpalgelenk durchaus messbare Vorteile bietet. Die maximale passive ROM des kranken Gelenks der Behandlungsgruppe ist im Gegensatz zur Kontrollgruppe bei Ende der Studie wieder auf ihrem Anfangswert, außerdem ist bereits nach einer Woche Aquatraining eine Verbesserung der passiven ROM festzustellen. Auch ist mit Hydrotherapie eine annähernd gleiche Gewichtsverteilung, sowie eine symmetrische Muskelaktivität in den Extremitäten zu messen (King et al. 2017). Nicht nur in der Bewegung gibt es deutliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen, auch in der statischen Balance wird eine signifikante Verbesserung mit Training auf dem Unterwasserlaufband deutlich. Allgemein ist eine höhere Stabilität und propriozeptive Reaktion festzustellen. Auch eine mögliche positive Auswirkung auf das (motorische) Nervensystem wird angesprochen (King et al. 2013). Des Weiteren hat Hydrotherapie positive Einflüsse auf klinische Symptome der Osteoarthritis. Zwar verschlechtert sich die Lahmheit anfangs, was auch anhand von erhöhten Proteinkonzentrationen in der Synovialflüssigkeit zu sehen ist (King 2011), dennoch sinkt der Lahmheitsgrad nach ca. 4 Wochen Aquatraining deutlich. In der postmortalen Untersuchung ist außerdem eine geringere Entzündung im Gelenk der Behandlungsgruppe festzustellen (King et al. 2017).

Insgesamt kann also frühzeitige Hydrotherapie Ödeme vorbeugen, die ROM verbessern und komplett wieder herstellen, Fibrose in der Gelenkkapsel reduzieren und das kranke Gelenk weiterhin gut versorgen, da unter anderem das physiologische Pumpen von Synovia in den Gelenkknorpel bei Bewegung erhalten bleibt (King 2011).

## 5. Diskussion

### 5.1 Mögliche Therapieeffekte, Indikationen und Risiken von Hydrotherapie

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist, Schwimmen und Unterwasserlaufband als Teil der Hydrotherapie bei Pferden genauer zu erläutern. Besonders Indikationen und nachgewiesene Wirkungen sollen aufgezeigt werden. Da es jedoch nur wenig Literatur zum Einsatz des Unterwasserlaufbandes oder Schwimmens bei kranken Tieren gibt, lassen sich nur bedingt Aussagen dazu treffen. Außerdem haben die untersuchten Studien aufgrund ihrer Methodik nur ein geringes Evidenzlevel. Dennoch lassen sich anhand der Literatur bei gesunden Pferden Vermutungen zu Indikationen und Therapieeffekten aufstellen. Mithilfe von EMG-Untersuchungen stellten Tokuriki et al. (1999) die Muskelaktivität während verschiedener Formen der Belastung fest. Die erhöhten EMG-Aktivitäten des M. brachiocephalicus und des caput longum des M. triceps brachii deuten darauf hin, dass das Vorderbein besonders stark gegen das Wasser arbeiten muss und das Ellenbogengelenk stark gestreckt wird. Auch andere Messwerte aus den Studien von Santosuosso et al. (2021, 2022b) zeigen, dass Schwimmen für die ROM des Ellenbogen- und Sprunggelenks ebenso sinnvoll ist wie passive Mobilisation. Aufgrund dieser Tatsache scheint Schwimmen für eine Wiederherstellung oder ein Erhalten der ROM geeignet zu sein. Das kann in der Rehabilitation vor allem bei Pferden, die während der passiven Mobilisation nicht sehr kooperativ sind oder zur Selbstverletzung neigen, eine sinnvolle Möglichkeit sein.

Nicht nur bei Erkrankungen, bei denen man die ROM eines bestimmten Gelenks wiederherstellen möchte, auch bei z.B. Verletzungen der Sehnen kann Schwimmen eine gute Therapiemöglichkeit darstellen. Bei Bewegung an Land stehen diese Strukturen unter großer Belastung, wohingegen unter Wasser weder viel Körpergewicht darauf lastet noch eine große Bewegung im Fesselgelenk stattfindet. Daher kann Schwimmen vor allem zu Beginn der Rehabilitation für Verletzungen von Sehnen und Bändern, sowie von Gleichbeinfrakturen oder Hyperextension im Fesselgelenk, hilfreich sein (Santosuosso et al. 2021). Beim Schwimmen werden außerdem höhere Werte der ROM für das Kniegelenk als beim Schritt und Trab an Land gemessen, dennoch ist die ROM im Wasser geringer als während der passiven Mobilisierung. Daher kann Schwimmen auch bei Erkrankungen im Kniebereich, wie Osteoarthritis oder Meniskusproblemen, eine nützliche Therapie sein. Des Weiteren kann durch diese Art der Hydrotherapie Muskulatur gestärkt bzw. aufgebaut werden, die für die Stabilisierung des Knies nötig ist. Dadurch ist Schwimmen auch für Pferde mit häufig

auftretender Patellafixation interessant, da das Kniegelenk selbst keine volle Extension unter Wasser erfährt und somit kein Fixieren der Kniescheibe eintritt (Santosuosso et al. 2022b). Außerdem ist durch die geringe Belastung auf den Bewegungsapparat ein frühzeitiger Therapiebeginn möglich, was einem Knochenabbau entgegenwirkt (Santosuosso et al. 2021, Santosuosso et al. 2022b). Diese Ergebnisse sind jedoch noch nicht anhand von klinischen Studien mit Pferden abgesichert, dennoch weisen Untersuchungen aus der Kleintiermedizin ebenfalls auf positive Effekte der Schwimmtherapie hin. Preston und Wills (2018) stellten bei Hunden mit Ellenbogengelenksdysplasie nach nur einer Schwimmeinheit Verbesserungen in der ROM der Ellenbogen fest. Des Weiteren vergrößert sich die Schrittweite, was auf ein verbessertes Gangbild hindeutet. Auch Nganvongpanit et al. (2014) konnten Verbesserungen in der ROM messen. Diese Studie beschäftigt sich mit Hunden, die unter Hüftgelenksarthrose leiden. Nach sechs bis acht Wochen Schwimmtherapie verbessert sich die ROM des Hüftgelenks, die Lahmheit, sowie der Palpationsschmerz signifikant. Beide Studien (Nganvongpanit et al. 2014, Preston und Wills 2018) unterstützen die Ergebnisse und Vermutungen von Santosuosso et al. (2021, 2022b) und deuten auf positive Effekte von Schwimmen auf die ROM verschiedener Gelenke auch bei kranken Tieren hin.

Ferner existieren anekdotische Berichte, sowie ein Fallbericht über Indikationen von Schwimmtherapie bei Pferden. Mögliche Gründe für diese Art der Hydrotherapie stellen Erkrankungen der Knochen und Gelenke (Auer 1980, Porter 2005), Verletzungen von Sehnen und Bändern (Palmer et al. 1994, Adair 2011), sowie neurologische Probleme (Rattenhuber et al. 2012, Johnson 2022) dar. Auch mögliche Auswirkungen auf den Stoffwechsel von Pferden sind zu beachten. Bonelli et al. (2017) stellten bereits bei einer kleinen Gruppe von Pferden eine Veränderung im Insulin-Glucose-Stoffwechsel fest. Die genaueren Auswirkungen darauf sind mit Blick auf das zunehmende Auftreten von Stoffwechselkrankheiten, wie das equine metabolische Syndrom, durchaus interessant. Insgesamt gibt es daher noch Raum für weitere Forschung, um vor allem klinische Effekte von Schwimmen auf verschiedene Erkrankungen bei Pferden zu bestätigen.

Auch Kontraindikationen und Risiken von Schwimmtherapie sind zu diskutieren. Tokuriki et al. (1999) stellten eine tonische Aktivität des M. splenius fest, was auf einen stets gestreckten Nacken hindeutet. Das steht auch in Einklang mit Beobachtungen (Murakami et al. 1976) während des Schwimmens. Ein hoch gestreckter Nacken, wobei der Kopf unmittelbar über der Wasseroberfläche ist, während der Pferderücken unter Wasser ist (Murakami et al. 1976),

kann womöglich kein Aufwölben bzw. Dehnen des Rückens erzielen. Daher ist Schwimmen wahrscheinlich nicht als Training der Rückenmuskulatur geeignet. Darauf lassen auch anekdotische Berichte über die Indikationen von Schwimmen als Hydrotherapie schließen (Ridgway und Harman 1999). Des Weiteren sind negative Effekte auf den Atmungstrakt nicht gänzlich auszuschließen. Der vermehrte Druck unter Wasser wirkt sich auf die Lunge aus und der Atemablauf passt sich daraufhin an. Es sind immer wieder Apnoen zu beobachten (Jones et al. 2020) und die Expirationszeit scheint deutlich länger als die Inspirationszeit zu sein (Hobo et al. 1998). Insgesamt ist sich die Literatur über mögliche negative Auswirkungen auf den Atmungstrakt jedoch nicht einig. Verschiedene Studien berichten von keinen pathologischen Veränderungen wie z.B. EIPH (Fennell et al. 2008, Vinardell et al. 2023) bei frei schwimmenden Pferden, Jones et al. (2020) hingegen stellen einen vollständigen Kollaps des oberen Respirationstraktes beim festgebundenen Schwimmen fest. Daher ist diese Art der Belastung für Pferde, die bereits Schwierigkeiten mit der Atmung haben, eher nicht zu empfehlen. Auch anekdotischen Berichten zufolge ist Schwimmen für Pferde mit Krankheiten des Respirationstraktes nicht geeignet (Downer 1979, Adair 2011, King 2016).

Eine retrospektive Studie über Koliken bei einer Gruppe von Pferden, die regelmäßig schwimmen, weist auf weitere mögliche Risiken hin. 37,7% aller Koliken aus drei Jahren sind innerhalb von 30 Minuten nach dem Schwimmen aufgetreten. Nur bei fünf der 136 Koliken wurde eine Laparotomie durchgeführt, die meisten Fälle konnten mit Medikamentengabe in den Griff bekommen werden. Die Ätiologie dieser Art von Koliken ist jedoch nicht bekannt, eventuelle prädisponierende Faktoren wurden ebenfalls nicht untersucht (Walmsley et al. 2011). Auch hier sind weitere Forschungsarbeiten gewünscht.

Für den Einsatz des Unterwasserlaufbandes als Hydrotherapie bei Pferden sind dagegen bereits klinische Studien durchgeführt worden, wodurch sich etwas fundiertere Aussagen treffen lassen. Herauszustellen ist dabei die Notwendigkeit, für jedes Pferd einen individuellen Trainings- oder Therapieplan zu gestalten, da verschiedene Wasserhöhen Einflüsse auf die ROM unterschiedlicher Gelenke haben. Das Karpalgelenk zeigt beispielsweise in sprunggelenkshohem Wasser die größte ROM, während das Sprunggelenk in Wasser auf Kniegelenkshöhe seine maximale ROM erreicht (Mendez-Angulo et al. 2013). Durch diese Erhöhung der ROM ist ein Aquatrainer für Pferde mit verschiedenen orthopädischen Problemen wahrscheinlich gut geeignet. Darauf deutet auch die klinische Versuchsreihe hin, bei der Tiere mit experimentell induzierter Osteoarthritis im Karpalgelenk bereits nach einer Woche Hydrotherapie durch das Unterwasserlaufband eine Verbesserung in der ROM dieses

Gelenks erfahren. Am Ende der Therapie (nach ca. 8 Wochen) liegt die maximale passive ROM des Karpalgelenks wieder auf ihrem Anfangswert (King et al. 2017). Für Erkrankungen, bei denen eine vermehrte ROM jedoch nicht gewünscht ist, sind Unterwasserlaufbänder demnach keine optimale Therapiemöglichkeit. Nankervis et al. (2017) weisen daher auf eine Kontraindikation bei Synovitis hin. Auch anekdotische Berichte raten von Aquatherapie bei einer akuten Entzündung im Gelenk oder Muskel ab (Adair 2011, King 2016). Dennoch stellt eine hohe Wassermenge beim Unterwasserlaufband durch die physikalischen Eigenschaften des Wassers zusätzliche Unterstützung für das Pferd dar. Durch den erhöhten Widerstand und die höhere Viskosität wird die Stabilität der Gelenke verbessert und es lastet weniger Gewicht als an Land auf den Extremitäten (King et al. 2013). Des Weiteren verringert die daraus resultierende reduzierte Beschleunigung der Extremitäten (Greco-Otto et al. 2019) die Verletzungsgefahr während der Rehabilitation.

Die Bewegung des Rückens und Beckens verändert sich ebenfalls bei verschiedenen Wasserhöhen. Die Auswirkungen von Aquatherapie auf den Bewegungsablauf von Pferden an Land sind jedoch noch genauer zu untersuchen. Auf dem Unterwasserlaufband ist eine vermehrte Flexion im Lendenbereich (Mooij et al. 2013) und eine größere Bewegungsamplitude der Brustwirbelsäule bei höherem Wasser festzustellen (Tranquille et al. 2022). Die genauen Veränderungen der Rückenbewegung im Wasser sind jedoch von Pferd zu Pferd individuell, wobei auch das Exterieur eine Rolle spielt (Nankervis et al. 2017). Deshalb sollte ein möglicher Therapieplan genau auf das Tier abgestimmt sein und der Fortschritt, sowie die weitere Eignung, stetig kontrolliert und die Anwendung ggf. angepasst werden.

Grundsätzlich scheint sich das Training auf dem Unterwasserlaufband jedoch positiv auf die Bewegung von Rücken und Extremitäten auszuwirken. Außerdem bereitet diese Art der Hydrotherapie Pferde vermutlich auf eine spätere Belastung an Land besser vor als das Schwimmen, da beim Aquatrainer im Schritt ähnliche Muskeln angesprochen werden wie auf trockenem Boden. Im Trab hingegen zeigen sich leichte Unterschiede im EMG von Unterwasserlaufband und Bewegung an Land (Tokuriki et al. 1999).

Anekdotische Berichte weisen darauf hin, diese Art der Hydrotherapie bei Gelenks- oder Sehnenerkrankungen einzusetzen. Besonders der Arthrosekomplex wird immer wieder genannt (Porter 2005, Paulekas und Haussler 2009, Adair 2011). Durch die klinische Versuchsreihe an Pferden konnten Therapieeffekte bei Osteoarthritis im Karpalgelenk bereits nachgewiesen werden. Diese umfassen eine Verbesserung der Lahmheit und der ROM des kranken Gelenks (King et al. 2017). Außerdem zeigen die Pferde eine erhöhte Stabilität und Balance (King et al. 2013), sowie eine geringere Entzündung im Gelenk (King et al. 2017).

Einige Aspekte gelten für die Therapie mithilfe des Schwimmens oder Unterwasserlaufbandes gleichermaßen. Die physikalischen Eigenschaften des Wassers führen besonders zu einer verringerten Verletzungsgefahr durch den erhöhten Wasserwiderstand und der höheren Viskosität (Greco-Otto et al. 2019), als auch zu einer Entlastung der Gelenke bzw. Extremitäten durch die Auftriebskraft (King et al. 2013). Durch das verringerte Gewicht auf den Extremitäten ist Hydrotherapie auch für übergewichtige Tiere zu empfehlen, was im Hundebereich bereits untersucht wurde (Mille et al. 2023). Dennoch ist nicht außer Acht zu lassen, dass Pferde Angst oder Panik im bzw. vor Wasser haben können. Dann ist von Aquatherapie abzuraten, da die Verletzungsgefahr für Mensch und Tier zu groß wäre (Adair 2011, King 2016). Generell benötigen Pferde eine Eingewöhnungszeit an das neue Trainingsutensil. Hierbei wurde für das Unterwasserlaufband bereits untersucht, ob sich eine Sedierung in der ersten Trainingseinheit auf die insgesamt benötigte Gewöhnungszeit auswirkt. Dies ist jedoch nicht der Fall und die Zeit wird durch Medikation weder verkürzt noch verlängert. Dennoch kann eine anfängliche Sedierung besonders bei ängstlichen Pferden Sinn ergeben (Nankervis und Williams 2006).

Des Weiteren stellen offene Wunden, Hautinfektionen oder nicht verheilte OP-Wunden eine Kontraindikation dar (Adair 2011, King 2016). Das Wasser wird meist mit chemischen Zusätzen angereichert (Nankervis et al. 2021), wodurch v.a. beim Schwimmen auch Erkrankungen der Augen zu beachten sind (Downer 1979). Außerdem sollten Tiere mit Fieber oder Infektionskrankheiten keiner Bewegungstherapie im Wasser ausgesetzt werden (King 2016, Hohmann 2019, Süße et al. 2020). Hierbei ist erneut die hohe Wärmeleitfähigkeit des Wassers zu nennen (Torres-Ronda und Schelling I del Alcázar 2014). Bei zu niedriger/hoher Temperatur kann es zu einer Unterkühlung/Überhitzung des Körpers kommen, da sich die Temperatur des Körpers an die Umgebung anpasst. Insgesamt muss daher besonderes Augenmerk auf das richtige Management bei der Verwendung von Wasser als Therapie-medium gelegt werden. Außerdem sind die verschiedenen Möglichkeiten von Schwimmen (frei oder festgebunden) und Unterwasserlaufband (Wasserhöhe und Geschwindigkeit) genau an das Pferd und den jeweiligen Verwendungszweck anzupassen. Weitere klinische Studien zu Therapieplänen, Effekten und Indikationen von Hydrotherapie sind wünschenswert.

## 5.2 Mammalian Dive Response

Die MDR wurde in Zusammenhang mit den physiologischen Parametern während des Schwimmens immer wieder genannt. Sie besteht vermutlich aus drei voneinander unabhängigen Reflexen, welche Atmung, Herzfrequenz und Blutdruck beeinflussen. Des Weiteren tritt sie auch bei Tieren, die lediglich mit der Nase unter Wasser sind, auf. Das deutet auf eine Auslösung über den nasalen und paranasalen Bereich hin (Panneton und Gan 2020). Bereits bekannte Manifestationen der MDR bei landlebenden Säugetieren sind Bradykardien, Apnoen und Vasokonstriktion (Panneton 2013).

Die exakte Auswirkung bei Pferden ist bisher jedoch unbekannt, da die Ausprägungen dieses Reflexes in verschiedenen Spezies variieren (Panneton 2013, Panneton und Gan 2020). Bereits zuvor wurden während des Schwimmens geringere Werte für die Herzfrequenz gemessen als es für ähnlich anstrengende Arbeit an Land der Fall ist (Hobo et al. 1998, Bonelli et al. 2017, Santosuosso et al. 2022a). Da Bradykardie auch bei anderen Tierarten, wie z.B. Hunden (Alboni et al. 2011), während des Schwimmens oder Tauchens festzustellen ist, deutet dies auf eine Manifestation der MDR bei Pferden hin. Es bedarf jedoch weiterer Forschung, um Bradykardie auch bei Pferden als Ausprägung der MDR sicher nennen zu können. Generell ist eine Regulierung über den Vagusnerv im Rahmen der MDR Grund für eine solche Senkung der physiologischen Herzfrequenz (Panneton und Gan 2020). Alboni et al. (2011) sprechen außerdem von einem Zusammenhang der Bradykardie und einer verringerten Herzleistung, sowie Vasokonstriktion. Das Zusammenziehen einiger Gefäße soll eine verbesserte Blutversorgung für wichtige Organe wie Herz oder Gehirn sicherstellen.

Ein weiterer Aspekt der MDR ist ein veränderter Atemablauf. Bei schwimmenden Pferden sind besonders zu Beginn Apnoen auffällig, außerdem sind einfallende äußere Nüstern und eine hochgezogene Oberlippe zu beobachten (Jones et al. 2020). Auch dieses Anhalten des Atems ist eine bekannte Ausprägung der MDR bei allen Säugetieren. Tauchende Tiere bleiben sogar dann apnoisch, wenn ihre Blutwerte eigentlich für eine vermehrte Atmung sprechen (Panneton 2013, Panneton und Gan 2020). Dieses Übergehen der Homöostase zeigt unter anderem wie kraftvoll die MDR ist (Jones et al. 2020). Außerdem zeigen sich bei Pferden verringerte Atemfrequenzen während des Schwimmens (Murakami et al. 1976, Jones et al. 2020), die ebenfalls typisch für eine Manifestation der MDR sind (Jones et al. 2020).

Insgesamt ist mehr Forschung zur MDR gewünscht. So sind beispielsweise die Ausprägungen in verschiedenen Tierarten nicht einheitlich (Panneton 2013) oder gänzlich bekannt. Des Weiteren sollte ein möglicher Einfluss der MDR bei der Bewertung von physiologischen Parametern wie Herzfrequenz, Blutdruck oder Atmung bei Tieren im Wasser immer berücksichtigt werden.

### **5.3 Schlussfolgerung**

Hydrotherapie bei Pferden hat verschiedenste Einflüsse auf den Bewegungsapparat oder physiologische Parameter wie Herzfrequenz und Atmung. Der genaue Nutzen von Schwimmen und Unterwasserlaufband als Therapie bei kranken Pferden ist aber noch wenig erforscht und es bedarf weiteren klinischen Studien.

Dennoch lassen sich mithilfe von Untersuchungen an gesunden Pferden Rückschlüsse auf mögliche Indikationen und Wirkungen ziehen. Der Einsatz von Hydrotherapie wird vor allem bei Erkrankungen des Bewegungsapparates genannt. Auch eine klinische Versuchsreihe an Pferden mit künstlich induzierter Osteoarthritis konnte bereits positive Auswirkungen des Trainings auf dem Unterwasserlaufband nachweisen. Diese umfassen beispielsweise eine Verbesserung der Lahmheit oder Stabilität. Pferde mit Schädigungen des Nervensystems scheinen laut einem Fallbericht ebenfalls von Hydrotherapie (Schwimmen) zu profitieren.

Des Weiteren sind v.a. bei schwimmenden Pferden die Auswirkungen der MDR auf das Herz-Kreislauf-System und die Atmung nicht zu vernachlässigen. Aber auch hier bedarf es weiterer Forschung, um z.B. Parameter, die während des Schwimmens gemessen wurden, besser einordnen zu können.

## 6. Zusammenfassung

Im Rahmen der Bachelorarbeit „Die Hydrotherapie bei Pferden - eine systematische Literaturübersicht“ werden das Schwimmen, sowie das Unterwasserlaufband als Training und Therapie für Pferde untersucht.

Eine ausführlichen Literaturrecherche wurde von Dezember 2022 bis einschließlich Februar 2023 in Anlehnung an Webster und Watson (2002) durchgeführt. Die Artikel wurden anhand ihres Themas und Studiendesigns kategorisiert, um die Kausalität besser abschätzen zu können.

Beim Schwimmen werden dabei niedrigere Werte für die Range of Motion von Karpal-, Fessel- und Kniegelenk erreicht als bei der passiven Mobilisation (Santosuosso et al. 2021, Santosuosso et al. 2022b). Auf dem Unterwasserlaufband werden im Schritt unterschiedliche Flexions- und Extensionsgrade der Gelenke bei verschiedenen Wasserhöhen festgestellt (Mendez-Angulo et al. 2013, Tranquille et al. 2022). Auch die Bewegung von Rücken und Becken variiert mit zunehmender Füllhöhe (Mooij et al. 2013, Tranquille et al. 2022).

Des Weiteren werden die Effekte von kurzfristiger Hydrotherapie auf physiologische Parameter wie Laktatwert, Herz- und Atemfrequenz genauer erläutert. Die Atmung während des Schwimmens unterscheidet sich deutlich von der an Land. Pferde zeigen bei Eintritt ins Wasser eine kurzzeitige Apnoe, anschließend folgt eine kurze Inspiration, eine Atempause und eine kraftvolle Exspiration (Jones et al. 2020). Auch nachgewiesene Wirkungen von langfristigem Einsatz von Schwimmen oder Unterwasserlaufband werden thematisiert. Dabei ist besonders eine klinische Versuchsreihe zur Therapie von Osteoarthritis des Karpalgelenks mithilfe des Unterwasserlaufbandes zu nennen. Positive Einflüsse dieser Hydrotherapie umfassen eine Verbesserung der Lahmheit und Stabilität, eine symmetrische Muskelaktivität, sowie eine geringere Entzündung im erkrankten Gelenk (King 2011, King et al. 2013, King et al. 2017).

Aufgrund der geringen Zahl an Publikationen besonders zur Schwimmtherapie bei Pferden werden daraufhin weitere mögliche Effekte und Indikationen diskutiert. Außerdem wird auf die Mammalian Dive Response und deren Manifestationen in schwimmenden Pferden hingewiesen.

## 7. Summary

In the bachelor thesis “hydrotherapy in horses - a systematic literature review”, swimming and underwater treadmill as training and therapy for horses are evaluated.

An extensive literature search was conducted from December 2022 to February 2023, based on Webster and Watson (2002). The articles were categorized according to their topic and study design in order to better assess causality.

In swimming, lower values for the range of motion of carpal, fetlock and knee joints are achieved than in passive mobilization (Santosuosso et al. 2021, Santosuosso et al. 2022b). On the underwater treadmill, different degrees of flexion and extension of the joints are detected at different water levels during the walk (Mendez-Angulo et al. 2013, Tranquille et al. 2022). The movement of the back and pelvis also varies with increasing water height (Mooij et al. 2013, Tranquille et al. 2022).

Furthermore, the effects of short-term hydrotherapy on physiological parameters such as lactate levels, heart rate and respiratory rate are explained in more detail. Breathing during swimming differs significantly from that on land. Horses show a brief apnoea upon entry into the water, followed by a short inspiration, a pause for breath and a vigorous expiration (Jones et al. 2020). Proven effects of long-term use of swimming or underwater treadmills are also discussed. Particular mention should be made of a series of clinical trials for the treatment of osteoarthritis of the carpal joint using the underwater treadmill. Positive effects of this hydrotherapy include improved lameness and stability, symmetrical muscle activity, and reduced inflammation in the affected joint (King 2011, King et al. 2013, King et al. 2017).

Due to the lack of studies, particularly on swimming therapy in horses, further possible effects and indications are discussed. In addition, the Mammalian Dive Response and its manifestations in swimming horses are highlighted.

## 8. Literaturverzeichnis

Adair, H. S. 2011. Aquatic Therapy for Conditioning and Treatment of Tendon and Ligament Injuries. Proceedings of the 57<sup>th</sup> Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, 181-185.

Alboni, P., Alboni, M. und Gianfranchi, L. 2011. Diving bradycardia: a mechanism of defence against hypoxic damage. *Journal of Cardiovascular Medicine*, 12 (6): 422-427.

DOI: 10.2459/jcm.0b013e328344bcdc

Auer, J. A. 1980. Diseases of the Carpus. *The Veterinary clinics of North America*, 2 (1): 81-100.

DOI: 10.1016/s0196-9846(17)30176-3

Bonelli, F., Sgorbini, M., Meucci, V., Sighieri, C. und Baragli, P. 2017. How swimming affects plasma insulin and glucose concentration in Thoroughbreds: A pilot study. *The Veterinary Journal*, 226: 1-3.

DOI: 10.1016/j.tvjl.2017.06.006

Davie, A. J., Savage, C. J. und Fennel, L. 2008. The effect of swimming training on the cardiac dimensions in thoroughbred horses. Rural Industries Research and Development Corporation, Publication No. 08/156 (Project No. PRJ-000842).

Downer, A. 1979. Underwater exercise for animals. *Modern Veterinary Practice*, 60 (2): 115-118.

Fennell, L. C., Savage, C., Forbes, G., Anderson, G. A. und Davie, A. J. 2008. Cardiopulmonary responses to swimming training in thoroughbred horses. *Australian Equine Veterinarian*, 27 (3): 54.

Greco-Otto, P., Bond, S., Sides, R., Kwong, G. P. S., Bayly, W. und Léguillette, R. 2017. Workload of horses on a water treadmill: effect of speed and water height on oxygen consumption and cardiorespiratory parameters. *BMC Veterinary Research*, 13 (1): 360.

DOI: 10.1186/s12917-017-1290-2

Greco-Otto, P., Baggaley, M., Edwards, W. R. und Léguillette, R. 2019. Water treadmill exercise reduces equine limb segmental accelerations and increases shock attenuation. *BMC Veterinary Research*, 15 (329).

DOI: 10.1186/s12917-019-2075-6

Hobo, S., Yoshida, K. und Yoshihara T. 1998. Characteristics of respiratory function during swimming exercise in thoroughbreds. *Journal of veterinary Medical Science*, 60 (6): 687-689.

DOI: 10.1292/jvms.60.687

Hohmann, M. 2019. Hydrotherapie bei Tieren. *Zeitschrift für ganzheitliche Tiermedizin*, 33: 53-62.

DOI: 10.1055/a-0794-8880

Johnson, S. A. 2022. Rehabilitation Strategies for the Neurologic Horse. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 38 (2): 379-396.

DOI: 10.1016/j.cveq.2022.05.007

Jones, S., Franklin, S. E., Martin, C. & Steel, C. M. 2020. Complete upper airway collapse and apnoea during tethered swimming in horses. *Equine Veterinary Journal*, 52(3): 352–358.

DOI: 10.1111/evj.13177

Kang, O. D., Ryu, Y. C., Yun, Y. M. und Kang, M. S. 2011. Physiological Changes in Jeju Crossbred Riding Horses by Swim Training. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25 (2): 200-206.

DOI: 10.5713/ajas.2011.11318

King, M. R. 2011. Equine carpal osteoarthritis and thoracic limb function: effects of aquatic rehabilitation (Dissertation). Fort Collins: Colorado State University.

King, M. R., Haussler, K. K., Kawcak, C. E., McIlwraith, C. W. und Reiser, R. F. 2012. Mechanisms of aquatic therapy and its potential use in managing equine osteoarthritis. *Equine Veterinary Education*, 25 (4): 204-209.

DOI: 10.1111/j.2042-3292.2012.00389.x

King, M. R., Haussler, K. K., Kawcak, C. E., McIlwraith, C. W. & Reiser, R. F. 2013. Effect of underwater treadmill exercise on postural sway in horses with experimentally induced carpal joint osteoarthritis. *American Journal of Veterinary Research*, 74 (7): 971–982.

DOI: 10.2460/ajvr.74.7.971

King, M. R. 2016. Principles and Application of Hydrotherapy for Equine Athletes. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 32 (1): 115-126.

DOI: 10.1016/j.cveq.2015.12.008

King, M. R., Haussler, K. K., Kawcak, C. E., McIlwraith, C. W., Reiser, R. F., Frisbie, D. D. und Werpy, N. M. 2017. Biomechanical and histologic evaluation of the effects of underwater treadmill exercise on horses with experimentally induced osteoarthritis of the middle carpal joint. *American Journal of Veterinary Research*, 78 (5): 558–569.

DOI: 10.2460/ajvr.78.5.558

Klomp, M., Munsters, C. C. B. M. und Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. M. 2014. Swimming exercise and race performance in Thoroughbred racehorses. *Pferdeheilkunde Equine Medicine*, 30 (4): 403-406.

DOI: 10.21836/pem20140405

McCrae, P., Bradley, M. J., Rolian, C. und Léguillette, R. 2021. Water height modifies forelimb kinematics of horses during water treadmill exercise. *Comparative Exercise Physiology*, 17 (1): 91–98.

DOI: 10.3920/cep200013

Mendez-Angulo, J. L., Firshman, A. M., Groschen, D., Kieffer, P. J. und Trumble, T. N. 2013. Effect of water depth on amount of flexion and extension of joints of the distal aspects of the limbs in healthy horses walking on an underwater treadmill. *American Journal of Veterinary Research*, 74 (4): 557–566.

DOI: 10.2460/ajvr.74.4.557

Mille, M. A., McClement, J. und Lauer, S. K. 2023. Physiotherapeutic Strategies and Their Current Evidence for Canine Osteoarthritis. *Veterinary Sciences*, 10(1): 2.

DOI: 10.3390/vetsci10010002

Misumi, K., Hirakawa, A., Sakamoto, H. und Shimizu, R. 1994a. Principal Component Analysis, Using the Measurements during Running and Swimming Test, in Thoroughbred Horses. *Journal of Veterinary Medical Science*, 56 (6): 1075-1080.

DOI: 10.1292/jvms.56.1075

Misumi, K., Sakamoto, H. und Shimizu, R. 1994b. The Validity of Swimming Training for Two-Year-Old Thoroughbreds. *Journal of Veterinary Medical Science*, 56 (2): 217-222.

DOI: 10.1292/jvms.56.217

Misumi, K., Sakamoto, H. und Shimizu, R. 1995. Changes in Skeletal Muscle Composition in Response to Swimming Training for Young Horses. *Journal of Veterinary Medical Science*, 57 (5): 959-961.

DOI: 10.1292/jvms.57.959

Mooij, M., Jans, W., Heijer, G. D., De Pater, M. und Back, W. 2013. Biomechanical responses of the back of riding horses to water treadmill exercise. *Veterinary Journal*, 198: e120–e123.

DOI: 10.1016/j.tvjl.2013.09.045

Mooventhan, A. und Nivethitha, L. 2014. Scientific evidence-based effects of hydrotherapy on various systems of the body. *North American Journal of Medical Sciences*, 6 (5): 199-209.

DOI: 10.4103/1947-2714.132935

Murakami, M., Imahara, T., Inui, T., Amada, A., Senta, T., Takagi, S., Kubo, K., Sugimoto, O., Watanabe, H., Ikeda, S. und Kameya, T. 1976. Swimming Exercises in Horses. *Experimental Reports of Equine Health Laboratory*, 1976 (13): 27-49.

DOI: 10.11535/jes1961.1976.27

Murray, R. C., Hopkins, E. Tracey, J. B., Nankervis, K. J., Deckers, I., MacKechnie-Guire, R. und Tranquille, C. A. 2020. Change in muscle development of horses undergoing 20 weeks of water treadmill exercise compared with control horses. *Equine Veterinary Journal*, 52: 9-9.

DOI: 10.1111/evj.09\_13365

Nankervis, K. J., Launder, E. J. und Murray, R. C. 2017. The Use of Treadmills Within the Rehabilitation of Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 53: 108-115.

DOI: 10.1016/j.jevs.2017.01.010

Nankervis, K. J. und Williams, R. J. 2006. Heart rate responses during acclimation of horses to water treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 38 (S36): 110-112.

DOI: 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05524.x

Nankervis, K., Tranquille, C., McCrae, P., York, J., Lashley, M., Baumann, M., King, M., Sykes, E., Lambourn, J., Miskimmin, K. A., Allen, D., van Mol, E., Brooks, S., Willingham, T., Lacey, S., Hardy, V., Ellis, J. und Murray, R. 2021. Consensus for the General Use of Equine Water Treadmills for Healthy Horses. *Animals*, 11 (2): 305.

DOI: 10.3390/ani11020305

Nganvongpanit, K., Tanvisut, S., Yano, T. und Kongtawelert, P. 2014. Effect of Swimming on Clinical Functional Parameters and Serum Biomarkers in Healthy and Osteoarthritic Dogs. *ISRN Veterinary Science (Print)*, 2014: 1–8.

DOI: 10.1155/2014/459809

Palmer, S. E., Genovese, R., Longo, K. L., Goodman, N., Dyson, S. 1994. Practical Management of Superficial Digital Flexor Tendinitis in the Performance Horse. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 10 (2): 425-481.

DOI: 10.1016/s0749-0739(17)30363-2

Panneton, W. M. 2013. The Mammalian Diving Response: An Enigmatic Reflex to Preserve Life? *Physiology*, 28 (5): 284–297.

DOI: 10.1152/physiol.00020.2013

Panneton, W. M. und Gan, Q. 2020. The Mammalian Diving Response: Inroads to Its Neural Control. *Frontiers in Neuroscience*, 14.

DOI: 10.3389/fnins.2020.00524

Paulekas, R. und Haussler, K. K. 2009. Principles and Practice of Therapeutic Exercise for Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 29 (12): 870-893.

DOI: 10.1016/j.jevs.2009.10.019

Porter, M. 2005. Equine Rehabilitation Therapy for Joint Disease. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 21 (3): 599-607.

DOI: 10.1016/j.cveq.2005.08.002

Preston, T. und Wills, A. 2018. A single hydrotherapy session increases range of motion and stride length in Labrador retrievers diagnosed with elbow dysplasia. *Veterinary Journal*, 234: 105–110.

DOI: 10.1016/j.tvjl.2018.02.013

Rattenhuber, S., Benz, H., Gajewski, Z. und Carstanjen, B. 2012. Swim training as therapy of neurogenic induced unilateral shoulder instability in three horses. *Pferdeheilkunde Equine Medicine*, 28 (6): 665-667.

DOI: 10.21836/pem20120604

Ridgway, K. und Harman, J. 1999. Equine Back Rehabilitation. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 15 (1): 263-280.

DOI: 10.1016/s0749-0739(17)30176-1

Santosuosso, E., Leguillette, R., Vinardell, T., Filho, S., Massie, S., McCrae, P., Johnson, S., Rolian, C. und David, F. 2021. Kinematic Analysis During Straight Line Free Swimming in Horses: Part 1 – Forelimbs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8.

DOI: 10.3389/fvets.2021.752375

Santosuosso, E., David, F., Massie, S., Filho, S. A., McCrae, P., Johnson, S. und Leguillette, R. 2022a. Frequency of cardiac arrhythmias in horses during straight and untethered swimming. *Equine Veterinary Journal*.

DOI: 10.1111/evj.13895

Santosuosso, E., Leguillette, R., Vinardell, T., Filho, S., Massie, S., McCrae, P., Johnson, S., Rolian, C. und David, F. 2022b. Kinematic Analysis During Straight Line Swimming in Horses: Part 2 – Hindlimbs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8.

DOI: 10.3389/fvets.2021.761500

Shmalberg, J. und Memon, M. 2015. A retrospective analysis of 5,195 patient treatment sessions in an integrative veterinary medicine service: patient characteristics, presenting complaints, and therapeutic interventions. *Veterinary Medicine International*, 2015, 983621.

DOI: 10.1155/2015/983621

Steel, C., Bond, B. und Morrice-West, A. 2019. Survey of trainers on the use of swimming exercise for Standardbred racehorses in Australia. *Australian Veterinary Journal*, 97 (3): 61-67.

DOI: 10.1111/avj.12786

Süße, S., Scharwey, R. und Zohmann, A. 2020. Bewegungstherapie mit dem Unterwasserlaufband. *Hands on*, 2: 7-13.

DOI: 10.1055/a-1158-8912

Thomas, D. P., Fregin, F., Gerber, N. H. und Ailes, N. B. 1980. Cardiorespiratory adjustments to tethered-swimming in the horse. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 385 (1): 65-70.

DOI: 10.1007/bf00583916

Tokuriki, M., Ohtsuki, R., Kai, M., Hiraga, A., Oki, H., Miyahara, Y. und Aoki, O. 1999. EMG activity of the muscles of the neck and forelimbs during different forms of locomotion. *Equine Veterinary Journal*, 31 (S30): 231-234.

DOI: 10.1111/j.2042-3306.1999.tb05224.x

Torres-Ronda, L. und Schelling I del Alcázar, X. 2014. The Properties of Water and their Applications for Training. *Journal of Human Kinetics*, 44 (1): 237-248.

DOI: 10.2478/hukin-2014-0129

Tranquille, C. A., Tacey, J. B., Walker, V. A., Nankervis, K. J. und Murray, R. C. 2018. International Survey of Equine Water Treadmills – Why, When, and How? *Journal of Equine Veterinary Science*, 69: 34-42.

DOI: 10.1016/j.jevs.2018.05.220

Tranquille, C., Tacey, J., Walker, V., Mackechnie-Guire, R., Ellis, J., Nankervis, K., Newton, R. und Murray, R. 2022. Effect of Water Depth on Limb and Back Kinematics in Horses Walking on a Water Treadmill. *Journal of Equine Veterinary Science*, 115, 104025.

DOI: 10.1016/j.jevs.2022.104025

Vinardell, T., David, F., Galezowski, A. M., Ali, M., Qasim, M., Massie, S. L., McCrae, P., Filho, S. und Leguillette, R. 2023. Free Swimming and Exercise-Induced Pulmonary Hemorrhage in Endurance Horses: A Preliminary Study. *Journal of Equine Veterinary Science*, 120, 104182.

DOI: 10.1016/j.jevs.2022.104182

Voß, B. 2002. Aquatraining - Auswirkungen auf ausgewählte Blutparameter und die Herzfrequenzvariabilität beim Pferd (Dissertation). Berlin: Freie Universität Berlin.

DOI: 10.17169/refubium-6452

Walmsley, E., Steel, C., Haines, G., Lumsden, J. und O'Sullivan, C. 2011. Colic after swimming exercise in racehorses: an investigation of incidence, management, surgical findings and outcome. *Australian Veterinary Journal*, 89 (5): 180-183.

DOI: 10.1111/j.1751-0813.2011.00709.x

Webster, J. und Watson, R. T. 2002. Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. *Management Information Systems Quarterly*, 26(2): 3.

Wilson, J. M., McKenzie, E. und Duesterdieck-Zellmer, K. 2018. International Survey Regarding the Use of Rehabilitation Modalities in Horses. *Frontiers in Veterinary Science*, 5.

DOI: 10.3389/fvets.2018.00120

Wurm, S. 2004. Verhalten und körperliche Beanspruchung von Pferden auf dem Laufband im Wasser (Dissertation). Gießen: Justus-Liebig-Universität

## 9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bewegungsablauf der vorderen Gliedmaße

Santosuosso, E., Leguillette, R., Vinardell, T., Filho, S., Massie, S., McCrae, P., Johnson, S., Rolian, C. und David, F. 2021. Kinematic Analysis During Straight Line Free Swimming in Horses: Part 1 – Forelimbs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8.

DOI: [10.3389/fvets.2021.752375](https://doi.org/10.3389/fvets.2021.752375)

Abbildung 2: Bewegungsablauf der hinteren Gliedmaße

Santosuosso, E., Leguillette, R., Vinardell, T., Filho, S., Massie, S., McCrae, P., Johnson, S., Rolian, C. und David, F. 2022. Kinematic Analysis During Straight Line Swimming in Horses: Part 2 – Hindlimbs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8.

DOI: [10.3389/fvets.2021.761500](https://doi.org/10.3389/fvets.2021.761500)

## 10. Anhang

Konzeptmatrix in Anlehnung an Webster und Watson (2002):

Artikel	Inhalte				behandelte Themen								
	Schwimmen	Aquatrainer	Rehabilitation	Training	Herzfrequenz	Laktatwert	Atemfrequenz	Blutdruck	Bewegungsablauf	Endoskopie	Muskulatur	weitere Bluwerte	Sonstiges
Adair (2011)	X	X											
Bonelli et al. (2017)	X			X	X	X						X	
Davie et al. (2008)	X			X	X	X							
Downer (1979)	X	X	X	X									
Fennell et al. (2008)	X			X	X	X				X			
Greco-Otto et al. (2017)		X		X	X	X	X					X	
Greco-Otto et al. (2019)		X							X				
Hobo et al. (1998)	X			X	X	X	X			X		X	
Johnson (2022)													
Jones et al. (2020)	X				X	X	X			X			
Kang et al. (2011)	X		X	X	X	X						X	
King (2016)	X	X											
King et al. (2012)	X	X	X										
King (2011), Kapitel 3		X	X										X
King et al. (2013)		X	X						X				
King et al. (2017)		X	X								X		
Klomp et al. (2014)	X		X		X	X							
McCrae et al. (2021)		X							X				
Mendez-Angulo et al. (2013)		X							X				
Misumi et al. (1994a)	X			X	X	X							
Misumi et al. (1994b)				X	X	X							
Misumi et al. (1995)	X			X							X		
Mooij et al. (2013)		X		X					X				
Murakami et al. (1976)	X		X		X	X	X		X			X	
Murray et al. (2020)		X		X							X		
Nankervis et al. (2017)		X											
Nankervis und Williams (2006)		X			X								
Nankervis et al. (2021)		X	X	X									
Paulekas und Haussler (2009)	X	X	X										
Porter (2005)	X	X											
Rattenhuber et al. (2012)	X		X										
Ridgway und Harman (1999)	X		X										
Santosuosso et al. (2021)	X		X						X				
Santosuosso et al. (2022a)	X		X	X	X					X			
Santosuosso et al. (2022b)	X		X						X				
Steel et al. (2019)	X			X									
Thomas et al. (1980)	X			X	X	X		X				X	
Tokuriki et al. (1999)	X	X		X					X		X		
Tranquille et al. (2018)		X	X	X									
Tranquille et al. (2022)		X							X				
Vinardell et al. (2023)	X			X						X			
Voß (2002)		X		X	X	X						X	
Walmsley et al. (2011)	X												
Wilson et al. (2018)	X	X	X										
Wurm (2004) Kapitel 4.1		X		X					X				X
Wurm (2004) Kapitel 4.2		X		X	X	X						X	

## Studienklassifizierung anhand des Studiendesigns:

Artikel	Beobachtungsdauer		Kontrollgruppe		Untersuchungsobjekt			Gruppengröße		Interventionsgrad			
	Querschnittstudie	Längsschnittstudie	deskriptiv	analytisch	gesunde Pferde	experimentell induzierte Erkrankung	Patienten	Behandlungsgruppe	Kontrollgruppe	beobachtend	experimentell		
											kontrolliert	randomisiert	verblindet
Bonelli et al. (2017)		X	X		X			12		X			
Davie et al. (2008)		X		X	X			7	7		X	X	
Fennell et al. (2008)		X		X	X			7	7		X	X	
Greco-Otto et al. (2017)		X	X		X			15		X			
Greco-Otto et al. (2019)		X	X		X			22		X			
Hobo et al. (1998)		X	X		X			5		X			
Jones et al. (2020)		X	X		X			8		X			
Kang et al. (2011)		X	X		X			5		X			
King (2011), Kapitel 3		X		X		X		8	8		X	X	X
King et al. (2013)		X		X		X		8	8		X	X	X
King et al. (2017)		X		X		X		8	8		X	X	X
Klomp et al. (2014)		X	X		X			52		X			
McCrae et al. (2021)		X	X		X			13		X			
Mendez-Angulo et al. (2013)		X	X		X			9		X			
Misumi et al. (1994a)		X	X		X			10		X			
Misumi et al. (1994b)		X		X	X			8, 8	8	X			
Misumi et al. (1995)		X		X	X			7, 7	4	X			
Mooij et al. (2013)		X	X		X			12		X			
Murakami et al. (1976)		X	X		X			4		X			
Murray et al. (2020)		X		X	X			44	23	X			
Nankervis und Williams (2006)		X		X	X			7	7		X	X	
Santosuosso et al. (2021)		X	X		X			11		X			
Santosuosso et al. (2022a)		X	X		X			16		X			
Santosuosso et al. (2022b)		X	X		X			11		X			
Thomas et al. (1980)		X	X		X			5		X			
Tokuriki et al. (1999)		X	X		X			6		X			
Tranquille et al. (2022)		X	X		X			6		X			
Vinardell et al. (2023)		X	X		X			15		X			
Voß (2002)		X	X		X			7		X			
Wurm (2004) Kapitel 4.1		X	X		X		X	56		X			
Wurm (2004) Kapitel 4.2		X	X		X		X	89		X			