

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Institut/Klinik für Pferdechirurgie
(LeiterIn: Univ.-Prof. Dr.med.vet. Florian Jenner, Dipl.ACVS Dipl.ECVS)

Die Effektivität der extrakorporalen Stoßwellentherapie beim Pferd

Bachelorarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von Michelle Watzinger

Wien im Juli, 2023

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Dipl.ECVSMR Heinz Hans Florian Buchner

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Material und Methode	3
3	Literaturübersicht	4
3.1	Definition der extrakorporalen Stoßwellentherapie	7
3.1.1	Erzeugungsmechanismen der Stoßwelle	8
3.1.1.1	<i>Elektrohydraulische Stoßwellenerzeugung</i>	8
3.1.1.2	<i>Piezoelektrische Stoßwellenerzeugung</i>	9
3.1.1.3	<i>Elektromagnetische Stoßwellenerzeugung</i>	9
3.1.1.4	<i>Ballistische Stoßwellenerzeugung</i>	10
3.2	Mögliche Wirkweisen bei Erkrankungen des Bewegungsapparats	11
3.2.1	Thorakolumbaler Schmerz	12
3.2.2	Sehnen	13
3.2.2.1	<i>Tendinitis</i>	13
3.2.2.2	<i>Kollagenaseinduzierte Läsionen im Unterstützungsband der tiefen Beugesehne</i>	14
3.2.2.3	<i>Desmitis des Fesselträgerursprungs</i>	14
3.2.3	Knorpel und Gelenke.....	17
3.2.3.1	<i>Osteoarthritis</i>	17
3.2.3.2	<i>Carpus valgus bei Fohlen</i>	18
3.2.4	Knochen.....	19
3.2.5	Wundheilung	20
3.2.5.1	<i>Behandlungsmethoden</i>	21
3.2.5.2	<i>Ergebnisse</i>	22
4	Diskussion	25
5	Schlussfolgerung	28
6	Deutsche Zusammenfassung	29

7	Summary	30
8	Literaturverzeichnis	31
9	Abbildungsverzeichnis	37
10	Tabellenverzeichnis	38

1 Einleitung

Die Idee, Stoßwellen außerhalb des Körpers zu erzeugen und in den menschlichen Körper einzuleiten, kam erstmals am Ende der 1960er Jahre auf. Entwickelt wurde das Verfahren von einer Firma, namens Dornier, in den 1970er Jahren und ist in den 1980er Jahren zur ersten erfolgreichen Methode zur Zertrümmerung von Nierensteinen und Steinen im Bereich des Harnleiters geworden (Wess 2004). Die extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) ist eine Behandlungsmethode mit dem auf nicht-invasivem Wege therapeutisch wirksamen Energien gezielt und lokalisiert in den Körper eingebracht werden können. Diese Therapie hat sich auch in der Veterinärmedizin, insbesondere in der Pferdemedizin, etabliert und wird immer häufiger angewendet. (Chaussy et al. 1980, McClure et al. 2004b, Wess 2004, Dahlberg et al. 2005, Brown et al. 2005, Siedler und Buchner 2009, Giunta et al. 2019)

Die ESWT arbeitet mit Stoßwellen, die durch ein Gerät erzeugt werden und gezielt auf den Körper und bestimmte Partien des Patienten gelenkt werden. Durch diese Stoßwellen werden Gewebeveränderungen hervorgerufen, die eine positive Wirkung auf den Heilungsprozess haben. Es wird vermutet, dass die ESWT Wirkweisen, wie primäre Zerstörung, Reizung bzw. durch Stimulation hervorgerufene Heilungsprozesse, mit sich bringt. Weiters beobachtet man meist auch gesteigerte Durchblutung und einen intensiveren Stoffwechselprozess, der für die einsetzende Heilung verantwortlich ist. (Wess 2004)

Im Pferdebereich wird die ESWT in erster Linie bei orthopädischen Erkrankungen, wie Insertionsdesmopathien (Fesselträger), Sehnen- und Bänderläsionen und osteoporotische Veränderungen, angewendet. Die Behandlung mit ESWT gilt als schonend und wenig invasiv, was sie zu einer interessanten Therapieoption für Pferdebesitzer und Tierärzte macht. (Bockstahler und Siedler 2010)

Trotz der steigenden Beliebtheit der ESWT in der Pferdemedizin gibt es zwar eine hohe Anzahl an Studien, doch immer noch keinen Nachweis für die genaue Wirksamkeit und Effektivität dieser Behandlung bei Pferden. Die Ursache dafür sind die unterschiedlichen Methoden, bezüglich Studiendesign, Stoßwellengeneratoren oder ausgewählten Teilnehmern.

Diese Bachelorarbeit zielt darauf ab, gegenwärtige Studien über ESWT beim Pferd zu analysieren und zusammenzufassen. Ein Review-Artikel von Siedler und Buchner (2009) beschreibt die Stoßwellentherapie bis zum Jahr 2007, daher wurde der Fokus bei dieser Arbeit auf Studien von 2009 bis heute gelegt. Verschiedene Aspekte der Therapie, wie zum Beispiel die möglichen Wirkungsweisen, die Anwendung, die Effektivität und auch potenzielle Risiken und Nebenwirkungen, wurden betrachtet. Die Ergebnisse sollen einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung bieten und eventuelle Zusammenhänge in der Forschung zur ESWT beim Pferd aufzeigen, um die Effektivität der Stoßwellentherapie zu untersuchen.

2 Material und Methode

Literaturrecherche

Eine systematische Suche nach relevanten Studien wurde durchgeführt. Die Datenbanken Google Scholar, PubMed, Scopus und Wiley wurden von März bis April 2023 durchsucht. Die Suchbegriffe umfassten „extracorporeal shock wave therapy“, „horse“, „equine“, „veterinary“, „pressure wave“, „canine“ und deren Kombinationen.

Auswahlkriterien

Die eingeschlossenen Studien mussten die extrakorporale Stoßwellentherapie untersuchen und in deutscher oder englischer Sprache verfügbar sein. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Studien hauptsächlich aus der Pferdemedizin stammen, jedoch wurden jene aus anderen Sparten, wie Humanmedizin oder andere Bereiche der Veterinärmedizin (z.B. Hund), nicht ausgeschlossen. Studien, die andere Therapien oder Kombinationstherapien einschlossen, wurden ebenso inkludiert. Außerdem wurde zusätzlich mit dem Schneeballsystem gearbeitet, indem die Literaturübersicht, der infrage kommenden Studien, weiter nach passenden Studien untersucht wurde.

Datenextraktion

Folgende Daten wurden aus den inkludierten Studien entnommen: Krankheit bzw. Verletzung, Studiendesign, Teilnehmeranzahl, kurzfristig (<6 Monate) vs. langfristig (>6 Monate), Behandlungsmethoden (z.B. Anzahl der Behandlungen, Intensität, Frequenz), Nebenwirkungen und Wirkmechanismen.

3 Literaturübersicht

Übersicht der eingeschlossenen Studien

Während der Literaturrecherche wurden mehr als 100 Studien gefunden. Nach Einsicht in die jeweiligen Abstracts dieser Studien wurden aufgrund von den Erscheinungsdaten mehr als die Hälfte exkludiert, da darauf geachtet wurde hauptsächlich neuere Studien ab 2009 in die Arbeit hineinfließen zu lassen. Weiters wurden Duplikate aus englischer bzw. deutscher Sprache sowie Studien, die nicht die extrakorporale Stoßwellentherapie untersuchten ausgegrenzt. Diese Arbeit umfasst schlußendlich insgesamt 47 Studien, da nochmals nach der Beurteilung des Volltextes auf Eignung einige Studien ausgeschlossen werden konnte, da sie zu wenig Information über die Behandlung beinhalteten. In der Pferdemedizin wurden 30 relevante Studien miteinbeschlossen, darunter 10 randomisierte kontrollierte Studien, sechs experimentelle Studien, drei nicht-randomisierte kontrollierte Studien, vier Review-Artikel, drei unkontrollierte Fallstudien, zwei prospektive Studien, eine gepaarte, geblindete kontrollierte Studie und eine retrospektive Studie.

In der Veterinärmedizin für andere Spezies wurden drei Studien ausgewählt, unter anderem ein Review-Artikel, eine unkontrollierte Fallstudie und eine experimentelle Studie.

Weitere 14 Studien wurden im Bereich der Humanmedizin eingeschlossen, neun Review-Artikel, drei randomisierte kontrollierte Studien, eine nicht prospektive, randomisierte Studie und eine Pilotstudie.

Diese wurden mithilfe einer Excel-Tabelle aufgelistet und ausgewählt, in der eine Übersicht der Studien und deren Eigenschaften erstellt wurde. (siehe Tab. 1: Auflistung der ausgewählten Studien)

Tab. 1: Auflistung der ausgewählten Studien

Studie	Spezies	Behandlungszone
Bathe 2004	Pferd	Schaden der oberflächlichen Beugesehne
Benson et al. 2007	Pferd	Stoffwechsel von equinem Knorpelgewebe in vitro
Biedermann et al. 2003	Mensch	Knochenheilungsstörungen
Bischofberger et al. 2006	Pferd	Griffelbein und Fesselträgerursprung
Blum et al. 2005	Pferd	Hufbeinträgheit
Bosch et al. 2009	Pferd	Kollagenmatrix und Genexpression in normalen Sehnen & Bändern
Bosch et al. 2007	Pony	Biochemische Zusammensetzung und Stoffwechselaktivität von Tenozyten in normalen Sehnenstrukturen
Bockstahler und Siedler 2010	Hund, Pferd	Allgemeine Eigenschaften der ESWT
Bramlage et al. 2006	Fohlen	Winkelfehlstellung der Gliedmaßen
Brown et al. 2005	Pferd	Hufbeinträgheit
Bussy et al. 2013	Fohlen	Carpus Valgus Deformitäten
Byron et al. 2005	Pferd	Knorpelgewebe
Caminoto et al. 2005	Pferd	Desmitis des Fesselträgerursprungs
Carulli et al. 2016	Mensch	Sehnenschaden
Chaussy et al. 1980	Mensch	Nierensteine
Cheng und Wang 2015	Mensch	Knochen
Coleman et al. 1987	Mensch	Allgemeine Eigenschaften der ESWT
Dahlberg et al. 2005	Hund	Osteoarthritis
Faulstich 2001	Pferd	Erfahrungen mit fokussierter Stoßwellentherapie
Frisbie et al. 2004	Pferd	Osteoarthritis
Frisbie et al. 2009	Pferd	Osteoarthritis
Gerdesmeyer et al. 2002	Mensch	Physikalisch-technische Grundlagen der ESWT
Giunta et al. 2019	Pferd	Fesselträgerursprung
Haupt 1997	Mensch	Pseudoarthrose, Tendopathie und andere orthopädische Erkrankungen
Hunter et al. 2004	Pferd	Schaden der oberflächlichen Beugesehne
Imboden et al. 2009	Pferd	Schmerzen im metakarpalen bzw. metatarsalen Bereich
Johnson et al. 2010	Pferd	Brandwunden

Kim et al. 2019	Ratten	Osteoarthritis
Kawcak et al. 2011	Pferd	Osteoarthritis
Link et al. 2013	Pferd	Hautwunden
Lischer et al. 2006	Pferd	Chronische Desmitis des Fesselträgerursprungs
McClure und Dorfmueller 2003	Pferd	Theorie und Equipment
McClure et al. 2004b	Mensch	Knochengewebe
Morgan et al. 2009	Pferd	Hautwunden
Notarnicola und Moretti 2012	Mensch	Sehnengewebe
Ogden et al. 2001	Mensch	Prinzip der ESWT
Rompe 2002	Mensch	Physikalische Eigenschaften der ESWT
Senbo et al. 2020	Mensch	Osteoarthritis
Siedler und Buchner 2009	Pferd	Orthopädische Erkrankungen
Silveira et al. 2010	Pferd	Hautwunden
Trager et al. 2020	Pferd	Schmerzen im thorakolumbalen Bereich
Urhahne et al. 2005	Pferd	Orthopädische Erkrankungen
Waguespack et al. 2011	Pferd	Desmitis des Unterstützungsbandes der tiefen Beugesehne
Waldern et al. 2005	Pferd	Hautwunden
Weller 2005	Mensch	Knochengewebe
Wess 2004	Mensch	Physikalische Grundlagen der ESWT
Yocom und Bass 2019	Pferd	Sehnen- und Bänderschaden

3.1 Definition der extrakorporalen Stoßwellentherapie

Stoßwellen sind transiente, akustische Wellen, die in der Atmosphäre bei z.B. einem Blitzschlag auftreten und als „Knallwellen“ mit dem Gehör wahrnehmbar sind. Solche kennzeichnen sich typischerweise durch einen deutlichen Anstieg des Drucks innerhalb einer kurzen Zeitspanne, aber ebenso durch die darauffolgende negative Druckphase. (Wess 2004, Gerdesmeyer et al. 2002, Ogden et al. 2001) Typische Merkmale sind hohe Spitzen-Druckamplituden (500 bar) mit einer Anstiegszeit von weniger als 10 Nanosekunden, eine kurze Lebensdauer (10 Millisekunden) und ein Frequenzspektrum, das vom hörbaren bis zum weit entfernten Bereich der Ultraschallskala reicht (16 Hz - 20 MHz). (Rompe 2002)

Die medizinisch genutzten Stoßwellen werden extrakorporal erzeugt und ohne Verletzung der Haut in den Körper eingeleitet. Beim Übergang in den Körper ist es wichtig, dass die Stoßwellen nicht in der Luft, sondern in menschlichen Geweben oder dergleichen erzeugt werden, um Reflexionsverluste weitgehend zu vermeiden. Dafür werden die erzeugten Stoßwellen mit Hilfe von Koppelmedien in den Körper eingeleitet. Sobald 1980 das erste Mal erkannt wurde, wie erfolgreich die erschütternde Wirkung der Stoßwellen auf Nierensteine des menschlichen Körpers einwirkten, wurde diese Methode auch auf Steine der Gallenblase, im Gallengang, in der Bauchspeicheldrüse sowie in den Speichelgängen angewendet. Durch den Einsatz auf Kalkdepots wurde ein weiteres Wirkspektrum der Stoßwellentherapie entdeckt: Durch einen verbesserten Stoffwechsel und einer gesteigerten Durchblutung wurde ein schnellerer Heilprozess erkannt. (Wess 2004, Gerdesmeyer et al. 2002)

Die grundsätzlichen Eigenschaften einer solchen Stoßwelle sind (siehe Abb. 1):

- **P₊**: Der positive Spitzendruck, der sich als die Differenz zwischen dem maximalen positiven Spitzendruck der Stoßwelle und dem Umgebungsdruck definiert.
- **P₋**: Der negative Spitzendruck, der den maximalen negativen Spitzendruck während der zweiten Phase der Stoßwelle darstellt.
- **T_r**: Das Intervall, in dem der Druck von 10% von P₊ auf bis zu 90% von P₊ ansteigt, auch Anstiegszeit genannt.
- **T_w**: Das Zeitintervall zwischen dem Zeitpunkt, bei dem der Druck erstmals 50% von P₊ übersteigt und dem Zeitpunkt, bei dem der Druck (während des exponentiellen

Druckabfalls der ersten Stoßwellenphase) weniger als 50% von P_+ beträgt. Die Dauer von T_w beeinflusst direkt die Energieflussdichte extrakorporaler Stoßwellen. (Gerdesmeyer et al. 2002)

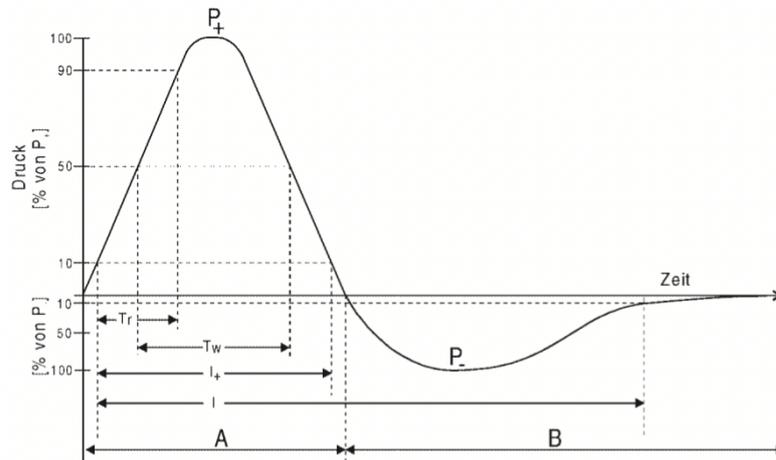


Abb. 1: Graphische Darstellung einer Stoßwelle (Gerdesmeyer et al. 2002)

3.1.1 Erzeugungsmechanismen der Stoßwelle

Für die klinische Anwendung extrakorporaler Stoßwellen werden verschiedene Verfahren beschrieben. Die vier Grundprinzipien der Stoßwellenerzeugung sind elektrohydraulisch, piezoelektrisch, elektromagnetisch und ballistisch. (McClure und Dorfmueller 2003, Gerdesmeyer et al. 2002)

3.1.1.1 Elektrohydraulische Stoßwellenerzeugung

Das Prinzip der Erzeugung von extrakorporalen Stoßwellen mittels elektrohydraulischer Stoßwellenquelle ist die Funkenentladung einer Elektrode, wodurch Plasmablasen in dem Medium entstehen, das die Elektrode umgibt. Die Druckwelle kommt schließlich zustande, indem das Medium durch die Plasmablasen komprimiert wird. Innerhalb weniger Nanosekunden werden Druckspitzen von mehr als 1000 bar erzeugt. Da diese Druckstörung schnell an Intensität verliert, fokussiert man die Stoßwellen in der Medizin mit einem ellipsoidförmigen Reflektor. (Wess 2004, Gerdesmeyer et al. 2002)

Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens ist der Verschleiß der Elektrode, die nach einer gewissen Anzahl an Entladungen ausgetauscht werden muss. Bei orthopädischen Anwendungen sind elektrohydraulische Stoßwellen in den geringeren Druckeinstellungen schwer zu dosieren, was sie somit als laut und schmerzhaft wahrnehmen lässt. Um diese Nachteile zu vermeiden, wurde nach alternativen Methoden der Stoßwellentherapie gesucht. (Wess 2004, Gerdesmeyer et al. 2002)

3.1.1.2 Piezoelektrische Stoßwellenerzeugung

Bei diesem Verfahren wird im Mittelpunkt einer Kugelschale, auf der Piezokristalle platziert sind, viele kleine Druckimpulse durch pulsformige Bestromung der einzelnen Kristalle erzeugt. Die piezoelektrischen Elemente, die auf der Kugelfläche angeordnet sind, werden durch einen elektrischen Puls synchron zur Abgabe einer Druckwelle in Richtung auf das Zentrum der Kugelfläche angeregt, wodurch das Verfahren als selbst-fokussierend anzusehen ist. Bei dieser Methode spricht man erst im Bereich der Fokuszone von Stoßwellen. Piezoelektrische Systeme haben eine gute Dosierbarkeit in niedrigen Energiebereichen und eine hohe Wiederholgenauigkeit. Der Nachteil, dass die erzielbare Gesamtenergie eher niedrig ist, wird durch Doppelschichten von piezoelektrischen Schallwandlern ausgeglichen. (Wess 2004, Gerdesmeyer et al. 2002)

3.1.1.3 Elektromagnetische Stoßwellenerzeugung

Das physikalische Prinzip von elektromagnetischen Stoßwellen kann man sich wie jenes, das bei Lautsprechern angewendet wird, vorstellen. Bei diesem Verfahren wird zwischen der Flachspule mit Fokussierung durch eine akustische Linse und der Zylinderspule mit einem Paraboloid-Reflektor unterschieden. (Wess 2004, Senbo et al. 2020)

Bei der Flachspule wird eine spiralförmige Spule, die durch eine Isolationsschicht von einer elektrisch leitfähigen, metallischen Membran getrennt wird, auf einer ebenen Fläche aufgebracht. Sobald ein kurzer Stromstoß diese Spule durchfließt, werden magnetische Felder um die einzelnen Windungen gebildet, welche durch die Isolationsschicht zur metallischen Membran dringen. In der Membran werden Wirbelstürme ausgelöst, hierdurch breitet sich die so erzeugte Druckstörung als ebene Pulswelle in das Übertragungsmedium aus, bis sie mit einer

akustischen Linse in eine konvergente Kugelwelle umgeformt wird. (Wess 2004, Senbo et al. 2020)

Im Vergleich zum elektrohydraulischen Verfahren ist die Energie bei dieser gut dosierbar und die Abgabe kann als gut angenommen werden. Allerdings lassen sich durch die technischen Grenzen der Linse bloß Stoßwellen mit begrenzten Durchmessern und eingeschränkten Öffnungswinkeln erzeugen, was wieder zu Schmerzen an der Koppelstelle führen kann. (Wess 2004, Senbo et al. 2020)

Mit einer Zylinderspule wird primär eine divergente Zylinderwelle induziert, die mit einem Rotationsparaboloid in eine konvergente Kugelwelle transformiert wird. Somit können Reflektoren mit größeren Durchmessern und großer Fokustiefe hergestellt werden, die die Stoßwellen mit gutem Wirkungsgrad auf die zu behandelnde Zone konzentrieren. Durch diese Technik ergibt sich die Möglichkeit Indikationsgebiete in der Tiefe des Gewebes mit höchstmöglicher Präzision zu behandeln. (Wess 2004, Senbo et al. 2020)

Für die elektromagnetische Stoßwellenerzeugung gilt, genauso wie für das piezoelektrische Verfahren, dass Stoßwellen erst in der Fokuszone ausgelöst werden. (Wess 2004, Senbo et al. 2020)

3.1.1.4 Ballistische Stoßwellenerzeugung

Mittels Pressluft wird ein Projektil, das sich in einem Lauf befindet, in kürzester Zeit enorm beschleunigt (siehe Abb. 2). Das Projektil trifft anschließend auf einen Applikator, welcher den Energiepuls in das Körpergewebe weiterleitet. Am Ende des Applikators liegt der Fokus, an dem sich die Stoßwelle strahlenförmig im Gewebe ausbreitet. Folglich ist bei diesem Verfahren der Stoßwellenerzeugung keine Fokussierung im Gewebe möglich, was dazu führt, dass pathologische Prozesse, die in den tieferen Geweben des Körpers liegen, weniger gut zu behandeln sind. Im Gegenteil dazu wären, theoretisch gesehen, oberflächlich liegende Indikationen zugänglich für diese Methode der Stoßwellenerzeugung. (Gerdsmeyer et al. 2002)

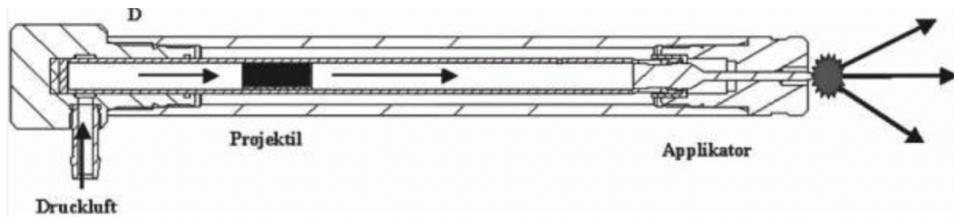


Abb. 2: Schematische Darstellung einer ballistischen Stoßwelle (Gerdesmeyer et al. 2002)

Die genannten Stoßwellenerzeugungsmethoden werden in unterschiedlichen Gerätekonzepten von verschiedenen Herstellern angewendet.

3.2 Mögliche Wirkweisen bei Erkrankungen des Bewegungsapparats

Aufgrund der physikalischen Eigenschaften der Stoßwellen und der bisher beschriebenen Erzeugungsmechanismen sieht man, dass sie entweder direkt oder indirekt wirken.

Vor allem wirken Stoßwellen mechanisch, jedoch muss zuerst die akustische Energie thermisch, chemisch oder mechanisch umgewandelt werden. Die Grundvoraussetzung für eine solche Umwandlung ist die Impedanz, die das Gewebe durchschallt. Aus verschiedenen Studien ist bekannt, dass die direkte Wirkweise direkt proportional zu dem Impedanzunterschied steht. (Coleman et al. 1987, Weller 2005, Gerdesmeyer et al. 2002)

Die Induktion von Kavitation ist der indirekten Wirkweise zuzuordnen. Durch den auftretenden Negativdruck entstehen gasgefüllte Blasen. Sollten die Kohäsionskräfte des Mediums geringer sein als der im Zuganteil der Stoßwelle auftretende Negativdruck, können bereits wenige MPa ausreichen, um Unterdruckhöhlräume zu bilden. An den Rändern der Kavitationsblase verdampft die umliegende Flüssigkeit aufgrund des Unterdrucks, was zur Vergrößerung der Blase führt. Nachdem die Druckwelle das Gebiet passiert hat und die Druckverhältnisse wieder normalisiert sind, kollabiert die Blase. Wenn die Frequenz sehr hoch ist, kann die Blase noch nicht kollabieren, wenn die nächste Druckwelle eintrifft. In diesem Fall wird die Blase zum Kollaps gezwungen. (Coleman et al. 1987, Weller 2005, Gerdesmeyer et al. 2002)

Ein weiterer indirekter Mechanismus wäre die quasistatische Quetschung, bei der die ersten Spalten senkrecht oder parallel zur Wellenrichtung entstehen. Hier sind ein vergrößerter Fokus und eine verringerte Energie möglich, was das Auftreten von negativen Nebeneffekten reduziert. (Weller 2005, Gerdesmeyer et al. 2002)

ESWT hat sich zu einer unterstützenden Therapie für die Behandlung verschiedener Verletzungen des Bewegungsapparats entwickelt, einschließlich Tendinopathie, Osteoarthritis und Pseudoarthrosen.

Sehnen- und Bänderverletzungen, Arthrose und Knochenbrüche werden als anerkannte Ursachen für Lahmheit bei Pferden betrachtet und können die Karriere der Tiere einschränken oder sogar beenden. Stoßwellentherapie hat sich als Methode zur schnelleren Rückkehr zur Leistungsfähigkeit bei Pferden mit Desmitis des Fesselträgerursprungs, zur kürzeren Dauer bis zur Bildung von longitudinalen Fasermustern bei Verletzungen der oberflächlichen Beugesehne, zur Schmerzlinderung und Reduktion der Lahmheit sowie zur Verbesserung der Leistung bei Pferden mit Rückenschmerzen erwiesen. (Yocom und Bass 2019) Laut Carulli et al. (2016) kann die extrakorporale Stoßwellentherapie als sichere, wirtschaftliche und effektive Behandlung angesehen werden, die eine zufriedenstellende Schmerzlinderung und Verbesserung der Funktionsfähigkeit ermöglicht. ESWT ist auch ein geeinigtes Therapieverfahren bei Podotrochlose. (Blum et al. 2005)

3.2.1 Thorakolumbaler Schmerz

ESWT wurde angewendet, um die Auswirkungen auf die mechanische Schmerzschwelle der Wirbelsäule und den Querschnitt des Musculus multifidus bei Pferden mit thorakolumbalem Schmerz zu bewerten. Bei 83% war die mechanische Schmerzschwelle zu jedem Zeitpunkt im Vergleich zum Tag 0 signifikant höher. Der durchschnittliche prozentuale Anstieg der mechanischen Schmerzschwelle innerhalb von 56 Tagen betrug 64% für die Brustregion und 29 % für die Lendenregion. Es wurde keine signifikante Veränderung des Querschnitts des Musculus multifidus beobachtet. (Trager et al. 2020)

3.2.2 Sehnen

Frühere Studien zeigten, dass eine Stoßwellenbehandlung mit hoher Energie Fibrinoidnekrose, Paratendinosefibrose und inflammatorische Zellinfiltration in gesunden Sehnen induzieren kann, sowie eine beeinträchtigte Zugfestigkeit von Sehnen verbessert. Durch neuere Studien zeigte sich, dass durch die Freisetzung von Wachstumsfaktoren und einigen anderen aktiven Substanzen die Anzahl der Neovaskularisationen am Sehnen-Knochen-Übergang erhöht werden kann. Die ESWT verursacht eine vorübergehende Stimulation des Stoffwechsels in den Sehnenstrukturen unmittelbar nach der Behandlung. Nach 6 Wochen hat der Stoffwechsel signifikant abgenommen und die Glykosaminoglykan-Werte sind niedriger als in unbehandelten Kontrollgliedmaßen. Der stimulierende kurzfristige Effekt der ESWT könnte den Beginn des Heilungsprozesses in verletzten Sehnen beschleunigen. Der langfristige Effekt scheint jedoch weniger vorteilhaft zu sein. (Bosch et al. 2007)

3.2.2.1 Tendinitis

Ein Beweis für die positive Einwirkung der ESWT auf die Reparatur von Tendinitis ging mit einer Erhöhung von Transforming Growth Factor beta 1 (TGF- β 1) und Insulin-like Growth Factor 1 (IGF-1) einher. Diese Wachstumsfaktoren regulieren die extrazelluläre Matrixbiosynthese durch Tenozyten. Es wird vermutet, dass die erhöhten mitogenen und anabolen Reaktionen des Sehngewebes für den klinischen Erfolg bei der Lösung von Sehnenpathologien verantwortlich sein könnten. Tenozyten reagieren auch auf mechanische Stimulation, indem sie die TGF- β 1-Genexpression erhöhen. Diese Ergebnisse scheinen darauf hinzudeuten, dass das Sehngewebe durch Freisetzung von TGF- β 1 und IGF-1 ESWT-Stimulationen in biochemische Signale für die Wiederherstellung des Sehngewebes umwandeln kann. (Notarnicola und Moretti 2012, Bosch et al. 2009)

In einer Studie wurden acht Rennpferde mit einer Entzündung der oberflächlichen Beugesehne (OBS) behandelt. Die Anwendung von ESWT führte bei allen Pferden zu einer Verbesserung, sowohl der klinischen Symptome als auch der sonografischen Befunde. (Hunter et al. 2004)

Eine andere Studie untersuchte radiale Stoßwellen als Behandlungsmethode für Entzündungen der OBS. Dabei konnten 92% der 75 behandelten Pferde ihre volle Funktionalität

wiedererlangen, jedoch kam es bei 33% der Pferde, vor allem Rennpferden und Poloponys, im Verlauf der Nachbeobachtungszeit zu erneuten Verletzungen. (Bathe 2004)

3.2.2.2 Kollagenaseinduzierte Läsionen im Unterstützungsband der tiefen Beugesehne

Waguespack et al. (2011) führte eine Studie mit acht Pferden durch, um die Auswirkungen der extrakorporalen Stoßwellentherapie auf kollagenaseinduzierte Läsionen im Unterstützungsband der tiefen Beugesehne zu bewerten. Es gab keine Unterschiede im Prozentsatz der Läsion, der Echogenität oder der Faseranordnung zwischen den Kontroll- und den mit ESWT behandelten Bändern zu jedem Bewertungszeitpunkt. Allerdings wurden nach sechs Wochen eine signifikante Zunahme des Läsionsanteils und der Echogenität bei den mit ESWT behandelten Bändern sowie eine bedeutende Abnahme beider Variablen bei behandelten und Kontrollbändern nach 12 Wochen beobachtet. Die Faseranordnung verbesserte sich signifikant nach neun Wochen in der Kontrollgruppe und nach 12 Wochen in den behandelten und Kontrollbändern. Deren Ergebnisse unterstützen keine Wirkung von ESWT auf kollagenaseinduzierte Läsionen im Unterstützungsband der tiefen Beugesehne des Pferdes.

3.2.2.3 Desmitis des Fesselträgerursprungs

Die extrakorporale Stoßwellentherapie ist eine anerkannte Therapieform für chronische Fälle von Desmitis des Fesselträgerursprungs. Die rasche Schmerzbeseitigung führt einerseits zu einer Verbesserung des Wohlbefindens, andererseits zu einer schnelleren Trainingswiederaufnahme im Vergleich zu konservativen oder chirurgischen Therapien. (Faulstich 2001)

3.2.2.3.1 Behandlungsmethoden

In einer Studie wurden sechs Shetland-Ponys ausgewählt, die keine Lahmheit aufwiesen und ultraschallmäßig normale Beugesehnen, Strecksehnen und Fesselträger hatten. Sechs Wochen vor der Gewebeprobeentnahme wurde ESWT am Ursprung des Fesselträgers und im Bereich des mittleren Metakarpus der oberflächlichen Beugesehne durchgeführt. Bei allen Tieren wurde ein Vorderbein behandelt, während das andere Vorderbein als Kontrolle diente. Nach der

Euthanasie wurden Sehnenexplantate aseptisch für in-vitro-Zellkulturversuche entnommen und zusätzliche Proben für biochemische Analysen entnommen. (Caminoto et al. 2005)

Weiters wurde die schmerzstillende Wirkung im kurz- und langfristigen Sinne von ESWT bei Pferden mit Desmitis des Fesselträgerursprungs untersucht. Grundsätzlich wurde die Lahmheit und die Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit analysiert. (Urhahne et al. 2005, Imboden et al. 2009, Giunta et al. 2019)

Um die Lahmheit objektiv und auf die kurzfristige Wirkung beurteilen zu können, wurde eine Ganganalyse auf einem instrumentierten Laufband vor und nach sechs, 24, 48 und 72 Stunden der ESWT des Fesselträgerursprungs durchgeführt und die Ergebnisse mit den Wirkungen der Lokalanästhesie verglichen. Schrittfrequenz, Standdauer, vertikaler Impuls und maximale vertikale Kraft wurden ermittelt. Thermografische Bildgebung und Beurteilung der Hautempfindlichkeit der behandelten Fläche wurden vor und nach der ESWT im gleichen Intervall wie die Ganganalyse durchgeführt. (Imboden et al. 2009)

Für die Bewertung der langfristigen Wirkung von ESWT bei dieser Erkrankung wurden die Pferde nach einer Ultraschalluntersuchung zu Studienbeginn behandelt. Vier Tage nach der ersten Behandlung wurden die Pferde von einem Tierarzt und einem Facharzt unabhängig auf Lahmheit untersucht, und nach sechs und 12 Monaten wurde eine Langzeitbeobachtung vom Facharzt durchgeführt. (Giunta et al. 2019)

Lischer et al. (2006) führte eine Untersuchung von 55 Pferden mit Desmitis des Fesselträgerursprungs an den Vorder- und Hintergliedmaßen durch. Im 3-Wochen-Takt wurde der Fesselträgerursprung insgesamt drei Mal mittels fokussierter ESWT behandelt. Dabei wurden 2000 Impulse mit einer Energieflussdichte von $0,15 \text{ mJ/mm}^2$ angewendet. Nach diesem Behandlungsregime folgte Boxenruhe und ein kontrolliertes Bewegungsprogramm über einen Zeitraum von 12 Wochen.

3.2.2.3.2 Ergebnisse

In den Gewebeproben, die drei Stunden nach der Behandlung entnommen wurden, wurde eine erhöhte Synthese von Glykosaminoglykanen (GAG) und Proteinen festgestellt. Die Synthese aller gemessenen Parameter nahm jedoch sechs Wochen nach der ESWT-Behandlung ab. Biochemisch gesehen war der Gehalt an abgebautem Kollagen drei Stunden nach der Behandlung erhöht. Sechs Wochen nach der Behandlung wurde eine Abnahme des abgebauten Kollagens und des GAG-Gehalts festgestellt. Der DNA-Gehalt hatte sich weder in den Sehngewebebeobachtungen noch in den Kulturexplantaten verändert. (Caminoto et al. 2005)

Die Ergebnisse auf kurzzeitige Wirkung zeigten, dass es zu keinem Zeitpunkt nach der ESWT zu einer signifikanten Verbesserung der untersuchten Parameter kam. Bei Pferden mit betroffenen Vorderbeinen verringerte sich jedoch die kontralaterale Belastungsasymmetrie 72h nach der ESWT deutlich. Weder die Hautempfindlichkeit noch die thermographische Bildgebung zeigten Veränderungen, die auf die ESWT zurückgeführt werden könnten. (Imboden et al. 2009) Jedoch wurde bei Urhahne et al. (2005) eine Verbesserung um mindestens einen Lahmheitsgrad in den ersten zwei Monaten nach Therapiebeginn festgestellt.

Bei der Untersuchung auf Langzeitwirkung wurde erkannt, dass ca. 80% Pferde lahmfrei und wieder voll einsetzbar waren (Urhahne et al. 2005). Besonders einjährige Pferde mit weniger schweren Ultraschallveränderungen (Grad 0–1) schienen besser auf die ESWT-Behandlung anzusprechen. Bei Pferden mit einer Lahmheit von 1 oder 2 war die Wahrscheinlichkeit, nach einem Jahr wieder trainieren zu können, um das 5,1-fache höher als bei Pferden mit einer Lahmheit von 3 oder 4. Die ESWT-Behandlung war mit der Rückkehr zur Arbeit 3,8-mal höher nach einem Jahr assoziiert. ESWT kann bei Leistungspferden mit einer Lahmheit, die im Bereich des Fesselträgerursprungs zurückzuführen ist, zu einem günstigen therapeutischen Effekt führen. (Giunta et al. 2019)

Lischer et al. (2006) stellte fest, dass ESWT in Kombination mit einem kontrollierten Bewegungsplan zu einer vollständigen Einsatzfähigkeit sechs Monate nach der Diagnose führt. Allerdings trat bei Pferden mit Desmitis des Fesselträgerursprungs an den Hintergliedmaßen eine erhöhte Rückfallquote auf.

3.2.3 Knorpel und Gelenke

Benson et al. (2007) haben equines Knorpelgewebe aus normalen metacarpophalangealen und metatarsophalangealen Gelenken Stoßwellen ausgesetzt und eine verminderte Synthese von GAG 48 Stunden nach der Behandlung gemessen.

3.2.3.1 Osteoarthritis

Eine neuere Studie mit Ratten, die von Osteoarthritis betroffen waren, zeigte, dass ESWT das Ausmaß häufiger Krankheitsmanifestationen, wie Knorpel- und Matrixabbau, sowie die Konzentrationen von C-Telopeptid-Typ-II-Kollagen (CTX-II) und Matrix-Metalloproteasen (MMPs) reduziert. ESWT kann auch chondroprotektive Effekte ausüben, indem es die Produktion von Interleukin-10 und Tumornekrosefaktor- α in Chondrozyten auf normale Werte zurückführt. (Senbo et al. 2020) Kim et al. (2019) fanden heraus, dass eine ESWT-Behandlung die Zellebensfähigkeit signifikant erhöhen und die Expression von Knorpelabbau markern einschließlich MMP3 und MMP13 verringern könnte. Ebenso zeigte sich eine signifikante Abnahme der proinflammatorischen Marker und des Knorpelabbaus.

Darüber hinaus schlug man vor, dass ESWT die Heilung von Meniskusrissen in avaskulären Regionen beschleunigen könnte. Konkret förderte die ESWT die Heilung von avaskulären Rissen, indem es die Proliferation von Meniskuszellen und die Aufregulierung von Knorpelreparaturfaktoren stimulierte, was zu einer erhöhten Produktion von knorpelspezifischer extrazellulärer Matrix führte. (Senbo et al. 2020)

Lahmheit und insbesondere Gelenkerkrankungen führen zu einem erheblichen Rückgang der Nutzung von Sportpferden und haben große wirtschaftliche Auswirkungen auf die Pferdeindustrie. Trotz zahlreicher medizinischer Behandlungen sind neuartige Methoden erforderlich. Neuere experimentelle Evidenzen und klinische Eindrücke einer extrakorporalen Stoßwellentherapie zur Behandlung von Osteoarthritis wurden berichtet.

3.2.3.1.1 Behandlungsmethoden

Die folgenden Studien beobachteten die Wirkung von ESWT an induzierter Osteoarthritis bei Pferden. Die Pferde wurden anschließend an Tag 14 und 28 nach der Induktion von

Osteoarthritis mit einer fokussierten Stoßwelleneinheit behandelt. Die Auswertungen umfassten eine klinische Beurteilung des Lahmheitsgrades nach zwei Wochen und wöchentliche Synovialflüssigkeitsanalysen (Frisbie et al. 2004, Frisbie et al. 2009), außerdem wurde die Knochendichte mittels Computertomographie an den Tagen 0 und 70 gemessen, und am Ende der Studie (Tag 70) wurden die Variablen der Mikroschädigung und der Knochenbildung zwischen den Gruppen verglichen. (Kawcak et al. 2011)

3.2.3.1.2 Ergebnisse

Bei keinem Pferd wurden behandlungsbedingte Nebenwirkungen festgestellt. Der Lahmheitsgrad verbesserte sich signifikant. Die Ergebnisse für die Synovialflüssigkeit, der mit ESWT behandelten Pferde, zeigten keine krankheitsmodifizierenden Wirkungen. (Frisbie et al. 2004, Frisbie et al. 2009) Weiters ergab sich keine signifikante Wirkung von ESWT auf jegliche Knochenvariablen. (Kawcak et al. 2011)

3.2.3.2 Carpus valgus bei Fohlen

Die Behandlung mit ESWT wurde auch bei Fohlen mit Carpus valgus Deformitäten („X-Beine“) beobachtet. ESWT wurde unmittelbar nach der ersten radiologischen Bewertung auf der konvexen Seite der Winkeldeformität angewendet. Anschließend wurden die Fohlen klinisch und radiologisch untersucht und alle zehn Tage behandelt, bis die Deformität behoben war, wobei eine Auflösung als Abweichung von weniger als fünf Grad definiert wurde. Jede Behandlungsgruppe erhielt spezifische Übungen, Hufbearbeitung und Empfehlungen zur Huf- beziehungsweise Schuhverlängerung. In die Studie wurden 64 Fohlen aufgenommen, deren Alter bei Studienbeginn zwischen acht und 60 Tagen lag. Von den 28 Fohlen in Gruppe 1 hatten zehn eine beidseitige Carpus Valgus Deformität. Es gab 21 Fohlen in Gruppe 2 und 15 in Gruppe 3. Behandlungserfolge wurden bei allen Fohlen in den Gruppen 1 und 2 erreicht. Fünf Fohlen in Gruppe 3 beendeten die Studie mit einem Valguswinkel von 5 bis 6,7 Grad bei der letzten radiologischen Beurteilung. Es traten keine schwerwiegenden Komplikationen während der Behandlung auf. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ESWT in Verbindung mit kontrollierten Übungen, Hufbearbeitung und Huf-

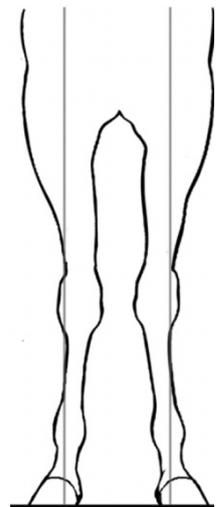


Abb. 3: Carpus valgus (Bramlage und Auer 2006)

beziehungsweise Schuhverlängerungen schwere Carpus Valgus Deformitäten bei jungen Fohlen korrigiert. Die Verwendung von ESWT vermeidet mögliche negative Nebenwirkungen einer Vollnarkose und chirurgischer Techniken zur Behandlung von Valgusdeformitäten. (Bussy et al. 2013)

Radiale Stoßwellen scheinen das artikuläre Knorpelgewebe strukturell nicht zu schädigen, beeinflussen jedoch die Vitalität der Chondrozyten und die Membranpermeabilität. (Byron et al. 2005)

3.2.4 Knochen

Im Jahr 1985 wurden die ersten Experimente durchgeführt, um den Einfluss von Stoßwellen auf menschliche Knochen zu untersuchen. Der Grund für diese Forschung war die Sorge, dass Stoßwellen aufgrund der Stoßwellentherapie bei unteren Harnleitersteinen Schäden an der Hüfte verursachen könnten. Das Ergebnis dieser Experimente war, dass an intakten Knochen keine wesentlichen Veränderungen beobachtet wurden. Weitere Tierversuche zeigten, dass Stoßwellen ein osteogenetisches Potenzial haben und die Frakturheilung stimulieren. Histologische Untersuchungen bestätigten den Einfluss von Stoßwellen auf die Aktivierung von Osteoblasten. (Haupt 1997)

Biedermann et al. (2003) kamen zu dem Entschluss, dass bis 2003 keine Studie die Verbesserung der Knochenheilung durch extrakorporale Stoßwellentherapie nachwies. Klinische Studien, die eine Beschleunigung der Verheilung nach Anwendung von Stoßwellen berichteten, scheinen die natürliche Entwicklung des Knochenheilungsprozesses fehlinterpretiert zu haben.

Cheng und Wang (2015) widersprechen dem, denn der positive Effekt der Stoßwellentherapie auf die Knochenheilung wurde in Tierexperimenten bei akuten Frakturen und chronischen Pseudoarthrose nachgewiesen. Trotz klinischer Erfolge wurde der Wirkmechanismus der extrakorporalen Stoßwellentherapie bei der Knochenheilung noch nicht vollständig erforscht. Es wird vermutet, dass ESWT durch die Umwandlung der physikalischen Signale in intrazelluläre molekulare Prozesse eine Reaktion des Lakunen-Kanalsystems auf Zug-, Scher-

und Druckkräfte auslöst. Es wird spekuliert, dass durch die Stoßwellen Mikrofrakturen verursacht werden, die zur Hämatombildung und anschließender Kallusbildung und schließlich zur Knochenheilung führen. Es gab jedoch unzureichende Daten, um die Theorie wissenschaftlich zu untermauern. Tatsächlich zeigten einige Studien, dass ESWT die Knochenheilung nach einer Fraktur und Sehne-zu-Knochen-Heilung im Knochentunnel signifikant fördert.

Um den Effekt der fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie auf normales Knochengewebe und die Knochen-Band-Schnittstelle bei Pferden zu bestimmen, wurden histologische Untersuchungen und Szintigraphie durchgeführt. Es wurden sechs Pferde ohne Lahmheit ausgewählt. Die Ergebnisse zeigen, dass die ESWT das Potenzial hat, die Anzahl der Osteoblasten bei Pferden zu erhöhen. Die Korrelation zwischen der erhöhten Anzahl der Osteoblasten und der radio-pharmazeutischen Aufnahme legt nahe, dass eine Stimulation der Osteogenese unmittelbar nach der ESWT erfolgt. Es wurde festgestellt, dass bei den in dieser Studie verwendeten Einstellungen keine Schädigung des Knochens oder der Knochen-Band-Schnittstelle auftritt, und daher kann die ESWT sicher bei Pferden angewendet werden. (Bischofberger et al. 2006)

3.2.5 Wundheilung

Die extrakorporale Stoßwellentherapie wird in der Pferdemedizin zur Behandlung einer Vielzahl von Erkrankungen eingesetzt. Es wird vermutet, dass ESWT eine Wirkung auf Zell-zu-Zell-Wechselwirkungen haben könnte, indem es die Expression biochemischer Signale, wie Wachstumsfaktoren und anderer Zytokine, verändert. (Link et al. 2013)

Ein primärer Verschluss von Wunden an den Gliedmaßen bei Pferden ist aufgrund des relativen Mangels an Weichgewebe und der Unbeweglichkeit der umgebenden Haut oft nicht möglich. Solche Wunden werden daher typischerweise durch sekundäre Absicht verheilt, jedoch kann die Heilung durch die Bildung von übermäßigem Granulationsgewebe erschwert werden, was die Heilung verzögert und zu einem schlechten kosmetischen Ergebnis führt. Die extrakorporale Stoßwellentherapie ist eine neue Modalität, um die Zeit zur Heilung von Weichteilverletzungen zu verkürzen. (Link et al. 2013, Morgan et al. 2009, Silveira et al. 2010)

Somit wurden einige Studien veröffentlicht, die den Vergleich der Wirkung der extrakorporalen Stoßwellentherapie auf die Expression des Fibroblastenwachstumsfaktors-7 (FGF-7), des TGF- β 1, des IGF-1, des Platelet Derived Growth Factors-A (PDGF) und des vaskulären endothelialen Wachstumsfaktors-A (VEGF) bei Haut mit chirurgisch entstandenen Hautwunden und intakter Haut bei Pferden untersuchten. (Link et al. 2013) (siehe Kapitel 3.2.5.1 *Behandlungsmethoden* und 3.2.5.2 *Ergebnisse*)

Weiters wurde ein Pferd, das bei einem Brand in einem Anhänger Verbrennungen über den Rücken vom Widerrist bis zum Schwanzkopf erlitten hat, basierend auf aktuellen Anwendungen in der Humanmedizin, mit einer Stoßwellentherapie behandelt. (Johnson et al. 2010) (siehe Kapitel 3.2.5.1 *Behandlungsmethoden* und 3.2.5.2 *Ergebnisse*)

3.2.5.1 Behandlungsmethoden

Eine Studie von Link et al. (2013) behandelte acht Pferde mit ESWT an sechs Stellen entlang des Halses 36, 24, 12, sechs, zwei oder eine Stunde/n vor der Entnahme von Biopsieproben und Kontrollproben von jeder Stelle. Bei sechs Pferden entstanden an jedem Vorderbein fünf tiefe Wunden. Wunden an einem Vorderbein pro Pferd erhielten ESWT unmittelbar nach der Kreation und anschließend an den Tagen sieben, 14 und 21. Wunden am kontralateralen Vorderbein blieben unbehandelt. An den Tagen sieben, 14, 21, 28 und 35 wurden Biopsieproben aus einer Wunde an jedem Vorderbein entnommen. Die Expression von FGF-7, TGF- β 1, IGF-1, PDGF und VEGF wurde mittels Gewebeproben von Hals und Vorderbeinen der Pferde untersucht.

Bei einer weiteren Studie wurden bei jedem Pferd eine 4cm und zwei 3cm dicke Wunden mit darunter liegendem Periost auf dem dorsomedialen Aspekt jedes Metacarpus gebildet. Zufällig ausgewählte Hautwunden wurden einmal wöchentlich mit ESWT bei einer Energieflussdichte von $0,11\text{mJ}/\text{mm}^2$ behandelt. An den Tagen 1, 2 und 3 wurden Abstrichproben von den metacarpalen Wunden für die Bakterienkultur entnommen und die Fläche der Epithelialisierung und das Ausmaß der Wundkontraktion in 3- bis 4-tägigen Intervallen gemessen. Metatarsale Wunden wurden nach zwei und vier Wochen biopsiert und eine immunhistochemische Färbung für VEGF, TGF- β 1 und IGF-1 durchgeführt. (Morgan et al. 2009)

Zudem wurden fünf 6,25cm² oberflächliche Wunden auf beiden dritten Metacarpien von sechs Pferden gebildet. Die Vorderbeine wurden randomisiert einer Behandlungsgruppe (ESWT und Bandage) oder einer Kontrollgruppe (nur Bandage) zugeordnet. In den behandelten Gliedmaßen wurde jede Wunde mit 625 Stoßwellenimpulsen eines unfokussierten elektrohydraulischen Stoßwellengenerators behandelt. In den Kontroll-Gliedmaßen erhielt jede Wunde eine Scheinbehandlung. Das Wundbild wurde wöchentlich als „entzündet“ oder „gesund“ aufgezeichnet und anhand der Menge des hervorstehenden Granulationsgewebes bewertet. Es wurden standardisierte digitale Fotografien verwendet, um den Bereich der Neoepithelialisation und die absolute Wundfläche zu bestimmen. Jede Woche wurde eine Biopsie an einer Wunde an jeder Extremität über sechs Wochen durchgeführt, um Epithelialisierung, Fibroplasie, Neovaskularisation und Entzündung zu bewerten. Immunhistochemische Färbung für α -glattes Muskelaktin wurde verwendet, um Myofibroblasten zu markieren. (Silveira et al. 2010)

Um die Effektivität von EWST-Behandlungen auch an Brandwunden zu prüfen, wurden elf Tage nach der ersten Verbrennung Tierärzte gebeten, das Potenzial der Stoßwellentherapie zur Behandlung der Verletzung zu prüfen. Die Stoßwellentherapie wurde mit einer fokussierten elektrohydraulischen Stoßwellenmaschine mit einer 5mm Sonde bei einer Energieflussdichte von 0,11mJ/mm² durchgeführt. Insgesamt wurden 4500 Impulse verabreicht, davon 2500 auf der linken und 2000 Impulse auf der rechten Seite. Die Stoßwellen wurden über den verbrannten Bereich verteilt, einschließlich der Krusten und der devitalisierten Haut, aber die höchste Konzentration der Impulse wurde an der Kreuzung der verbrannten und der gesunden Haut abgegeben. Für alle nachfolgenden Behandlungen wurde dasselbe Behandlungsprotokoll angewendet. (Johnson et al. 2010)

3.2.5.2 Ergebnisse

Bei den chirurgischen Wunden war die ESWT-Behandlung während des gesamten Studienzeitraums im Vergleich zur Expression bei Kontrollwunden mit einer reduzierten TGF- β 1-Expression verbunden. 28 Tage nach der Wundbildung war die IGF-1-Expression für behandelte und unbehandelte Wunden signifikant erhöht, verglichen mit den Befunden an den Tagen 7, 14, 21 und 35. Die Behandlung hatte keinen signifikanten Effekt auf die Expression

von FGF-7, TGF- β 1, IGF-1, PDGF oder VEGF bei intakter Haut. Eine Intervention mit ESWT zur Unterdrückung von TGF- β 1 kann die Granulationsgewebeproduktion verringern, was zu einer verbesserten Wundheilung an den distalen Gliedmaßen des Pferdes führt. (Link et al. 2009)

Die Ergebnisse der Bakterienkultur, des Epithelisierungsbereichs und des Prozentsatzes der Wundkontraktion unterschieden sich nicht zwischen behandelten und unbehandelten Wunden; die Heilungszeit für behandelte Wunden (Mittelwert: 76 Tage) war jedoch signifikant kürzer als die Heilungszeit für unbehandelte Wunden (90 Tage). Die Färbungsintensität der Wachstumsfaktoren unterschied sich nicht signifikant zwischen behandelten und unbehandelten Wunden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ESWT die Wundheilung der distalen Gliedmaßen bei Pferden stimulieren kann, obwohl der Mechanismus, durch den die Wundheilung stimuliert wurde, nicht identifiziert werden konnte. (Morgan et al. 2009)

Bei den Kontrollwunden war die Wahrscheinlichkeit, sich zu entzünden, 1,9-mal höher als bei behandelten Wunden. Die Kontrollwunden hatten signifikant höhere Werte für übermäßiges Granulationsgewebe. Die Behandlung hatte keinen Einfluss auf die Wundgröße oder den Bereich der Neoeptithelialisation. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen für die histologischen oder immunhistochemischen Variablen gefunden. Die Behandlung mit ESWT beschleunigte die Heilung von distalen Gliedmaßenwunden des Pferdes nicht, aber die behandelten Wunden wiesen weniger üppiges Granulationsgewebe auf und schienen gesünder zu sein als die Kontrollen. Daher kann ESWT nützlich sein, um die Bildung von übermäßigem Granulationsgewebe und chronische Entzündungen solcher Wunden zu verhindern. (Silveira et al. 2010)

Einen Tag nach der ersten Stoßwellenbehandlung an den Brandwunden berichtete der Hausarzt, dass an den Wundrändern kleine Blutgefäße zu sehen waren, der Geruch und der eitrig-eitrige Ausfluss nachgelassen hatten, die Palpationsempfindlichkeit reduziert war und die Peripherie der Verbrennungsstelle rosafarbener war. Vier Tage nach der Stoßwellentherapie (15 Tage nach der Verbrennung) zog sich die Wunde zusammen und die ausgetrocknete Haut im Sattelbereich hatte begonnen schlaff zu werden. Die Auswertung vier Monate nach der Verbrennung ergab,

dass die meisten devitalisierten Hautabschnitte abgeschlafft waren und durch rosa und schwarze Haut und fleckige Haarpartien ersetzt worden waren. Der allgemeine Körperzustand des Pferdes war aufgrund eines signifikanten Muskelverlustes im Rücken und Gesäß schlecht. Das Pferd hatte während der gesamten Rekonvaleszenzzeit ein gutes Verhalten und Appetit. Das Pferd verließ die Region und wurde acht Monate lang nicht gesehen. Nach 12 Monaten verbleibt eine Fläche von ca. 10cm² als offene Wunde über dem Widerrist. Eine weitere Stoßwelleneinheit wurde durchgeführt und die Wunde hat sich verkleinert. Der Rest der zuvor verbrannten Stelle ist mit einer Mischung aus rosa und schwarzer Haut und einem fleckigen Haarmuster verheilt. (Johnson et al. 2010)

Es wurden keine signifikanten Veränderungen in der Hautsensibilität festgestellt, unabhängig vom angewendeten Stoßwellenprotokoll. (Waldern et al. 2005)

4 Diskussion

In dieser Bachelorarbeit wurde die Effektivität der extrakorporalen Stoßwellentherapie bei Pferden mithilfe von Literaturrecherche untersucht. Insgesamt wurden 47 Studien aus der Human-, Veterinär- und hauptsächlich Pferdemedizin ausgewählt. (siehe Tab. 1: Auflistung der ausgewählten Studien)

Sehnen: ESWT begünstigt die Wiederherstellung des Sehnengewebes (Notarnicola et al. 2012, Bosch et al. 2009, Siedler und Buchner 2009), führt zu einer Verbesserung der klinischen und sonographischen Befunde bei einer Entzündung der oberflächlichen Beugesehne, wobei die Pferde wieder ihre vollständige Leistungsfähigkeit zurückerlangten. (Hunter et al. 2004, Bathe 2004) Jedoch hat die Stoßwellentherapie keinen Einfluss auf kollagenaseinduzierte Läsionen im Unterstützungsband der tiefen Beugesehne. (Waguespack et al. 2011) Bei Desmitis des Fesselträgerursprungs ist die Kurzzeitswirkung uneindeutig (Imboden et al. 2009, Urhahne et al. 2005), jedoch zeigt sich auf lange Frist eine Verbesserung der Lahmheit und, in Kombination mit einem kontrollierten Bewegungsplan, eine 80-prozentige Rückkehr zur Arbeit der Pferde. (Urhahne et al. 2005) ESWT ist somit eine effektive Begleittherapie für Erkrankungen des Sehnengewebes, um die Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden der Pferde zu verbessern, obwohl der genaue Wirkmechanismus nicht identifiziert werden konnte.

Knorpel und Gelenke: Bei der Behandlung von Osteoarthritis wurden keine relevanten Nebenwirkungen festgestellt und der Lahmheitsgrad hat sich bedeutend gebessert. Die Befunde der Synovialflüssigkeit nach der Therapie wurden ebenfalls für positiv empfunden. (Frisbie et al. 2004, Frisbie et al. 2009) Zusätzlich wurden auch keine signifikanten Wirkungen auf Knochenvariablen festgestellt. (Kawcak et al. 2011) Der Einsatz von ESWT in Verbindung mit kontrollierten Übungen bei Carpus valgus bei Fohlen ergab ebenso förderliche Ergebnisse. (Bussy et al. 2012) Radiale Stoßwellen schädigen artikulare Knorpelstrukturen nicht, aber beeinflussen die Vitalität der Chondrozyten und die Membranpermeabilität. (Byron et al. 2005) ESWT hat außerdem einen Einfluss auf den Metabolismus von Gylkosaminoglykane. (Siedler und Buchner 2009) Wie bei den Sehnerkrankungen schon beschrieben, ist ESWT auch bei Knorpel- und Gelenkerkrankungen eine unterstützende Therapie und zeigt ihre Effektivität,

indem die Symptome aufgrund dieser Erkrankungen schwinden. Wie der exakte Mechanismus der ESWT wirkt, wurde noch nicht erforscht.

Knochen: Effekte von ESWT beim Knochen konnten im Review-Artikel von Siedler und Buchner (2009) nur bei zwei von fünf Studien beobachtet werden. Bis 2003 gab es keinen Beweis für die positive Beeinflussung auf Knochenheilprozesse aufgrund ESWT (Biedermann et al. 2003), jedoch wurde ein unterstützender Effekt von akuten Frakturen und chronischen Pseudoarthrose nachgewiesen. Weiters zeigte sich, dass die Knochenheilung nach einer Fraktur und Sehne-zu-Knochen-Heilung im Knochentunnel gefördert wird. (Cheng et al. 2015) Es wurden keine Schädigungen des Knochens oder der Knochen-Band-Schnittstelle bei der Anwendung von ESWT festgestellt. (Bischofberger et al. 2006) Es müssen noch weitere Studien durchgeführt werden, um die reale Effektivität der ESWT bei Erkrankungen des Knochengewebes nachzuweisen, demnach wurde die Wirkungsweise auch noch nicht auf den Punkt gebracht.

Wundheilung: In einigen Studien konnte eine kürzere Wundheilung mit ESWT assoziiert werden, da die Behandlung die übermäßige Granulationsgewebeproduktion reduziert und chronische Entzündungen verhindert. (Link et al. 2009, Morgan et al. 2009, Silveira et al. 2010, Johnson et al. 2010) Bezüglich der Hautsensibilität wurden keine Veränderungen erkannt. (Waldern et al. 2005) Daher ist auch bei der Wundheilung die ESWT eine effektive Behandlungsmöglichkeit.

Die Evidenz aus den ausgewählten Studien deuten daraufhin, dass ESWT als unterstützende und effektive Behandlungsmethode bei Tendinitis, Desmitis des Fesselträgerursprungs – vor allem auf Langzeitsicht -, Symptome in Verbindung mit Osteoarthritis, Carpus valgus bei Fohlen und bei Hautwunden eingesetzt werden kann. Allerdings sagen die Studien zu den Knochenheilprozessen noch zu wenig aus, um eine zuverlässige Effektivität von ESWT nachzuweisen. Auch bei kollagenaseinduzierten Läsionen des Unterstützungsbands der tiefen Beugesehne konnte keine positive Assoziation mit ESWT festgestellt werden.

Einschränkungen: Die Forschungsarbeit der vorliegenden Bachelorarbeit basiert auf einer umfangreichen Literaturrecherche, wobei es einige Einschränkungen zu beachten gibt. Erstens herrscht eine gewisse Heterogenität in den untersuchten Studien, wie z. B. Unterschiede in den Methoden, Stichprobengrößen oder verwendeten Messinstrumenten. Dies führt zu einer begrenzten Vergleichbarkeit der Ergebnisse und zu inkonsistenten oder widersprüchlichen Erkenntnissen. Zweitens könnte es zu gewissen Sprachbarrieren kommen, da nur deutsch- und englischsprachige Studien miteinbezogen wurden. Daher ist es wichtig, die Einschränkungen der Literaturrecherche anzuerkennen und ihre Auswirkungen auf die Interpretation der Ergebnisse angemessen zu berücksichtigen.

Empfehlung: Es sollten weitere Studien zur extrakorporalen Stoßwellentherapie beim Pferd durchgeführt werden, um eine höhere Evidenzbasis für die Wirksamkeit und Sicherheit dieser Therapie zu schaffen, vor allem bei Erkrankungen des Knochengewebes. Einheitlichere Studiendesigns und Methoden für die extrakorporale Stoßwellentherapie bei Pferden sollten verwendet werden, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

5 Schlussfolgerung

Die Literaturrecherche zeigt, dass die extrakorporale Stoßwellentherapie einen positiven Einfluss auf einige Bereiche in der Pferdemedizin hat. Sie wirkt unterstützend, in Kombination mit anderen Behandlungsmethoden, auf Erkrankungen des Sehnen- und Knorpelgewebes und Hautwunden, wofür es eine moderate Evidenz gibt. Bei Knochenheilungsprozessen und kollagenaseinduzierten Läsionen im Unterstützungsband der tiefen Beugesehne konnte keine Verbesserung mit ESWT assoziiert werden beziehungsweise gibt es hierfür keine zuverlässige Evidenz, um dies sicher nachweisen zu können.

Der genaue Wirkmechanismus wurde noch nicht vollständig erforscht, jedoch werden Vermutungen gestellt, dass ESWT die Freisetzung von TGF- β 1 und IGF-1 zur Wiederherstellung des Sehnengewebes fördert. Weiters wird eine positive Assoziation mit ESWT bezüglich der Knochenheilung spekuliert, denn die Stoßwellen sollen Mikrofrakturen auslösen, die schließlich zur Knochenheilung führt.

6 Deutsche Zusammenfassung

Die Studien, welche die Behandlung mit extrakorporaler Stoßwellentherapie (ESWT) erforschen, wurden mittels Literaturrecherche ausgewählt. Der Fokus des Inhalts der Studien lag bei den Krankheiten, Behandlungsmethoden, Wirkweisen und Nebenwirkungen. Ziel dieser Bachelorarbeit war es den aktuellen Wissensstand der Effektivität der extrakorporalen Stoßwellentherapie bei Pferden darzulegen. Diese Bachelorarbeit dient somit als wertvolle Grundlage für die weiterführende Forschung in diesem Bereich.

Angesichts der Behandlung von ESWT bei Erkrankungen des Bewegungsapparats zeigte sich, dass sie einen positiven Einfluss auf die Anzahl der Neovaskularisationen am Sehnen-Knochen-Übergang und eine beeinträchtigte Zugfestigkeit von Sehnen haben kann. Außerdem wirkt es begünstigend auf die Freisetzung von TGF- β 1 und IGF-1. Allerdings zeigt ESWT keine Wirkung auf kollagenaseinduzierte Läsionen im Unterstützungsband der tiefen Beugesehne. Bei der Behandlung von Desmitis des Fesselträgerursprungs wurden kurzzeitig keine Verbesserungen erzielt, jedoch führt ESWT längerfristig bei einer Lahmheit, die im Bereich des Fesselträgerursprungs zurückzuführen ist, zu einem erfolgreichen therapeutischen Effekt. Weiters wurden chondroprotektive Effekte und die Abnahme der proinflammatorischen Marker und des Knorpelabbaus festgestellt. Bei der Anwendung an Meniskusrissen wurde eine erhöhte Produktion von knorpelspezifischer extrazellulärer Matrix erkannt. Auch bei Fohlen mit Carpus valgus wurden erfolgreiche Ergebnisse erzielt. ESWT wirkt sich positiv auf die Symptome, besonders auf Lahmheiten, im Zusammenhang mit Osteoarthritis aus. Nach einer Fraktur und bei Sehne-zu-Knochen-Heilungen wirkt ESWT ebenfalls unterstützend. Bei der Therapie von Hautwunden zeigte die ESWT ebenso einen positiven Einfluss durch die Unterdrückung von TGF- β 1, was die Granulationsgewebeproduktion verringert und zu einer verbesserten Wundheilung führt. Außerdem kann ESWT chronische Entzündungen verhindern.

Obwohl schon einige Studien die Effektivität der ESWT nachgewiesen haben, wurde die genaue Wirkweise noch nicht vollständig erforscht. In Zukunft sollten weitere Studien durchgeführt werden, wobei die Erforschung der Wirkweise im Mittelpunkt stehen sollte. Der Einsatz von ESWT sollte stets bei Erkrankungen des Bewegungsapparates in Erwägung gezogen werden.

7 Summary

The studies investigating the treatment with extracorporeal shock wave therapy (ESWT) were selected through literature research. The focus of the study content was on diseases, treatment methods, mechanisms of action, and side effects. The aim of this bachelor's thesis was to present the current state of knowledge regarding the effectiveness of extracorporeal shock wave therapy in horses. Thus, this bachelor's thesis serves as a valuable foundation for further research in this field.

Regarding the treatment of ESWT in musculoskeletal disorders, it has been shown to have a positive impact on the number of neovascularizations at the tendon-bone junction and impaired tensile strength of tendons. Furthermore, it has a beneficial effect on the release of TGF- β 1 and IGF-1. However, ESWT has no effect on collagenase-induced lesions in the supporting ligament of the deep flexor tendon. In the treatment of desmitis of the origin of the suspensory ligament, no short-term improvements were achieved, but long-term ESWT leads to successful therapeutic effects in cases of lameness attributed to the origin of the suspensory ligament. Chondroprotective effects and a decrease in pro-inflammatory markers and cartilage degradation were also observed. Increased production of cartilage-specific extracellular matrix was identified in the application of ESWT to meniscal tears. Successful results were also achieved in foals with carpus valgus. ESWT has a positive impact on symptoms, especially lameness, associated with osteoarthritis. It also provides supportive effects in fracture and tendon-to-bone healing. In the therapy of skin wounds, ESWT has shown a positive influence by suppressing TGF- β 1, which reduces granulation tissue production and leads to improved wound healing. Additionally, ESWT can prevent chronic inflammation.

Although several studies have already demonstrated the effectiveness of ESWT, the exact mechanism of action has not been fully elucidated. In the future, further studies should be conducted, with a focus on investigating the mechanism of action. The use of ESWT should always be considered in musculoskeletal disorders.

8 Literaturverzeichnis

Bathe A. 2004. Results of ECSW for the treatment of superficial digital flexor tendonitis. In: Proc. 12th Congr. Europ. Soc.Vet. Orthopaedics and Traumatology, Munich, 10th -12th September: 167.

Benson B M, Byron C R, Ponden H, Stewart A A. 2007. The effects of radial shock waves on the metabolism of equine cartilage explants in vitro. N.Z.Vet. J. 55: 40-44.

Biedermann R, Martin A, Handle G, Auckenthaler T, Bach C, Krismer M. 2003. Extracorporeal shock waves in the treatment of nonunions. Journal Trauma 54: 936-942.

Bischofberger A S, Ringer S K, Geyer H, Imboden S, Ueltschi G, Lischer C J. 2006. Histomorphologic evaluation of extracorporeal shock wave therapy of the fourth metatarsal bone and the origin of the suspensory ligament in horses without lameness. Am. J. Vet. Res. 67: 577-582.

Blum N, Kreling K, Litze L-F. 2005. The use of extracorporeal shock wave therapy in horses with navicular disease. Pferdeheilkunde 21: 29-38.

Bosch G, De Mos M, Van Binsbergen R, Van Schie HTM, Van De Lest CHA, Van Weeren PA. 2009. The effect of focused extracorporeal shock wave therapy on collagen matrix and gene expression in normal tendons and ligaments. Equine Veterinary Journal 41: 335-341.

Bosch G, Lin Y L, Schie H T van, Lest C H van de, Barneveld A, Weeren P R van. 2007. Effect of extracorporeal shock wave therapy on the biochemical composition and metabolic activity of tenocytes in normal tendinous structures in ponies. Equ. Vet. J. 39: 226-231.

Bockstahler B, Siedler C. 2010. Stoßwellen – Modeerscheinung oder Wunderwaffe?. hundertkatzepferd (03/10): 10-13.

Bramlage L R, Auer J A. 2006. Diagnosis, Assessment, and Treatment Strategies for Angular Limb Deformities in the Foal. *Clinicle Techniques in Equine Practice* 5: 259-269.

Brown K E, Nickels F A, Caron J P, Mullineaux D R, Clayton H M. 2005. Investigation of the immediate analgesic effects of extracorporeal shock wave therapy for treatment of navicular disease in horses. *Vet. Surg.* 34: 554-558.

Bussy C, Auzas F, Muñoz J A. 2013. Clinical Use of Extracorporeal Shockwave Therapy (ESWT) for the Treatment of Carpus Valgus Deformities in Young Foals: A Retrospective Study of 64 Cases (2006-2009). *Open Journal of Veterinary Medicine* 3: 46-51.

Byron C R, Benson B M, Steward A A, Steward M C. 2005. Effects of radial shock waves on membrane permeability and viability of chondrocytes and structure of articular cartilage in equine cartilage explants. *Am. J. Vet. Res.* 66: 1757-1763.

Caminoto E H, Alves A L G, Amorim R L, Thomassian A, Hussni C A, Nicoletti J L M. 2005. Ultrastructural and immunocytochemical evaluation of the effects of extracorporeal shock wave treatment in the hind limbs of horses with experimentally induced suspensory ligament desmitis. *Am. J. Vet. Res.* 66: 892-896.

Carulli C, Tonelli F, Innocenti M, Gambardella B, Muncibi F, Innocenti M. 2016. Effectiveness of extracorporeal shockwave therapy in three major tendon diseases. *J Orthopaed Traumatol* 17: 15-20.

Chaussy C, Brendel W, Schmidt E. 1980. Extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves. *Lancet* 2: 1265-1268.

Cheng JH, Wang CH. 2015. Biological mechanism of shockwave in bone. *International Journal of Surgery* 24: 143-146.

Coleman A J, Saunerds J E, Crum L A, Dyson M. 1987. Acoustic cavitation generated by an extracorporeal lithotriper. *Ultrasound Med. Biol.* 13: 69-76.

Dahlberg J, Fitch G, McClure S R, Conzemius M. 2005. The evaluation of extracorporeal shock wave therapy in naturally occurring osteoarthritis of the stifle joint in dogs. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 18: 147-152.

Faulstich A. 2001. Erfahrungen mit der fokussierten Stoßwelle beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 17: 410-412.

Frisbie DD, Kawcak CE, McIlwraith W. 2004. Evaluation of extracorporeal shock wave therapy for osteoarthritis. *American Association of Equine Practitioners* 4-8: 261-263.

Frisbie DD, Kawcak CE, McIlwraith W. 2009. Evaluation of the effect of extracorporeal shock wave treatment on experimentally induced osteoarthritis in middle carpal joints of horses. *American Journal of Veterinary Research*, Vol 70, No 4: 449-454.

Gerdesmeyer L, Maier M, Haake M, Schmitz C. 2002. Physikalisch-technische Grundlagen der extrakorporalen Stoßwellentherapie (ESWT). *Der Orthopäde* 7: 610-617.

Giunta K, Donnell JR, Donnell AD, Frisbie DD. 2019. Prospective randomized comparison of platelet rich plasma to extracorporeal shockwave therapy for treatment of proximal suspensory pain in western performance horses. *Research in Veterinary Science* 126: 38-44.

Haupt G. 1997. Use of extracorporeal shock waves in the treatment of pseudoarthrosis, tendopathy and other orthopedic diseases. *J. Urol.* 158: 4-11.

Hunter J, McClure S R, Merritt D K, Reinertson E. 2004. Extracorporeal shock wave therapy for treatment of superficial digital flexor tendonitis in racing thoroughbreds: 8 clinical cases. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 3: 152-155.

Imboden I, Waldern NM, Wiestner T, Lischer CJ, Ueltschi G, Weishaupt MA. 2009. Short term analgesic effect of extracorporeal shock wave therapy in horses with proximal palmar metacarpal/plantar metatarsal pain. *The Veterinary Journal* 179: 50-59.

Johnson JE, McClure SR, Liskey CC. 2010. Shockwave therapy for treatment of a burn injury in a horse. *Equine Veterinary Education* 22: 67-72.

Kim Y H, Bang J I, Son H J, Kim Y, Bae H, Han S J, Yoon H J, Kim B S. 2019. Protective effects of extracorporeal shockwave on rat chondrocytes and temporomandibular joint osteoarthritis; preclinical evaluation with in vivo^{99m}Tc-HDP SPECT and ex vivo micro-CT. *Osteoarthritis Research Society International* 11: 1692-1701.

Kawcak CE, Frisbie DD, McIlwraith CW. 2011. Effects of extracorporeal shock wave therapy and polysulfated glycosaminoglycan treatment on subchondral bone, serum biomarkers, and synovial fluid biomarkers in horses with induced osteoarthritis. *American Journal of Veterinary Research*, Vol 72, No 6: 772-779.

Link KA, Koenig JB, Silveira A, Plattner BL, Lillie BN. 2013. Effect of unfocused extracorporeal shock wave therapy on growth factor gene expression in wounds and intact skin of horses. *American Journal of Veterinary Research*, Vol 74, No 2: 324-332.

Lischer C J, Ringer S K, Schnewlin M, Imboden I, Fürst A, Stöckli M, Auer J. 2006. Treatment of chronic proximal suspensory desmitis in horses using focused electrohydraulic shockwave therapy. *Schweiz. Arch.Tierheilkd.* 148: 561-568.

McClure S R, Dorfmueller C. 2003. Extracorporeal shock wave therapy: theory and equipment. *Clin. Techn. Equ. Pract.* 2: 348-357.

McClure S R, Sickle D van, White M R. 2004b. Effects of extracorporeal shock wave therapy on bone. *Vet. Surg.* 33: 40-48.

Morgan DD, McClure S, Yaeger MJ, Schumacher J, Evans RB. 2009. Effects of extracorporeal shock wave therapy on wounds of the distal portion of the limbs in horses. *Journal of American Veterinary Medical Association*, Vol 234, No 9: 1154-1161.

Notarnicola A, Moretti B. 2012. The biological effects of extracorporeal shock wave therapy (eswt) on tendon tissue. *Muscles, ligaments and Tendons Journal* 2 (1): 33-37

Ogden J A, Tóth-Kischkat A, Schultheiss R. 2001. Principles of shock wave therapy. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 387: 8-17.

Rompe J D. 2002. Physical characteristics of shock waves. Thieme, Stuttgart, New York: 1-4.

Senbo A, Jingyi L, Wenqing X, Ni Y, Yusheng L, Yihe H. 2020. Extracorporeal shockwave treatment in knee osteoarthritis: therapeutic effects and possible mechanism. *Bioscience Reports* 40: 1-8.

Siedler C, Buchner H H F. 2009. Effectiveness of shock wave therapy in equine orthopaedic diseases: a review. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* 96: 262-271.

Silveira A, Koenig JB, Arroyo LG, Trout D, Moens NMM, LaMarre J, Brooks A. 2010. Effects of unfocused extracorporeal shock wave therapy on healing of wounds of the distal portion of the forelimb in horses. *American Journal of Veterinary Research*, Vol 71, No 2: 229-234.

Trager L R, Funk R A, Clapp K S, Dahlgren L A, Werre S R, Hodgson D R, Pleasant R S. 2020. Extracorporeal shockwave therapy raises mechanical nociceptive threshold in horses with thoracolumbar pain. *Equine Veterinary Journal* 52: 250–257.

Urhahne P, Röcken M, Gerhards H. 2005. Focused extracorporeal shock wave therapy (ESWT) for treatment of common diseases in equine orthopedics. *Pferdeheilkunde* 21: 545-550.

Waguespack R W, Burba D J, Hubert J D, Vidal M A, Lomax L G, Chirgwin S R, Lopez M J. 2011. Effects of Extracorporeal Shock Wave Therapy on Desmitis of the Accessory Ligament of the Deep Digital Flexor Tendon in the Horse. *Veterinary Surgery* 40: 450-456.

Waldern N M, Weishaupt M A, Imboden I, Wiestner T, Lischer C J. 2005. Evaluation of skin sensitivity after shock wave treatment in horses. *Am. J. Vet. Res.* 66: 2095-2100.

Weller D. 2005. Pilotstudie zur Erfassung von durch extrakorporaler Stoßwellentherapie (ESWT) induzierten mikroskopischen Veränderungen im Knochen. *Med. Zentrum für Orthopädie der Philipps-Universität Marburg.*

Wess O. 2004. Physikalische Grundlagen der extrakorporalen Stoßwellentherapie. *J. Miner Stoffwechsel:* 26-35.

Yocom A F, Bass L D. 2019. Review of the application and efficacy of extracorporeal shockwave therapy in equine tendon and ligament injuries. *Equine Veterinary Education* 31: 271-277.

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Graphische Darstellung einer Stoßwelle (Gerdesmeyer et al. 2002)	8
Abb. 2: Schematische Darstellung einer ballistischen Stoßwelle (Gerdesmeyer et al. 2002) .	11
Abb. 3: Carpus valgus (Bramlage und Auer 2006).....	18

10 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Auflistung der ausgewählten Studien	5
---	---